XI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE TITLED
"DEVELOPMENT OF URANIUM AND RARE METAL INDUSTRIES"
DEDICATED TO THE 75TH ANNIVERSARY OF ULBA METALLURGICAL PLANT

KBTU
KAZAKH-BRITISH TECHNICAL
UNIVERSITY

KAZATOMPROM
NATIONAL ATOMIC COMPANY

ULBA

СБОРНИК ТРУДОВ

XI Международной научно-практической конференции «Развитие урановой и редкометалльной промышленности», посвященной 75-летию Ульбинского металлургического завода

16-18 мая

Алматы, 2024

УДК 539:1
ББК 22.383
Р 17

Редакционная коллегия:

Юсупов М.Б. (главный редактор), Габдуллин М.Т., Өмірғали А.Қ., Айдарова С.Б., Горкун В.И., Батрышев Д.Г., Дуйсебаев Б.О., Буркурманов Б.Б., Веретельников Н.В., Аханова Н.Е.

Р 17 РАЗВИТИЕ УРАНОВОЙ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.
XI Международная научно-практическая конференция. 16-18 мая 2024 г. – Алматы: Казатомпром: КБТУ. 2024 – 571 стр.

ISBN 978-601-7095-048

В сборнике представлены доклады по современным вопросам атомной отрасли и урановой промышленности, охватывающие такие темы, как геология, геотехнологии и горно-подготовительные работы; технологии добычи и переработки урана; проблемы и технологии дореакторного ядерного топливного цикла, включая конверсию и производство ядерного топлива; разработка редких и редкоземельных металлов, а также высокотехнологичной продукции на их основе; вопросы безопасности предприятий атомной отрасли, управления техногенными отходами; цифровизация, автоматизация и роботизация в атомной промышленности, а также аспекты устойчивого развития (ESG), включая правовые, макроэкономические и образовательные аспекты функционирования атомной отрасли. Этот сборник рекомендуется специалистам в области атомной отрасли и урановой промышленности.

УДК 539:1
ББК 22.383

ISBN 978-601-7095-048

© АО «НАК «Казатомпром», 2024

Құрметті конференция қатысушылары!

Сіздерді «Уран және сирек металдар өнеркәсібінің дамуы» атты XI Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында қуана қарсы аламыз.

Биылғы конференция біздің еншілес кәсіпорнымыз, әлемдегі ең ірі уран, бериллий және тантал өнімдерін өндірушілердің бірі – «Үлбі металлургия зауыты» АҚ 75 жылдығына арналған.

Конференцияның басты міндеті –халықаралық қоғамдастыққа, озық материалдарды, техниканы және жабдықтарды әзірлеушілер мен өндірушілерге атом саласы компанияларының интеграциясына жәрдемдесу мақсатында өзекті ғылыми-техникалық мәселелерді талқылау және оларды шешу алаңын ұсыну.

«Қазатомөнеркәсіп» ұлттық атом компаниясы Қазақстанның бейбіт атомды дамыту жөніндегі саясатын ұстана отырып, әлемнің түкпір-түкпірінен келген серіктестермен білім, ғылым және өндіріс саласындағы ынтымақтастықты нығайтуға жәрдемдеседі.

Компания Қазақстан Республикасының минералдық-шикізат секторында технологияларды, зияткерлік ресурстарды және экономикалық әлеуетті пайдалануды оңтайландыру және кеңейту жөніндегі іс-шаралар кешенін іске асырады.

Уран өнеркәсібіндегі негізгі мәселелерді ғылым мен технология саласындағы халықаралық ынтымақтастықсыз шешу мүмкін емес. Атом индустриясын дамытудағы әлемдік үрдістер халықаралық компаниялардың, ғалымдар мен ғылыми-техникалық саладағы жоғары білікті мамандардың интеграциясын талап етеді.

Қазақстан мен басқа да елдердегі стратегиялық маңызға ие сала – жаһандық уран өнеркәсібі үшін қамтылған мәселелердің ауқымы мен конференциядағы өкілдіктің жоғары деңгейі мәселенің маңыздылығын арттыра түседі.

Конференция нәтижелері барлық қатысушыларға пайдалы болатынына, ал ұсынылған ұсынымдар әрқайсымыздың алдағы қызметімізде қолданылатынына сенімдімін.

Сіздерге зор денсаулық, жаңа кәсіби жетістіктер және ғылыми-зерттеу жұмысы мен тәжірибелік қызметте табыс тілеймін!

«Қазатомөнеркәсіп» ҰАК»
АҚ Басқарма төрағасы ***М. Юсупов***

Уважаемые участники конференции!

Рад приветствовать вас на XI Международной научно-практической конференции «Развитие урановой и редкометалльной промышленности».

В этом году конференция приурочена к 75-летию нашего дочернего предприятия – АО «Ульбинский металлургический завод», которое является одним из крупнейших в мире производителей урановой, бериллиевой и танталовой продукции.

Главная задача конференции – предоставить международному сообществу, разработчикам и производителям передовых материалов, техники и оборудования площадку для обсуждения и решения актуальных научно-технических вопросов с целью содействия интеграции компаний атомной отрасли.

Национальная атомная компания «Казатомпром» придерживается политики Казахстана по развитию исключительно мирного атома, активно содействует укреплению сотрудничества в сфере образования, науки и производства с партнерами со всех уголков мира.

Компания реализует комплекс мероприятий по оптимизации и расширению использования технологий, интеллектуальных ресурсов и экономического потенциала в минерально-сырьевом секторе Республики Казахстан.

Решение ключевых проблем в урановой промышленности невозможно без активного международного сотрудничества в области науки и технологий. Мировые тенденции в развитии атомной индустрии требуют тесной интеграции международных компаний, ученых и высококвалифицированных специалистов в научно-технической сфере.

Несомненно, широкий масштаб охвата проблем и высокий уровень представительности на конференции придает ей статус значимого события для мировой урановой индустрии как стратегически важной отрасли для Казахстана и других стран.

Уверен, что результаты конференции будут полезны всем участникам, а предложенные рекомендации найдут применение в дальнейшей деятельности каждого из нас.

Желаю вам крепкого здоровья, новых профессиональных достижений и успехов в научно-исследовательской работе и практической деятельности!

Председатель Правления
АО «НАК «Казатомпром» ***М. Юсупов***

Dear participants of the conference!

I am pleased to welcome you to the XI International Scientific and Practical Conference 'Development of the Uranium and Rare Metals Industry'.

This year's conference is timed to coincide with the 75th anniversary of our subsidiary, JSC Ulba Metallurgical Plant, which is one of the world's largest producers of uranium, beryllium and tantalum products.

The main objective of the conference is to provide the international community, developers and manufacturers of advanced materials, machinery and equipment with a platform for discussing and solving topical scientific and technical issues in order to facilitate the integration of nuclear industry companies.

The National Atomic Company Kazatomprom adheres to Kazakhstan's policy of developing exclusively peaceful atoms, and actively promotes the strengthening of co-operation in education, science and production with partners from all corners of the world.

The Company implements a set of measures to optimise and expand the use of technologies, intellectual resources and economic potential in the mineral resources sector of the Republic of Kazakhstan.

Solving key problems in the uranium industry is impossible without active international co-operation in science and technology. Global trends in the development of the nuclear industry require close integration of international companies, scientists and highly qualified specialists in science and technology.

Undoubtedly, the broad scope of issues covered and the high level of representation at the conference gives it the status of a significant event for the global uranium industry as a strategically important sector for Kazakhstan and other countries.

I am sure that the results of the conference will be useful to all participants, and the proposed recommendations will find application in the future activities of each of us.

I wish you good health, new professional achievements and successes in research work and practical activities!

Chairman of Managing Board of
NAC Kazatomprom JSC ***M. Yusupov***

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАЗВИТИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ДОБЫЧИ УРАНА ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Бойцов А.В., Ульянин Ю.А.
АО «Техснабэкспорт», г. Москва, Россия
Boytsov.A.V@tenex.ru

С целью гарантированного долгосрочного обеспечения своих сырьевых потребностей Росатом развивает действующие и новые перспективные добывающие и геологоразведочные урановые проекты в России и за рубежом. Российские уранодобывающие активы входят в состав холдинга «Атомредметзолото». Компания «Ураниум Уан Груп» консолидирует зарубежные урановые активы Росатома. Она, в свою очередь, входит в контур управления группы компаний АО «Техснабэкспорт» – ведущего мирового поставщика продукции ядерного топливного цикла.

С 2018 года Росатом входит в тройку лидеров по добыче урана среди компаний, лидирует среди урановых компаний по объему разведанных запасов в недрах и на втором месте по запасам в категории до 80 долл. за кг. Эти показатели были достигнуты благодаря развитию добычи урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) в Казахстане и России. С 2008 года производство урана Росатома увеличилась в два раза, при этом доля добычи методом СПВ возросла с 17 до 84%, из которых 63% произведено в Казахстане. Проекты диверсифицированы как географически, так и по всему производственному циклу: от геологоразведки в России и Намибии до строительства рудника в Танзании и промышленной эксплуатации месторождений в Казахстане и России.

Урановые активы гк «росатом» в россии

Российские уранодобывающие активы включают одно из старейших в мире урановых предприятий – Приаргунское производственное горно-химическое объединение им. Е.П. Славского (ППГХО) с подземными рудниками и два рудника СПВ Хиагда и Далур.

На 1 января 2023 года разведанные урановые запасы России составляли 704 952 т урана, из которых 70% принадлежат предприятиям «Атомредметзолото»:

- 9% относятся к действующим рудникам СПВ;
- 19% относятся к ППГХО с подземными рудниками;
- 72% относится перспективному подземному руднику Элькон.

В течение последнего десятилетия производство урана в России находилось в пределах 2500– 3000 тонн урана в год. Плавное снижение добычи подземных шахтным способом на ППГХО компенсируется ростом добычи методом СПВ. Так, с 2010 г. производство урана подземным способом снизилась на 66%, в то время как добыча методом СПВ выросла на 150%. В 2022 году производство составило 2508 тонн урана: 1002 т подземным способом и 1506 т произведено методом СПВ.

Ппгхо

Общее суммарное производство урана с 1968 года ППГХО составило 155 914 тонн, что делает его мировым лидером по этому показателю. Из произведенных в 2022 году 1002 тонн урана 906 т было извлечено за счет переработки добытой руды на гидрометаллургическом заводе и 96 т методом кучного выщелачивания.

В настоящее время действуют два подземных рудника: № 1 и № 8. Продолжается строительство наземного комплекса и объектов инфраструктуры рудника № 6 проектной производительностью 2300 тонн урана в год. Производство на руднике № 6 позволит восполнить выбывающие мощности и поддерживать производство на уровне 2000 тонн урана в год в течение последующего десятилетия.

Далур

Производственная мощность рудника СПВ Далур составляет 600 тонн урана в год. В 2022 году было произведено 585 тонн урана и около 600 кг оксида скандия как попутного компонента к урану. Месторождение Далматовское находится в промышленной эксплуатации с 2004 года, Хохловское – с 2019 года. На Добровольном месторождении в 2022 году завершена геологоразведка и построен завод для проведения опытной добычи. Его ввод в промышленную эксплуатацию запланирован на 2029 год.

Хиагда

Проектная мощность рудника СПВ Хиагда составляет 1000 тонн урана в год. По итогам 2022 года производство составило 920 тонн урана. В промышленной эксплуатации находятся пять месторождений: Хиагдинское, Вершинное, Источное, Количикан, Дыбрын. Три месторождения Намару, Коретконде, и Тетрахское полностью разведаны и планируются к освоению в будущем. Разведанные ресурсы обеспечивают текущую плановую производительность на следующие 20 лет.

Элькон

Перспективный рудник Элькон является одним из крупнейших в мире по ресурсной базе. Разведанные запасы урана составляют 357 146 т с содержанием 0.15% U. Попутные ресурсы золота, подсчитанные в контуре балансовых запасов урана, составляют 179 т при содержании 0.8 г/т. Согласно проведенным в конце 2000-х годов исследованиям и предпроектным работам, производительность рудника оценивалась в 5000 тонн урана в год.

В 2020 году начата опытная добыча золота из окисленных руд верхней части уран-золотого месторождения Северное. В 2022 году завершена разведка и произведено 500 кг золота методом кучного выщелачивания. Созданная инфраструктура будет использована для освоения урановых месторождений Эльконского района после 2035 года.

Зарубежные урановые активы гк «росатом»

Уран производится на семи рудниках с участием ГК «Росатом» в Казахстане методом СПВ. За последние десять лет добыча урана за рубежом увеличилась более чем в пять раз, достигнув в 2017 году максимума – 5063 т в российской доле владения. Дальнейший рост сдерживался неблагоприятными рыночными условиями. В 2023 году производство составило 4831 т урана.

Зарубежная сырьевая база урана Росатома увеличилась с 2012 года в два раза, причем ресурсы достоверных разведанных категорий Measured и Indicated (сопоставимы с российскими С1 и С2) выросли почти в три раза. На начало 2024 года она составляла 284 тыс. т урана (пропорционально доле владения), 87% из которых в категории Measured & Indicated и 73% в Казахстане. Все ресурсы относятся к низкой стоимостной категории по классификации МАГАТЭ менее 80 долларов за 1 кг урана. Основной рост ресурсной базы обусловлен открытием месторождения урана в Намибии и участием в СП Буденновское.

Разведанная сырьевая база и планируемые производственные мощности способны обеспечить дальнейший рост.

Казахстан

Росатом является крупнейшим зарубежным акционером в урановых проектах Казахстана. Через совместные с НАК «Казатомпром» СП в 2023 году он владел 23% от общей добычи урана в Казахстане и 24% от разведанных запасов урана распределенного фонда недр.

Уранодобывающие активы включают семь рудников общей проектной мощностью порядка 16 000 т урана в год, которыми владеют шесть совместных с АО «НАК «Казатомпром» предприятий. Шесть из семи рудников находятся в промышленной эксплуатации и один (СП Буденновское) в стадии завершения строительства и наращивания добычи для выхода на проектную мощность в ближайшие годы.

Есть основания считать, что наметившийся в последнее время рост мировых цен на уран положительно повлияет на скорейшее восстановление добычи до показателей, определенных контрактами на недропользование. При этом существуют определенные риски их достижения, связанные с дефицитом серной кислоты.

Сырьевая база пропорциональная российской доле в казахстанских СП на начало 2024 года составляла 184 тыс. тонн урана. Существенное увеличение ресурсов связано с получением в конце 2022 года 49% доли в новом

крупном уникальном казахстанском проекте руднике Буденновское проектной мощностью до 6 тыс. тонн урана, который включает участки №6 и №7 одноименного месторождения с общими ресурсами 120тыс.тонн.

Реализуемая совместно с АО «НАК Казатомпром» взвешенная инновационная техническая политика, применимая к уникальными по своим геологическим и технологическим характеристикам месторождениями в Казахстане, нацелена на оптимизацию производственных процессов.

Танзания

Месторождение Мкуджу Ривер в Танзании находится в высокой степени готовности к отработке карьером. Это одно из крупнейших в мире урановых месторождений с ресурсной базой 58 500 тонн U, из которых 47 900 тонн в категории Measured и Indicated. Технический проект уровня Feasibility Study для отработки месторождения карьерным способом с последующей переработкой на гидрометаллургическом заводе производительностью свыше 3000 т урана в год был разработан в 2013 году. В связи с низкими ценами на уран, в 2017 году работы по освоению месторождения были приостановлены.

В 2019 году было принято решение о проведении опытной добычи с запуском опытного производства в 2024 году. В 2020 разработан проект строительства пускового комплекса. В 2021–2022 годах восстановлены коммуникации и инфраструктура, вахтовый поселок, закуплено оборудование и завершено строительство опытного завода. В 2023 году завершено строительство основных производственных сооружений, проведена установка оборудования. Пилотный проект предусматривает сооружение небольшого опытного карьера и строительство пилотной перерабатывающей установки производительностью 15 500 т руды в год или 5 тонн урана в год. В результате будут апробированы заложенные в проект 2013 года технологические решения по добыче и переработке руд. Начало промышленной добычи запланировано на 2030 год и будет зависеть от конъюнктуры мирового уранового рынка.

Намибия

Богатый опыт российских геологов, приведший к открытию крупных урановых месторождений песчаникового типа для отработки методам СПВ в Казахстане, Узбекистане и в России, был успешно реализован в Намибии.

В 2010 году геологи госкорпорации «Росатом» и Всероссийского института минерального сырья в результате детального комплексного анализа геологической информации выделили в Намибии площади, перспективные на обнаружение месторождений песчаникового типа, контролируемых зонами пластового окисления. Ранее эта часть страны на уран не изучалась и поисковые работы там не проводились. Уже в 2012 году редкой сетью разведочных скважин были вскрыты две перспективные на уран зоны пластового окисления, близкие по своим характеристикам к казахстанским. Тем самым было доказано проявление уранового рудообразующего процесса, оценен сырьевой потенциал, выделена перспективная площадь с прогнозными ресурсами.

Возобновление геологоразведочных работ на уран стало возможным в 2018 году после снятия правительством Намибии моратория на выдачу новых урановых лицензий. С 2019 года компания приступила к системной масштабной геологоразведке, а в 2021 году завершен первый этап геологоразведки. Оценка ресурсов по кодексу JORC составила: Measured + Indicated 18 536 тонн, Inferred 22 977 тонн урана.

Оцененные ресурсы позволяют говорить об открытии крупного уранового месторождения со значительным сырьевым потенциалом, соответствующим масштабу урановорудной провинции. По своим геологическим характеристикам открытое месторождение аналогично казахстанским пластово-инфильтрационным месторождениям урана роллового типа, контролируемым региональными зонами пластового окисления.

Проведенные в 2018–2020 годах лабораторные испытания по выщелачиванию урана из руд подтвердили потенциальную возможность отработки месторождения методом скважинного подземного выщелачивания с использованием как кислоты, так и соды. Предварительное ТЭО 2021 года подтвердило высокую экономическую эффективность проекта.

Ключевым событием, подтверждающим технико-экономическую возможность применения метода СПВ, должны стать запланированные натурные опыты. Натурный опыт «конверт» включает четыре закачные, одну откачную, четыре наблюдательные скважины и перерабатывающий комплекс. В 2022 году участок был подготовлен к проведению опыта. Начало опыта связано с получением необходимых согласований от местных регуляторов.

Следует отметить, что метод СПВ в Намибии был ранее неизвестен и поэтому вызывает опасения у местного населения. Росатом и его подразделения проводят планомерную систематическую разъяснительную работу с заинтересованными сторонами для демонстрации его экологической безопасности.

Выводы

Надежная и высококачественная сырьевая база в совокупности с значительными действующими и планируемыми производственными мощностями способны обеспечить дальнейший рост производства урана и гарантируют устойчивое долгосрочное обеспечение сырьевых потребностей Росатома.

Приоритетными направлениями развития являются:

- Развитие добычи урана на действующих рудниках и подготовка к освоению новых месторождений,
- Развитие сырьевой базы урана за счет геологоразведки в определившихся и в новых регионах,
- Диверсификация в новые полезные ископаемые, с фокусом на литий, редкие и редкоземельные металлы,
- Внедрение прогрессивных цифровых технологий в проектирование и управление производством.

GLOBAL URANIUM EXPLORATION, RESOURCES, PRODUCTION, AND DEPOSITS: THE IAEA'S RED BOOK, UDEPO DATABASE, AND NEW DEVELOPMENTS

Mihalasky M.J.
International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
m.mihalasky@IAEA.org

The IAEA provides support to 178 Member States through several nuclear fuel cycle programmatic areas. To help ensure sustainability of uranium fuel supply for the current and future fleet of nuclear power plants, the IAEA directly engages approximately 50 Member States that have, or wish to initiate, activities related to the uranium production cycle.

To enhance support to Member States' efforts to develop new, or refine existing national uranium production cycle programmes, the IAEA provides a number of publications, databases, and technical training workshops and meetings/conferences relating to uranium deposit geology and metallogeny, deposit type classification and mineral systems models, and statistical data on global uranium deposit distribution and resources.

This presentation provides an overview of recent developments related to the Joint OECD-NEA/IAEA biennial global survey, "Uranium Resources, Production and Demand" (also known as the "Red Book"), the new Red Book database, and the IAEA's "World Distribution of Uranium and Thorium Deposits" database (UDEPO).

Keywords: International Atomic Energy Agency; IAEA; Uranium Production Cycle, Uranium Resources, Production and Demand; Red Book; World Distribution of Uranium and Thorium Deposits; UDEPO; ThDEPO

CLIMATE, SUSTAINABILITY, ENERGY TRANSFORMATION

Verbruggen, A.
University of Antwerpen, Antwerp, Belgium
Aviel.verbruggen@uantwerpen.be

Abstract. Climate, sustainability, and energy transformation are interwoven issues of global interest. While extensive scientific study of every issue is needed, only integration of knowledge can deliver comprehensive and consistent strategies. Irreversible and huge impacts of climate change require urgent, drastic, and global mitigation action. Given that fossil fuels cause over three-quarters of greenhouse gas emissions, changing energy use is crucial. The exclusive future energy carrier is electricity harvested from sunlight and wind currents, surfing on technological improvement and cost decline. Thermal power generation dependent on intricate fuel cycles and on extensive water cooling, cannot compete nowadays with new technologies for direct harvesting power from sunlight and wind. The gap is growing in financial accounting and in terms of sustainability, which also includes economic prosperity. Atomic power competes with PV and wind power for priority delivery in the merit order of integrated electric systems. Priority for the one destroys the business case of the other.

Keywords:
- irreversible climate change
- electricity as future exclusive energy carrier
- thermal power generation is burdened by fuel and cooling cycles
- incompatibility of inflexible electricity supply technologies

URANIUM MINING IN JORDAN: AN ATTRACTIVE INVESTMENT OPPORTUNITY

Professor Mohammad Al-Shannag
General Manager of Jordan Uranium Mining Company

Jordan uranium project is one of the main pillars of the nuclear program directed by the Jordan Atomic Energy Commission (JAEC). The project aims to sustainably produce uranium to ensure a safe supply of nuclear fuel for clean electricity generation in the future and to enter into investment opportunities in the global uranium market. JAEC is actively pursuing investment opportunities in uranium mining found in carbonate, phosphate, and sandstone ores in Jordanian territories. To achieve this goal, JAEC established the Jordan Uranium Mining Company (JUMCO) in 2013 to be the commercial arm of the government of Jordan in uranium exploration and mining. It is worth mentioning that the company conducted extensive exploration activities in Central Jordan to determine uranium resources according to the international Joint Ore Reserve Committee (JORC) codes. Reports estimated the presence of 42,000 tons of uranium oxide (U3O8) in the central Jordan area. Additionally, it is noteworthy that Jordan's phosphate ore presents an interesting potential source for uranium production, including the extraction from weak phosphoric acid production streams. This attractive work stream positively affects the selling prices of high-purity phosphoric acid, with uranium being a valuable byproduct.

The hydrometallurgical tests developed by JUMCO have succeeded effectively in purifying and concentrating uranium yellowcake from central Jordan ores. Furthermore, successful steps and major milestones were achieved in the design and engineering of the uranium extraction process. The uranium pilot-plant was designed and constructed at the JUMCO campsite and was fully commissioned in 2021. Currently, tens of tons of uranium ore are processed in the pilot-plant to produce several kilograms of uranium concentrate (yellowcake). This breakthrough provides the essential data for detailed engineering designs and economic feasibility studies.

JUMCO is currently developing several scenarios to enhance the economics of the project. For example, JUMCO is currently undertaking practical experiments focused on the separation of value-added uranium-associated elements, including vanadium oxides.

It is worth mentioning that the significant increase in global uranium prices in the past few months has attracted the attention of regional and international companies seeking investment opportunities in uranium mining. Thus, the abundance of uranium in Jordanian territories coupled with favorable global market conditions, makes the uranium mining sector in Jordan an important investment opportunity to substantially contribute to the economic enhancement of Jordan.

EXTRACTION OF RARE EARTH ELEMENTS USING SUSTAINABLE GREEN IONIC LIQUIDS

Mrutyunjay Panigrahi
School of Mechanical Engineering, Vellore Institute of Technology, Chennai–600127, Tamil Nadu, India
E-mail: mrutyunjayjapan@gmail.com

Abstract. Rare earth elements (REEs) are used in most advanced technologies – basically as catalysts and in magnets. These are essential components for critical defense and homeland security applications, "green" energy technologies, hybrid and electric vehicles, and high-value electronics. Therefore in recent years, the demand for REEs has excessively increased.

Advancements have been made in the liquid–liquid extraction of REEs by using extractants in conventional organic solvents. Nevertheless, these techniques often produce large volumes of aqueous waste, which is undesirable owing to increasing concerns regarding environmental pollution and human health. Therefore, a modern, green, and environmentally friendly metal-processing technique that utilizes low temperatures and allows for control of metal speciation and impurities has been developed. Hence, ionic liquids (ILs) have been recognized as prospective alternatives to their unique properties.

The most effective IL extraction solvents for REE chloride was conducted using a theoretical conductor-like screening model for real solvents (COSMO–RS) based on quantum chemistry and the statistical thermodynamics of predefined REE chloride–IL systems. The thermodynamics of the extraction process were predicted with the COSMO–RS method. The quantum chemistry package of Turbomole was used to optimize geometrics of all molecules, while solute–solvent interactions were calculated using the COSMOthermX software.

The REEs extraction was studied by mixing aqueous solutions of REE chloride with the selected ILs. The organic and aqueous phases were stirred at room temperature. The mixture was then centrifuged to separate the organic and aqueous phases. The REE content in the initial aqueous solution and final aqueous phase after extraction was determined using ICP–AES.

To elucidate the coordination structure of REEs ion, FTIR and Raman spectroscopy were carried out. It was observed that the extraction efficiency decreased with increasing REE contents in aqueous solutions. It was noted that decreasing the pH of aqueous solutions resulted decrease in extraction efficiency. From the FTIR and Raman analysis, it was noticed that the negatively charged oxygen atom provides attractive interactions for the extraction of REEs ion from aqueous solutions.

Apart from the above, a novel approach has been made to evaluate the extraction mechanism of REEs using the selected IL through nuclear magnetic resonance (NMR) and magnetic resonance imaging (MRI) techniques. This demonstrates the exciting potential of NMR and MRI technique to confirm and visualize the extraction mechanism of REE ions using ILs and to identify new task specific ILs enabling us to achieve efficient recovery of rare metals. Furthermore, the most effective reagents such as HCl and HNO_3 were used for stripping in the recycling of REE ions from all IL– metal complexes. Therefore, recycling green IL solvents can reduce the lifecycle cost of these expensive solvents.

Keywords: REEs; COSMO–RS; IL; liquid–liquid extraction

ГИБРИДИЗАЦИЯ В ТРИАДЕ «ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО»

Жарменов А.А.
РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Алматы, Казахстан
nc@cmrp.kz

АННОТАЦИЯ. В рамках настоящей работы рассмотрено реформирование взаимодействия между такими социальными институтами как образование, наука и производство, нацеленное на усиление научного потенциала страны. Обозначены предпосылки кадрового дефицита в отечественной науке и проблемы подготовки научных кадров высшей квалификации. Обсуждены вопросы нарушения научной этики в ходе объявленного конкурса на **избрание академиков Национальной академии наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан**. Раскрыты риски централизации науки в вузах и превращения научных организаций в заводские лаборатории. Представлены основные достижения Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан в период деятельности на рынке научно-технической продукции в горно-металлургической отрасли. Предложены эффективные меры реализации принципа управления научной и научно-технической деятельностью посредством интеграции науки, образования и производства.

Ключевые слова: образование, наука, производство, интеграция, гибридизация, научная этика, научные организации, вузы, коммерциализация научных разработок

“EDUCATION - SCIENCE – PRODUCTION” TRIAD HYBRIDIZATION

Zharmenov A.A.
National Center on Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan RSE, Almaty, Kazakhstan
nc@cmrp.kz

ABSTRACT. Within the framework of this work, the reform of interaction between such social institutions as education, science and production, aimed at strengthening the intellectual assets of the country, is considered. The requisites for a staff shortage in national science and the problems of training of highly qualified scientific personnel are demonstrated. The issues of scientific misconduct during the announced competition for the election of academicians of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan have been discussed. The risks of centralization of science in higher educational establishments and transformation of scientific organizations into factory laboratories are disclosed. The key accomplishments of the National Center on Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan during the period of activity in the sci-tech market in the mining-and-metallurgical industry are presented. The stringent measures for the implementation of the principle of managing scientific and scientific-technical activities through the integration of science, education and production are proposed.

Keywords: education, science, production, integration, hybridization, scientific ethics, scientific organizations, higher educational establishments, commercialization of scientific developments

События мирового и республиканского масштаба последних пяти лет явились сигналом, побуждающим к переосмыслению дальнейшего вектора развития отдельно взятого индивида, компании, страны и цивилизации в целом. Образование, наука, индустрия исторически выступали важными, тесно взаимосвязанными отраслями соответственно непроизводственной сферы и материального производства. С течением времени, к сожалению, в нашем обществе утратили свою ценность как сами понятия «наука», «образование», так и институты науки и образования. Отрадно, что в настоящее время в стране наметилась положительная динамика возрождения значимости этих институтов.

Глава государства К.К. Токаев планомерно реализует политику, направленную на развитие отечественной науки как стратегически важного приоритета. При Президенте РК сформирован Национальный совет по науке и технологиям, создается Национальная академия наук, которой присвоен государственный статус. Существенно растет бюджет науки. Все это накладывает большую ответственность на нас, ученых перед Президентом и народом республики и за организацию науки, и за плоды ее деятельности. В данный переломный момент нельзя равнодушно наблюдать за происходящими процессами. В этой связи хотелось бы поделиться мыслями на тему происходящих **реформ в триаде «образование – наука – производство».**

Тройственное сочетание данных понятий ассоциируется с равносторонним треугольником. Образование готовит кадры для науки и производства, в научной среде рождаются кадры высшей квалификации, идеи и технологии для модернизации действующих и создания новых предприятий, производство выступает и в качестве площадки для апробации новых умов и технологий, и в качестве источника пополнения бюджета для финансирования (среди прочих) рассматриваемых социальных институтов. К сожалению, правильная **задача усиления взаимодействия между составными компонентами рассматриваемой триады подменяется их гибридизацией**, очевидно, в ожидании того, что гибридные организмы будут более выносливыми и устойчивыми к вызовам современности. Однако данный процесс очень сложный, особенно когда речь идет о межотраслевой рекомбинации. Необходимо учитывать риски создания неудачных продуктов.

Термином «гибридизация» оперируют ученые в разных отраслях науки. Для меня в этом слове заложен классический для понимания химика смысл - **смешивание разных атомных орбиталей,** характеризующихся разной энергией и формой, вносящих свой собственный вклад в образование молекулы как структуры более высокого порядка. Этот процесс сопровождается выравниванием энергии и изменением формы исходных атомных орбиталей **с образованием новых одинаковых**, называемых гибридными. Ключевое значение сокрыто в слове «одинаковых». Таким образом, говоря о гибридизации науки, образования и производства я подразумеваю создание новых гибридных институциональных форм, одинаково ослабленных по сравнению с оригинальными в результате размывания границ деятельности традиционных институтов, включая их индивидуальные цели и задачи, за счет усреднения сильных сторон одних и слабых сторон других.

Так, **вызывает опасение централизация науки в вузах.** Ставка делается на молодые умы, сосредоточенные в институтах образования. По официальной статистике, озвученной Президентом страны, из числа студентов, окончивших докторантуру в 2023 г., защитилась примерно только третья часть, и менее половины остались в науке. В этой связи возникает два вопроса:

1. Насколько оправдан или, более точно, оправдался ли запрет 2011 г. (см. Закон РК «О науке» от 18.02.2011 г.) на подготовку кадров высшей квалификации в научных организациях?
2. Насколько оправдан современный крен в сторону развития университетской науки **вместо** классической организации науки в научных организациях?

Представляется, что происходит **замещение науки университетским учебным процессом**. А это заведомый путь к полному разрушению фундамента науки, который еще сохранился и пытается выстоять. Невольно вспоминается учение марксизма-ленинизма о том, что при строительстве чего-то нового не следует разрушать старое до основания. Тем более, что совсем недавно природа очень жестко указала нам на наши ошибки. Какие еще более мотивирующее события должны произойти, чтобы, сподвигнуть нас, отбросив неуместные амбиции, приступить к **созданию по-настоящему сильной науки, опирающейся на крепкий союз равноправных партнеров «научные организации – вузы – промышленные предприятия».**

Положительные примеры такого взаимодействия есть. Например, **на базе Национального центра по комплексной переработке минерального сырья РК** (НЦКПМС РК) **функционирует кафедра Казахского национального университета им. аль-Фараби «Технологии металлов и минералов».** Если говорить о подготовке докторов PhD, на кафедре 100% защищаемость докторантов с присвоением искомой степени.

Филиал РГП «НЦКПМС РК» Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева (ХМИ) **совместно с Карагандинским техническим университетом** (КарТУ) создали **инновационно-образовательный консорциум «Корпоративный университет»** (КУ), нацеленный на привлечение молодежи в науку через подготовку высококвалифицированных специалистов для решения конкретных задач по обеспечению развития предприятий горно-металлургической отрасли. В КУ успешно реализуется идея дуального образования. Студенты всех ступеней обучения КарТУ проходят производственную практику в ХМИ. Организация качественной производственной практики – важный этап в подготовке специалиста. Сейчас не об этом речь, поскольку студенты разных вузов страны проходят практику во всех филиалах НЦКПМС РК. В рамках Корпоративного университета на базе ХМИ проходят защиты дипломных работ бакалавров и магистерских диссертаций. Ученые ХМИ им. Ж.Абишева отбирают и приглашают на работу самых перспективных для занятия научно-исследовательской деятельностью молодых специалистов.

Еще один нюанс в работе Корпоративного университета следует отметить. Касается он использования исследовательского оборудования. Не секрет, что в плане модернизации материально-технической базы в бюджете вузы занимают приоритетное положение по сравнению с научными организациями. Однако не всегда вузу самостоятельно удается запустить такое оборудование в работу. На помощь приходят наши специалисты, которые **также в последнее время стали привлекаться и для совместного руководства**

при подготовке докторов PhD по тематикам работ, выполняемым в НЦКПМС РК. Я не случайно затронул этот вопрос.

На заседании Национального совета по науке и технологиям, приуроченном ко Дню работников науки Казахстана, Президент страны отметил, что **в 1990-ые годы мы потеряли 40 тыс. ученых**. В условиях, когда было необходимо восполнять и наращивать кадровый потенциал, принятие вышеупомянутого закона «О науке», наверное, из лучших побуждений - с ориентиром на повышение качества, сыграло злую шутку. Научные организации потеряли молодые кадры, у которых была отнята перспектива научного роста. Единицам удавалось поступать в докторантуру, поскольку количество выделяемых грантов было мизерным. Однако они оказались заложниками несовершенства новой для того времени системы послевузовского образования.

Вузы категорично препятствовали назначению научными консультантами сотрудников научных организаций. Докторанту утверждали супервайзера из штата университета и тему диссертации. Соответственно докторант не мог использовать наработки по исследованиям, выполненным в научной организации, и по этическим соображениям, и в силу некомпетентности научного консультанта в данном вопросе. В результате за годы обучения в докторантуре молодой исследователь просто физически не успевал выполнить исследования качественно и в полном объеме и защитить диссертацию в срок. Он возвращался недоученным, т.е. без степени в научную организацию либо, разочаровавшись, вообще уходил из науки. Закономерен вопрос: кто и что выиграл в этой ситуации? Государство тратило определенные средства без ожидаемой отдачи, молодому человеку подрезали крылья на взлете, наука не получала молодых специалистов, столкнувшись с проблемой старения кадров, научный потенциал страны уверенно катился вниз.

Честности ради надо сказать, что вплоть до недавнего времени практика выполнения докторантами-сотрудниками моей организации диссертаций по теме исследований НЦКПМС РК под официальным руководством преподавателями вузов, не имеющих отношения к теме работы, имела место быть. Мы были вынуждены идти на этот шаг, давая возможность нашим ребятам реализовать себя в качестве молодых ученых. В результате мы получили остепененные молодые кадры, но не выдерживаем рейтинг по количеству консультантов или руководителей докторов философии PhD. Думаю, аналогичная ситуация характерна для всех научных организаций, не входящих в состав вузов. Об этом можно было бы умолчать, если бы не **конкурс на избрание академиков Национальной академии наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан (далее – Академия), объявленный Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.**

Ученые научных организаций, не входящих в состав вузов, выполняя априори иные задачи нежели ученые вузов, на протяжении последних более десяти лет были лишены возможности работать над повышением своих наукометрических показателей. По сути, заведомо находясь не в равных условиях, представители самостоятельных научных организаций и вузов оказались перед лицом одинаковых требований. Сегодня в наш лексикон достаточно прочно вошел термин о научной этике. Не является ли нарушением научной этики требование соответствия одинаковым критериям, предъявляемое ученым разных категорий? Выполняя поручение Президента страны, мы ратуем за **создание промышленно ориентированной науки**. Претендент в академики в пятилетней программе своей деятельности должен запланировать создание производства, стартапа и т.п. **В этой связи было бы логично в квалификационные требования к претенденту в академики ввести критерий наличия внедренных разработок.** Деятельность ученых научных организаций, вплотную работающих с промышленными предприятиями, просто-напросто обнуляется. Опубликовать статью – важно, никто не спорит. Однако это не является основанием для принижения значимости освоения научных результатов на практике.

В производственном процессе отечественных и зарубежных предприятий освоено 159 технологий и разработок, созданных в стенах моей организации – Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан! Я всякий раз с гордостью говорю о самых значимых достижениях, в числе которых:

- Реконструкция фосфорного и карбидного производств, их **перепрофилирование на выплавку марганцевых сплавов** из руд месторождений Богач, Караадыр. Организация **производства ферромарганца** из руд месторождения Ушкатын и казахстанских углей на Челябинском электрометаллургическом заводе в России и **рафинированных марок феррохрома** на Актюбинском ферросплавном заводе.

- Производство высококачественного радиогенного стабильного изотопа осмия-187, благодаря которому **Казахстан вошел в тройку стран-лидеров по производству стабильных изотопов.**

- Производство низкозольного спецкокса для ферросплавных и фосфорных предприятий, получения чистого кристаллического кремния на основе разработанной технологии получения высокореакционных углеродистых восстановителей нового поколения.

- Выпуск отечественных огнеупорных материалов широкой номенклатуры, **освоенных в промышленных масштабах** в АО «АрселорМиттал Темиртау», АО «ТНК «Казхром», ТОО «Корпорация «Казахмыс», ТОО «Казцинк».

- Запуск в эксплуатацию (2013-2014) с выводом на проектную мощность (2018-2019) двух новых заводов в КНР и модернизированной КИВЦЭТ установки Portovesme в Италии на основе лицензионных договоров на использование модернизированного КИВЦЭТ-процесса и соответствующего агрегата для переработки низкокачественного свинецсодержащего сырья. КИВЦЭТ-установки действуют в Канаде, Италии, КНР, ежегодно выплавляя десятую часть (420 тыс. тонн) металла от мирового производства первичного свинца.

- Ввод в действие более **20 установок кучного выщелачивания, включая комплексы для последующей переработки насыщенных смол с получением сплава Доре на месторождениях Жалтырбулак, Васильевское, Бельсу. Построены и запущены в эксплуатацию заводы ДОРЕ в Усть-Каменогорске, Семипалатинске и Степногорске, золотомедный перерабатывающий завод ЗАО «Варваринское», ЗИФ на месторождениях Акбакай, Пустынное** на основе разработанных технологий переработки труднообогатимых золотосодержащих руд**, аффинажный завод в Астане** по разработанному рабочему проекту, **первый в Казахстане и второй в мире производственный цех горячего цианирования HiTeCC на участке «Суздальский»**. «Золотые технологии» также **внедрены на золотоизвлекательных фабриках в Кыргызстане, Узбекистане, КНР.**

- Запуск в эксплуатацию сернокислотного завода в Кызылординской области по разработанному рабочему проекту.

- Освоение на месторождениях Аяк-Коджан, Актогай, Алмалы, отвалах Коунрада комбинированных обогатительно-гидрометаллургических **технологий переработки низкосортного медьсодержащего сырья с суммарной производительностью более 50 тыс. тонн катодной меди в год и объемом реализации до $350 млн в год.** По разработанным технологическим регламентам запущены 2 обогатительные фабрики по переработке сульфидных и каолинизированных руд Бозшаколя производительностью по сырью 25 и 5 млн тонн в год, соответственно.

- Запуск участка по рафинированию селена по разработанному рабочему проекту и участка переработки драгметального шлака Балхашского медеплавильного завода по уникальной инновационной технологии восстановительной электроплавки в ТОО «Kazakhmys Progress (Казахмыс Прогресс)».

- Реализация **«технологии века» в области металлургии** – производства сплава несовместимых металлов, в числе которых железо и алюминий, под названием «Казахстанский» в Кыргызской Республике. Прорабатывается вопрос организации ферросплавных заводов в Бразилии и Монголии.

Общий объем инвестиций в эти производства насчитывает не менее $3,5 млрд с ежегодным выпуском продукции на сумму более $4-$4,5 млрд.

Мои институты работают преимущественно на договорной основе с производственниками. Практически каждый договор содержит пункт о неразглашении данных, результатов выполнения исследований. Это реальный сдерживающий фактор повышения публикационной активности наших сотрудников. Очевидно, назрела необходимость на государственном уровне пересмотреть отношение к вопросу о конфиденциальности договорных отношений в области научных исследований. В проекте закона РК «О науке и научно-технологической политике», одобренном Мажилисом Парламента РК (далее – законопроект), регламентировано, что исключительные права на результаты научной и (или) научно-технической деятельности, созданные в рамках выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ субъектами научной и (или) научно-технической деятельности совместно с субъектами частного предпринимательства, квазигосударственного сектора, принадлежат им совместно, если иное не оговорено в договоре между ними. Я не говорю о правах на результаты научно-исследовательских работ (НИР). Я задаюсь вопросом, **почему научные организации, выполняя НИР в рамках сотрудничества с субъектами частного предпринимательства, не могут открыто упоминать даже предмет договора**. Такое молчание, во-первых, бьет по имиджу научной организации со всеми вытекающими последствиями, во-вторых, сдерживает работу по популяризации науки, весьма актуальной в наши дни.

Принимая во внимание планируемые **государственные меры стимулирования развития науки, государственно-частного партнерства в области научной и научно-технической деятельности**, декламируемые на уровне Министерства науки и высшего образования РК, можно ожидать **угрозу превращения научных организаций в заводские лаборатории** при промышленных предприятиях, а **ученых из двигателей науки - в лаборантов**, обеспечивающих поиск научно-практических решений для повышения технологичности промышленных производств на бюджетные деньги, далеко не соответствующие по стоимости умственным затратам ученого. К сожалению, **такая форма**

государственной поддержки может стать якорем научной мысли и источником формирования науки одновекторной направленности.

Поскольку моя организация работает в сфере горно-металлургической отрасли, считаю уместным напомнить, что **итогом конституционных реформ, выполненных после поручений Президента К.К. Токаева, явилось закрепление в основном законе Казахстана нормы о том, что земля и ее недра, воды, растительный и животный мир, другие природные ресурсы принадлежат народу,** от лица которого право собственности осуществляет государство. Очевидно поэтому, научные организации, не раскрывая коммерческую тайну договоров с субъектами частного предпринимательства в горно-металлургической отрасли, не просто должны иметь право, а **обязаны информировать государство как рачительного хозяина об эффективности переработки руд** того или иного месторождения по результатам научных исследований. Соответствующим же государственным структурам было бы полезно **вести мониторинг освоения месторождений**: какие технологии используются, какой показатель извлечения полезных компонентов может быть достигнут, какой на самом деле обеспечивают недропользователи, почему полезные элементы, не представляющие интерес для недропользователя в силу определенных причин, отправляются в отвалы.

Решение этих вопросов откроет возможность государству получать максимальную прибыль, научной организации – публиковать научные труды, повышая свой корпоративный имидж, **молодым ученым – выполнять качественные диссертационные исследования** прикладного характера с реальной перспективой их коммерциализации. В целом это позволит полноценно реализовать предусмотренный в законопроекте РК «О науке и научно-технологической политике» принцип управления научной и научно-технической деятельностью посредством интеграции науки, образования и производства при сохранении их идентичности, в отличие от гибридизации, размывающей не только индивидуальность, но и ответственность рассматриваемых социальных институтов, призванных служить развитию и укреплению государства.

Секция 1

Геология, геотехнология и горно-подготовительные работы

Section 1

Geology, geotechnology and mining-preparatory work

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КАРОТАЖА (ШУ-САРЫСУСКАЯ УРАНОВАЯ ПРОВИНЦИЯ КАЗАХСТАНА)

Асирбек Н.А.[1,2], Садуов А.[2], Шарапатов А.[2]
[1]Геологическая партия филиала ЦОМЭ, АО «Волковгеология», г. Алматы, Казахстан
[2]Кафедра геофизики и сейсмологии, Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Изучены аналитические связи между параметрами геофизических полей в скважине и фильтрационно-емкостным показателем рудовмещающих пород – песков. Статистическая обработка проведена с обеспечением представительности/репрезентативности выборки в используемых материалах по кернам и данных электрических методов каротажа – кажущихся сопротивлений (КС), индукционного метода (ИК). В результате проведенных расчетов получены тренды в связях между значениями скважинных электрических полей и значениями коэффициента фильтрации песков разного гранулиметрического состава. Погрешность значений фильтрационного свойства песков по расчетным графикам КС-керн и ИК-керн в пределах норм, установленных в отрасли и полученные в отчетах по другим месторождениям урана Шу-Сарысуской провинции.

Ключевые слова: урановые горизонты, рудовмещающие породы, статистические данные, электрические методы каротажа, фильтрационные свойства

STUDYING THE PROPERTIES OF ORE-BEARING ROCKS ACCORDING TO ELECTRICAL LOGGING METHODS (SHU-SARYSU URANIUM PROVINCE OF KAZAKHSTAN)

Assirbek N.A.[1,2], Saduov A.[2], Sharapatov A.[2]
[1]Geological unit branch of CEME, JSC "Volkovgeologiya, Almaty, Kazakhstan
[2]Department of Geophysics and Seismology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The analytical relationships between the parameters of the geophysical fields in the well and the filtration-capacitance index of ore–bearing rocks – sands have been studied. Statistical processing was carried out to ensure the representativeness/representativeness of the sample in the core materials used and data from electrical logging methods – apparent resistances (AR), induction log (IL). As a result of the calculations, trends in the relationships between the values of borehole electric fields and the values of the filtration coefficient of sands of different granulometric composition were obtained. The error in the values of the filtration properties of sands according to the calculated charts of the AR-core and roll within the limits of the norms established in the industry and obtained in reports on other uranium deposits of the Shu-Sarysu province.

Keywords: uranium horizons, ore-bearing rocks, statistical data, electrical logging methods, filtration properties

ЭЛЕКТРЛІК КАРОТАЖ ӘДІСТЕРІ БОЙЫНША РУДАЛЫ ТАУЖЫНЫСТАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ (ШУ-САРЫСУ УРАН ПРОВИНЦИЯСЫ, ҚАЗАҚСТАН).

Әсірбек Н.А.[1,2], Садуов А.[2], Шарапатов Ә.[2]
[1]ЦОМЕ филиалының геологиялық партиясы, «Волковгеология» АҚ, Алматы қ., Қазақстан
[2]Геофизика және сейсмология кафедрасы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аңдатпа. Ұңғымадағы геофизикалық өрістердің параметрлері мен рудалы таужыныстар құрамындағы құмдардың сүзу – сыйымдылық көрсеткіші арасындағы аналитикалық байланыстары зерттелді. Статистикалық өңдеу өзектер бойынша пайдаланылатын материалдардағы іріктеменің өкілділігін/ репрезентативтілігін және электрлік каротаж әдістерінің деректерін – көрінерлік кедергілер (КК), индукциялық каротаж (ИК) қамтамасыз ете отырып жүргізілді. Жүргізілген есептеулер нәтижесінде ұңғымалық электр өрістерінің мәндері мен әртүрлі гранулометриялық құрамдағы құмдардың фильтрлік коэффициенті арасындағы байланыстардың аналитикалық (регрессия теңдеуі) және графикалық трендтері алынды. КК-керн және ИК-керн графиктері бойынша анықталған құмдардың фильтрлік қасиеттерінің қателігі Шу-Сарысу провинциясының басқа уран кенорындары бойынша алынған нәтижелер мен салада белгіленген нормаларға сәйкес.

Тірек сөздер: уран горизонттары, рудалы таужыныстар, статистикалық деректер, электрлік каротаж әдістері, фильтрлік қасиеттер

Введение

Песчаниковый тип урановых месторождений относится к классу экзогенных эпигенетических (гидрогенных) и объединяет стратиформные месторождения, в которых урановая минерализация совместно с рядом сопутствующих элементов (редкоземельных металлов, Mo, Re, Se, V) размещается в слабо- и нелитифицированных отложениях мезозойско-кайнозойских осадочных бассейнов (впадин) в чехлах древних и молодых платформ. Несмотря на низкое содержание урана в рудах, песчаниковый тип месторождений считается наиболее продуктивным, а благодаря возможности применения подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) также и наиболее рентабельным.

Пластово-инфильтрационные, сформированные в условиях напорных пластовых (артезианских) инфильтрационных гидродинамических систем. Урановые руды залегают в проницаемых породах артезианских бассейнов и контролируются границами зона пластового окисления (ЗПО). Рудные залежи в них, как правило, имеют форму роллов – удлиненно-серповидных в поперечном сечении и лентовидных в плане тел (на основании чего эти месторождения часто называют ролловыми). Руды преимущественно рядовые и убогие.

Вопросы генезиса месторождений урана пластово-инфильтрационного типа в первую очередь связаны с вопросами миграции урана в пластовых водах и его осаждения на геохимических барьера. Считается, что в горных породах важнейшими осадителями урана, создающими восстановительную среду являются органические вещества, сульфиды, соединения железа, фосфаты, глинистые минералы. В подземных водах растворенные газы: сероводород, водород, углеводороды. При этом механизм возникновения урановой минерализации остается не выясненным [1].

Статистическая связь электрических параметров с фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) рудовмещающих пород

Электрические свойства горных пород не зависит от их минерального состава, так как удельное электрическое сопротивление основных породообразующих минералов (кварц, полевой шпат, ангидрит, галит), что соответствует первоклассным изоляторам. Проводимость основной группы осадочных горных пород (пески, песчаники, известняки, глины), минеральный скелет которых имеет практически бесконечное сопротивление, определяется лишь присутствием природной воды в порах породы. Удельное электрическое сопротивление воды на много порядков меньше сопротивления минерального скелета и изменяется.

Характеристика объекта исследования. При проходке скважины различные горные породы, приведенные в контакт с буровым раствором с удельным сопротивлением, изменяются неодинаково. Плотные, монолитные с минимальной пористостью породы не претерпевают изменения, и тогда буровой раствор контактирует со средой, физические свойства которой не изменены. Глинистые породы на контакте с буровым раствором, как правило, набухают, размываются и выносятся буровым раствором, в результате чего диаметр скважины в таких интервалах может значительно увеличиться, а на контакте глины с раствором образуется небольшой глубины зона, набухшей либо растрескавшейся чешуйками глины. Изменение физических характеристик пласта-коллектора мощностью, залегающего среди вмещающих

пород с удельным сопротивлением и обладающего значительными пористостью и проницаемостью, на контакте со скважиной бывает наиболее существенным. Вскрытие коллекторов всегда ведется при условии, что давление в скважине превышает пластовое. Это вызывает фильтрацию жидкости из скважины в пласт. При этом, если поровые каналы в коллекторе достаточно тонки и представляют собой сетку, как в фильтре, на стенке скважины образуется глинистая корка толщиной с удельным сопротивлением, а фильтрат бурового раствора проникает в пласт, создавая зону проникновения диаметром D с удельным сопротивлением.

Распределение урана по гранулометрическим классам осадочных пород. Гранулометрический анализ осадочных пород проводится с целью определения содержания в породе частиц различного размера (размерных фракций). Для обломочных пород гранулометрический состав является классификационным признаком. По размеру частиц породы подразделяются на ряд типов: исефиты (крупнообломочные), псаммиты (песчаные), алевриты (мелкообломочные), пелиты (породы с частицами <0,001 мм). Гранулометрический состав определяется условиями образования породы, динамикой среды и зависит от рельефа и состава первичного материала. Гранулометрический состав используется при реконструкции фаций, палеогеографической обстановки геологического прошлого. О характере распределения урана в осадочных породах судят по его распределению по гранулометрическим фракциям [2].

Проницаемость руд. Известно, что фильтрационные свойства пород зависят от вещественного состава алеврит-глинистой фракции рудных песков. При воздействии сернокислотных растворов с веществом пород, происходит уменьшение коэффициента фильтрации. Поэтому изучение минерального состава тонких фракций рудных песков позволяет прогнозировать изменение проницаемости пород при движении выщелачивающих растворов [3].

Водопроницаемые свойства пород сильно зависят от минерального состава алеврит-глинистой фракции. Известно, что при добавлении к кварцевому песку 10% бентонита (монтмориллонита, смектита) водопроницаемость его уменьшается в 10 000 раз.

Более проницаемые пески свойственны каолинитовому составу глинистого вещества. Менее проницаемые – монтмориллонитовому (смектитовому) [4].

Наблюдения показывают, что минералы урана образуют пленочные скопления на поверхности обломочных зерен, заполняют микротрещинки песчинок и по своему характеру распределения относительно доступны для выщелачивающих растворов [3].

Статистическое изучение связи между разными свойствами рудовмещающих пород и показаниями КС ранее проводились и по другим месторождениям района (Вершков А. Ф. и др. АО «Волковгеология» в 2005-2007 г.г.).

Результаты статистической обработки

Гранулометрический параметр D_{50} является общим. При изучении зависимостей $\rho_к$ и кажущуюся удельную электропроводность пород $\sigma_к$ (См/м) от гранулометрического состава наиболее тесная связь выявлена с медианным диаметром D_{50} (рисунки 1, 2). Зависимость может быть представлена в аналитической форме в виде уравнения регрессии $D_{50} = f(\rho_k)$ и $D_{50} = f(\sigma_к)$ графическом формате (рисунки 3, 4).

В последующем данное уравнение используется для определения значений $К_ф$ по данным КС и ИК по графикам/трендам: $К_ф = f(\rho_k)$ и $К_ф = f(\sigma_к)$.

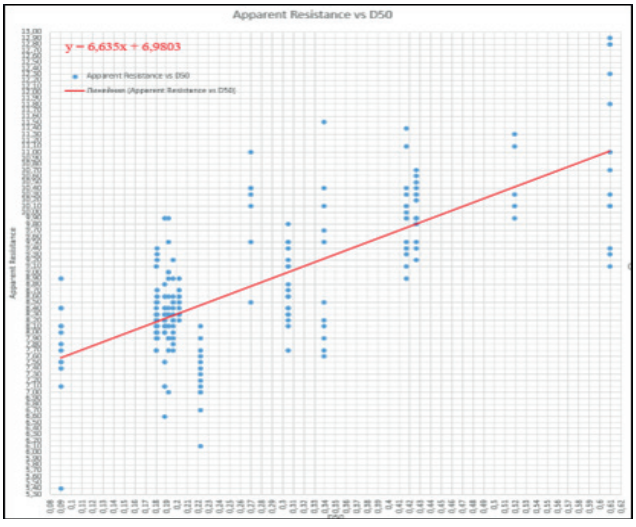


Рисунок 1 – График зависимости КС-D_{50}

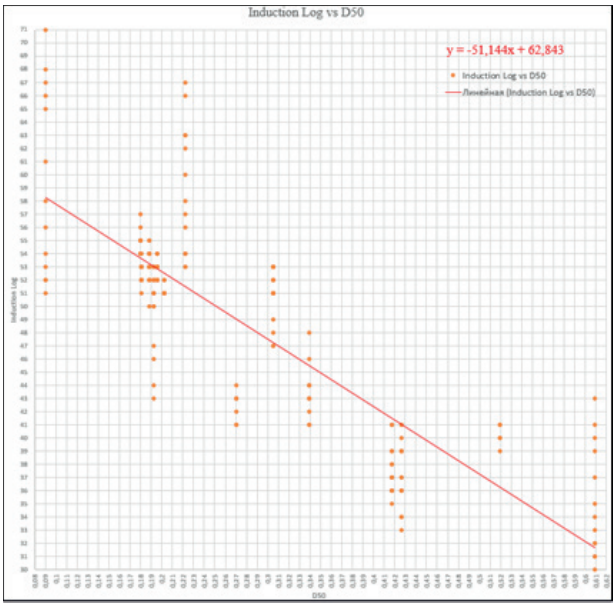


Рисунок 2 – График зависимости ИК-D_{50}

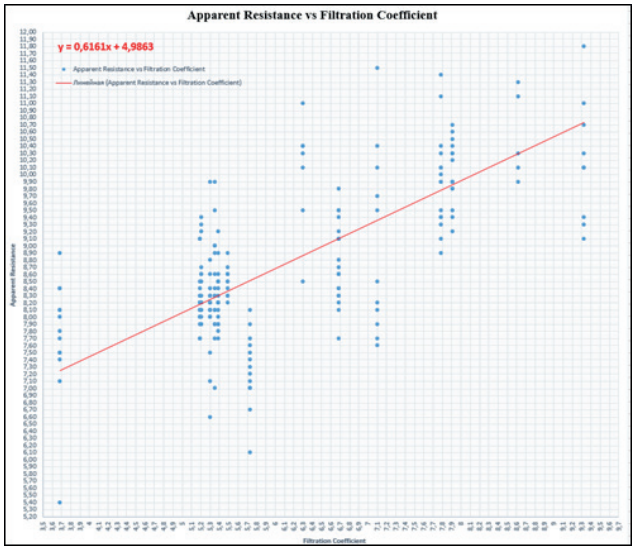


Рисунок 3 – График зависимости КС от $К_{Ф}$

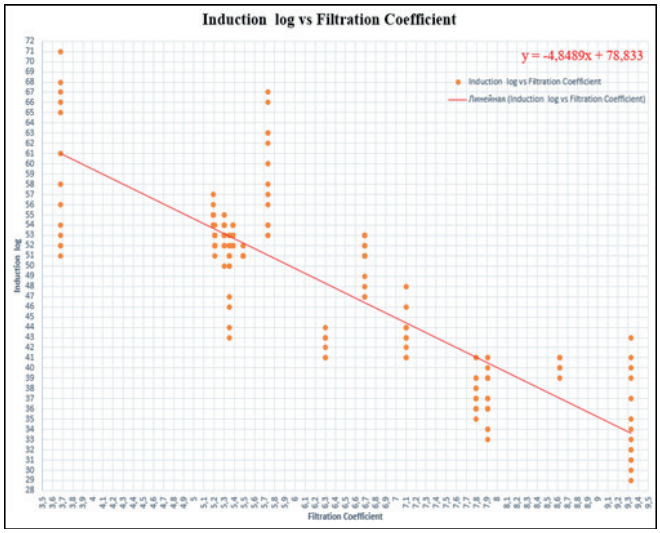


Рисунок 4 – График зависимости ИК от $К_{Ф}$

Объем выборки, использованные при построении уравнений регрессии:

- по КС – 218 показаний $\rho_к$ в Ом·м;
- по ИК – 218 показаний $\sigma_к$ в См/м;
- по D_{50}, $К_ф$ – 218 показаний по керновым материалам и опытных гидрогеологических откачек.

Полученные результаты относительные расхождения между значениями $К_ф$, определенными по электрическим методам каротажа КС, ИК и опытным гидрогеологическим откачкам составляет соответственно, 15.9 и 10.48 %.

Выводы

- Послойные значения Кф по данным электрокаротажа КС определяются с достаточной для практического их использования точностью.
- Результаты определений вполне могут быть использованы для практических целей при решении различных технологических задач.
- Полученные результаты могут использоваться в базе данных технологии искусственного интеллекта как элементы машинного и глубокого обучения прогнозного объекта и/или геологического разреза участков уранового оруденения гидрогенного типа [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Демехов Ю.В., Ибраев Б.М. и др. Геотехнология урана : Учебное пособие. – Алматы: Қазақ университеті, 2017. – 328 с.

2. Любимов Н.И., Морозов В.И. Физико-механические свойства рудовмещающих горных пород. – М.: Недра. – 1973. – 120 с.

3. Воронцов П.Ю. Влияние вещественного состава руд и вмещающих пород на процесс добычи и выщелачивания урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) на месторождениях пластово-инфильтрационного типа. Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сборник научных статей. – Пермь: ПГНИУ, 2022. – Вып. 25. – С. 34.

4. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. –М.: Наука, 1991. – 176 с.

5. Шарапатов А., Садуов А., Асирбек Н. Сравнительный анализ возможностей алгоритмов машинного и глубокого обучения в геологии. Научно-технический и производственный // Горный журнал Казахстана. – 2023. – №11(223). – Алматы. – С. 14–21. ISSN 2227-4766

THREE-DIMENSIONAL RESERVOIR MAPPING AND MODELING, URANIUM-BEARING UYUK (LOWER EOCENE) FORMATION, SOUTH TORTKUDUK URANIUM ROLL-FRONT DEPOSIT, CHU-SARYSU, KAZAKHSTAN

Abeuov A.[1], Madani, N.[1], Dillinger A.[1], Shahzad S.[1], Smagambetov, B.[2], Bolat Y.[3], Sagatbekov C.[3], Chanvry E.[4], and Fustic M.[1]
Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan
alibek.abeuov@nu.edu.kz
[1]Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. [2]University of Lorraine, Nancy, France. [3]Geosciences, KATCO JV LLP, Kazakhstan. [4]Recherche, Orano, France

Abstract. Geological tools and principles are utilized to identify and map an about 15m thick reservoir unit of the Uyuk Formation (Lower Eocene) in the South Tortkuduk uranium field located in southern Kazakhstan. The study area covers 45 hectares suitable for placing 98 development production cells for in-situ leaching technology.

The workflow includes recognition of reservoir units in cores and logs (1D interpretation) and their conceptual mapping in cross-sections and slice maps (2D interpretation) followed by the creation of three-dimensional surfaces and geobodies between a set of parallel cross-sections (Fig. 1). These steps allowed for conceptual mapping and sound delineation of the reservoir (porous) and non-reservoir facies associations such as floodplain and mud plug deposits and their three-dimensional visualization (Fig. 2). The comparison of mapped architectural elements with uranium mineralization explains roll-front deviations from classical nose-wing shape and suggests similarities between the petroleum fill-and-spill migration concept with uranium migration in compartmentalized reservoirs (Fig. 3). Specifically, mud plug acted as an effective lateral barrier during uranium migration, resulting in mineralization along the reservoir point bar facies - mud-plug contact (Fig. 3). Results demonstrate that the mapping of architectural elements, although challenging in terms of workflow and resource management, significantly improves understanding the subsurface geology and its control on geometry of mineralized intervals.

The present study is logistically and financially supported by KATCO JV LLP. SLB is most sincerely thanked for donating high-end interpretation and modeling software licenses (Petrel Platform).

Keywords: Uranium, Roll-front, Fluvial Depositional System, Parallel cross-sections, 3-D geobodies.

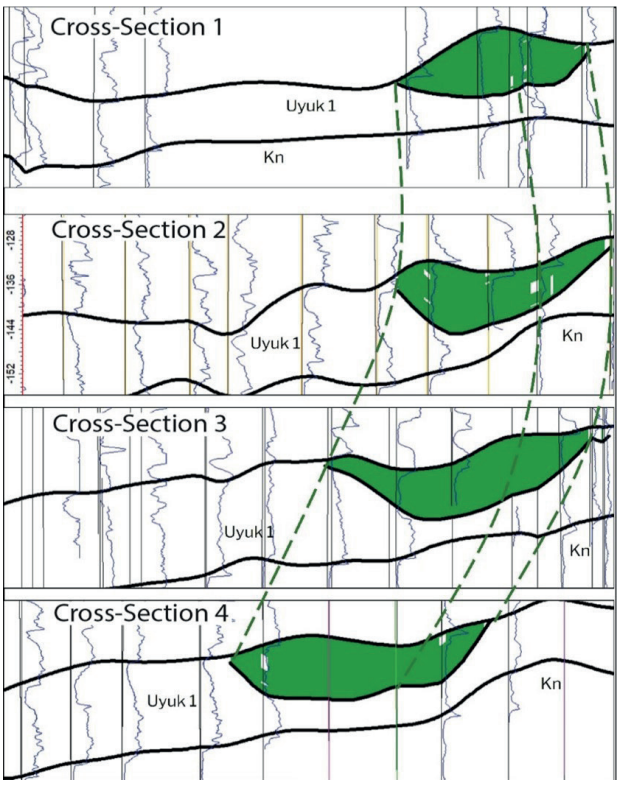


Figure 1 – *Parallel cross-sections depicting intraformational surfaces, Mud Plug (colored green), and Ks log, within Uyuk 1 horizon.*
Note. Mud plug is up to 15m thick, 160m wide, 750m long. Vertical exaggeration is 8.5 times

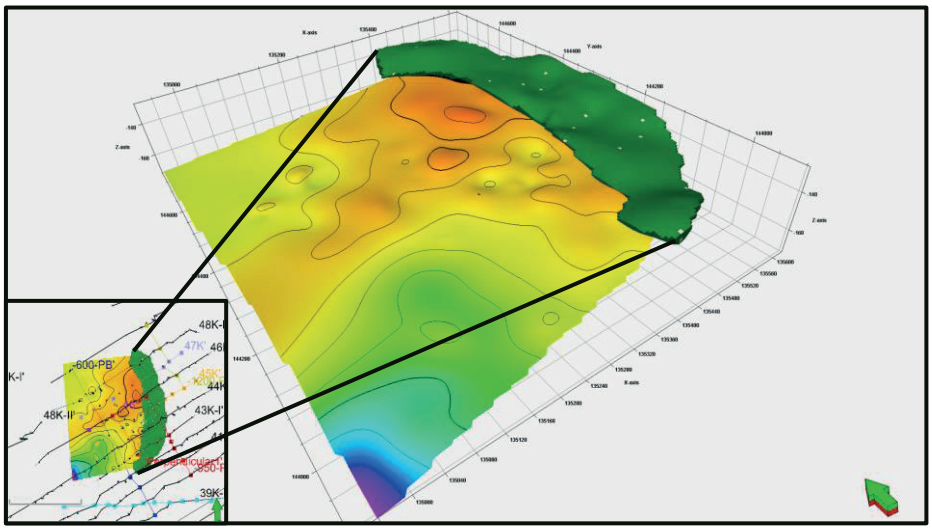


Figure 2 – *Isometric View on the Mud Plug (green) and channel base surface*. Note. Mud plug is up to 15m thick, 160m wide, 750m long. 3 times vertical exaggeration

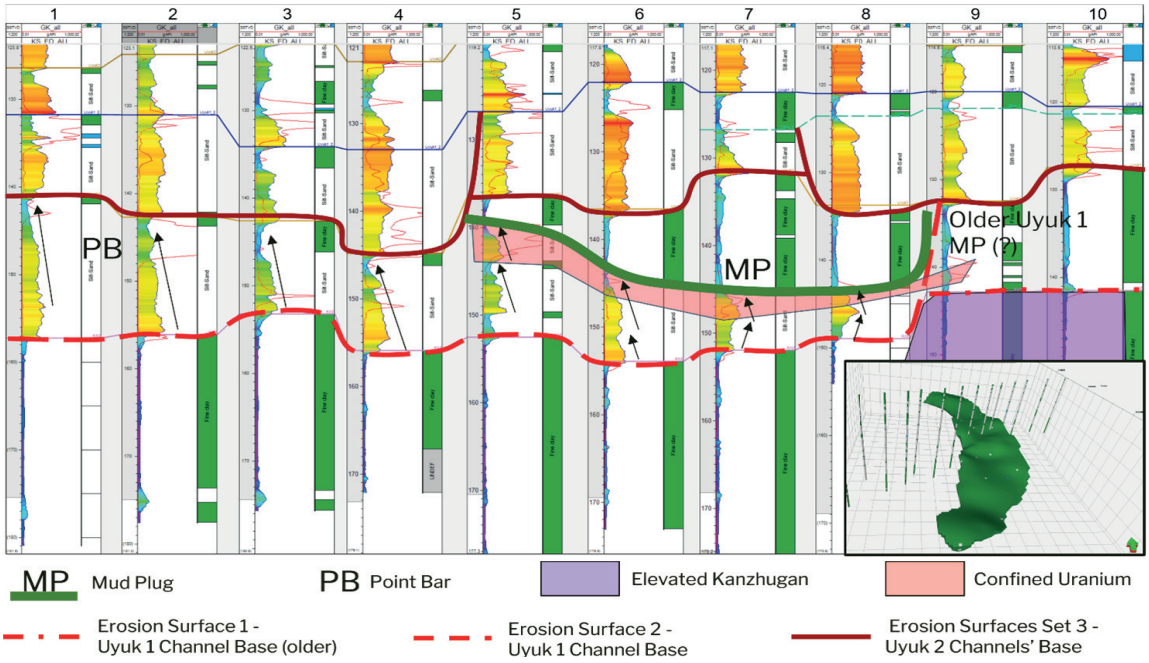


Figure 3 – *Cross-section 45K highlighting U mineralization confinement associated with mud plug deposits.* Note. The maximum mud plug thickness at this cross-section is 14m (well 7); width is 155m. 8 times vertical exaggeration. Arrows indicate fining upward sequences of point bar deposit (reservoir)

REFERENCES

Abdulin, A.A. Uranium deposits of Kazakhstan (exogenous) [Book] / N.N. Petrov, V.G. Yazikov, H.B. Aubakirov, V.N. Plekhanov, A.F. Vershkov, V.F. Lukhtin. Gylym Almaty, (in Russian), 1995.

Aubakirov, K.B. Kanzhugan-Moinkum model of ore formation and increment of reserves of uranium [Journal paper in Russian] / K.B. Aubakirov // 2019. p. 51–57. UDK 553.495.

Dahlkamp, F. J. Uranium Deposits of the World Asia [Book] / F.J. Dahlkamp. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-78560-6.

Dillinger, A. Architecture and history of Uranium-bearing Paleocene–Eocene strata deposited on the eastern margin of the Peri-Tethys (Chu-Sarysu Basin, south Kazakhstan) [Paper in review] / A. Dillinger, E. Chanvry, Y. Bolat, M. Fustic. Nazarbayev University, 2022.

Fyodorov, G.V. A comparative description of the geological-technological description of the sandstone hosted uranium deposits in Wyoming and southern Kazakhstan [Report] / G.V. Fyodorov. In: In situ leach uranium mining. T1-TC-975, IAEA, Vienna, 2002. pp 42–48.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Geological Classification of Uranium Deposits and Description of Selected Examples [Report]. IAEA-TECDOC-1842. 2015.

Petrov, N.N. Epigenetic stratified-infiltration uranium deposits of Kazakhstan [Journal paper in Russian] / N.N. Petrov. Geology of Kazakhstan. v. 2, 1998. p. 22-39.

NUCLEAR MEASUREMENT LOGGING TOOLS USED AND IN DEVELOPMENT FOR THE EXPLORATION AND EXPLOITATION OF URANIUM MINES

Youcef BENSEDIK, Hervé TOUBON,
Orano Mining France

Faced with very variable grades depending on the sites under exploration and exploitation, Orano Mining uses logging probes equipped with Geiger Muller counters for these high- and medium-grade deposits and much more efficient NaI scintillators for these low-grade deposits, particularly of the ISR type.

The logging probes follow a calibration and validation process based on measurements made in concrete blocks of various grades on the Orano site in Bessines sur Gartempe. As the drilling measurement conditions became more varied (in diameter, casing, etc.), the corrections initially established were reviewed. Modeling tools have extended the domain of validity of these corrective factors. This was the first study entrusted within an R&D partnership agreement with the Nuclear Measurement Laboratory of CEA Cadarache.

Other topics are under development. The first consists in evaluating the contribution of gamma spectrometry probes for a better characterization of roll-front deposits in terms of lithology, uranium disbalanced and direct identification of radon effects.

For deposits of high grades in particular in CANADA, non-linearity phenomena (significant deadtime and self-protection of uranium) require systematic coring and laboratory analyses for the evaluation of uranium grades. Orano develops calibration methods combining modeling and precise characterization of probes for a direct evaluation of uranium while logging.

For ISR deposits, active neutron measurements are also studied with a new generation of electronics to characterize in situ the porosity and thus correct the measurement for a better uranium grade evaluation.

The variability of the deposits facing Orano Mining constitutes an important feedback and requires a spirit of adaptation conducive to the development of new logging tools.

ВОСПОЛНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УРАНА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Ергалиев Ж.У., Джартыбаев Н.Б.

В течение 70-летней деятельности АО «Волковгеология» была создана в Казахстане богатейшая минерально-сырьевая база урана, одна из крупнейших в мире. Оно выполняет поиски, оценку, детальную разведку рудных объектов, изучение минерального состава, технологических свойств руд, подсчет запасов урана и попутных полезных компонентов с защитой их на Государственной комиссии по запасам Республики Казахстан.

По существу, история «Волковгеологии» за годы ее существования – это и есть история развития урановой геологии в Казахстане и создания золотого фонда уникальных по своим масштабам урановых месторождений [2].

В настоящее время из 56 разведанных месторождений с балансовыми запасами урана разрабатываются 14, а остальные 42 находятся в резерве. «Казатомпром» вместе с дочерними, зависимыми и совместными организациями ведет разработку 26 участков на территории Республики Казахстан, объединенных в 14 горнорудных активов.

С 2005 года шло интенсивное наращивание производства урана Казахстаном с 3867 тонн урана, добытых в 2005 году до рекордных 246 89 тонн урана добытых в 2016 году, и 21 112 тонн в 2023 году [3].

Интенсивное развитие атомной энергетики и промышленности вывело уран в разряд высокоэффективного топливно-энергетического сырья. Доля использования ядерной энергетики непрерывно растет. Изменяется динамика потребления урана. Состояние и тенденции развития мировой атомной энергетики, количество работающих и проектируемых атомных реакторов нового поколения во всем мире, потребность в природном уране выражаются следующими цифрами:

1) выработка электроэнергии атомными станциями – более 368 000 мВт (~10% от общей электроэнергии);

2) по данным Международного агентства по атомной энергии IAEA (МАГАТЭ) количество действующих реакторов 415, еще 57 реакторов на стадии строительства общей мощностью в 58 ГВт. Согласно оптимистичным прогнозам МАГАТЭ к 2030 году мировое производство атомной энергии может быть увеличено до 496 ГВт (на 25%), а к 2050 году до 715 ГВт (на 80%) [6], что, в таком случае, увеличит мировой спрос на минеральное атомное сырье и потребует значительного увеличения добычи.

3) по данным Всемирной ядерной ассоциации (World Nuclear Association) общий объем добычи урана в 2022 г. составил 49 355 т при потребности урана в 65 800 т для АЭС мира [7]. Тенденции, сложившиеся на мировом рынке радиоактивного сырья способствуют дальнейшему развитию урановой сырьевой базы Казахстана.

Став в 1991 году суверенным независимым государством, Казахстан в 90-е годы, по существу, прекратил проведение масштабных площадных поисково-разведочных работ на уран и начал проводить политику максимального привлечения в промышленность иностранного капитала. На всех крупных месторождениях, составляющих золотой фонд сырьевой базы, созданы совместные предприятия.

С изменением структуры урановой сырьевой базы в 70-х годах в пользу экзогенных пластово-инфильтрационных месторождений в связи с внедрением способа отработки методом ПВ, все наиболее крупные депрессионные структуры на платформе и межгорные впадины в орогенных областях были опоискованы с разной степенью детальности. Для изучения этих регионов применялись все новейшие на то время методики поисков и оценки, работы сопровождались обязательным бурением структурных и поисковых скважин в огромных объемах. Достаточно вспомнить, что при поисково-разведочных работах в пределах одного Мынкудукского рудного поля было пробурено 2,5 млн п.м. скважин колонкового бурения. В результате этих колоссальных по масштабам работ, получили то, что имеем и чем справедливо гордимся – уникальнейшие урановорудные провинции в Южном Казахстане – Шу-Сарысуйскую и Сырдарьинскую и, как резерв, Илийскую и Северо-Казахстанскую.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION

№ пп	Страна	2013	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
1	Казахстан	22 451	23 127	23 607	24 689	23 321	21 705	22 808	19 477	21 819	21 227
2	Канада	9331	9124	13 325	14 039	13 116	7001	6938	3885	4693	7351
3	Намибия	4323	3255	2993	3654	4224	5525	5476	5413	5753	5613
4	Австралия	6350	5001	5654	6315	5882	6517	6613	6203	4192	4553
5	Узбекистан (оценка)	2400	2400	2385	3325	3400	3450	3500	3500	3520	3300
6	Россия	3135	2990	3055	3004	2917	2904	2911	2846	2635	2508
7	Нигер	4518	4057	4116	3479	3449	2911	2983	2991	2248	2020
8	Китай (оценка)	1500	1500	1616	1616	1692	1885	1885	1885	1600	1700
9	Индия (оценка)	385	285	385	385	421	423	308	400	600	600
10	Южная Африка (оценка)	531	573	393	490	308	346	346	250	192	200
11	Украина	922	926	1200	808	707	790	800	744	455	100
12	США	1792	1919	1256	1125	940	582	58	6	8	75
13	Пакистан (оценка)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
14	Бразилия	192	55	40	44	0	0	0	15	29	43
15	Иран (оценка)	0	0	38	0	40	71	71	71	21	20
16	Чешская Республика	215	193	155	138	0	0	0	0	0	0
17	Румыния	77	77	77	50	0	0	0	0	0	0
18	Франция	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0
19	Германия	27	33	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Малави	1132	369	0	0	0	0	0	0	0	0
	Общий мир	59 331	56 041	60 304	63 207	60 514	54 154	54 742	47 731	47 808	49 355
	% мирового спроса	91%	85%	98%	96%	93%	80%	81%	74%	76%	74%

Рисунок 1 – Объем добычи урана по странам (тонн)

Другие депрессии и впадины на территории республики по итогам оценки их перспектив на современном этапе не представляют практического интереса для развивающейся урановой промышленности. Другими словами, выявление неизвестных доселе урановорудных провинций, районов, рудных полей и крупных месторождений в настоящее время нереально. То же можно сказать и о гидротермальном промышленном типе урановых месторождений, составляющих до 80-х годов основу горнодобывающей урановой промышленности. Известно, что в новых экономических условиях эксплуатация гидротермальных месторождений оказалось нерентабельной, и они не смогли выдержать конкуренции со стороны экзогенных «песчаниковых» месторождений, отрабатываемых способом ПВ. Во второй половине 80-х годов были прекращены поиски, а вначале 90-х и отработка эндогенных месторождений. В ближайшие годы, даже десятилетия, вовлечение их в отработку возможно лишь при решении частных производственных задач на основе пересчета запасов по ужесточенным кондициям. Еще менее вероятно возобновление специализированных поисков новых месторождений известных генетических типов, так же как и нетрадиционных для Казахстана месторождений («типа зон согласия», составляющих основу сырьевой базы урана в Австралии и Канаде) с высокими рудными параметрами.

В соответствии с общими тенденциями развития экономики резко возросли требования к рентабельности отработки месторождений. Поэтому все прогнозно-поисковые и разведочные работы должны проводиться с обязательным учетом следующих положений:

1. Прогнозируемые объекты должны располагаться в освоенных или осваиваемых промышленных районах, что позволяет восполнить сырьевую базу действующих предприятий.

2. Выявленные месторождения по своим геологическим особенностям должны быть пригодны для отработки высокоэффективными методами, в частности, подземным выщелачиванием.

3. Выявлению и количественной оценке должны подлежать все присутствующие в месторождениях полезные компоненты, которые, помимо самостоятельной практической ценности, могут способствовать повышению рентабельности извлечения основного компонента – урана.

К сегодняшнему дню Казахстан является мировым лидером по запасам урана пригодных для добычи методом ПСВ и по добычи урана. Из приблизительно 900 тыс. тонн балансовых разведанных запасов Казахстана около 70% пригодны для отработки методом ПСВ, что составляет порядка 630 тыс. тонн. Если учесть уже добытые запасы за последние годы методом ПСВ (более 270 тыс. тонн), то в резервах недр осталось примерно 360 тыс. тонн [5, с уточнением]. При этом следует подчеркнуть, что несмотря на то, что фонд залегающих в благоприятных обстановках и легко открываемых урановых месторождений существенно сократился, а в некоторых регионах вообще иссяк, перспективы восполнения и наращивания минерально-сырьевой базы в Казахстане реально существуют и становятся главнейшей задачей геологической науки и производственных организаций, занятых этой проблемой сейчас и в ближайшем будущем.

Поэтому первый шаг по совершенствованию сырьевой базы очевиден и лежит, что называется, на поверхности. Это – немедленное возобновление поисково-оценочных и детальных разведочных работ на известных месторождениях с целью перевода прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 в промышленные запасы категорий C_1 и C_2, а где необходимо и В. Эти работы потребуют вложения значительных инвестиций в геологоразведку, особенно от организаций, начавших промышленное освоение месторождений. Прогнозные ресурсы в регионе реальны и изменение соотношения запасов урана в сторону высоких категорий позволит планировать добычные работы на многие десятилетия вперед.

Улучшение качества выявленных ресурсов далеко не единственный путь совершенствования минерально-сырьевой базы экзогенных месторождений. Широкий разворот эксплуатационных работ требует восполнения списываемых запасов.

В период с 2016 по 2020 гг. в рамках Программы по восполнению минерально-сырьевой базы были проведены поисковые работы на участках Восточный Уванас, Тогускен, Коскудук, Восточный Жалпак, Восточный Моинкум и Аккум-Яныкурган. В результате были выявлены урановорудные залежи с общей прогнозной оценкой около 50 тыс. тонн урана [5]. Требуется постановка и проведение геологоразведочных работ для прироста и перевода выявленных ресурсов в более высокие промышленные категории запасов.

Оценивая реальные перспективы сырьевой базы Казахстана можно со стопроцентной уверенностью утверждать, что важнейшими поставщиками природного урана для атомной энергетики в ближайшие десятилетия будут оставаться Шу-Сарысуйская и Сырдарьинская провинции. Основные пути восполнения запасов урана здесь видятся в проведении поисковых работ на следующих перспективных площадях:

1. Западная площадь (участки Восточно-Инкайский, Капкансорский и Восточно-Буденновский).

2. Инкай-Мынкудукская площадь расположена на стыке месторождений Мынкудук и Инкай.

3. Сарысу-Бактыкарынская площадь расположена западнее месторождения Инкай. На площади выявлены две аномальные скважины С-58 и С-59. Проведенными в 2011-2012 гг. в рамках научно-исследовательских работ по внедрению изотопно-почвенного метода (соотношение изотопов Pb и Po) определено распространение выявленных аномалий на десятки километров, причем наибольшая интенсивность определена на скважинах 58 и 59.

4. Пришимкентская площадь расположена южнее группы мелких по масштабу месторождений Кызылколь-Лунное-Чаян до границы с Узбекистаном, где разведаны, а с конца 60-х годов отрабатываются месторождения «учкудукского» гидрогенного типа Кызылкумской урановорудной провинции.

5. Восточно-Кызылкумская площадь расположена между Карамурунским и Каратауским рудными районами. (Карамурун-Каратауская металлогеническая зона). Ее протяженность составляет 125 км.

Кроме указанных площадей, также в будущем предлагается проведение поисковых работ на следующих перспективных площадях:

1. Кенсе – Жалпакская площадь – 7250 км^2.
2. Западно – Иркольская площадь – 5200 км^2.
3. Аккум – Кызылкольская площадь – 3450 км^2.

Таким образом, необходимость возобновления поисковых и оценочных работ в пределах осваиваемых промышленностью урановорудных провинций – Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской, диктуется самой жизнью. Это наиболее реальный путь выявления новых урановорудных залежей, участков и месторождений, пригодных для ПВ. Но в любом случае, при самых оптимистических результатах ресурсы урана в регионе вряд ли увеличится в большую сторону. При нынешнем уровне добычи урана в 20-25 тыс. т в год, восполнение ее в полной мере будет весьма трудно. Это означает ежегодное открытие новых урановорудных объектов в масштабе среднего – крупного месторождения.

Анализ казахстанской минерально-сырьевой базы однозначно показывает, что необходимо постоянное цикличное проведение геологоразведочных работ по восполнению добытого объема балансового сырья и поддерживать развитие обслуживающих отрасль служб в должном состоянии, чтобы избежать риски и сохранять долгосрочные перспективы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петров Н.Н., Берикболов Б.Р., Аубакиров Х.Б., Вершков А.Ф., Лухтин В.Ф., Плеханов В.Н., Черняков В.М., Язиков В.Г. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). – Издание второе, дополненное. – Алматы, 2008.

2. Берикболов Б.Р., Вершков А.Ф., Карелин В.Г., Малахов А.А. и др. Уран Казахстана. – Алматы 2008 г.

3. https://www.kazatomprom.kz/ru/page/dobicha_prirodnogo_urana

4. https://www.kazatomprom.kz/ru/page/geologorazvedka

5. Программа поисковых работ по восполнению минерально-сырьевой базы урана АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» на 2016–2038 гг., г. Алматы 2022 г.

6. Веб-сайт МАГАТЭ https://www.iaea.org

7. Всемирная ядерная ассоциация (World Nuclear Association). URL: https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЛИНЕЙНЫЕ ЗАПАСЫ УРАНОВЫХ РУД

Ешманов Б.А., Ержанов К.Б., Нуртазин Р.А.
ТОО «ДП «ОРТАЛЫК», г. Шымкент, Казахстан
byeshmanov@dportalyk.kazatomprom.kz

Аннотация. В начале 2000-х годов Казахстан активно начал работы по освоению новых месторождении урана разведанных в прошлом столетий. Как и в любой стране, в любых месторождениях освоения месторождении начинаются из богатых залежей, и на этом этапе с вопросом неподтверждения запасов руд мало кто сталкивается. Но с выходом на периферийные участки месторождений с малыми запасами, многие предприятии сталкиваются с неподтверждением запасов, как и урановых, так и других полезных ископаемых.

Причиной такого неподтверждения, по мнению авторов статьи, могут служить такие факторы, как недостоверность данных ранее пробуренных скважин или вновь пробуренных скважин, погрешности геофизических приборов и т.д.

Ключевые слова: влияния диаметра, линейные запасы, неподтверждение запасов, погрешность геофизического прибора, факторы, влияющие на линейные запасы.

FACTORS AFFECTING LINEAR INVENTORIES URANIUM ORES

Eshmanov B.A., Erzhanov K.B., Nurtazin R.A.
"DP "ORTALYK" LLP, Shymkent, Kazakhstan

Abstract. In the early 2000s, Kazakhstan actively began work on the development of new uranium deposits explored in the last centuries. As in any country, in any deposits, the development of the deposit begins from rich deposits, and at this stage few people face the issue of non-confirmation of ore reserves. But with access to peripheral areas of deposits with small reserves, many enterprises face non-confirmation of reserves, both uranium and other minerals.

The reason for such non-confirmation, according to the authors of the article, may be factors such as the unreliability of data from previously drilled wells or newly drilled wells, errors in geophysical instruments, and so on.

Key words: diameter effects, linear reserves, unconfirmed reserves, geophysical instrument error, factors affecting linear reserves.

В начале освоения месторождений любого типа полезных ископаемых, все добычные предприятии начинают из самых богатых участков. Это конечно аргументировано тем, что меньше затраты на горно-подготовительные работы, больше прибыли и быстрый возврат вложенных инвестиций. Однако, как всем известно, все природные ресурсы земли исчерпаемые и это касается всех месторождении, включая наши урановые месторождения.

На сегодняшний день с выходом на периферийные участки месторождений с малыми запасами, предприятие столкнулось с неподтверждением запасов урановых руд на некоторых геологических блоках при их вскрытия технологическими блоками. Подобное неподтверждение запасов технологических блоков будет повлиять на дальнейшую его работу и к планированию горно-подготовительных работ, так как для обеспечения предприятия необходимым запасом требуется вскрывать больше блоков.

Причиной такого неподтверждения может служить такие факторы, как недостоверность данных ранее пробуренных скважин, или вновь пробуренных. Погрешность геофизического прибора используемое при исследовании скважин тоже может служит причиной такого отклонения. В поисках причин неподтверждения запасов специалистами были изучены все отчеты геологоразведочных работ месторождения. И изучая все материалы, пришли к выводу, что возможной причиной этому может служить разные диаметры скважин.

При геологоразведочных работах как урановых месторождении, так и других полезных ископаемых, важную роль играет методы геофизических исследовании скважин. Особенность геофизических методов заключатся в том, что данный метод позволит получить полную информацию о геологическом разрезе и линейных запасах месторождения с минимальным отбором кернового материала. Однако, для получения точной информации о литологии и запасах, разведываемых месторождений, очень важно знать факторы, которые влияют на достоверность геофизических данных. И к таким факторам относятся коэффициенты радиоактивного равновесия (КРР) между ураном и радием, между радием и радоном, поправочные коэффициенты на поглощение гамма-излучения промывочной жидкостью и т.д. Все перечисленные поправочные коэффициенты были получены и посчитаны еще в далеком советском союзе, когда по всей

стране шли разведочные работы на полезные ископаемые. Тогда главной задачей являлся выявление урановых руд или других полезных ископаемых в целях восполнения минерально-сырьевых запасов страны. Тогда все разведочные скважины были пробурены маленьким диаметром 104-112 мм, для того что бы получить более точную информацию, так как чем меньше диаметр скважины, тем больше фиксируется руды с меньшей интенсивностью.

Однако, с началом работ по освоению ранее разведанных месторождений урановых руд, для сооружения технологических скважин под подземное скважинное выщелачивание потребовался большой диаметр, чтобы сократить количество операции при буровых работах. В связи с этим, при бурении пилота скважины применялись, и по сей день применяются шарошки диаметром 141-161 мм. Но при этом диаметр скважинного прибора для проведения каротажа практически остался неизменной с тех времен. В результате на скважины с большим диаметром были использованы те же поправочные коэффициенты при интерпретации данных геофизического исследования скважин (ГИС), которые были использованы при разведочных работах.

Принимая во внимания, перечисленные выше факторы, было принято решение провести эксперимент на определение влияния диаметра скважины на линейные запасы урановых руд. В январе 2022 года на 27 сооружаемых технологических скважинах участка «Центральный» месторождения «Мынкудук» (ТОО «ДП «Орталык») проведены экспериментальные работы по выполнению гамма-каротажа при разных диаметрах бурения скважин, т.е. при проходке пилота скважин номинальным диаметром 141 мм, и после разбуривания рудного горизонта диаметром 161 мм. Каротаж проводился в открытом стволе, сразу после промывки скважин, одними и теми же каротажными станциями, и скважинными радиометрами типа КСП-60, что позволило практически исключить влияние аппаратурной погрешности на результаты измерений. Специальных работ для оценки реальных погрешностей расчета параметров рудных интервалов при разных диаметрах бурения скважины до этого времени не проводилось.

По результатам экспериментальных работ выполнена интерпретация данных гамма-каротажа и статистическая обработка расчетов для двух диаметров: до разбурки (∅141) и после разбурки (∅ 161). Интерпретация проводилась с использованием измеренных средних фактических диаметрах скважин в границах рудных интервалов, по данным кавернометрии, при плотности промывочной жидкости 1,12 г/см^3 по данным буровой службы.

Далее в таблице 1 приведены результаты сопоставления расчетов параметров рудных интервалов по имеющемуся материалу. В таблицах сопоставления представлена выборка по 46-ти рудным интервалам с балансовым оруденением для mC%> 0,0400 в одинаковых литологических границах. Маломощные интервалы m <0,90 м. из выборки исключены.

Таблица 1 – Результаты интерпретации данных ГИС

Результаты интерпретации данных гамма-каротажа с диаметрами 141 и 161 мм по месторождению Мынкудук участок "Центральный"

№ п/п	Этап работ	№ скважин скважин	Определяемые (контролируемые) параметры: Основной каротаж D141 мм: Глубина (Н) до кровли инт-ла, м	Мощность интервала (m_0), м	Метропроцент интервала (mco) м*%	Повторный каротаж D161 мм: Глубина (Н) до кровли инт-ла, м	Мощность интервала ($m_к$), м	Метропроцент интервала (mск) м*%	Абсолютные расхождения: по метропроценту интервала (mск) (Δm%)	По мощн. (Δm) интервала, м	Относительные расхождения: по mc, %	по m, %	по метропроценту $\left(\frac{mск-mco}{mск+mco}\right)^2$	По мощн. $(m_к-m_о)^2$
1	2	3	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17	18
1	ГИР	26-2-8	317,80	4,50	0,1615	317,80	4,50	0,1551	-0,0064	0,00	-4,0	0,0	0,0004	0,0000
2	ГИР	26-2-3	314,40	6,70	0,1497	314,40	6,60	0,1362	-0,0135	-0,10	-9,4	-1,5	0,0022	0,0100
3	ГИР	26-2-21	299,60	16,10	0,8510	299,90	15,70	0,7546	-0,0964	-0,40	-12,0	-2,5	0,0036	0,1600
4			328,40	2,70	0,0796	328,40	2,40	0,0685	-0,0111	-0,30	-15,0	-11,8	0,0056	0,0900
5	ГИР	7-70-1-8	353,20	9,10	0,3014	353,20	9,40	0,2808	-0,0206	0,30	-7,1	3,2	0,0013	0,0900
6	ГИР	7-71-1-8	357,50	5,90	0,1481	357,40	5,80	0,1271	-0,0210	-0,10	-15,3	-1,7	0,0058	0,0100
7	ГИР	7-71-1-14	272,30	2,50	0,1098	272,30	2,50	0,1112	0,0014	0,00	1,3	0,0	0,0000	0,0000
8			355,30	4,20	0,1052	355,30	4,20	0,1066	0,0014	0,00	1,3	0,0	0,0000	0,0000
9			360,00	5,90	0,1739	360,00	5,90	0,1763	0,0024	0,00	1,4	0,0	0,0000	0,0000
10	ГИР	7-70-1-17	353,60	6,70	0,2783	352,80	6,70	0,2573	-0,0210	0,00	-7,8	0,0	0,0015	0,0000
11	ГИР	7-71-1-18	249,10	1,50	0,0494	249,30	1,20	0,0445	-0,0049	-0,30	-10,4	-22,2	0,0027	0,0900
12			353,10	13,00	0,2440	353,10	13,00	0,2267	-0,0173	0,00	-7,4	0,0	0,0014	0,0000
13	ГИР	26-2-23	306,40	8,10	0,2240	306,40	8,00	0,2148	-0,0091	-0,10	-4,2	-1,2	0,0004	0,0100
14	ГИР	26-2-31	304,50	4,00	0,1237	304,50	3,80	0,1127	-0,0111	-0,20	-9,4	-5,1	0,0022	0,0400
15			316,00	3,20	0,0928	315,90	3,50	0,0951	0,0023	0,30	2,4	9,0	0,0001	0,0900
16			327,50	2,80	0,0901	327,50	2,80	0,0843	-0,0058	0,00	-6,6	0,0	0,0011	0,0000
17	ГИР	7-71-1-15	355,00	9,60	0,5966	354,80	9,80	0,5512	-0,0453	0,20	-7,9	2,1	0,0016	0,0400
18	ГИР	26-2-04	300,40	2,20	0,0538	300,40	2,10	0,0469	-0,0069	-0,10	-13,8	-4,7	0,0048	0,0100
19			311,30	3,00	0,0673	311,50	2,60	0,0570	-0,0103	-0,40	-16,6	-14,3	0,0069	0,1600
20			318,00	5,20	0,1564	318,10	4,80	0,1336	-0,0228	-0,40	-15,7	-8,0	0,0062	0,1600
21	ГИР	7-71-1-16	355,70	10,30	0,4688	355,80	10,20	0,4839	0,0151	-0,10	3,2	-1,0	0,0003	0,0100
22	ГИР	7-71-1-19	365,10	2,00	0,0458	364,90	2,20	0,0436	-0,0022	0,20	-4,9	9,5	0,0006	0,0400
23	ГИР	26-2-07	306,90	13,20	0,4387	306,90	13,20	0,4086	-0,0301	0,00	-7,1	0,0	0,0013	0,0000
24			324,30	2,00	0,0599	324,20	1,90	0,0564	-0,0035	-0,10	-6,0	-5,1	0,0009	0,0100
25	ГИР	26-2-22	301,40	2,40	0,0510	301,30	2,50	0,0479	-0,0031	0,10	-6,3	4,1	0,0010	0,0100
26			308,00	7,60	0,3391	308,20	7,20	0,3044	-0,0347	-0,40	-10,8	-5,4	0,0029	0,1600
27			325,80	1,50	0,0462	325,80	1,30	0,0414	-0,0048	-0,20	-11,0	-14,3	0,0030	0,0400
28	ГИР	26-2-5	315,50	8,10	0,2580	315,80	7,60	0,2244	-0,0336	-0,50	-13,9	-6,4	0,0049	0,2500
29	ГИР	7-71-1-3	250,80	2,50	0,0476	250,60	2,50	0,0476	0,0000	0,00	0,0	0,0	0,0000	0,0000
30			359,70	6,60	0,0998	359,60	6,60	0,1021	0,0023	0,00	2,3	0,0	0,0001	0,0000
31	ГИР	7-71-1-32	359,70	4,90	0,0822	359,70	4,90	0,0798	-0,0024	0,00	-3,0	0,0	0,0002	0,0000
32	ГИР	7-70-1-3	358,50	7,60	0,2250	358,20	7,60	0,2160	-0,0090	0,00	-4,1	0,0	0,0004	0,0000
33	ГИР	7-70-1-4	358,80	9,90	0,2536	358,70	10,60	0,2515	-0,0021	0,70	-0,8	6,8	0,0000	0,4900
34	ГИР	7-70-1-15	345,80	3,30	0,0663	345,70	3,00	0,0559	-0,0104	-0,30	-17,0	-9,5	0,0072	0,0900
35			351,30	6,70	0,3145	351,30	6,70	0,2778	-0,0367	0,00	-12,4	0,0	0,0038	0,0000
36			358,50	3,90	0,1180	358,50	3,90	0,1022	-0,0158	0,00	-14,4	0,0	0,0051	0,0000
37			362,70	1,60	0,0418	362,80	1,50	0,0366	-0,0052	-0,10	-13,3	-6,5	0,0044	0,0100
38	ГИР	7-70-1-9	354,20	8,10	0,4000	354,10	8,30	0,3877	-0,0123	0,20	-3,1	2,4	0,0002	0,0400
39	ГИР	26-2-26	303,10	4,10	0,1058	302,90	4,20	0,1073	0,0015	0,10	1,4	2,4	0,0000	0,0100
40			310,90	2,60	0,0954	310,90	2,40	0,0918	-0,0036	-0,20	-3,8	-8,0	0,0004	0,0400
41			318,80	2,10	0,0510	318,90	1,80	0,0463	-0,0047	-0,30	-9,7	-15,4	0,0023	0,0900
42			323,50	2,70	0,0788	323,50	2,80	0,0805	0,0017	0,10	2,1	3,6	0,0001	0,0100
43	ГИР	7-71-1-17	353,90	13,00	0,4082	353,80	12,90	0,3601	-0,0481	-0,10	-12,5	-0,8	0,0039	0,0100
44	ГИР	7-70-1-18	249,10	1,50	0,0494	249,30	1,20	0,0445	-0,0049	-0,30	-10,4	-22,2	0,0027	0,0900
45			353,10	13,00	0,2440	353,10	13,00	0,2267	-0,0173	0,00	-7,4	0,0	0,0014	0,0000
46	ГИР	7-70-1-14	348,80	6,50	0,1728	348,90	6,50	0,1709	-0,0019	0,00	-1,1	0,0	0,0000	0,0000
46	**Сумма**	**27**		264,60	8,62		261,80	8,04	-0,5818	-2,80			0,0953	2,3600
	Среднее			**5,75**	**0,1874**		**5,69**	**0,1747**	***-0,0126***	**-0,061**	**-6,96**	**-2,70**		
	Относительное отклонение средних по метропроценту πс и мощности, %								**-6,75%**	**-1,06%**				
	Относительное среднее квадратическое отклонение по выборке, метропроцент Sπс, %												**6,4%**	
	Среднее квадратическое отклонение по выборке по мощности Sm, м													**0,160**

В настоящее время интерпретация данных гамма-каротажа (ГК), как основного метода для определения параметров рудных интервалов к подсчету запасов урана в недрах, проводится в соответствии с требованиями «Инструкции МВИ (методика выполнения измерений) по гамма-каротажу на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа» (№KZ.06.01.00372-2021, Алматы, 2021 г.) с применением поправочных коэффициентов и зависимостей, указанных в действующем стандарте «Коэффициенты поправочные и зависимости при интерпретации данных геофизических исследований скважин на гидрогенных месторождениях урана». Эти документы являются основополагающими для интерпретации данных для всех добычных предприятий АО «НАК «Казатомпром».

Инструкция по гамма-каротажу предусматривает возможность применения алгоритма расчета содержаний урана по данным гамма-каротажа для диаметров скважин до 500 мм, при этом отмечается, что для диаметров от 250 до 500 мм «можно использовать коэффициенты Вк, соответствующие диаметру 250 мм». Таким образом, в соответствии с МВИ, алгоритм расчета параметров рудных интервалов допускает возможность выполнения вычисления для условий проведения гамма-каротажа в скважинах диаметром до 500 мм, заполненных промывочной жидкостью с плотностью рудовмещающих пород в диапазоне 1,5 – 2,5 г/см^3 скважинными радиометрами с диаметрами от 28 до 54 (60) мм, с возможностью интерполяции табличных данных в случае отклонений параметров среды и аппаратуры от табличных.

Оценка случайной погрешности

Оценка погрешностей проводилась по критериям для контрольного гамма-каротажа в производственных скважинах в соответствии с требованиями «Инструкции по гамма-каротажу на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа» (№KZ.06.01.00372-2021, Алматы, 2021 г.):

Погрешность интерпретации результатов каротажа оценивают путем сравнения мощностей (m) и метропроцентов (M), полученных по результатам интерпретации данных основного и контрольного каротажа рудных интервалов на производственных скважинах. Погрешность определения мощности характеризуют абсолютным средним квадратическим отклонением s(m), а метропроцента – относительным средним квадратическим отклонением $s_0(m)$.

При проведении контрольного каротажа на производственных скважинах значения s(m) и $s_0(m)$ подсчитывают по формулам

$$s(m)=\sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}\left(m_k^{(i)}-m_0^{(i)}\right)^2}$$

$$s_0(M)=\sqrt{\frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{M_k^{(i)}-M_0^{(i)}}{M_k^{(i)}+M_0^{(i)}}\right)^2}$$

ult $m_0^{(i)}$ *и* $m_k^{(i)}$, $M_0^{(i)}$ *и* $M_k^{(i)}$, $i=1,2,...,n$ *– соответственно мощность рудного интервала и метропроцент при основном и контрольном каротажах; n – число пар рудных интервалов (не менее 20 из 10 и более скважин).*

Условие по количеству сопоставляемых интервалов выполняется (46 интервалов по 27 скважинам с балансовым оруденением для mC%> 0,0400).

Полученное значение среднего квадратического отклонения по метропроценту S_M =6,4% говорит о хорошей сходимости результатов и соответствует требованиям «Инструкции (МВИ)…» к выполнению контрольных измерений (S_M не более 7%), но при этом отдельные измерения отличаются между собой до 17% (требование – не более чем на 10 %), то есть, второе условие не выполняется.

Расчетное значение среднего квадратического отклонения S_m = 0,16 м по мощности превышает допустимое по «Инструкции (МВИ)…» (S_m не более 0,07 м) - это требование не выполняется, относительные погрешности отдельных измерений отличаются между собой до 22%.

По обоим параметрам преобладают отрицательные значения относительных погрешностей: относительное отклонение средних значений составляют -6,75% по метропроценту и -1,06 % по мощности, то есть, в среднем результаты расчетов параметров рудных интервалов для диаметра бурения 161 мм меньше, чем для диаметра 141 мм.

Оценка систематической погрешности

Систематическое расхождение оценивалось путем оценки статистической значимости отличия разности средних значений от нуля.

Результаты оценки позволяют сделать выводы:

- расхождение средних значений мощности рудных интервалов о статистически **не значимо** ($t_{расч}$ = 1.87 при $t_{табл}$ =2.02 для доверительной вероятности P=0,95),

- расхождение средних значений метропроцента рудных интервалов статистически **значимо** ($t_{расч}$ = 4,68 при $t_{табл}$ =2.02 для доверительной вероятности P=0,95).

Учитывая, что геофизические исследовании на скважинах проводились с соблюдением необходимых условий для проведения контроля (сразу после готовности скважин после промывки, одним комплектом аппаратуры, проведение кавернометрии в каждой скважине индивидуально до и после разбурки), такие значения расхождений могут быть связаны с ошибками применения поправки на поглощение гамма-излучения промывочной жидкостью. Величина этой поправки зависит от толщины слоя промывочной жидкости (от диаметра скважины) и рассчитывается для **известной** плотности бурового раствора, заполняющего скважину.

При использовании одинаковой плотности бурового раствора с номинальным значением 1,12 г/см^3 по буровому журналу в обоих случаях (диаметр 141 и диаметр 161 мм) возможен недостаточный учет реальной плотности в каждой конкретной скважине, поскольку в реальности плотность наверняка сильно варьируется.

Для исключения систематических погрешностей при дифференциальной интерпретации данных гамма-каротажа и расчете параметров рудных интервалов, необходимо знать и использовать точное реальное значение плотности промывочной жидкости. Для этого перед каждым каротажем необходимо проводить определение плотности бурового раствора, поскольку любое из мероприятий (разбурка, замена бурового раствора на свежий, разбавление технической водой и пр.) меняет параметры раствора. При проведении экспериментальных работ это требование не было выполнено, в связи отсутствием возможности контролировать весь процесс.

Все перечисленные факторы показывает о необходимости проведения Научно исследовательской работы в данном направлении, соблюдаю все необходимые требовании для получения точной информации о влиянии диаметра скважины на линейные запасы урановых руд. Это позволить, во-первых, решить вопросы с неподтверждением линейных запасов урановых руд, а далее запасов всего блока и месторождений. Во вторых, если вывести такие коэффициенты применимые для разных диаметров скважин, это позволить бурить скважины с большими диаметрами. Следовательно, имея возможность бурить скважины с большим диаметром, решится проблемы с отклонением забоя скважины и сокращается количество воздействия глинистого раствора на рудный пласт. Тем самым можно увеличить и производительность технологических скважин, что в дальнейшем будет положительно влиять на отработку запасов блока и всего месторождения.

DEVELOPMENT OF A NEW URANIUM MINING PROJECT: RESULTS FROM PRODUCTION FIELD TEST ON ZUUVCH OVOO DEPOSIT, MONGOLIA

Hocquet S., Quiniou B., Kussainov S., Gankhuyag G., Labkiri T., Grizard P., Ballini M., Joubert G., Rouchereau M.
Orano Mining France

The Zuuvch Ovoo deposit is a roll-front deposit that was discovered by drilling in 2008–2009. It is located in Mongolia, in the Gobi Desert, 550km southeast of Ulaanbaatar.

A program of hydrogeological research began in the first phase of exploration of the deposit. The hydrogeological drilling network is now made up of more than 60 boreholes distributed throughout and along the edge of the deposit, for which regular monitoring data (water level, water composition), as well as hydrogeological tests carried out (pumping tests, tracing tests) constitute the baseline for the knowledge of aquifers on the deposit.

After the detailed exploration phase of the deposit and positive results on the first metallurgical core tests, ISR production tests were programmed on a part of the deposit. The purpose of this test programme was to measure the actual extraction parameters, namely in situ leaching efficiency and solution control; but also to test the processing process until a commercial product is obtained.

The production tests were carried out between July 2021 and December 2022 on two hexagonal cells. One cell was located on a rich mineralization and the other on a mineralization close to the average grade of the deposit and in configuration involving a greater dilution of the leaching solutions (higher level of mineralization). On both cells the addition of hydrogen peroxide as an oxidant was tested, with several injection periods. The measurements carried out on injection and production solutions made it possible to establish precise mass balances and to constrain modelling by reactive transport, and thus assess the influence of the various operational parameters on the uranium concentration of the production solution. The results of these pilot tests have thus confirmed the technical feasibility of uranium recovery on the Zuuvch Ovoo deposit and documenting the gain brought by the addition of hydrogen peroxide. They thus made it possible to confirm and optimize the design choices for the industrial process.

In addition, the data from induction logging carried out on hydrogeological boreholes with a specifically adapted design made it possible to observe with high vertical precision the brine concentration zones, where the electrical conductivity increases over time. The comparison of the electrical conductivity data of the water samples with the electrical conductivity data in logging makes it possible to establish a correspondence between the two methods and to image accurately the evolution of the leaching zone during the production phase of the test.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА МЕТОДОМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ МИКРОПРИМЕСЕЙ С ВЫСОКИМ СЕЧЕНИЕМ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРОНОВ

Иванников С.И., Маркин Н.С., Голуб А.В., Железнов В.В.
ФГБУН Институт химии ДВО РАН,
г. Владивосток, Россия

Большими возможностями по определению урана обладает метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) – это неразрушающий изотопно-специфичный ядерно-аналитический метод, он подходит для определения макро, микро и следовых содержаний урана [1]. Метод ИНАА также используют для проверки чистоты урансодержащих материалов и сплавов, в том числе используемых в производстве ядерного топлива [2-4].

Для определения урана в экологических и геологических задачах широко применяются и другие методы, включая: масс-спектрометрию [5], альфа-спектрометрию [6], гамма-спектрометрию [7] и регистрацию запаздывающих нейтронов [8]. Определение урана с использованием пассивной гамма-спектрометрии ограничено длительным временем измерения и большими объемами образцов.

ИНАА лишен вышеописанных недостатков. Метод требует минимальной подготовки образца и испытывает малый матричный эффект из-за высокой проникающей способности активирующих нейтронов и измеряемого гамма-излучения [1]. Кроме того, метод ИНАА можно использовать в качестве референтной методики, проверяя результаты, полученные с помощью других широко используемых методов, что чрезвычайно важно для обеспечения и контроля качества результатов измерений [8]. Однако у данного метода есть и свои ограничения, на результаты ИНАА могут влиять примеси с высоким сечением активации, маркосостав пробы и др. [9].

Чаще всего, в качестве источника нейтронов при определении урана методом ИНАА используют ядерные реакторы [1, 4, 10], однако в этом качестве можно использовать более простые и мобильные радионуклидные источники нейтронов, например, на основе Cf-252 [11, 12].

Целью работы является изучение особенностей определения урана методом ИНАА на базе установки с радионуклидным источником нейтронов на основе Cf-252 в присутствии примесей микроэлементов с высоким сечением активации тепловыми нейтронами.

ИНАА проводили на разработанной в Институте химии ДВО РАН установке [13] на базе радионуклидного источника нейтронов ^{252}Cf (тип НК252М11; АО «ГНЦ НИИАР», Россия).

Измерение наведенной активности образцов осуществляли на гамма-спектрометрическом комплексе на основе коаксиального HPGe детектора GC2018 («Canberra», США), разрешением 2,0 кэВ и относительной эффективностью регистрации 20% по гамма-линии 1332 кэВ радионуклида ^{60}Co. Набор гамма-спектров осуществлялся в программе eSBS v.1.5.9.3 («Грин Стар», Россия). Обработку результатов измерений проводили в программе «Гамма-анализатор для ППД» («Грин Стар», Россия), использующей метод разложения пиков полного поглощения по линиям изотопов.

Для верификации результатов анализов использовался сертифицированные образцы урансодержащего минерального сырья производства компании ORE RESEARCH & EXPLORATION, Австралия (OREAS).

Для оценки влияния микропримесей с высоким сечением поглощения на результаты ИНАА урана изготавливали модельные пробы, путем внесения раствора $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ в порошки и оксида циркония (ZrO_2). Алюмосиликатное измельченное стекло использовали в качестве связующего. Образцы получали путем добавления к порошку ZrO_2 битого стекла в соотношении 1:5. Полученную смесь доводили до гомогенного состояния путем измельчения в вертикальной планетарной шаровой мельнице. Скорость вращения – 350 об/мин, время измельчения – 30 минут. После, в смесь вносили 1% раствор $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (Т:Ж = 2:1). В качестве микропримесей-поглотителей в пробу добавляли Y и Eu в виде растворов, доводя до содержания 2 и 8 масс.%. Образцы прессовались в цилиндрические таблетки диаметром 11 мм и высотой 8 мм. Процесс прессования осуществлялся путем равномерного сжатия порошка со скоростью 1 мм/мин до значения силы сжатия 10 000 Н (1 т) и выдержки в течении 5 мин.

В табл.1 приведены параметры основных реакций активации, протекающие в образце-мишени при облучении потоком тепловых нейтронов. Время облучения образцов составляло 60 минут, время выдержки образцов перед измерением 1 минута, время измерения наведенной активности составляло 30 минут.

Таблица 1 – Реакции активации, протекавшие в исследуемых образцах, при облучении потоком нейтронов от радиоизотопного источника ^{252}Cf

Исходный изотоп	Распро-страненность изотопа	Тип ядерной реакции	Энергия нейтронов	Сечение активации, барн	Дочерний изотоп
^{89}Y	100	n, γ	тепловые	1,28	^{90}Y
^{151}Eu	47,8	n, γ	тепловые	7200	^{152}Eu
^{238}U	99,3	n, γ	тепловые	2,74	^{239}U

Для разделения потока тепловых и резонансных нейтронов применяли метод кадмиевой разности. Облучение проб осуществлялось в двух вариантах: с кадмиевым фильтром в виде цилиндрической кюветы и без него. Толщина кадмиевого фильтра составляла 0,7 мм, что позволяет практически полностью исключить поток тепловых нейтронов и выделить резонансную часть потока.

В качестве маркера, по которому определялось влияние параметров пробы на результаты определения урана методом ИНАА был выбран отклик сигнала *S*:

$$S = \frac{I_{\text{апп}}}{C_U} \qquad (1)$$

Где C_u – это содержание урана в пробе, а $I_{норм}$ – это нормированная площадь ППП для гамма-линий активированного радионуклида, с учетом различий во времени активации, выдержки и измерения пробы. $I_{норм}$рассчитывали по формуле:

$$I_{\text{апп}} = I_{\text{изм}}/(K_a K_c K_m) \qquad (2)$$

Где: $I_{изм}$ – измеренная площадь пика полного поглощения с энергией E; $K_a = 1 - e^{(-\lambda t_{\text{акт}})}$ – коэффициент активации, λ – постоянная распада радионуклида, $t_{акт}$ – время активации; $K_c = e^{(-\lambda t_{\text{ост}})}$ – коэффициент остывания, $t_{ост}$ – время выдержки проб перед измерением; $K_m = \frac{1-e^{(-\lambda t_{\text{изм}})}}{\lambda t_{\text{изм}}}$ – коэффициент измерения, $t_{изм}$ – время измерения наведенной активности.

Внесение оксида иттрия в пробу, привело к повышению отклика аналитического сигнала U по сравнению с контрольной пробой на 4,7% при содержании 2 масс.% Y_2O_3 и на 7,4% при содержании 8 масс.% Y_2O_3 для облучения без кадмия (табл. 2). Данный эффект связан с более низким сечением поглощения тепловых нейтронов для Y по сравнению с Zr. При облучении проб допированных Y с кадмиевым фильтром значимого эффекта зафиксировано не было (Рис. 1).

Внесение оксида европия в пробу, при облучении без кадмиевого фильтра, привело к снижению отклика аналитического сигнала U по сравнению с контрольной пробой на 27-28 % как для проб с содержанием 2 масс.% Eu_2O_3 так и с содержанием 8 масс.% Eu_2O_3. Данный эффект говорит о существенном поглощении потока тепловых нейтронов Eu даже при концентрации в 2 масс.%, при увеличении содержания Eu процесс выходит на стадию насыщения и не дает существенного прироста поглощения. При облучении проб допированных Eu с кадмиевым фильтром снижение составило 9-10% как для проб с содержанием 2 масс.% Eu_2O_3 так и с содержанием 8 масс.% Eu_2O_3. Данный эффект говорит о значимом поглощении и потока резонансных нейтронов (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние микропримесей поглотителей на результаты определения урана методом ИНАА

Название пробы	$I_{апп}$, имп/с (без кадмия)	Отклик S (без кадмия)	$I_{апп}$, имп/с (в кадмии)	Отклик S (в кадмии)
ZrU - исходная	0,916 ± 0,032	0,876 ± 0,031	0,731 ± 0,016	0,700 ± 0,017
ZrUY (2 масс.% Y_2O_3)	0,937 ± 0,058	0,917 ± 0,056	0,705 ± 0,026	0,689 ± 0,025
ZrUY (8 масс.% Y_2O_3)	0,901 ± 0,062	0,941 ± 0,064	0,736 ± 0,054	0,720 ± 0,051
ZrUEu (2 масс.% Eu_2O_3)	0,653 ± 0,033	0,638 ± 0,032	0,649 ± 0,011	0,634 ± 0,011
ZrUEu (8 масс.% Eu_2O_3)	0,621 ± 0,038	0,648 ± 0,041	0,647 ± 0,012	0,643 ± 0,016

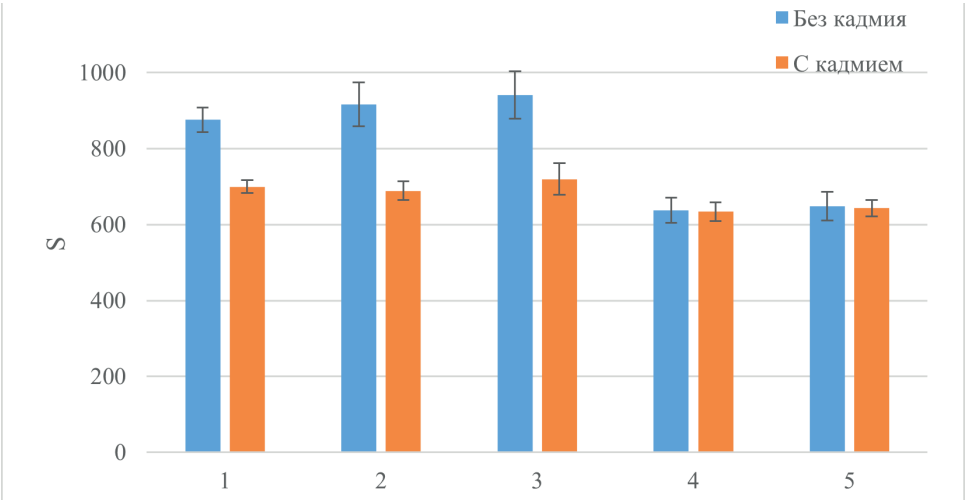


Рисунок 1 – Изменение чувствительности аналитического сигнала урана в пробе оксида циркония: 1 – чистого; 2 – допированного 2 масс.% Y_2O_3; 3 – допированного 8 масс.% Y_2O_3; 4 – допированного 2 масс.% Eu_2O_3; 5 – допированного 8 масс.% Eu_2O_3 (облучение в кадмиевом фильтре и без него)

Изменение интенсивности аналитического сигнала обусловлено как поглощением гамма-линии ^{239}U (74,7 кэВ), так и поглощением тепловых и резонансных нейтронов в объеме пробы. При этом цирконий обладает высоким сечением поглощения гамма-излучения.

Для учета эффекта самопоглощения гамма-изучения в объеме пробы рассчитывали массовый коэффициент ослабления для линии ^{239}U путем интерполяции данных (в диапазоне энергий 30-100 кэВ), полученных с использованием *Photon Cross Sections Database* «*XCOM*» [14]. Погрешность аппроксимации справочных данных не превышала 2%. Данные о дифференциальных сечениях взаимодействия нейтронов с веществом матриц проб получены с использованием базы данных *EXFORD* [15].

На основании полученных справочных данных выполнен расчет линейного коэффициента ослабления и макроскопического сечения взаимодействия нейтронов с исследуемыми образцами:

$$\mu_s - \mu_p \qquad (3)$$

где: μ_s - линейный коэффициент ослабления гамма-излучения; μ - массовый коэффициент ослабления гамма-излучения; ρ - плотность образца.

$$\Sigma_{ij} = \frac{n_i}{M_i} N_A \sigma_{ij} \qquad (4)$$

где: Σ_{ij} – макроскопическое сечение взаимодействия нейтронов с элементом; n_i – ядерная плотность; M_i – атомная масса элемента; N_A – постоянная Авогадро; σ_i - дифференциальное сечение взаимодействия нейтронов; i – номер элемента; j – номер энергетической группы нейтронов.

Для учета эффекта ослабления гамма-излучения вещество пробы осуществляли нормирование полученного значения аналитического сигнала $I_{апп}$ на соответствующий линейный коэффициент ослабления μ_S. Отработка методики нормировки проводилась для потоков резонансных нейтронов (для проб, облученных в кадмиевом фильтре). Полученные в результате нормировки данные приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Учет влияние эффекта самоэкранирования излучения ^{239}U на аналитический сигнал урана (для резонансных нейтронов, прошедших кадмиевый фильтр)

Шифр пробы	Σ_{ij}, см	μ_s^{-1}, см	$I_{апп}$, *имп/(сек·мг)*	$I_{норм}$, *имп/(сек·мг)*
ZrO_2	49,53	3,10	0,034 ± 0,003	0,034 ± 0,006
ZrO_2+2,5% Y_2O_3	51,58	3,22	0,035 ± 0,002	0,038 ± 0,008
ZrO_2+3,8% Y_2O_3	51,05	3,09	0,039 ±0,003	0,039 ± 0,008
ZrO_2+2,0% Eu_2O_3	0,92	3,36	0,031 ± 0,002	0,037 ± 0,008

Из представленных данных следует, что при количественном анализе содержания урана методом ИНАА на резонансных нейтронах значительное влияние на точность определения оказывает эффекты самоэкранирования излучения ^{239}U. Учет данного эффекта с использованием эмпирической зависимости, полученной авторами ранее, позволяет с высокой точностью определять содержание урана в образцах различного состава, в том числе, и в образцах, характеризующихся высокими значениями сечений поглощения нейтронного излучения. Таким образом микропримеси способны существенным образом влиять на результаты определения урана методом ИНАА. Результаты определения аналитической линии урана зависят как поглощением гамма-линии ^{239}U, так и поглощением тепловых и резонансных нейтронов микропримесями в объеме пробы. Для нейтронов резонансных энергий определяющим механизмом является процесс поглощения гамма-излучения элементами пробы.

Выводы

Для определения содержания урана использован метод инструментального нейтронно-активационного анализа с радионуклидным источником нейтронов на основе Cf-252. Предложенный метод позволяет эффективно определять содержание урана в пробах с различным макро и микроэлементным составам, учитывая, как поглощение нейтронов элементами с высоким сечением взаимодействия при активации, так и поглощение гамма-излучения U-239 материалом пробы при измерении активности. На основе полученных данных возможно и решение обратной задачи по определению сечения поглощения элементов примесей в урансодержащих пробах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. El-Taher A. INAA and DNAA for uranium determination in geological samples from Egypt //Applied Radiation and Isotopes. – 2010. – Vol. 68, №. 6. – P. 1189–1192.
2. Chajduk E., Kalbarczyk P. Critical comparison of INAA and ICP-MS applied in the characterization of purity of TRISO fuel and substrates to its production // Nukleonika. – 2021. – T. 66. – №. 4. – C. 121–126.
3. Ramakrishna P., Brahmaji Rao J.S., Kumar G.V.S., Kumar R., Radha E. Determination of Uranium in U-Al alloy using INAA // Proceedings of the fifteenth international conference on modern trends in activation analysis: book of abstract. – 2019. – P. 97.
4. Benedik L., Pilar A.M., Prosen H., Jaćimović R., Povinec P.P. Determination of ultra-trace levels of uranium and thorium in electrolytic copper using radiochemical neutron activation analysis //Applied Radiation and Isotopes. – 2021. – Vol. 175. – P. 109801.
5. Титова А.Д. и др. Определение урана в водных растворах методом времяпролетной масс-спектрометрии с импульсным тлеющим разрядом после его концентрирования окисленными углеродными нанотрубками // Аналитика и контроль. – 2020. – Т. 24. – №. 2. – С. 96–106.
6. Khattab M. R., Tuovinen H., Lehto J., El Assay I.E., El Feky M.G., Abd. El-Rahman M.A. Determination of uranium in Egyptian graniteic ore by gamma, alpha, and mass spectrometry // Instrumentation Science & Technology. – 2017. – Vol. 45, №. 3. – P. 338–348.
7. Ahmed R.S. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy // Environmental Forensics. – 2021. – Vol. 22, No. 1-2. – P. 91-98.
8. Damastuti E., Santoso M., Yusuf S., Yatu N. W. An interlaboratory comparison of INAA analytical method for coal fly ash elemental characterization // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Vol. 1436, No. 1. – P. 012138.
9. Rosenberg R., Zilliacus R. Determination of impurities in nuclear fuel element components by neutron activation analysis // Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. – 1993. – T. 169. – №. 1. – C. 113-124.
10. Landsberger S., Kapsimalis R. Comparison of neutron activation analysis techniques for the determination of uranium concentrations in geological and environmental materials //Journal of environmental radioactivity. – 2013. – Vol. 117. – P. 41-44.
11. Hadad K., Nematollahi M., Sadeghpour H., Faghihi R Moderation and shielding optimization for a 252Cf based prompt gamma neutron activation analyzer system // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – Vol. 41. – No. 17. – P. 7221-7226.
12. Munita C.S., Glascock M.D., Hazenfratz R. Neutron activation analysis: an overview // Recent advances in analytical techniques. – 2019. – Vol. 3. – P. 179-227.
13. Иванников С.И., Иванов В.В., Маркин Н.С., Руслан А.В., Земскова Л.А. Определение стратегически важных металлов в графитистых образованиях методом нейтронно-активационного анализа с калифорниевым источником // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2024. – Т. 90, № 3.
14. Hubbell J.H., Seltzer S.M., Chang J., Coursey J.S., Sukumar R., Olsen,K. XCOM: photon cross section database (version 1.5), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2010 URL http://physics.nist.gov/xcom (дата обращения 05.01.2024 г.)
15. Otuka N., Dupont E., Semkova V., Pritychenko B., Blokhin A. I., Aikawa M., Lalremruata B. Towards a more complete and accurate experimental nuclear reaction data library (EXFOR): international collaboration between nuclear reaction data centres (NRDC) // Nuclear Data Sheets. – 2014. – Vol. 120. – P. 272-276.

НАКЛОННО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ МНОГОЗАБОЙНЫЕ СКВАЖИНЫ С ЗАРЕЗКОЙ БОКОВЫХ СКВАЖИН ПЕРСПЕКТИВА УВЕЛИЧЕНИЯ ОТДАЧИ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ УРАНА ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ ЭФФЕКТИВНОЕ БУРЕНИЕ КАК ПРИОРИТЕТ

Калдасов А.К., к.т.н.,
член-корреспондент Национальной академии горных наук РК
Рыспанов Н.Б., д.т.н.,
академик Национальной академии горных наук РК

Устойчивое развитие добычи урана в рамках Отрасли безальтернативно требует системного повышения общей эффективности строительства скважин – как в части меньше тратить, так и больше добывать – на основе обоснованного применения современных технологических и управленческих решений в области бурения, реконструкции и заканчивания скважин, и перспектива повышения эффективности добычи в первую очередь с применением передового опыта в бурении горизонтальных, наклонно-горизонтальных скважин многозабойных параллельных стволов.

Технологическое развитие

Новые перспективные объекты разработки (трудноизвлекаемые запасы различных залежей) имеются в традиционных регионах добычи с развитой инфраструктурой. При этом, их эффективная разработка представляет значительную сложность с точки зрения сочетания необходимых условий, включая адекватные технологические возможности, развитый рынок сервиса, государственное стимулирование и другие. Требуется значительное повышение технологического и управленческого уровня в строительстве скважин, что в свою очередь диктует необходимость принятия недропользователями и государством комплекса мер, в том числе применение новых управленческих подходов, развитие конкуренции в недропользовании и на рынке сервиса.

К примеру, взять опыт нефтегазовой отрасли, проект разработки месторождения Карачаганак содержит наиболее передовой опыт в бурении и заканчивании горизонтальных скважин (ГС) на сухопутных месторождениях РК. Горизонтальные скважины являются основным инструментом разработки месторождения, их длина составляет в среднем около 6500 м. На них применяются самые высокотехнологичные решения, включая многостадийный селективный гидроразрыв пласта на основе загущенной кислоты, возможности по использованию технологического опыта с этого проекта в рамках урановой отрасли являются перспективными.

Передовой мировой опыт бурения был привнесен в Казахстан мировыми грандами буровых технологий компаниями Шлюмберже и Халибуртон. Многие казахстанские месторождения уже применили опыт горизонтальных скважин, также имеется опыт реконструкции скважин путем бурения боковых горизонтальных стволов (БГС) с применением роторных управляемых систем (РУС).

Рост рынка: Перспективы для уранового бизнеса

На сегодняшний день количество вводимых в буровой отрасли РК горизонтальных скважин можно оценить в 3–4% от общего числа эксплуатационных скважин. Для сравнения, в РФ этот показатель в 2017 году в целом по отрасли составил немногим более 40%. Темпы роста физических объемов горизонтального бурения на среднесрочную перспективу в 5 лет (2018-2022) можно оценить в диапазоне от 30 до 50%. Расширение применения горизонтального бурения в Отрасли будет означать рост объемов рынков соответствующего сервиса и оборудования, включая сопровождение наклонно-направленного бурения, заканчивание скважин и другие. Также будет меняться характер договорных отношений между заказчиками и подрядчиками: от доминирующего сегодня в бурении эксплуатационных скважин генерального подряда – в сторону увеличения роли раздельного сервиса. Вероятно, это усилит конкуренцию на рынке бурения, на котором сегодня сильны устойчивые отношения между ведущими заказчиками и традиционными буровыми подрядчиками.

Рынок технологического сервиса по сопровождению наклонно-направленного бурения (ННБ), в который входят телеметрия и каротаж в процессе бурения, РУС, ВЗД, имеет значительный потенциал роста. Для сопоставления, на сегодняшний день удельные затраты на ННБ в среднем на одну эксплуатационную

скважину (всех типов) в российской нефтедобывающей отрасли составляют более $60/метр – что примерно в 4 раза выше показателя по буровой отрасли РК (оценки для РК сформированы на основании данных по объему рынка геологического и геофизического сервиса, опубликованных ассоциацией KazService). Среднегодовые темпы роста рынка сервиса ННБ с 2011 по 2017 год, то есть за период, когда доля горизонтального бурения выросла со скромных 11% до 41% – составляли 14%.

В перспективе услуги и оборудование, связанные с горизонтальным бурением, будут основным драйвером рынка бурового сервиса в урановой отрасли. По оценочным расчетам, при достижении горизонтальным бурением уровня 10% от эксплуатационного бурения, объем рынка сервиса, связанного со строительством горизонтальных скважин, составит более 400 млн долларов в год, из которых на сопровождение ННБ придется более 100 млн долларов.

В настоящее время потребность в горизонтально-направленном бурении не уменьшилась, а, наоборот, существенно увеличилась. В целом, бурение горизонтальных скважин более эффективно и экономически выгодно по сравнению с бурением вертикальных или наклонно-направленных скважин после ввода скважин в эксплуатацию. Поэтому перспективно направление в бурении более сложных трехмерных (3D) горизонтальных скважин с большими отходами от вертикали с использованием новейших технологий наклонно-направленного бурения, которые могут повторять контуры залегания рудных залежей. Кроме того, все шире будет использоваться преимущества бурения многоствольных горизонтальных скважин, стратегически расположенных в целевом рудном горизонте, создавая условия площадного расположения горизонтальных скважин.

Схематично, бурение скважин с 3–5 боковыми горизонтальными стволами используя метод срезки в открытом стволе без цементного моста, и проходкой суммарно более 2 000 м показано на рисунке 1.

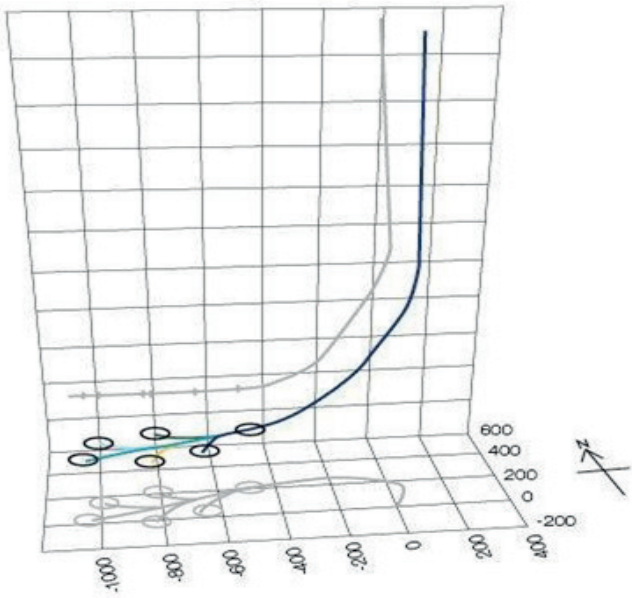


Рисунок 1 – Пример многозабойной скважины с пятью горизонтальными боковыми стволами

Потребность в бурении скважин с большими смещениями забоев со временем будет только увеличиваться, что экономически целесообразно в регионах с развитым земледелием и районах, где строить кустовые площадки проблематично из-за природно-климатических условий. При этом ожидается увеличение спроса на строительство скважин с горизонтальными окончаниями, так как это передовой способ добиться хороших дебитов и повысить извлекаемость запасов.

Горизонтальное бурение и скважины с большим отходом от вертикали – это методика разработки месторождения и управления резервуаром продуктивного раствора при подземном выщелачивании урана, частично затрагивающая экономические аспекты капитальных вложений в разработку коммерческих запасов месторождения.

Потребность в горизонтальном бурении, постоянно растет, ввиду осознания недропользователем простого правила – «чем больше протяженность горизонтального участка, тем дешевле обходится строительство скважин за счет сокращения их количества и увеличения объема добычи за счет длинны

вскрытого участка залежи», перспектива в создании искусственных условий фильтрации и движения растворов в массиве.

Обоснование схемы вскрытия технологических блоков

Схема расположения технологических скважин в эксплуатационных блоках, согласно Инструкции по проектированию работ по подземному скважинному выщелачиванию урана на месторождениях НАК «Казатомпром», должна обеспечивать максимально напряженный гидродинамический режим в межскважинном пространстве, так как скорость фильтрации растворов является определяющим фактором интенсивности добычи.При выборе и расчете параметров схем вскрытия существенным фактором, является глубина залегания руд, положение рудных тел в разрезе и в плане, литолого-фациальные особенности, вмещающих отложений. Сложившаяся практика в большинстве проектов вскрытия технологических блоков с рудными залежами представлена исключительно рядная схема вскрытия технологических блоков вне зависимости от залежи и уровня оруденения. На участках с протяженными узкими рудными телами предполагается часто вскрытие реверсивными скважинами. Схема вскрытия рядной системы варьирует от 35 до 50 метров между откачным и закачным рядом. Расстояние между скважинами в реверсивном ряду варьирует от 30 до 40 метров. При выборе размера ячеек учитывается полнота покрытия системой ячеек площадей подсчетных блоков балансовых запасов и контуры самих рудных тел.При отработке мощных рудных тел (более 14 м) на эксплуатируемых месторождениях установлено, что фильтры, посаженные на все рудное тело, часто работают не по всей своей длине, что вызывает слабую проработку нижних интервалов руды и низкую эффективность выщелачивания в целом. Использование при этом поэтапной отработки мощных рудных тел – сначала верхнего рудного подгоризонта, а затем нижнего, связано со значительным усложнением конструкции технологических скважин и малоэффективно, как в отношении равномерности проработки горнорудной массы, так и скорости выщелачивания. При этом и общее время отработки блоков увеличивается, как минимум вдвое. Поэтому на этих блоках проектируется одновременная отработка двух рудных подгоризонтов: верхнего и нижнего, причем, каждый подгоризонт вскрывается своей системой скважин, расположенных по гексагональной схеме с некоторым смещением относительно друг друга. Отработка ведется одновременно. В наиболее сложных горно-геологических ситуациях, когда вскрываются налегающие друг на друга два уровня вскрытие и отработка разноуровневых руд смещаются друг относительно друга как минимум, на год.

Вскрытие технологических блоков с применением технологий наклонно-горизонтального бурения в корне может поменять систему расположения всего парка откачных, закачных , наблюдательных и контрольных скважин.

В зависимости от горно-геологических условий залегания и физико-технических показателей свойств рудной залежи расположение закачных скважин может сохраниться согласно ранее разработанных проектных решений и по нижней границе рудного горизонта проводиться бурение наклонно-горизонтальной многозабойной скважины с горизонтальными боковыми стволами, расположенных под линией закачных скважин.

Модернизация и наличие буровых установок всегда были сложными вопросами в регионе

Не секрет, что в Казахстане в настоящее время остро стоит проблема с качеством парка буровых установок. Те, что имеются в наличии, зачастую не соответствуют требованиям, предъявляемым при бурении горизонтальных скважин со сложными профилями, которые в настоящее время востребованы заказчиками. В основном это касается оснащения буровых установок более современными системами верхнего привода, трехцилиндровыми буровыми насосами и роторами с регулируемой скоростью. По мере увеличения сложности профиля скважины возрастают и нагрузки на бурильную колонну на забое. Во многих случаях на рынке пока нет бурильных колонн, технические характеристики которых (размер или компоновка) позволили бы обеспечить эффективное бурение.

Для оценки конструкции и требований по скважине первоначально необходимо регламентировать процесс разработки услуги (DOS) буровой компанией. На стадии планирования проводятся все необходимые расчеты, после чего выдаются рекомендации по модернизации или замене отдельных элементов буровой установки, подбору бурового инструмента, оптимизации профилей скважин и сеток разработки месторождения, пространственной проводки и залегания наклонно-горизонтальных скважин, а также предложить решения по бурению сложных скважин с большими отходами от вертикали или

горизонтальных скважин с учетом технических характеристик буровой установки. Одним из таких примеров являются роторные управляемые системы (РУС) семейства Geo-Pilot® с силовой секцией GXT, которые позволяют значительно снизить обороты верхнего привода при бурении горизонтальных скважин с большим отходом.

Традиционно изготовление буровых установок было локализовано в Екатеринбурге («Уралмаш») и Волгограде («ВЗБТ»). Перестройка коснулась и этой отрасли. Особенно сложное положение в сегменте буровых станков тяжелого класса. Производство их упало кратно, а имеющиеся на рынке – морально и физически устарели, имея срок эксплуатации близкий к 25 годам с начала выпуска. Выходом из ситуации стал приход зарубежных мировых грандов бурения Шлюмберже, Халибуртон, имеющих собственные буровые комплексы, обеспечившие требования проектов на строительство скважин с увеличенной глубиной бурения и бурения горизонтальных окончаний.

Альтернативой является приобретение импортных буровых станков, где первое место принадлежит китайским производителям, держащим низкую ценовую планку относительно конкурентов при приемлемом качестве.

В России, Китае, США выпускаемые буровые установки всех типов и размеров, в целом, доступны для бурения горизонтальных скважин или скважин с большим отходом от вертикали. Для решения задач, потенциальному Заказчику вопрос, скорее в выборе бурового подрядчика по критериям цена и качество.

В плане внутрискважинных работ при бурении горизонтальных скважин или скважин с большим отходом от вертикали чаще всего Заказчик из-за сложности профилей горизонтальных скважин все чаще сталкивается с проблемой не дохождения нагрузки до долота при бурении с ВЗД. Для горизонтальных скважин с большим отходом проблемой становится неравномерное вращение КНБК, что приводит к неуправляемости КНБК, в результате чего бурение продолжать нельзя. В этом случае наиболее оптимальным решением является применение роторно-управляемых систем (РУС). Благодаря применению РУС бурение производится с постоянным вращением; кроме того, улучшается состояние ствола скважины и вынос выбуренной породы на поверхность в процессе бурения.

Еще одна проблема, с которой приходится сталкиваться заказчикам во время бурения горизонтальных скважин, – малая мощность продуктивных горизонтов (в ряде случаев от 0,5 до 1 м) (рисунок 2). Решением этой проблемы является включение в КНБК приборов каротажа в процессе бурения (УЭС, ГГКп, ННКТ, АКШ, картирование границ пласта) совместно с применением сервиса геологического сопровождения (геонавигации) в реальном времени. В случае проблем с устойчивостью стенок скважин возможно также включение и сервиса по геомеханике. Эти решения позволяют оставаться в продуктивной зоне, в реальном времени корректировать траекторию, оценивать ФЕС и геомеханические свойства.

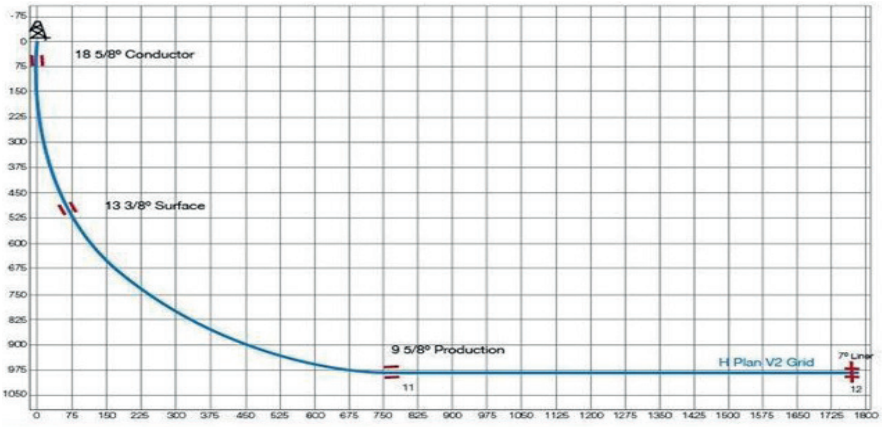


Рисунок 2 – Пример горизонтальной скважины с большим отходом при малой глубине по вертикали

Наибольшей проблемой является ликвидация осложнений, в основном поглощений вплоть до катастрофических и обеспечения устойчивости стенок скважин, а также решение вопроса безаварийной проводки в продуктивных горизонтах с посаженными давлениями (дифференциальные прихваты). Второй вопрос – недостаточная проработка проектных решений, обеспечивающих качественное выполнение строительства скважин с высокими зенитными углами. Главной причиной этого является, как недостаточный опыт проектирования подобных работ, так и желание по максимуму удешевить стоимость

строительства. Сервис по телеметрии – это внешний дополнительный сервис. Так, заказчик, выступающий в роли генерального подрядчика при строительстве отдельных скважин «под ключ», к сожалению, вынужден порой нести геологический и инженерно-технический риск по скважинам, который, по идее, является риском недропользователя. В этой связи проблем может быть много: надежность телесистемы, надежность ВЗД, риски потери целостности скважины в горизонтальных участках во время катастрофических поглощений и проявлений, особенно, если последние не были заранее заложены в проекты и на буровой площадке отсутствуют материалы для борьбы с такими осложнениями, да всех трудностей не описать. К любой скважине, особенно горизонтальной или с большим отходом от вертикали, необходимо серьезно готовиться, отрабатывать ее проводку с помощью программных комплексов, выявлять все возможные риски и осложнения, оценивать бюджет преодоления осложнений и т.д.

В Казахстане имеются значительные запасы на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки. Для увеличения дебита продуктивного раствора на таких месторождениях является технология бурения боковых стволов, позволяющих увеличить срок эксплуатации месторождений, находящихся на поздней стадии разработки. При разработке зрелых месторождений могут остаться неохваченными продуктивные зоны (которые не были выявлены при первоначальном бурении) или выявленные продуктивные зоны на различных глубинах, которые на момент бурения скважин не были основной целью разработки. Для зрелых месторождений возможно бурение наклонно-горизонтальных скважин с зарезкой боковых стволов (ЗБС) из существующей вертикальной скважины, а также бурение горизонтального бокового ствола для большего вскрытия коллектора. Бурение бокового ствола позволяет сократить расходы на обустройство устьев скважин, строительство трубопроводов и крепление обсадными трубами «приповерхностного» интервала, поскольку все это уже сделано. Бурение подобных скважин позволяет решить большинство задач, которые стоят перед заказчиками. Более сложные скважины требуют индивидуального подхода и привлечения широкого круга специалистов, в частности инженеров сервиса по оптимизации бурения ADT®, задачей которых является контроль и оптимизация бурения в реальном времени.

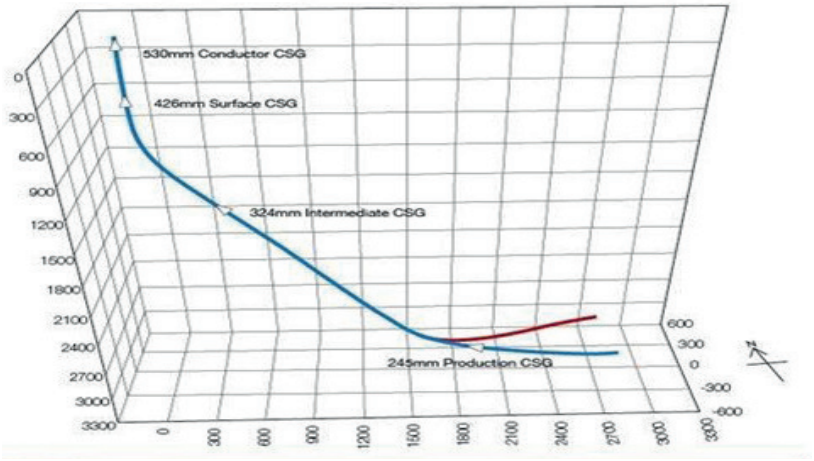


Рисунок 3 – Пример скважины с общей протяженностью бокового ствола более 1200 м

ЗБС хорошее решение, позволяющее обеспечить уплотнение сетки разбуривания и вовлечь в работу «целики», обнаруженные в процессе переинтерпретации данных о месторождении. К тому же и стоимость работ по ЗБС составляет, как правило, от одной трети до половины стоимости строительства новой скважины, имеется возможность использования ранее построенной наземной инфраструктуры, а благодаря достаточной изученности эксплуатируемого месторождения, успешность доходит до 50%. Неудивительно, что спрос на ЗБС повышается ежегодно. Впрочем, как и сложность ставящихся задач. Если ранее необходимо было обеспечить элементарное перебуривание скважины новым стволом с новыми координатами точки входа в продуктивный пласт, то сейчас ставится цель пробурить новый ствол с горизонтальным окончанием, обсаженным для производства ГРП, зачастую многостадийного.

Какие специфические проблемы часто возникают при выполнении работ по зарезке бокового ствола. Основные сложности, с которыми приходится сталкиваться во время зарезки боковых стволов, – это конструкции скважин со сложными профилями и большими пространственными интенсивностями (набор кривизны и изменение направления ствола). К сожалению, не все казахстанские и другие сервисные

компании обладают соответствующим опытом и технологиями. Зачастую у заказчиков возникает необходимость в решении проблем, вызванных неудачными первоначальными попытками, что влияет на рентабельность и затраты.

В этом случае приоритетом всегда является безопасность, а одной из главных задач – безопасная проводка скважины и снижение рисков пересечения с ранее пробуренными скважинами. Для решения этой задачи используется современная телеметрия с малыми погрешностями измерений, а также специальное программное обеспечение, которое позволяет выполнять замеры и корректировать их с учетом влияния внешних магнитных эффектов.

Строительство боковых горизонтальных стволов в условиях интенсивно разрабатываемых месторождений неизбежно сопряжено с большими сложностями. Высокая техногенность объектов бурения, как следствие интенсивной разработки горизонтов в регионах бурения боковых стволов из старого фонда скважин (ППД, отборы, высокая динамика выполнения различных геолого-технических мероприятий и т.д.), определяет высочайшую степень неопределенности информации в графиках совмещенных давлений, что приводит к таким видам осложнений, как осыпи, ГНВП, дифференциальные прихваты и прочее. Бурение боковых стволов с горизонтальным окончанием в условиях интенсивно разрабатываемых месторождений на поздней стадии эксплуатации сопряжено с высокой аварийностью работ.

Наибольшие опасности связаны с несоответствием фактических данных по скважине с проектными, как в части траектории, так и в части физического состояния обсадной колонны и наличия заколонной оснастки. А это значит, что перед тем как приступить непосредственно к ЗБС, крайне важно выполнить комплекс подготовительных работ: построение уточненного профиля с использованием гироскопического инклинометра, контроль качества крепления и технического состояния эксплуатационной колонны. После этого опасности будут подстерегать уже при непосредственной проводке бокового ствола, что, как правило, связано с наличием посаженного забойного давления и технических вопросов, обусловленных выполнением работ в ограниченном диаметре, не позволяющем использовать большую часть технических устройств, обеспечивающих безопасность бурения. Таким образом, для успешного решения задач ЗБС необходима проработка вопросов безопасности их выполнения на стадии оценки технического состояния ствола имеющейся скважины, согласования программы проводки и решения вопросов безаварийного выполнения завершающих работ, включая спуск и качественное крепление обсадной колонны там, где это необходимо.

Но главное при любом бурении, включая бурение вторых стволов, – надежность оборудования, профессионализм инженеров и линейного персонала, проверенные в работе внешние сервисные подрядчики.

Основной проблемой является чередование горизонтов с пониженным и нормальным для месторождения пластовым давлением подземных вод, что в свою очередь вызывает риски поглощения реагентной жидкости и проявления флюида. Как правило предупреждением осложнений является подбор разнофракционного кольматанта для изоляции таких зон и регулирование плотности реагентной жидкости.

Заказчики стараются снизить объем капитальных затрат и Заказчик может свести к минимуму свои затраты на бурение горизонтальных скважин и зарезку бокового ствола

Сейчас многие компании-операторы приходят к пониманию того, что снижение стоимости бурения может достигаться не только за счет уменьшения затрат по каждому этапу, но и, наоборот, за счет более дорогих и эффективных технологий. Так, например, бурение с приборами каротажа позволяет отказаться от каротажа на кабеле, использование РУС (в частности, систем Geo-Pilot) позволяет увеличить скорость бурения и снизить количество шаблонировок. Сервис по оптимизации бурения позволяет контролировать забойные шоки и вибрации, что приводит к снижению непроизводительного времени (НПВ). Сервис по геонавигации позволяет эффективно провести скважину в наиболее перспективной зоне коллектора, тем самым способствуя максимальному увеличению дебитов и коэффициентов отдачи продуктового раствора.

Многозабойные скважины станут одним из решений снижения объема капитальных затрат, так как они позволяют с одного устья/куста пробурить несколько горизонтальных окончаний, что значительно увеличивает зону дренирования продуктивного горизонта и дебиты скважины по продуктивному раствору.

Если говорить о снижении затрат на бурение, то существуют два пути: первый – это влияние на себестоимость бурения путем снижения стоимости сервисных услуг подрядчиков и цен поставщиков материалов, второй и наиболее правильный – работа по срокам строительства скважин как в ЗБС так и в бурении. Основная составляющая затрат – это время аренды буровой установки и оплаты стоимости

необходимых сервисов при бурении. Известны примеры, когда Заказчик направлял свои усилия на привлечение качественных и совсем не дешевых подрядчиков, создавал у себя мощную инженерную службу и в результате значительно сокращал сроки строительства скважин. К примеру, максимально упрощать геонавигацию и сократить бурение «пилотных стволов» на горизонтальных скважинах.

Необходимо критически осмыслить опыт строительства скважин на месторождении, при проектировании сетки разработки использовать весь имеющийся геологический материал, включая карты отборов и данные о текущих показателях фильтрации горизонта рудной залежи. А для выполнения работ привлекать современное оборудования и технологические решения, что позволит сократить сроки строительства и обеспечить своевременный ввод скважин в эксплуатацию.

Главный путь снижения затрат – это эффективность. Это означает, что на каждом этапе подготовки и планирования строительства скважин нужно максимально вдумчиво подходить к конкретному проекту, используемому оборудованию, специальным дополнительным сервисам, которые могут увеличить общую суточную ставку бурения, но, в конечном итоге, должны позволить построить скважину в более короткий срок. А экономия будет в абсолютной цене скважины, а не в низкой суточной ставке бурения, взятой вне контекста сервисов и общего срока строительства скважины и ее конечной стоимости. К сожалению, пока на свободном рынке так бывает не всегда. Тендеры проводят, главным образом, сопоставляя суточные ставки буровых подрядчиков, без учета преимуществ буровых установок более дорогого, на первый взгляд, подрядчика, без учета наличия у него возможности снизить цикл строительства скважин и получить для заказчика дополнительную нефть.

Оптимальные скорости проходки при бурении, высокое качество ствола скважины, а также вскрытие продуктивного пласта – таковы основные требования ко всем работам по бурению горизонтальных скважин и зарезке бокового ствола. Передовые методы может использовать Заказчик для обеспечения результативности бурения горизонтальных скважин и зарезки бокового ствола в виде РУС Geo-Pilot с системой Point-the-Bit, которая позволяет бурить с высокими механическими скоростями и с поддержанием высокого качества ствола скважины. Наличие над долотными модулями датчиков гамма-каротажа ABG™ и инклинометрии ABI™ позволяет бурить горизонтальные скважины в целевых продуктивных горизонтах малой мощности. Еще одним решением, позволяющим уменьшить сроки бурения, является система двусторонней нисходящей связи Geo-Span®. Данная система позволяет отправлять команды на приборы КНБК (РУС, телеметрия, датчики каротажа) во время бурения без снижения механической скорости проходки. Команды, переданные с помощью данной системы, позволяют точнее корректировать траекторию скважины и изменять набор данных ГИС в реальном времени при изменении геологических данных.

Важным аспектом оптимизации бурения горизонтальных скважин является подбор пары долото + ВЗД, так как бурение в различных регионах значительно отличается по своим условиям. Подбирают оптимальный по оборотам и моменту на валу ВЗД и долота, соответствующие конкретным геологическим разрезам. Так, например, ВЗД с профилированным статором Geo-Force® с одинаковой толщиной стенок силовой секции позволяют добиться увеличения скорости проходки на 30–50 % по сравнению со стандартными ВЗД.

Если говорить о бурении, то большинство работ Заказчики производят на условиях раздельного сервиса. Это позволяет Заказчику полностью управлять процессом строительства скважин, накапливать опыт и применять наиболее прогрессивные технологии. Неоднородность геологических условий у операторов требует привлечения соответствующих технологий. Сегодня их на рынке очень много – бурение с использованием РУС, бурение на депрессии, бурение на обсадных колоннах, многообразие систем буровых растворов. Основной и немаловажный фактор – это цена, которая должна быть оправдана. В условиях девальвации тенге и падения цен на уран дорогие технологии не окупаются у операторов.

Основным, после проработки вопросов выбора оптимальной траектории, считают сопровождение в режиме реального времени процесса бурения и выполнение необходимых корректировок с траектории с учетом фактического состояния вскрываемого разреза.

Для обеспечения результативности бурения оператор должен владеть новыми технологическими возможностями и преимуществами современных буровых установок, уметь использовать их в конкретных геолого-технических условиях своей концессии. Оператор должен привлекать новейшие инновационные буровые установки, которых, к сожалению, не так много в нашей стране. Речь идет о современных мобильных буровых установках (МБУ) с возможностью регулируемого гидравлического давления вниз на долото без изменения КНБК (pull down system); МБУ с возможностью регулируемого гидравлического давления на башмак обсадной колонны вниз при спуске ОК в наклонно направленных, горизонтальных участках ствола

скважины; буровых установках с возможностью спуска обсадных колонн с промывкой и вращением ОК штатным оборудованием в любой момент спуска ОК, без необходимости дополнительных операций с навинчиванием переводников, промывочных пакеров и т.д.. Также, полезными являются современные новые технологии и сервисы с использованием системы непрерывной циркуляции бурового раствора без перерывов на наращивание, с использованием системы бурения с управляемым давлением и др.

По существу, нужен комплекс технологий, в составе которых зачастую присутствуют:

- промывочные жидкости содержащие специальные добавки;
- роторно-управляемые системы совместно с каротажом во время бурения;
- телесистемы с гидравлическим каналом;и другие известные технологии.

Наиболее частые причины непроизводительных затрат времени (NPT) в ходе бурения горизонтальных скважин и зарезки бокового ствола

Наиболее частыми причинами НПВ являются простои буровой установки по причине поломок и выхода из строя оборудования. Немаловажной причиной также является так называемое «скрытое НПВ», которому часто не уделяют должного внимания. Скрытое НПВ – это неоптимальная работа бригад, неэффективное использование оборудования и низкое качество цементирования, которые не позволяют обеспечить необходимые условия для КНБК в точке начала набора кривизны. Как правило, все это не учитывается как непроизводительное время, но для повышения эффективности может быть устранено. Как показывает проведенный анализ, скрытое НПВ может достигать 20 % от общего времени строительства скважины.

Для минимизации НПВ специалисты проводят технический анализ и выдают рекомендации заказчикам. Особое внимание уделяется контролю за забойными шоками и вибрациями с тем, чтобы энергия, передаваемая на долото/КНБК, использовалась для бурения новых горизонтов, а не терялась вследствие вредных вибраций. Сервисы по геомеханике и геонавигации позволяют свести к минимуму риски НПВ, связанные с изменением геологических условий. Кроме того, повреждение долота/КНБК может быть вызвано ударными нагрузками, возникающими вследствие некачественной калибровки наземного оборудования буровой установки.

Самое весомые затраты по причине непроизводительного времени у всех подрядчиков и компаний-операторов – это аварии и геологические осложнения. Последствия внутрискважинных инцидентов выражаются в потере дорогостоящего оборудования в скважине и повторном бурении. Причины разные: человеческий фактор, выходы из строя оборудования, несовместимые геологические условия. Работа по предотвращению НПВ начинается на этапе проектирования скважины. Очень важно получить от Заказчика всю необходимую информацию для проектирования работ в скважине и качественно оценить риски до начала бурения или ЗБС. На этом этапе важна совместная инженерная работа Подрядчика с Заказчиком. И правило «Заказчик всегда прав» здесь не работает. Есть еще важная проблема – дефицит квалифицированного персонала на рынке труда. Имеем хороший проект, есть высокотехнологичное оборудование, но по опыту всех буровых подрядчиков в части аварий присутствует человеческий фактор. Это глобальная проблема и Подрядчикам ее самостоятельно не решить. Нужны программы на государственном уровне. Пока квалификацию стараемся повышать собственными силами.

При хорошей организации работ, исключении влияния факторов физического состояния бурового оборудования, инструмента и квалификации персонала, основными проблемами могут быть лишь те, что относятся к несоответствию вскрываемого разреза проектным данным. А это остановки, связанные с переосмыслением геологической информации, выработкой решений по изменению профиля и, в самом неприятном варианте – перебуриванием ствола по новой траектории. Таким образом, мы снова возвращаемся к вопросу качественной проработки ПД на строительство дополнительного (бокового) ствола на этапе проектирования.

Инструменты или услуги используемые для проектов бурения горизонтальных скважин и зарезки бокового ствола. Адаптация технических решений к различным горизонтам рудных залежей и вмещающим типам пород, встречающимся в разных регионах

Для бурения горизонтальных скважин и ЗБС буровые подразделения/компании должны использовать всю линейку оборудования по ННБ, в частности ВЗД, РУС, приборы каротажа во время бурения, а также услуги по оптимизации бурения и геологическому сопровождению.

Как уже отмечалось ранее, специфика бурения в различных горно-геологических регионах может

сильно отличаться, поэтому в современных условиях каждый проект уникален. В связи с этим в каждом конкретном случае необходимо подобрать оптимальную рабочую пару долото + ВЗД или долото + РУС, определить наиболее подходящий набор датчиков каротажа во время бурения и учесть опыт, накопленный в ходе реализации предыдущих проектов, в том числе с привлечением специалистов по сейсмическому анализу. Так, например, накопленный опыт позволяет нам использовать ВЗД с фиксированным углом перекоса. ВЗД поступают на буровую полностью готовыми к использованию, что значительно экономит время, затрачиваемое на сборку КНБК. Из-за более агрессивных параметров бурения, возможных с данным видом ВЗД, достигается значительное увеличение скорости проходки и сокращение сроков строительства скважин.

В качестве примера успешного опыта адаптации и оптимизации строительства скважин можно привести показатели, достигнутые на месторождении (рисунок 4), где сроки строительства скважин были значительно сокращены.

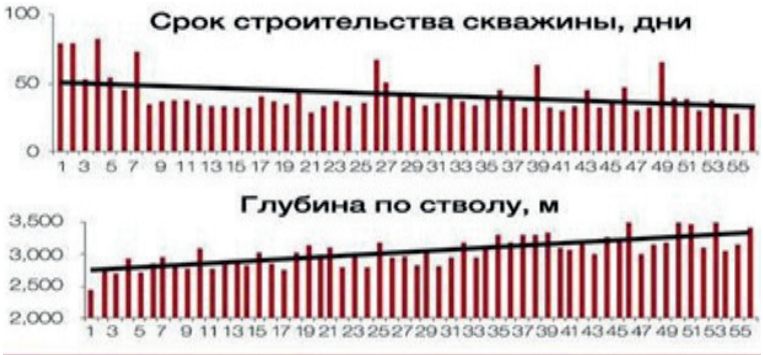


Рисунок 4 – Пример оптимизации проекта

В ходе реализации проекта пробурено свыше 50 скважин с увеличенной общей длиной, при этом сроки строительства скважин были сокращены более чем на 15%.

В зависимости от поставленных задач используется весь передовой опыт и технико-технологические решения. Если коротко, то это:

- использование клиньев различной конструкции с набором фрез, позволяющих осуществить вырезку окна за один спуск с предварительным ориентированием в заданном азимуте;
- использование телесистем с гидравлическим каналом связи и дополнительными модулями датчиков гамма-каротажа и резистивиметрии;
- использование специального инструмента для многозабойного заканчивания;
- применение различного специального инструмента (ТБТ, расширителей, осцилляторов и т.п.);
- использование разнообразных подвесных устройств «хвостовиков», позволяющих произвести крепление как с цементированием, так и без него, включая установку фильтров или специальных портов для производства МГРП, и многое другое.

Зарубежная практика показало, что бурение горизонтальных скважин и ЗБС можно производить на месторождения урана с технологиями подземного выщелачивания быстро и эффективно, если подрядчик обладает новейшим парком буровых установок и цементировочных флотов, например, уникальная мобильная буровая установка МБУ «Викинг 6000 ВЕИ Д 340-32» производства итальянской фирмы ВЕИ (WEI Srl, Fiorenzuola D’Arda) грузоподъемностью 340 метрических тонн, перевозимой всего на двух полуприцепах. МБУ штатно оснащены вышеназванными возможностями и преимуществами: система «pull down”, система “over top drive”, использование овершота вместо традиционных элеваторов для спуска ОК и СПО и др.

Для бурения горизонтальных скважин внедряют индивидуальные программы по строительству скважин с использованием роторных управляемых систем, Vortex, LWD, Биополимерных растворов. Также для оптимального бурения внедряют предбуровой геомеханический анализ, планирование технологий в режиме реального времени, «бурение на бумаге» с исключением проблем проявлений, нестабильности ствола, поглощений бурового раствора. Успешное применение следующих технологий:

- бурение в самых сложных горно-геологических условиях:
- разобщение продуктивных горизонтов в сложно-построенных геологических разрезах;

• применение методов крепления горизонтальных скважин, сохраняющих коллекторские свойства продуктивного ураносодержащего пласта;

• применение безглинистых, биополимерных, полимер-солевых, полисахаридных буровых растворов, а также растворов на углеводородной основе;

Адаптация технологий к различным горно-геологическим условиям, происходит в обязательном порядке.

Примеры успешных работ по бурению горизонтальных скважин за последнее время

Наклонно-горизонтальные скважины играют важную роль в методах подземного скважинного выщелачивания урана. Этот процесс, также известный как метод ISR (in-situ recovery) и как наклонно-горизон-тальные скважины применяются в этом процессе:

1. Ввод раствора: Сначала бурятся параллельные горизонтальные скважины внутри уранового месторождения, расположенные по верхней и нижней границе рудного горизонтае . Эти скважины могут быть пробурены под наклоном, горизонтально, повторяя контуры залегания залежи, чтобы охватить максимальную площадь месторождения. Через эти верхние наклонно- горизонтальные скважины вводится специальный раствор, содержащий химические реагенты, которые образуют комплексы с ураном, делая его растворимым в воде.

2. Реагенты и выщелачивание: Раствор, проходя через рудную залежь месторождение, реагирует с урановыми минералами, превращая их в растворимые соединения. Этот процесс называется выщелачиванием. Наклонно-горизонтальные скважины обеспечивают эффективное погружение раствора внутрь месторождения, что увеличивает контакт между раствором и урановыми минералами.

3. Извлечение раствора: После того как уран выщелачен из породы, раствор, содержащий уран, собирается с помощью ниже проведенных наклонно-горизонтальных скважин, расположенных на нижних горизонтах пограничных участках месторождения. Этот раствор затем перерабатывается для извлечения урана.

4. Рециркуляция раствора: Раствор, содержащий уран, может быть повторно введен в месторождение через наклонно-горизонтальные скважины после извлечения урана, что позволяет многократно использовать раствор и повышает эффективность процесса.

Использование наклонно-горизонтальных скважин в методах подземного скважинного выщелачивания урана помогает оптимизировать процесс, обеспечивая более равномерное и полное выщелачивание урана из месторождения, а также увеличивая эффективность и уменьшая воздействие на окружающую среду.

Наклонно-горизонтальные скважины для подземного скважинного выщелачивания урана применялись в различных местах в мире, включая:

1. США: В Соединенных Штатах применяются наклонно-горизонтальные скважины для выщелачивания урана в штатах, таких как Техас и Вайоминг.

2. Австралия: В Австралии также применяются подземные методы выщелачивания урана, включая использование наклонно-горизонтальных скважин на некоторых месторождениях.

3. Канада: Канада также является крупным производителем урана, и методы выщелачивания применяются на различных месторождениях в стране, возможно, включая использование наклонно-горизонтальных скважин.

Это лишь несколько примеров стран, где применяются наклонно-горизонтальные скважины для подземного скважинного выщелачивания урана. Технология активно развивается и может быть использована и в других урановых месторождениях по всему миру.

Казахстан является одним из крупнейших производителей урана в мире, и методы подземного скважинного выщелачивания с использованием наклонно-горизонтального бурения многоствольной зарезкой боковых параллельно расположенных скважин позволят существенно сократить потери урана, увеличить полноту извлечения запасов, вовлечь в процессы добычи отдельные участки урана, ранее не имевших перспективности из-за малых запасов, снизить значительное количество буровых работ, тем самым снизить себестоимость добываемого урана.

Из материалов, имеющих практическое подтверждение при выполнении работ на нефтегазовых месторождениях, приведенных и использованных при написании настоящей статьи, следует один вывод, что данные технологии перспективны для использования в технологиях подземного выщелачивания урана на месторождениях Казахстана.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГАММА-КАРОТАЖА МЕТОДОМ КАРОТАЖА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИАГДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Кузьмин Л.А.[1], Суворов А.В.[2], Миносьянц А.Р.[1]
[1]АО «РУСБУРМАШ», г. Москва, Россия
[2]АО «Хиагда», г. Чита, Россия
LAKuzmin@rbm-armz.ru

Аннотация. Доклад посвящен вопросам достоверности оценки запасов методом гамма-каротажа (ГК) при проведении горно-подготовительных работ на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля, для их отработки способом скважинного подземного выщелачивания.

При интерпретации ГК на стадии горно-подготовительных работ применяют радиологические характеристики руд, полученные по результатам геологического опробования керна разведочных скважин. Как правило, по результатам разведочных работ удается получить представительную среднюю оценку основных радиологических характеристик либо для месторождения в целом, либо для его отдельных, достаточно крупных элементов – залежей. Применение этих оценок при интерпретации ГК на стадии горно-подготовительных работ в условиях высокой изменчивости радиологических характеристик, свойственных для месторождений урана песчаникового типа, могут существенно влиять на достоверность оценки запасов технологических блоков и участков. В настоящем докладе приведены результаты оценки достоверности ГК технологических скважин, полученные при использовании в качестве контрольного метода – каротажа мгновенных нейтронов деления с применением двухзондовой аппаратуры АИНК-49. Показаны возможности этого метода для оценки суммарной поправки, учитывающей нарушение радиоактивного равновесия между U и Ra и между Ra и Rn.

Ключевые слова: гамма-каротаж, каротаж мгновенных нейтронов деления, радиологические характеристики, оценка запасов, месторождения урана, подземное выщелачивание.

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF GAMMA-RAY LOGGING BY THE METHOD OF INSTANTANEOUS FISSION NEUTRON LOGGING DURING MINING AND PREPARATORY WORK AT THE DEPOSITS OF THE KHIAGDINSKY ORE FIELD

Kuzmin L.A.$_1$, Suvorov A.V.[2], Minosiants A.R.[1]
[1] Joint-stock company «RUSBURMASH», Moscow, Russia
[2] Joint-stock company «Khiagda», Chita, Russia
LAKuzmin@rbm-armz.ru

Abstract. The report is devoted to the reliability of the assessment of reserves by the gamma logging method (GL) during mining and preparatory work (MPV) at the uranium deposits of the Khiagdinsky ore field, for their development by the method of borehole underground leaching.

When interpreting the GL at the stage of mining and preparatory work, the radiological characteristics of ores obtained from the results of geological core testing of exploration wells are used. As a rule, based on the results of exploration work, it is possible to obtain a representative average estimate of the main radiological characteristics either for the deposit as a whole or for its individual, rather large elements. The application of these estimates in the interpretation of GL at the stage of mining and preparatory work in conditions of high variability of radiological characteristics characteristic of sandstone-type uranium deposits can significantly affect the reliability of the assessment of reserves of technological blocks and sites. This report presents the results of assessing the reliability of the GC of technological wells obtained when using instantaneous fission neutron logging using AINK-49 dual-probe equipment as a control method. The possibilities of this method for estimating the total correction, taking into account the violation of the radioactive equilibrium between U and Ra and between Ra and Rn, are shown.

Key words: gamma-ray logging, instantaneous fission neutron logging, radiological characteristics, reserves assessment, uranium deposits, underground leaching.

При подготовке месторождений урана песчаникового типа к отработке способом СПВ, методика интерпретации данных ГК технологических скважин на стадии горно-подготовительных работ предполагает использование поправок, учитывающих основные радиологические и физические характеристики руд. К их числу относятся поправки, учитывающие нарушение радиологического равновесия между U и Ra (Крр), а также поправки, учитывающие нарушение равновесия между Ra и Rn (поправка на «отжатие» радона

– P_{Rn}). Оценка этих поправок осуществляется на стадии разведочных работ по результатам лабораторных исследований керновых проб разведочных скважин. Как правило, принятая при ведении разведки плотность сети разведочных скважин позволяет получить представительную оценку радиологических и физических характеристик для месторождения в целом, или для его отдельных, достаточно крупных элементов – залежей.

Применение этих оценок при интерпретации ГК на стадии ГПР в условиях высокой изменчивости радиологических характеристик, свойственных для месторождений урана песчаникового типа, могут существенно влиять на достоверность оценки запасов технологических блоков и участков, полученных с применением ГК. На достоверность оценки запасов при ведении ГПР может влиять различие технологии разведочного бурения и бурения технологических скважин. В частности, эти различия могут повлиять на проявление эффекта «отжатия» Rn, обусловленного «отжатием» пластовых вод с равновесным содержанием Rn от стенок скважины фильтратом промывочной жидкости и, соответственно, на результаты ГК.

Важным является также то, что достоверность результатов ГК на стадии разведочных работ в обязательном порядке должна быть подтверждена контрольным методом. При разведочных работах для оценки достоверности используются результаты геологического опробования керна. При ведении ГПР, при отсутствии кернового опробования (КО), единственным альтернативным контрольным методом является каротаж мгновенных нейтронов деления (КНД-М). Применение метода КНД-М рекомендовано на стадиях разведки и эксплуатации урановых месторождений «Методическими рекомендациями по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья» [1], а также «Методическими рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы» [2], утвержденными распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.

Недостатки геологического метода контроля вполне очевидны. К их числу можно отнести сложность получения кондиционного керна в условиях месторождений урана песчаникового типа и относительно малые диаметры кернов. Учитывая, что в пробу для лабораторного определения массовых долей U и Ra, как правило, отбирается материал из одной половинки керна, представительность геологического опробования невысока и сильно зависит от контрастности оруденения.

Как показывает опыт, на некоторых месторождениях урана песчаникового типа с высокой контрастностью оруденения, расхождения содержания U в двух половинках керна для 15–20% проб с содержанием U более 0,01% могут превышать 25%, а для 5-10% таких проб расхождения могут превышать 50–100%.

Для реализации метода КНД-М геофизическими подразделениями АО «РУСБУРМАШ» в настоящее время применяется аппаратурно-методический комплекс АМК КНД-М (или АИНК-49). Аппаратура имеет Свидетельство об утверждении типа средства измерения и внесена в Госреестр средств измерений (регистрационный № 56202-14). Методика измерений с АИНК-49, реализованная в «Инструкции по каротажу методом мгновенных нейтронов деления на месторождениях урана пластово-инфильтрационного (песчаникового) типа с применением двухзондовой аппаратуры типа АМК КНД-М в модификации АИНК-49» [3] была аттестована в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».

Особенности АИНК-49 заключаются в том, что применение новых принципов компоновки блока монитора позволили получить приборы диаметром 49 мм, а применение новых нейтронных генераторов ИНГ-12-50-100БТ увеличило ресурс работы генератора до 150-200 часов. Наличие в АИНК-49 детектора тепловых нейтронов позволяет одновременно с каротажем КНД-М выполнять импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (ИННК). Применяемая методика интерпретации ИННК позволяет получать оценку влажности пластов, выделяемых по параметру времени жизни тепловых нейтронов, что позволяет более точно определять подсчетные параметры рудных по урану интервалов методом КНД-М.

При благоприятных условиях, после проведения определенных опытно-методических работ, результаты ИННК могут быть для выделения технологически забалансовых руд в непроницаемых породах (ЗБТ) по расчетному значению коэффициента глинистости, что является одной из наиболее важных задач при подготовке месторождений урана песчаникового типа к отработке методом СПВ.

Метод КНД-М при производстве ГПР, помимо оценки достоверности результатов ГК, согласно рекомендациям «Инструкции по ГК на месторождениях урана» [4], может быть использован для уточнения суммарной поправки Пк, которая определяется как отношение P_{Rn}/Крр. При наличии результатов ГК по определению содержание Ra ($C_{Ra}^{ГК}$) и КНД-М по определению содержания U ($C_{U}^{КНД}$) в одном и том же рудном интервале значение Пк для него определяется как отношение $C_{U}^{КНД}$/ $C_{Ra}^{ГК}$.

При наличии представительной выборки Пк для рудных интервалов скважин отдельного блока или выделенного участка, может быть определено средневзвешенное значение Пк для исследуемого блока или участка.

Представительность выборок при ГПР обеспечивается высокой плотностью сети технологических

скважин. В случае невысокой изменчивости Крр в пределах исследуемого участка, полученное значение Пк может быть использовано для оценки средневзвешенной поправки P_{Rn} для данного участка.

В качестве примера применения метода КНД-М при производстве ГПР, можно привести результаты на Залежи В1 месторождения Вершинное.

Залежь В1 месторождения Вершинное по разведочным данным характеризуется относительно низкой природной изменчивостью Крр. Средневзвешенное значение Крр составило 0,98 при коэффициенте вариации 14% и отсутствии зависимостей Крр от мощности рудных интервалов и содержания в них Ra. При таких условиях разведчиками было обосновано использование единого для всей Залежи В1 значения Крр равного 1,00.

В отчете по результатам разведочных работ, по данным КО и ГК на Ra было обосновано применение единой для Залежи В1 поправки P_{Rn} равной 1,1.

В 2023 г. была проведена ревизия материалов разведочных работ по этой залежи. В результате анализа распределения Крр по площади Залежи В1 были выявлены 4 радиологические зоны. Характеристики зон представлены в таблице 1.

Статистический анализ показал наличие систематических значимых расхождений средневзвешенных значений Крр в зонах 1, 3 и 4 от средневзвешенного значения Крр для Залежи В1 в целом.

Таблица 1 – Изменчивость Крр в плане Залежи В1 месторождения Вершинное по данным кернового опробования

№ зоны	Группа разведочных линий (РЛ)	Количество сечений в выборке	$\sum mC_U$ по КО, м%	$\sum mC_{Ra}$ по КО, м%	Среднее взвешенное Крр, доли ед.
1	РЛ64-70	18	5.5412	5.1273	0.93
2	РЛ74-87	10	3.9918	4.0285	1.01
3	РЛ89-97	24	4.0416	4.5667	1.13
4	РЛ100-119	37	10.1338	95711	0.94
Вся Залежь В1		89	23.7084	232936	0.98

Для выделенных зон были рассчитаны также средневзвешенные поправки P_{Rn}. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменчивость P_{Rn} в плане Залежи В1 месторождения Вершинное по данным кернового опробования и ГК на радий

№ зоны	Группа разведочных линий (РЛ)	Количество сечений в выборке	$\sum mC_{Ra}$ по КО, м%	$\sum mC_{Ra}$ по ГК, м%	Среднее взвешенное P_{Rn}, отн. ед.
1	РЛ64-70	14	3.9841	3.0520	1.31
2	РЛ74-87	7	3.7729	3.0093	1.25
3	РЛ89-97	20	3.5233	3.2439	1.09
4	РЛ100-119	31	9.2664	8.7632	1.06
Вся залежь В1		72	20.5467	18.0684	1.14

Выполненный статистический анализ показал, что средневзвешенные значения поправки P_{Rn} для выделенных зон статистически незначимо отличаются от значения этой поправки для всей выборки, поэтому в отчете по разведке месторождения было справедливо обосновано применение при интерпретации ГК единого для всего месторождения значения P_{Rn}=1,1.

Тем не менее, обращает на себя внимание наличие тренда роста значений P_{Rn} от верховья к низовью палеорусла. Такая закономерность может быть связана с гидрогеологическими и литолого-фациальными особенностями продуктивного горизонта.

Не учет приведенных выше особенностей распределения Крр и P_{Rn} приводит к тому, что суммарные линейные продуктивности скважин, расположенных в зонах 1 и 2, полученные по данным ГК с использованием поправок Крр=1 и P_{Rn}=1,1, оказываются заниженными. Это подтверждается результатами сопоставления подсчетных параметров рудных интервалов, полученных по ГК с результатами контрольного метода КНД-М для блоков В1.3 и В1.2, расположенных в зоне 1. Для представительной выборки из 51 рудного интервала суммарная мощность рудных интервалов по ГК оказалась систематически занижена на 13,6%, а суммарный метропроцент на 36% относительно результатов КНД-М.

Для проверки закономерной изменчивости P_{Rn} были использованы результаты работ методами ГК и КНД-М в открытых стволах технологических скважин, полученные при ведении ГПР. Существенным недостатком этой работы была крайняя неравномерность опробования методом КНД-М площади залежи В1. Наряду с хорошо опробованными участками, такими как зона 4, имеются участки неопробованные методом КНД-М (зона 3).

Из 20 разведочных линий (РЛ), данные по которым участвовали в расчете P_{Rn} на стадии разведки, только 8 РЛ расположены в непосредственной близости от участков, опробованных методом КНД-М.

Для зон 1, 2 и 4 были выполнены расчеты Пк и проведена оценка P_{Rn}, полученная исходя из слабой изменчивости Крр в каждой из выделенных зон. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Поправки Пк и P_{Rn} полученные по данным ГК и КНД-М для выделенных зон Залежи В1 месторождения Вершинное

№ зоны	Группа РЛ	Кол-во сечений в выборке	$\sum mC_U$ по КНД, м%	$\sum mC_{Ra}$ по ГК, м%	Среднее взвешенное Пк, отн. ед.	Среднее взвешенное P_{Rn}, отн. ед.
1	РЛ64-70	50	5.7084	3.3558	1.70	1.58
2	РЛ74-87	15	5.3133	4.4238	1.20	1.21
4	РЛ100-117	97	11.7843	9.9900	1.18	1.11
Объединенная выборка		162	22.8060	17.7696	1.28	1.26

Статистический анализ показал, что расхождения средневзвешенных значений Пк и P_{Rn} в зонах 1, 3 и 4 от средневзвешенного значения этих поправок для объединенной выборки, характеризующей опробованные методом КНД-М участки Залежи В1, систематические, статистически значимые.

Результаты, приведенные в таблице 3, подтверждают закономерную особенность увеличения P_{Rn} от верховья к низовью палеорусла, приведенную в таблице 2. Некоторое расхождение в оценках P_{Rn} для выделенных зон, приведенных в этих таблицах связаны с неравномерностью опробования Залежи В1 методом КНД-М. Это подтверждается результатами сопоставления поправок P_{Rn}, полученных разными методами для выделенных зон Залежи В1 опробованных методом КНД-М. Результаты сопоставления приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты сопоставления поправок P_{Rn} полученных разными методами для выделенных зон в пределах участков Залежи В1, опробованных методом КНД-М

№ зоны	Результаты по ГК и КНД-М		Результаты по КО и ГК	
	Объем выборки	P_{Rn}	Объем выборки	P_{Rn}
1	50	1,58	9	1,48
2	15	1,21	4	1,22
4	97	1,11	15	1,08
Общая выборка	162	1,26	28	1,22

Как можно видеть, для участков, опробованных методом КНД-М, значения поправок P_{Rn} для выделенных зон близки, а их расхождения носят случайный характер.

В качестве еще одного примера можно привести результаты работ методом КНД-М при ведении ГПР на Залежах Кл1 и Кл1б месторождении Количиканское.

Залежи по разведочным данным характеризуется относительно низкой природной изменчивостью Крр. Средневзвешенное значение Крр составило 0.95 при коэффициенте вариации 15% и отсутствии зависимостей Крр от мощности рудных интервалов и содержания в них Ra. Какая-либо зональность распределения Крр по площади залежи отсутствует. При таких условиях разведчиками было обосновано использование единого значения Крр равного 0.95. Принятое для всего месторождения Количиканское значение поправки P_{Rn} для проницаемых осадков составило 1.15.

Работы методом КНД-М, выполненные с целью заверки результатов ГК на этом участке на стадии ГПР, представительно характеризуют всю его площадь. Выборка для сопоставления результатов ГК и КНД-М представлена 114 рудными пересечениями из 64 технологических скважин, равномерно распределенных по исследуемой площади. Полученное по данным ГК и КНД-М при ведении ГПР уточненное средневзвешенное значение поправки P_{Rn} составило 1.26, что существенно отличается от значения этой поправки, обоснованной по результатам разведочных работ. Сопоставление параметров рудных сечений, полученных методом ГК с контрольным методом КНД-М (Рис. 1) показало, что применение поправки P_{Rn}=1,15 приводит к систематическому значимому занижению: среднего метропроцента пересечения на 12,3 % и среднего содержания урана в нем на 11,2% относительно контрольного метода (КНД-М). В этом случае результаты ГК не могут быть признаны достоверными.

Сопоставление параметров рудных пересечений после проведения интерпретации ГК с уточненным значением P_{Rn} =1.26 приведено на Рис. 2.

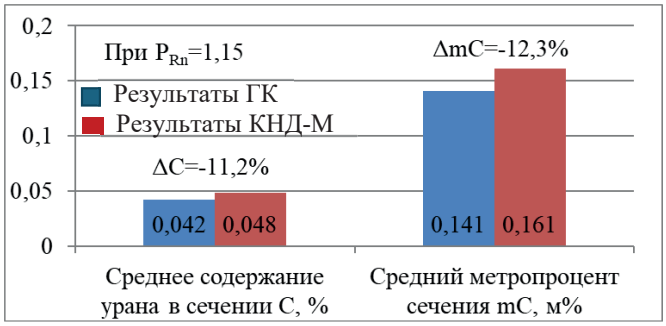


Рисунок 1 – Результаты сопоставления среднего содержания U и среднего метропроцента рудных пересечений между ГК и КНД-М, при интерпретации ГК с применением P_{Rn}=1,15

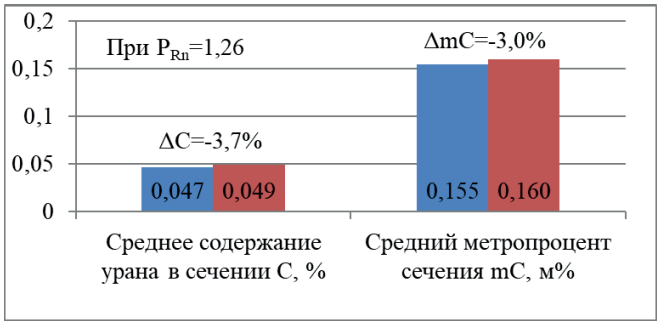


Рисунок 2 – Результаты сопоставления среднего содержания U и среднего метропроцента рудных пересечений между ГК и КНД-М, при интерпретации ГК с применением P_{Rn}=1,26

Применение уточненной поправки P_{Rn} позволило исключить систематические расхождения средней массовой доли урана и среднего метропроцента рудных пересечений между ГК и КНД-М. При этом относительные случайные средние квадратические расхождения для метропроцента урана составили 16,3%, что существенно ниже допустимого уровня, регламентированного Инструкцией по ГК [4].

В заключение приведем еще один пример применения КНД-М на Залежи Д-6 месторождения Дыбрынское. Значение поправки P_{Rn} для Залежи Д-6, рассчитанное по материалам разведочных работ, составило 1,17. Для расчета этой поправки была использована выборка из 29 пересечений 19 разведочных скважин, равномерно распределенных по площади залежи.

Работы методом КНД-М на стадии ГПР характеризуют преимущественно Центральную часть Залежи Д-6, что является существенным недостатком. Оценка средневзвешенной поправки на «отжатие» радона P_{Rn} методами ГК и КНД-М составила 1,17, что полностью совпадает с оценкой этой поправки, полученной по материалам разведочных работ. Для расчета этой поправки использовалась выборка, представленная 60 рудными пересечениями 12 технологических и 4 гидрогеологических скважин.

Корректность оценки P_{Rn} обусловлена весьма слабой изменчивостью поправки Крр на месторождении. Полученное значение поправки P_{Rn} для залежи Д-6 значимо не отличается от поправки, принятой по результатам разведки для всего месторождения Дыбрынское равной 1.10.

Для оценки достоверности результатов ГК, полученных с использованием поправок Крр и P_{Rn}, принятых для всего месторождения, было проведено сопоставление параметров рудных пересечений по ГК с результатами контрольного метода КНД-М. Результаты сопоставления представлены на Рис. 3.

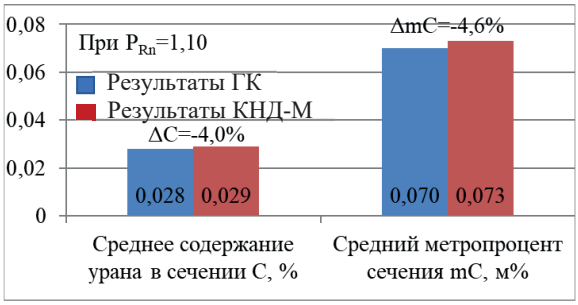


Рисунок 3 – Результаты сопоставления среднего содержания U и среднего метропроцента рудных пересечений между ГК и КНД-М, при интерпретации ГК с применением P_{Rn}=1,10

Выполненное сопоставление и результаты проведенного статистического анализа показали, что расхождения для всех параметров рудных сечений являются случайными, статистически незначимыми. Средние квадратические расхождения для параметров пересечений между ГК и КНД-М не превышают допустимые значения, регламентированные Инструкцией по ГК [4]. В этом случае результаты ГК для залежи Д-6 могут быть признаны достоверными.

Приведенные примеры иллюстрируют эффективность применения метода КНД-М для контроля результатов ГК. При благоприятных условиях, – слабой изменчивости Крр на исследуемом участке, результаты КНД-М на стадии ГПР могут использоваться для уточнения поправки на «отжатие» радона P_{Rn}. Представленные материалы свидетельствуют о важности правильного планирования при распределении объемов контрольного каротажа КНД-М на исследуемых участках.

В заключение следует отметить следующее.

1. При ведении ГПР в дополнение к стандартному комплексу геофизических исследований скважин, в качестве метода внешнего контроля ГК рекомендуется применение КНД-М.

2. Рекомендуемый объем КНД-М, обеспечивающий надежный контроль результатов ГК на стадии ГПР, должен составлять не менее 20% от количества скважин исследуемого участка. Методом КНД-М должен быть равномерно опробован весь исследуемый участок.

3. В случае выявления систематических расхождений между параметрами рудных пересечений, определяемых методом ГК и контрольным методом КНД-М в пределах относительно однородных по радиологическим характеристикам объектов (блоков, участков и залежей месторождения), рекомендуется выполнить для них оценку суммарной поправки, учитывающей Крр и поправку на «отжатие» Rn с использованием результатов ГК и КНД-М.

4. Необходимо учитывать, что технология бурения на разведочных работах отличается от технологии бурения технологических скважин на стадии ГПР. Это может существенно отразиться на проявлении эффекта «отжатия» Rn, что потребует корректировки поправки P_{Rn}.

5. Корректно установленная поправка P_{Rn}, при слабой изменчивости Крр в пределах исследуемых объектов, может быть использована для проведения уточняющей интерпретации ГК. Это обеспечит более надежную оценку вскрытых запасов этих объектов и, отчасти, позволит более надежно выполнить геотехнологическое прогнозирование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья (утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р)

2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы (утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р)

3. Инструкции по каротажу методом мгновенных нейтронов деления на месторождениях урана пластово-инфильтрационного (песчаникового) типа с применением двухзондовой аппаратуры типа АМК КНД-М в модификации АИНК-49», И.М. Хайкович, Г.И. Ганичев. СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка, 2014.

4. Инструкция по гамма-каротажу на месторождениях урана. МИ-№115/210 – (01.00250 – 2008) – 2011/ И.М. Хайкович, Г.И. Ганичев. М.: ОАО «Атомредметзолото» – СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2012.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИЦЕНЗИОННЫХ УЧАСТКОВ РАЙОНА РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ АЛТУ-ЛИГОНЬЯ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ АФРИКА)

Ныгманова А.С.
Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Эта статья исследует данные геологоразведочных работ и минерагению в регионе редко метальных пегматитов Алту-Лигонья в Мозамбике. Основное внимание уделяется оценке лицензионных участков для промышленного развития. Месторождения тантала и тантала-ниобия в этом регионе представляют особый интерес в связи с их стратегическим значением. Несмотря на сходные химические свойства, содержание тантала и ниобия в земной коре имеет противоположные значения. Исторический контекст исследований и колонизации Мозамбика, начатый экспедицией Васко да Гамы в 1498 году, подчеркивает важность этого региона. Разнообразие минеральных ресурсов включает тантал и ниобий. Несмотря на геологическое богатство и обширную историю горнодобывающей деятельности, многие месторождения пегматитов остаются малоизученными. Цель данной статьи – подчеркнуть важность оценки лицензионных участков для направления будущих геологических исследований и максимизации использования минеральных ресурсов в регионе Алту-Лигонья.

Ключевые слова*:* редкие металлы, месторождений тантала и ниобия, пегматитовые месторождения, запасы

GEOLOGICAL ANALYSIS OF LICENSED AREAS IN THE RARE-METAL PEGMATITE REGION OF ALTO-LIGONHA (SOUTHEAST AFRICA)

Nygmanova A.S.
Kazakh-British technical university, Almaty, Kazakhstan

Abstract. This article explores the geological survey data and mineralogy in the Altu-Ligonia rare-metal pegmatite region in Mozambique. The main focus is on assessing licensing areas for industrial development. Tantalum and tantalum-niobium deposits in this region are of particular interest due to their strategic importance. Despite their similar chemical properties, the abundance of tantalum and niobium in the Earth's crust has opposite values. The historical context of Mozambique's exploration and colonization, initiated by Vasco da Gama's expedition in 1498, underscores the significance of this region. The variety of mineral resources includes tantalum and niobium. Despite the geological richness and extensive history of mining activities, many pegmatite deposits remain underexplored. The aim of this article is to emphasize the importance of assessing licensing areas to guide future geological research and maximize the utilization of mineral resources in the Altu-Ligonia region.

Keywords: rare metals, tantalum and niobium deposits, pegmatite deposits, reserves.

Введение

Оценка лицензионных участков в регионе редко метальных пегматитов Алту-Лигонья в Мозамбике имеет весьма высокое значение для промышленного сектора и представляет значительный интерес в потенциальной эксплуатации ценных минеральных ресурсов. Особенно примечательны в этом регионе месторождения, богатые танталом, а также руды тантала-ниобия, что подчеркивает его стратегическое значение. Тантал и ниобий, принадлежащие к группе 5 периодической таблицы, считаются рефракторными металлами. Несмотря на сходные химические свойства и частое соседство в минералах, содержание тантала в земной коре составляет 2 пропромилле, тогда как содержание ниобия – 20 пропромилле [1]. С учетом содержания полезного вещества – тантала, можно выделить месторождения танталов и танталониобиевых руд [2].

Географическое значение Мозамбика, занимающего площадь 783 квадратных километров и населенного 23 миллионами людей, уходит корнями в исследования, проведенные Васко да Гамой в 1498 году, которые послужили началом его колонизации. Португальские поселенцы, привлеченные потенциалом Мозамбика, внесли европейскую культуру и индустрию, создав городские центры, гавани и начав освоение разнообразных минеральных ресурсов страны, включая золото, серебро, медь, тантал, ниобий, а также залежи бокситов и угля [3].

Регион Алту-Лигонья, охватывающий примерно 25 тысяч квадратных километров в Мозамбике, свидетельствует о геологическом богатстве этой местности. С более чем 90 известными месторождениями и проявлениями пегматитов этот регион представляет собой богатую базу ресурсов, хотя и с ограниченной степенью изученности и эксплуатации. Несмотря на обширную историю горнодобывающей деятельности в месторождениях пегматитов, их всестороннее изучение остается ограниченным, что подчеркивает необходимость дальнейшего геологического исследования.

Одной из интересных характеристик пегматитов в регионе Алту-Лигонья является их сложность, в

которой содержатся тантал, ниобий, бериллий, литий, цезий, рубидий, олово, висмут и редкоземельные элементы. Определение геологического значения этого региона и оценка потенциала лицензионных участков в нем являются важными для определения будущих геологоразведочных работ и максимизации использования его минеральных ресурсов.

Месторождения района Алту-Лигонья

Район Алту-Лигонья расположен в провинциях Нампула и Замбезия, приблизительно на 15°30' южной широты, 37°55' восточной долготы.

Минералы, содержащие редкоземельные элементы, встречаются в пегматитах (обычно небольшие крупнозернистые кварц-полевошпатовые интрузии, периферийные по отношению к крупным гранитным интрузиям) в районе Алту-Лигонья. Эти пегматиты также содержат минералы с бериллием, литием и висмутом.

Пегматиты маленькие, и минерализация не является регулярной. Это может быть возможность для изучения более детального геологического изучения.

Доступны данные, указывающие, что в период с 1938 по 1963 год из пегматитов рудного района Алту-Лигонья были добыты следующие объемы минералов: берилл – 11 584 тонны, колумбит-танталит – 1103 тонны, микролит – 164 тонны, бисмутит и нативный бисмут – 20,9 тонны, литиевые минералы (сподумен, лепидолит, амблигонит, петалит) – 5 529 тонн, поллуцит – 6 тонн, самарскит – 21 тонна, монацит – 16 тонн, турмалин – 1536 тонн, слюда – 53,1 тонны, драгоценный берилл – 698 кг, микроклин – 296 тонн, каолин – 671 тонна. Обычно добывалась только верхняя каолинизированная часть пегматитовых тел. Основные руды оставались в значительной степени незатронутыми горными работами.

Редкометальные пегматиты представляют собой значимый источник лития, цезия, тантала, ниобия и других редких металлов. Они распространены на всех континентах, преимущественно в архейских и протерозойских породах [4, 5, 6, 7 ,8].

Ниже приведено краткое описание наиболее важных месторождений тантала с промышленной значимостью. Все они относятся к пегматитовому типу. Формирование руд – редкометальные пегматиты, а парагенетический тип – сподумен-микроклин-альбит.

Месторождение Муяне находится в провинции Замбезия, дистрикт Жиле, в верховьях р. Шилапане.

В 40-50-х годах изучалось с поверхности шурфами и канавами; в 1953 г. подсчитаны запасы колумбита-танталита в элювии (48 т при среднем содержании 277 г/т); в 1977 г. проводилось бороздовое опробование старых горных выработок и пройдено 3 оценочных скважины. В 1979 г. проведена детальная разведка с подсчетом запасов категории C_1+C_2.

В 1980 г. были подсчитаны запасы категории C_2 каолина – 3,3 млн. т и мусковита – 71 555 т (среднее содержание 11 кг/т).

Площадь месторождения сложена мелко-среднезернистыми амфиболитами, амфиболовыми, биотитовыми и амфибол-биотитовыми плагиогнейсами и сланцами, мусковит-биотитовыми и хлорит-актиполитовыми сланцами, кварцитом (группа Р.Молокуе, серия Морруа). Породы залегают моноклинально с простиранием 70-90°; падение С-СЗ с углами 40–75°.

Месторождение представлено одной крупной пологопадающей пегматитовой жилой (Жила Муяне), секущей крутопадающую сланцевую толщу, а также несколькими мелкими пегматитовыми жилами. Жила отличается сложным (зональным) внутренним строением и разнообразием минерализации. Редкометальная минерализация приурочена в основном к внутренним зонам (главным образом к литиевой зоне и зоне «перистого» мусковита).

Запасы месторождения (C_1+C_2) подсчитывались при средних содержаниях Ta_2O_5 для C_1равных 100 г/т и C_2 – 70 г/т (см. табл. 1). В итоге, по запасам Ta_2O_5 месторождение Муяне отнесено к разряду крупных, по запасам цезия, лития, висмута, ниобия – к средним, а по запасам бериллия и олова (с учетом прогнозных ресурсов) – к малым.

Однако сравнительно низкие средние содержания Ta_2O_5 не позволяют считать это месторождение первоочередным объектом для дальнейшего промышленного освоения.

На месторождении подсчитаны запасы каолина (кат. C_2) – 3,3 млн т (среднее содержание 50% в руде) и мусковита – 71 555 т (среднее содержание 11 кг/т).

Таблица 1 – Запасы месторождения Муяне

Категория	Запасы, т Среднее содержание, г/т						
	Ta2O5	Nb2O5	Li2O	Bi2O,	SnO2	Cs2O	BeO
C_1	1226,2 100 90,6	1681,6 130 220,8 170	 52090 4200	922,7 70	550.2 40	2968,4 240 234,9 180	434.6 30
C_2	70		2704 2100	140 110	63.1 50		23,6 20

C_1+C_2	1316,8 -	1902,4 -	54794 -	1063.4 -	613,3 -	2103,3 -	458,2 -
Прогнозные ресурсы	502 45	1299 120	28600 2600	870 80	599 50	2570 230	24 20

Месторождение Монея (с разведанными запасами категории C_1), находится в пределах пегматитового поля Мутала, в провинции Замбезия, дистрикт Алту-Молокуя, на правом берегу р. Молокуе. В 50-х годах на месторождении проводились разведочные работы – канавы, шурфы, две штольни: в 1980–1981 гг. проведены поисково-оценочные работы масштаба 1:10 000 и 1:1 000 и детальная разведка канавами и скважинами колонкового бурения с подсчетом запасов категории C_1.

Площадь месторождения сложена амфиболовыми и амфибол-биотитовыми гнейсами и кристаллическими сланцами, амфиболитами и кварцитами.

Месторождение представлено крупной пегматитовой жилой протяженностью около 1600 м. Ее простирание – близкое к широтному, падение на юг с углами 15–40°. Мощность жилы составляет 20–30 м в центральной части и 5–10 м на флангах. По падению жила прослежена бурением до 120–150 м с тупым или постепенным ее выклиниванием.

Внутреннее строение и вещественный состав жилы характеризуются разнообразием минералогического состава. Западная часть жилы (250 м) представлена пегматитом микроклин-альбитового и альбитового (клевеландитового) состава; центральная (560 м) – альбит-лепидолитовым со сподуменом пегматитом; восточная (410 м) – преимущественно среднезернистым кварц-мусковит-микроклиновым пегматитом.

Во внутреннем строении жилы выделяются следующие зоны (сверху-вниз): кварц-микроклин-мусковитовая среднезернистая зона эндоконтакта (мощность 0,5–8,0 м); микроклин-альбитовая с мусковитом (мощность 5–11 м); блоковая микроклиновая зона с кварцем и мусковитом (мощность 1–5 м); кварцевое ядро (5–10 м); альбитовая (клевеландитовая) зона (1,5-5,0 м); зона мелкопластинчатого альбита с лепидолитом с сподуменом (3-10 м).

Наиболее продуктивными являются альбитовая (Клевеландитовая) зона и зона мелкопластинчатого альбита с лепидолитом и сподуменом. В этих зонах танталовое оруденение имеет сравнительно равномерный характер, при средних содержаниях Ta_2O_5 – 202 и 238 г/т соответственно. При этом зона мелкопластинчатого альбита является богатой по содержанию полезных компонентов. Она обогащена микролитом и танталитом, а также манганотанталитом и, реже, бериллом и висмутитом. Кроме того, в жиле Монея присутствуют самородный висмут, монацит, циркон, а также морганит, аквамарин, кунцит, геддинит.

С поверхности и на глубину 10–20 м пегматит сильно выветрелый, каолинизированный – превращен в рыхлый агрегат кварца, слюды и каолина. Доля крепких руд на месторождении составляет около 20%.

Внутренне строение и вещественный состав характеризуются большим разнообразием. Западная часть жилы (250 м) представлена пегматитом мик-роклин-альбитового и альбитового (клевеландитового) состава; центральная (560 м) – альбит-лепидолитовым со сподуменом пегматитом; восточная (410 м) – преимущественно среднезернистым кварц-мусковит-микроклиновым пегматитом.

Наиболее продуктивными являются альбитовая (клевеландитовая) зона и зона мелкопластинчатого альбита с лепидолитом и сподуменом. В этих зонах танталовое оруденение имеет сравнительно равномерный характер, при средних содержаниях Ta_2O_5 – 202 и 238 г/т соответственно. При этом зона мелкопластинчатого альбита является наиболее богатой по содержанию полезных компонентов. Она обогащена микролитом и танталитом, а также ман-ганотанталитом и, реже, бериллом и висмутитом. Кроме того, в жиле Монея присутствуют самородный висмут, монацит, циркон, а также морганит, аквамарин, кунцит, геддинит.

С поверхности и на глубину 10-20м пегматит сильно выветрелый, каолинизированный – превращен в рыхлый агрегат кварца, слюды и каолина. Доля крепких руд на месторождении составляет около 20%.

Вмещающие пегматитовую жилу амфиболиты в экзоконтактах кровли и подошвы сильно изменены, превращены в мелкозернистые сланцеватые слюдиты. Их мощность 2–8 м. Содержат колумбит-танталит. В слюдитах кровли содержание Ta_2O_5 колеблется от 20 до 332 г/т (в среднем 118 г/т), а в слюдитах подошвы – от 20 до 1710 г/т (среднее 92 г/т).

Запасы Ta_2O_5 на месторождении Монея подсчитаны по категории С (см. табл. 2) при условно принято минимально промышленном содержании 120г/т и бортовом – 60 г/т.

Таким образом, по запасам Ta_2O_5 пегматитовое месторождение Монея относится к категории средних, а по запасам Nb_2O_5, Cs_2O и BeO – малых месторождений.

В приконтактовых метасоматитах (слюдитах) прогнозные ресурсы оцениваются: Ta_2O_5 – 37,7 т; Nb_2O_5 – 35,7т; Cs_2O – 478 т, Rb_2O – 284,3 т, что соответствует малому месторождению тантала и цезия.

Два других месторождения, средних по запасам Ta_2O_5 (Маджамала и Илоду), по своим масштабам и

характеру близки к месторождению Монея. Остальные пегматитовые тела района Алту-Лигонья относятся или к разряду мелких по запасам или к числу проявлений. Поэтому, по состоянию на сегодняшний день, месторождение Морруа является наиболее привлекательным танталовым объектом района как по состоянию разведанности и запасам, так и по средним содержаниям полезных компонентов в рудах.

Месторождение Маджамала расположено в провинции Замбезия, дистрикт Жиле, на правом берегу р. Намиррое. Относится к разряду редкометальных пегматитов микроклин-альбитового типа.

Разведывалось в 50-х годах (канавы, шурфы). В 1979г в районе месторождения проводились поиски масштаба 1:25 000 и бороздовое опробование ряда пегматитовых жил; в 1981г – поисково-оценочные работы масштаба 1:10 000 и 1:1000 с проходкой скважин и бороздовым опробованием.

Район месторождения сложен биотитовыми и биотит-амфиболовыми сланцами (метаосадочная серия), которые в виде узкого блока (800–1000 м) залегают среди биотитовых гнейсов (система Шиуре – нижний протерозой), месторождение представлено серией субпараллельных пегматитовых жил СВ простирания, субгоризонтально залегающих (со слабым наклоном на ЮВ) среди сланцев. Длина жил 400–600 м (реже 800 м), мощность от 2-3 до 15 м. Форма жильных тел плитообразная, иногда седловидная или чашеобразная. Контакты жил – резко секущие.

На контакте с пегматитовыми телами вмещающие сланцы окварцованы, турмалинизированы и альбитизированы. Жилы дифференцированные, но слабо зональны. Местами наблюдаются блоки сливного кварца и зона альбитизации, развитая в основном в нижних частях жил в виде гнезд и полос. Основную массу жил слагают блоковый микроклин и среднезернистый кварц-микроклиновый агрегат.

Жилы содержат колумбит-танталит, берилл, висмутит, циркон, монацит, топаз, светло-зеленый турмалин (верделит), гранат, рутил, фосфаты урана. Содержания полезных компонентов в жилах установлены в следующих пределах (г/т): Ta_2O_5 – 65–639; Nb_2O_5 – 18–577; Cs_2O – 20–2411; Rb_2O – 23-1406. В элювиоделювиальных отложениях среднее содержание колумбита-танталита составляет 69,5 г/т (539 проб по сети 50х50 м).

Прогнозные ресурсы Ta_2O_5 по трем наиболее крупным пегматитовым жилам оцениваются в 168 т, а в элювио-делювии – 50 т. Месторождение является средним по ресурсам тантала.

Месторождение Илоду находится в провинции Замбезия, дистрикт Маганиа-да-Кошта, на левом берегу р. Илоду, в 69 км к ЗЮЗ от пос. Мукубела.

В 1950-х годах разведывалось поверхностными горными выработками (канавы, шурфы); в 1979 г. проводились поисково-оценочные работы; в 1982 г. – детальная разведка основной пегматитовой жилы Илоду (всего здесь известно 16 пегматитовых жил) с бурением скважин и подсчетом запасов по категории C_1; поиски масштаба 1:10 000 и литогеохимическая съемка.

Площадь месторождения сложена биотитовыми и амфиболовыми гнейсами и сланцами, и полевошпатовыми амфиболитами с их субмеридиональным простиранием и крутым падением (<75–85°) на запад.

Породами, непосредственно вмещающими основную пегматитовую жилу Илоду, являются метасоматически измененные амфиболовые, биотит-амфиболит пироксеновые, биотитовые, биотит-плагиоклазовые и мусковит-биотитовые сланцы и гнейсы.

Пегматитовая жила Илоду представляет собой секущее линзовидное тело, имеющее субгоризонтальное залегание в его центральной части. Редкометальных минералов внешние зоны, как правило, не содержат.

Среднее содержание Ta_2O_5 по зонам меняется от 50 до 612 г/т; Nb_2O_5 от 50 до 380 г/т. По жиле Илоду подсчитаны запасы по категории C_1: Ta_2O_5 – 76 т (при среднем содержании 166 г/т); Nb_2O_5 93 т (203 г/т); Cs_2O – 508 т (1108 г/т). Минимально-промышленное содержание Ta_2O_5 было принято – 100 г/т, бортовое – 80 г/т. В отвалах жилы содержание – колумбита-танталита достигает 610 г/м³, микролита – до 80 г/м³.

Установлены также монацит, ксенотим, ильменит, базовисмутит.

Таблица 2 –Запасы и средние содержания основных полезных компонентов месторождения Монея

Категория	Средние содержания, г/т								Запасы, т							
	Ta_2O_5	Nb_2O_5	Cs_2O	Rb_2O	BeO	Bi_2O_3	Li_2O	SnO_2	Ta_2O_5	Nb_2O_5	Cs_2O	Rb_2O	BeO	Bi_2O_3	Li_2O	SnO_2
	Жила Монея															
С1 баланс.	164	125	241	633	172	66	469	6	72,2	45,3	106,1	292,2	75,9	29,1	206,8	2,9
С1 забаланс.	84	120	106	568	123	60	287	6	32,5	46,5	40,9	217,7	47,7	23,2	110,9	2,4
Всего	127	111	178	616	149	63	384	6	104,7	91,8	147,0	509,9	123,6	52,3	317,7	5,3
	Среднее по $C_1 + C_2$															
Делювий																
Прогнозные	146	67	160	341	251	41	394	10	20,3	9,2	22,2	47,3	34,8	5,6	54,7	1,4
Отвалы карьеров																
Прогнозные	90	70	159	826	165	56	510	13	19,0	13,6	30,9	160,6	32,0	10,9	99,1	2,5

Экзоконтактовые метасоматиты																
Прогнозные (кровля)	118	79	1639	1041	-	-	-	-	10,0	6,7	139,0	86,3	-	-	-	-
Прогнозные (подошва)	92	96	1123	656	-	-	-	-	27,7	29,0	339,0	198,0	-	-	-	-
Всего									37,7	35,7	478,0	284,3				

По данным опробования отвалы содержат: Ta_2O_5 до 193 г/т, Nb_2O_5 – до 577 г/т; Rb_2O – до 5309 г/т; Cs_2O – до 1235 г/т. По одному из отвалов подсчитаны запасы (по C_1): Ta_2O_5 – 1,35 т (при среднем содержании 102 г/т) и Cs_2O – 7,07 т (при 330 г/т). В целом же, по сумме запасов и ресурсов Ta_2O_5 месторождение Илоду относится к категории средних, а по запасам ниобия и цезия – оно является малым месторождением.

Малые по запасам Ta_2O_5 (с Nb, Be, Li, C_5) месторождения пегматитового рудного района Алту-Лигонья по своему строению сходны с описанными выше (но с менее выраженной зональностью), но в общем балансе руд практически не играют заметной роли, так же как и многочисленные рудопроявления района (см. табл. 3).

Таблица 3 – Запасы и содержания Ta_2O_5 некоторых малых пегматитовых месторождений района Алту-Лигонья

№№ п/п	Названия месторождений	Запасы + ресурсы Ta_2O_5	Средние содержания Ta_2O_5, г/т
1	Муану	58	149
2	Куирире	13,4	153-179
3	Муньямола	62,8	213
4	Напири	73,9	142
5	Макине	14,2	286
6	Нампока	10,0	147
7	Мария III	1,0	295
8	Куньея	10,0	242

Все разведанные месторождения ниобия района относятся к комплексным пегматитовым месторождениям тантала, описанным выше. К категории средних по ниобию относятся месторождение Муяне; к категории малых – месторождения Монея, Илоду и по ресурсам – Муану и Напири. Проявления ниобия пегматитового типа многочисленны, так как каждое проявление тантала одновременно является и проявлением ниобия. Общие запасы Nb_2O_5 составляют 3,5 тыс.т., ресурсы –1,5тыс.т.

Другие генетические типы проявлений ниобия не имеют существенного значения и представлены лишь карбонатитовыми редкоземельно-ниобиевыми объектами Коне-Негозе и Монте-Муамба.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что все разведанные месторождения ниобия в регионе Алту-Лигонья относятся к комплексным пегматитовым месторождениям тантала. Различные категории месторождений ниобия, такие как Муяне, Монея и Илоду, указывают на разнообразие ресурсов в этом регионе. Общие запасы ниобия оцениваются в 3,5 тысячи тонн Nb_2O_5, с ресурсами в 1,5 тысячи тонн. Важно отметить, что другие генетические типы проявлений ниобия не имеют существенного значения по сравнению с пегматитовыми месторождениями тантала. Это подчеркивает значимость дальнейшего изучения и оценки ресурсов лицензионных участков в регионе для эффективного использования минеральных ресурсов в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Allain, E., Kanari, N., Diot, F., & Yvon, J. (2019). Development of a process for the concentration of the strategic tantalum and niobium oxides from tin slags. Minerals Engineering, 134, 97–103. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.01.029

2. Бороданов, В. М. Особенности геологических исследований в Мозамбике в последней четверти XX века / В. М. Бороданов // Пространство и Время. – 2011. – № 2(4). – С. 212–215. – EDN NCTJKM.

3. Бескин, С.М. комплексная систематика танталовых и тантало-ниобиевых месторождений / С. М. Бескин, Ю. Б. Марин // Записки Российского минералогического общества. – 2015. – Т. 144, № 3. – С. 45–54. – EDN TSMLCR.

4. Černý P. Rare-element granite pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Geosci. Can. 1991. V. 18. P. 49–67.

5. London D. Ore-forming processes within granitic pegmatites. Ore Geol. Rev. 2018. V. 101. P. 349–383.

6. Tkachev A.V. Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time. Geological Society, London, Special Publications. 2011. V. 350. P. 7–23.

7. McCauley A., Bradley D.C. The global age distribution of granitic pegmatites. Can. Mineral. 2014. V. 52. P. 183–190.

8. Редкометалльные пегматиты. Гранитные пегматиты / Под ред. Б.М. Шмакина. – Т. 2. – Новосибирск: Наука, 1997. – 286 с.

ПРОЛИВАЕМ СВЕТ НА БОГАТСТВА МОЗАМБИКА РЕДКИМИ МЕТАЛЛАМИ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЗАПАСЫ

Ныгманова А.С.
Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Геологический ландшафт Мозамбика представляет собой перспективное разнообразие месторождений редких металлов, обладающих сложным геологическим строением. Целью этой статьи является анализ геологических данных разведки редких металлов в Мозамбике. Через комплексный анализ геологических образований, минералогического состава и экономических соображений это исследование предоставляет представление о возможностях освоения богатства редких металлов в Мозамбике. Анализируя геологоразведочные работы на примере месторождения Морруа, приведены данные по подсчету запасов для дальнейшего использованию этих ценных ресурсов.

Ключевые слова: редкие металлы, тантал, ниобий, Мозамбик, месторождение Морруа, геологическое строение, запасы

ILLUMINATING MOZAMBIQUE'S RICHES IN RARE METALS: GEOLOGICAL STRUCTURE AND RESERVES

Nygmanova A.S.
Kazakh-British technical university, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The geological landscape of Mozambique represents a promising variety of rare metal deposits, characterized by complex geological structures. The aim of this article is to analyze the geological data of rare metal exploration in Mozambique. Through a comprehensive analysis of geological formations, mineralogical composition, and economic considerations, this study provides an understanding of the opportunities for exploiting the wealth of rare metals in Mozambique. By analyzing geological exploration work using the example of the Morrua deposit, data on reserve estimation are provided for further utilization of these valuable resources.

Keywords: rare metals, tantalum, niobium, Mozambique, Morrua deposit, geological structure, reserves

Введение

Мозамбик, расположенный на юго-восточном побережье Африки, представляет собой район, обладающий богатством разнообразных видов полезных ископаемых. От высоких горных хребтов до обширных прибрежных равнин геологические особенности этой страны создают идеальные условия для исследований и открытий. Стратегическое значение горнодобывающей промышленности Мозамбика заключается в изобилии и разнообразии его минеральных ресурсов, охватывающих заветные запасы природного газа, угля, редких металлов, золота, титана, циркония и драгоценных камней.

Исследование, добыча и переработка этих ресурсов не только стимулируют промышленный рост и инновации, но и играют ключевую роль в формировании региональной и международной торговой динамики. Стратегическое расположение минеральных ресурсов Мозамбика подчеркивает их ключевую роль в формировании экономического ландшафта страны [1].

Редкие металлы, хотя и часто уступают более распространенным металлам, являются неотъемлемыми элементами в производстве передовой электроники, возобновляемых источников энергии и высокотехнологичных сплавов. От тантала и ниобия, используемых в наших смартфонах, до редких земель, необходимых для развития электромобилей, эти металлы являются основой современной промышленности.

Тантал известен своей впечатляющей плотностью, составляющей 16,6 г/см³. Он превосходит ниобий в термической стойкости, обладая температурой плавления 2996 °C, и проявляет замечательную химическую стабильность. В химической промышленности тантал служит структурным материалом для производства кислот. Кроме того, его сверхтеплостойкие сплавы играют важную роль в ракетной технике. Вне промышленных приложений тантал используется в электронике, ювелирном производстве и медицинских процедурах.

Рефракторные металлы представляют собой группу металлических элементов, известных своими исключительно высокими температурами плавления. Среди этих металлов можно выделить ниобий, молибден, рений, вольфрам и тантал [2].

Ниобий характеризуется плотностью в диапазоне от 8,57 г/см³. Этот металл обладает высокой температурой плавления (с точкой плавления в районе 2500 °C) и химической стабильностью. В металлургической отрасли он используется для создания сплавов, причем наиболее распространенным из

них является ферониобий. Как отмечается, содержание Nb составляет от 2 до 10%, в то время как Ta2O5 присутствует примерно в 1% случаев [3].

В свете вышеизложенного целью данного исследования является раскрытие геологических тайн Мозамбика, изучая сложные формации и геологические процессы, которые обогатили страну редкими металлическими богатствами. Путем детального анализа геологических особенностей мы стремимся определить распространение и характеристики месторождений редких металлов по всему разнообразному ландшафту Мозамбика.

В итоге наше исследование является анализом призванным пролить свет на скрытые сокровища страны. Путем геологического анализа мы стремимся внести вклад в распространение знаний о геологическом потенциале Мозамбика.

История геологического развития Мозамбика

1. Геологическая служба страны и изученность территории

До 1976 года Геологическая служба Мозамбика возглавлялась Департаментом геологии и шахт, находившимся в подчинении Министерства экономической координации. В период 1976–78 гг. поисковые и разведочные работы проводились различными ведомствами и отдельными фирмами.

С июня 1984 года геологические и горнодобывающие вопросы в стране решаются Министерством минеральных ресурсов и Министерством промышленности и энергетики (нефть, газ, уголь). При Министерстве минеральных ресурсов действует Национальное Управление геологии, в состав которого входят:

- Национальная Дирекция геологии,
- Национальный Директорат шахт (рудников),
- Дирекция аналитических исследований,
- а также комиссия по охране окружающей среды, фонды и музей.

Национальная Дирекция геологии включает отделы геологии, геофизики, картирования, гидрогеологии, бурения и ремонтные службы. Почти во всех провинциальных центрах имеются представительства Национальной Дирекции (по типу территориальных геологических управлений) во главе с правительственным Делегатом (управляющим).

Лабораторная служба Национальной Дирекции оснащена современным оборудованием и может выполнять самые разнообразные виды анализов. Служба располагает атомно-абсорбционным спектрофотометром, пламенным фотометром, спектрофотометром, флуориметром, колориметром, установкой для термовесового анализа, электронным сепаратором, установкой для экспресс-гидрохимических анализов, микроскопами для изучения шлифов и аншлифов, всевозможным дробильным и шлифовальным оборудованием, муфельными печами и пр. Однако эта служба ощущает острый дефицит квалифицированных специалистов.

Национальная Дирекция решает все вопросы лицензирования объектов минерального сырья и горнотехнического надзора.

Геолого-геофизическая изученность страны – удовлетворительная. На большую часть территории имеются геологические карты масштаба 1:250000, составленные в период с 1953 по 1983 гг.:

- 1953–58 гг. – колониальная служба Мозамбика;
- 1960–1970 гг. – Департамент геологии и горного дела Португальской провинции Мозамбик;
- 1970–83 гг. – BRGM, Франция;
- 1980–83 гг. – Aquater, Technosinesis, Италия.

В 1974 г. впервые была опубликована карта полезных ископаемых Мозамбика масштаба 1:2 000 000 с краткой объяснительной запиской к ней. В 1983 г. опубликованы геоморфологические карты страны масштаба 1:1 000 000 и 1:2 000 000, составленные советскими специалистами.

На всю территорию Мозамбика имеются топографические карты масштаба 1:50 000 и почти на всю страну – аэрофотоснимки масштаба 1:40 000, а для района Замбезия – снимки в цветном исполнении.

В период с 1980 г. и по настоящее время в стране выполнялся и выполняется целый ряд геолого-геофизических исследований по контрактам между геологической службой Мозамбика и фирмами других стран.

После окончания в 1992 г. гражданской войны идет активное привлечение иностранного капитала в освоение месторождений страны. Активно и на льготных условиях государство ведет продажу лицензий крупным и мелким иностранным компаниям на освоение различных видов минерального сырья, в первую очередь, золота, драгоценных камней и редких металлов.

2. Геологическое строение

На большей части территории Мозамбика развиты докембрийские образования, формирующие фундамент

платформы. Меньшая часть, главным образом южная половина страны, закрыта последокембрийскими образованиями чехла платформы. В структурном отношении фундамент разделяется на 2 крупные единицы – Мозамбикский пояс, крупнейший тектонический элемент Африканской платформы, заходящий на территорию Мозамбика своей южной частью, и Зимбабвийский кратон, заходящий в западную часть территории страны своим восточным окончанием.

Среди докембрийских образований ведущее место занимают древнейшие архейские гнейсовые толщи и ассоциирующие с ними породы магматического и метасоматического происхождения. В пределах Зимбабвийского кратона (провинция Манника) наиболее древние архейские образования группы Булаваяну представлены серией узких поясов формации Масекеси в кровле батолита архейского возраста (Dγ), представленного различными гранулитами, иногда чарнокитами. Породы формации Масекеси представлены зеленокаменными породами – сильно измененными базальтовыми лавами, коматиитами, тремолитовыми, тальковыми и хлоритовыми сланцами, перидотитами и серпентитами.

Нижнепротерозойский чехол Зимбабвийского кратона представлен породами группы Умконду (кварциты, аргиллиты, песчаники, андезиты, сланцы) и группы Гайруи (кварциты, слюдистые сланцы, гнейсы кварцитовые, милонитовые), образующими так называемый складчатый пояс Маника обрамляющий Зимбабвийский кратон с востока и северо-востока.

Нижневерхнепротерозойские образования по их орогенической приуроченности делятся на три группы: Домозамбикскую, Мозамбикскую и Катангскую.

Докембрийские породы, относимые к Домозамбикской группе, имеют осадочный генезис и соответствуют Кибарской эпохе формирования осадочного покрова кристаллического фундамента. В дальнейшем эти породы подверглись интенсивному региональному метаморфизму с формированием гнейсов, высокометаморфизованных и мигматизированных гнейсов.

Образования домозамбикской тектоно-магматической эпохи объединяют породы системы Шиуре и групп Мекубири, Муагуди, Мепонда, Ангонья, Ньяматонда, Мадзуре, Замбве и Рушинга. В эти группы входят: гнейсы амфиболовые и лейкократовые, мафитовые и гранулитовые, гнейсы известковые и пелитовые, гнейсы высокометаморфизованные и ортогнейсы. Гнейсовые толщи включают прослои кварцитов, конгломератов. В эту эпоху произошло внедрение интрузий диоритов и кварцевых диоритов, габбро-норитов, анортозитов и пород ультраосновного состава.

С породами этого комплекса ассоциируется редкометальная, редкоземельная, урановая минерализация, проявления нефелиновых сиенитов, карбонатиты с редкометальной и радиоактивной минерализацией, апатит и др.

Геологические образования, относящиеся к мозамбикской группе, отвечают Мозамбикскому тектоно-магматическому этапу становления докембрийского фундамента, и входят в состав Мозамбикского пояса, являющегося одной важнейших тектонических структур фундамента Африканской платформы. Как орогеническая зона пояс протягивается на 7000 км вдоль восточного побережья Африки через всю ее восточную часть до Замбии.

В строении пояса принимают участие гранулиты, мигматиты, гнейсы и гранито-гнейсы, кварциты, мраморы, различные сланцы. Эти образования подверглись метаморфизму в период 1100–850 млн. лет. Весьма распространенной является точка зрения о реактивизированной, ремобилизованной природе Мозамбикского пояса как зоны древних пород фундамента, испытавших омоложение в результате термальных процессов в позднем докембрии – раннем палеозое.

В составе Мозамбикского пояса в стране выделяется серия групп различных пород со своими местными наименованиями: системы Нампула и Луриу, группы Унангу и Луя, комплекс Баруе, серии Тете и Ангония и серия Куамбе.

Считается, что в Мозамбикскую тектоно-магматическую эпоху произошло внедрение массивов гранодиоторов и адамелитов, гранитоидов и чарнокитов, сиенитов, габбро, габбро-норитов, анортозитов, пироксенитов, монцонитов, мангеритов (разновидность монцонитов).

В пределах Мозамбикского пояса известны многие месторождения и проявления редкометальных пегматитов, слюд, полевых шпатов, радиоактивного сырья, железа, апатита, мраморов.

Геологические образования Катангской тектономагматической эпохи, или как ее часто именуют в Мозамбике – цикла Фингое, представлены метаосадками и метавулканитами, сланцами, кварцитами, мраморами, амфиболитами и метаконгломератами, формирующими чехол кристаллического фундамента. Они объединяют породы групп – Фингое, Муаладзи, Мшинжи, Кобве и Жеси. Эти породы включают массивы перидотитов, серпентинитов, пироксенитов, габбро и норитов и все вместе интрудированы гранитами пост-Фингое. Породы Катангской группы образуют пояс ВСВ-ЗЮЗ простирания длиной около 150 км, протягивающийся от Монте-Атчиза до г. Фингое.

В нижнем палеозое на территории Мозамбика проявилась интенсивная мигматизация пород и образование пегматитовых полей. Эта эпоха получила название панафриканской. Здесь она проявилась

в формировании комплекса гранитов, адамелитов, сиенитов, монцонитов, габбро и норитов, а также в формировании ультрамилонитов и филонитов.

На юге страны на раннеюрских базальтах последовательно залегают позднеюрские и раннемеловые риолиты, дациты, трахиты и туфы.

Поздний мел представлен вдоль прибрежных равнин морскими осадками, а вдоль долины р. Замбези и Лимпопо – континентальными фациями. Кайнозойские отложения в общем виде наследуют эту фациальную зональность. В прибрежных районах мощные (до 2–3 тыс.м.) разрезы палеогена и неогена сложены преимущественно органогенными известняками, в меньшей мере – морскими песчаниками, переходящими к западу в континентальные песчаники и конгломераты. Аналогичным образом изменяется фациальный облик четвертичных осадков, покрывающих значительные площади на юго-востоке страны.

Кайнозойский возраст имеют многочисленные вулканические аппараты центрального типа, расположенные вдоль крупных разломов в нижнем и среднем течениях р. Замбези и на северо-востоке Мозамбика. С кайнозойскими отложениями страны связаны месторождения и проявления известняков, диатомитов, монтмориллонита. В мезокайнозойских карбонатитах заключены значительные скопления пирохлоровых руд. В прибрежных пляжных и дюнных образованиях локализованы месторождения тяжелых песков (Ti ,Zr, TR) в том числе уникальные. С корой выветривания на мезозойских щелочных массивах связаны промышленные скопления бокситов.

3. Тантал, ниобий

Редкие металлы (Ta, Nb, Be, Li, Cs и др.) являются одним из главных видов полезных ископаемых Мозамбика и имеют важное значение для экономики страны, представляя собой весьма перспективный источник получения валюты.

Кентича в Аравийско-Нубийском поясе, Морруа и Марропино в Мозамбикском поясе, а также Наньпин в Южно-Китайском поясе уже многие годы активно используются для добычи тантала [4, 5, 6]. Наиболее значительные месторождения редких металлов связаны с гранитными пегматитами района Алту-Лигонья, имеющего мировую известность, в первую очередь благодаря наличию ряда крупных танталовых ***месторождений (Морруа, Марропину, Муяне)*** и средних по запасам ***(Маджамала, Монея, Илоду.*** Общие запасы Ta_2O_5 (включая прогнозные ресурсы) в недрах Мозамбика оцениваются в 10019 т, в том числе разведанные и предварительно оцененные – 8818 т, прогнозные – 1201 т. При этом 97% всех разведанных и предварительно оцененных запасов пятиокиси тантала сосредоточено в трех отмеченных крупных месторождениях.

Район развития редкометалльных пегматитов Алту-Лигонья имеет площадь около 25 тыс.кв. км и известен уже более полувека (отдельные месторождения разрабатываются открытым способом с 1938 года). В его пределах известно более 90 пегматитовых месторождений и проявлений (более 800 пегматитовых тел), многие из которых были затронуты старательскими разработками, а некоторые были частично разведаны. Несмотря на длительный период эксплуатации пегматитовых месторождений, их изученность остается низкой.

Важной особенностью пегматитов района Алту-Лигонья является их высокая комплексность. Месторождения этого типа содержат – тантал, ниобий, бериллий, литий, цезий, рубидий, олово, висмут, редкие земли. Из них же попутно извлекаются – драгоценные цветные разности берилла (аквамарин, морганит, черный берилл, благородный берилл), турмалина (рубеллит, верделит, индиголит, полихромный турмалин), сподумена (кунцит, гидденит), кварца (аметист, горный хрусталь, розовый кварц), гелиодор, топаз, циркон, амазонит, а также слюды (мусковит, лепидолит, слюдяной скрап), кварц для плавки, калиевый полевой шпат, каолин.

Анализ имеющихся геологических материалов позволяет считать наиболее перспективным для освоения (что вполне естественно) месторождение Морруа, краткая характеристика которому дается ниже.

Данные о месторождении морруа

Месторождение Морруа находится в провинции Замбезия, дистрикт Жиле, на правом берегу р. Мелела, что соответствует юго-западной части района Алту-Лигонья.

В 1963–1964 гг. на месторождении проводились оценочные работы с бурением скважин и подсчетом прогнозных ресурсов; в 1978 г. –технологические испытания каолина; в 1978–1980 гг. – предварительная разведка с бурением скважин и подсчетом запасов категории C_2; в 1981–1982 гг. – детальная разведка с подсчетом запасов категории C_1; в 1982 г. – разведка отвалов и техногенных россыпей с подсчетом запасов категории C_1 и прогнозных ресурсов, а также изучение технологических свойств руды месторождения.

Месторождение отрабатывается с перерывами, начиная с 1945 г. и по настоящее время.

В геологическом отношении месторождение Морруа приурочено к крупной линзе докембрийских амфиболовых пород (серия Морруа), вытянутой в СВ направлении на 15–20 км при ширине до 3 км. Эти

породы слагают сжатую брахисинклинальную складку. В ее ЮЗ замыкании (на южном выклинивании линзы амфиболовых пород) располагается само месторождение. Вмещающие породы представлены амфиболитами, плагиогнейсами, биотит-амфиболовыми гнейсами, прослоями актинолитовых и хлорит-актинолитовых сланцев и кварцитов.

Месторождение представлено серией крупных сближенных пологозалегающих жильных пегматитовых тел. Всего насчитывается 12 отдельных тел, нередко соединяющихся друг с другом апофизами, но основная масса руды сосредоточена в 6 крупных телах (№№ 1, 3–6, 12). Типична пластинчатая форма тел с раздувами и пережимами.

Пегматитовые жилы месторождения Морруа в вертикальном разрезе образуют два «этажа». На первом располагаются наиболее крупные жилы (№№ 1–6, 12), выходящие на дневную поверхность. Их залегание субгоризонтальное с падением на флангах 6-27°. Эти жилы характеризуются округлыми, в плане линзовидными или плитообразными формами. Их размеры – от 200 х 200 м до 500 х 750 м, мощности – от 9 до 25 м в центральных частях и до 5 м на флангах.

Вторая группа сближенных жил (№№ 7–11) залегает под первой на 20–75 м глубже. Жилы расположены одна над другой, падение их выдержано в одном направлении – 229–280°. Углы падения – 2–19°. Размеры жил этой группы – от 120 х 130 м. Лишь одна жила имеет размеры 300 х 500 м. Мощность жил – 0,2–6,0 м.

Отдельные жилы довольно существенно отличаются друг от друга по минералогическому составу, внутреннему строению и содержанию полезных компонентов. Так жила № 2 сложена, в основном, блоковым микроклином с участием графического пегматита и с гнездами и полосами кварц-мусковитового состава. В таких полосах присутствуют альбит, сподумен и аквамарин. Кварцевое ядро жилы выработано. В зальдбандах тела отмечается кварц-мусковитовая оторочка (0,1–0,7 м). Контакт с вмещающими амфиболитами резкий. Жила № 2 содержит берилл, колумбит-танталит и танталит. Средние содержания (в г/т): Ta_2O_5 – 135; Nb_2O_5 – 18: Cs_2O – 696; Rb_2O_5 – 5090; Li_2O – 904; BeO – 160.

Танталовая минерализация представлена колумбит-танталитом, танталитом, реже микролитом. Присутствуют берилл и колумбит. По некоторым сечениям жилы № 4 (по данным бурения) содержание Ta_2O_5 на ее полную мощность составляют 1115–2357 г/т, Li_2O – до 1490 г/т, Cs_2O – до 8100 г/т, BeO – 2100-2200 г/т., в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Средние содержания по жилам 1, 3, 4 (г/т)

Жилы	Ta_2O_5	Nb_2O_5	Cs_2O	Rb_2O_5	Li_2O	BeO
№ 1	435	90	2036	2589	855	202
№ 3	513	74	2030	2216	2239	143
№ 4	759	105	1924	2092	5309	512

Наиболее крупные и мощные (до 25 м) жилы месторождения Морруа (№№ 5, 6, 12), представляющие главный промышленный тип танталовых руд, сложены альбитом-клевеландитом (до 60%), кварцем (20–25%), сподуменом (15–20%) и микроклином (10%). Жилы зональные. Мелкозернистая кварц-алибитовая зона лежачего бока по сравнению с зоной висячего бока более однородна и содержит гораздо меньше танталита и микроклина, в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Средние содержания основных полезных компонентов в жилах №№ 5, 6 и 12 (г/т)

Жилы	Средняя мощность	Ta2O5	Nb2O5	Cs2O	Rb2O	Li2O	BeO	Ta/Nb
№5	3,39	801	86	2694	5619	3912	236	9.3
№6	3,34	733	85	768	3727	3225	263	8,6
№12	6,02	560	1 03	798	2456	2162	280	5,4

С поверхности пегматиты месторождения – выветрелые, местами на глубину 20 м. Большая часть руд зоны выветривания уже отработана.

На месторождении имеется 6 отвалов горных пород (длина 160–700 м, ширина 50-300 м, мощность от 0,5 – 1,5 до 8–12 м), содержащих колумбит- танталит, микролит, мангано-танталит, лепидолит, петалит, сподумен, поллуцит и берилл. В отвалах средние содержания составляют (г/т): Ta_2O_5 – 252–998, Nb_2O_5 – 24-113, Cs_2O – 1135–5899, Rb_2O – 3019–4581, BeO – 140-170 и Li_2O –500–2200.

В техногенной россыпи, образовавшейся в результате многолетнего сброса хвостов обогатительной фабрики рудника Морруа в р. Мелела, среднее содержание Ta_2O_5 колеблется от 150 до 628 г/т.

Несмотря на длительный период эксплуатации, месторождение Морруа не потеряло своей промышленной значимости. В 1983 г. подсчитаны балансовые (по 5 жилам) и забалансовые (по 13 жилам) запасы Ta_2O_5 и сопутствующих компонентов.

Для месторождения Морруа в 1985 г. был разработан технический проект реконструкции и строительства

горно-обогатительного предприятия с целью увеличения выпуска танталового концентрата с 35,0 до 68,6 т в год при увеличении мощности фабрики по переработке руды со 120 до 150 тыс. т в год.

Среди пегматитовых месторождений Морруа является одним из крупных по запасам и уникальных по содержанию Ta_2O_5 в мире. По запасам цезия, бериллия и лития, а также ниобия (с учетом кумулятивной добычи) оно относится к категории средних, в соответствии с таблицей 3. Перспективы увеличения запасов связаны главным образом с разведкой более глубинных горизонтов (на наличие слепых рудных тел) и, в меньшей степени, с доразведкой флангов. С поверхности месторождение полностью оконтурено.

В монаците установлено содержание суммы редких земель равное 47,74%, из них CeO – 13,59%, La_2O_3 – 5,58% и Y_2O_4, – 1,53%.

В северо-восточной части жилы преобладает графический микроклиновый пегматит. На глубину 50–60 м пегматит интенсивно каолинизирован, что облегчает его разработку.

Таблица 3 – Запасы Ta_2O_5 и Nb_2O_5 на месторождении подсчитаны по категории C_1 в трех вариантах: А) – при минимальном промышленном содержании Ta_2O_5 90 г/т; В) – 160 г/т; С) – 200 г/т.

Варианты подсчета	Запасы Ta_2O_5, т			Запасы Nb_2O_5, т		
	баланс.	забаланс.	Всего	баланс.	забаланс.	Всего
А	2143	39,5	2182,5	1030	47,5	1077,5
В	1761	92,0	1853,0	702	103,0	805,0
С	1638	60,0	1698,0	631	63,9	694,9

Мозамбик включает в себя перспективное разнообразие месторождений редких металлов, характеризующихся сложными геологическими структурами. Через комплексный анализ геологического строения и веществестенного состава данное исследование раскрывает потенциал эксплуатации редких металлов в Мозамбике.

В заключение: богатые запасы редких металлов в Мозамбике, особенно тантала и ниобия, имеют существенное экономическое значение для страны. Представленный в данном исследовании всесторонний анализ с фокусом на месторождении Морруа подчеркивает потенциал эффективного освоения этих ресурсов. Дальнейшие усилия по исследованию и развитию этого сектора могут внести значительный вклад в экономический рост и развитие Мозамбика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пичугин С.В. Минерально-сырьевая база Республики Мозамбик и возможные направления двустороннего сотрудничества в сфере изучения и добычи природных ресурсов / С.В. Пичугин // Африка: интеграция и социальное развитие : Ежегодник–2019 : Сборник статей. – М.: РУДН, 2019. – С. 165–185. – EDN DFDZXK.

2. Кологривов И.А. Обеспеченность минеральными ресурсами стран Северной Африки / И.А. Кологривов, К.З. Шукурова, А.А. Бароян // Институты и механизмы инновационного развития: мировой опыт и Российская практика : сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции, Курск, 17–18 октября 2019 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 189–192. – EDN RGNLGU.

3. Ибламинов Р.Г. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых. Рудные месторождения / Р.Г. Ибламинов. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. – 278 с. – ISBN 978-5-7944-3725-6. – EDN LWPMMD.

4. Küster D. Granitoid-hosted Ta mineralization in the Arabian-Nubian Shield: Ore deposit types, tectono-metallogenetic setting and petrogenetic framework // Ore Geol. Rev. 2009. Vol. 35. P. 68–86.

5. Melcher F., Graupner T., Gäbler H.-E., Sitnikova M., Henjes-Kunst F., Oberthür T., Gerdes A., Dewaele S. Tantalum–(niobium–tin) mineralization in African pegmatites and rare metal granites: constraints from Ta–Nb oxide mineralogy, geochemistry and U–Pb geochronology // Ore Geol. Rev. 2015. Vol. 64. P. 667–719.

6. Tang Y., Zhao J.Y., Zhang H., Cai D.W., Lv Z.H., Liu Y.L., Zhang X. Precise columbite-(Fe) and zircon U-Pb dating of the Nanping No. 31 pegmatite vein in northeastern Cathaysia Block, SE China // Ore Geol. Rev. 2017. Vol. 83. P. 300–311.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДОБЫЧИ НИКЕЛЯ МЕТОДАМИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Рыспанов Н.Б, Рыспанов Н.Н., Шарипов Р.Х., Малдыбаев Г.К., Хамбарқызы Ә.
АО «Казахстанско-Британский технический университет», Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 59.
r.sharipov@kbtu.kz

Аннотация. Окисленные латеритные руды становятся одним из самых важных мировых источников для получения никеля и кобальта. Пирометаллургическая переработка латеритов по-прежнему является доминирующей технологией, но доля никеля и кобальта, получаемых с применением различных гидрометаллургических технологий увеличивается. Гидрометаллургия является менее энергозатратным процессом, что приводит к снижению эксплуатационных расходов и воздействия на окружающую среду.

В данной работе рассматривается извлечение никеля и кобальта методом физико-химической геотехнологии в лабораторных условиях. Исследования по подземному скважинному выщелачиванию показали, что степень извлечения никеля в продуктивные растворы достигает Ɛ=96 – 97%.

Ключевые слова: никель, кобальт, латеритная руда, выщелачивание, подземно-скважинное выщелачивание.

ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ӘДІСТЕРІМЕН НИКЕЛДІ ӨНДІРУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ

Рыспанов Н.Б, Рыспанов Н.Н., Шарипов Р.Х., Малдыбаев Г.К., Хамбарқызы Ә.

Бұл жұмыста зертханалық жағдайда физикалық-химиялық геотехнология әдісімен никель мен кобальт алу зерттеледі. Жер асты ұңғымаларын шаймалау бойынша зерттеулер өнімді ерітінділерге никельді алу дәрежесі Ɛ=96 – 97% жететінін көрсетті.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF NICKEL MINING BY METHODS OF PHYSICAL AND CHEMICAL GEOTECHNOLOGY

Ryspanov N.B., Ryspanov N.N., Sharipov R.Kh., Maldybaev G.K., Khambarkyzy A.

Abstract. Oxidised laterite ores are becoming one of the world's most important sources for nickel and cobalt production. Pyrometallurgical processing of laterites is still the dominant technology, but the share of nickel and cobalt produced by various hydrometallurgical technologies is increasing. Hydrometallurgy is a less energy intensive process, resulting in lower operating costs and environmental impact.

This paper deals with the extraction of nickel and cobalt by physico-chemical geotechnology under laboratory conditions. Studies on in-situ in-situ leaching have shown that the degree of nickel extraction into productive solutions reaches Ɛ=96 – 97%.

Key words: nickel, cobalt, laterite ore, leaching, underground borehole leaching.

Введение

Никелевые латеритные руды физически и химически можно разделить на две группы: сапролитовые и лимонитовые. Сапролитовые руды в основном состоят из силикатов и гидросиликатов, тогда как лимонитовые руды в основном состоят из оксидов и гидроксидов [1,2]. Никель в латеритной руде появляется в основном в кристаллической решетке оксидов/гидроксидов и силикатов железа, замещая соответственно железо и магний [3]. Месторождения латеритного никеля составляют около 70 (мас.%) известных мировых запасов никеля, поэтому расширение производства никеля сильно зависит от эксплуатации этих рудных месторождений [4]. Однако минералогическая сложность латеритных руд по-прежнему является проблемой для такой задачи. Для каждого типа руды может потребоваться свой способ переработки для получения приемлемого извлечения никеля и кобальта [5].

Как правило, гидрометаллургическая переработка используется для руд с низким содержанием никеля, тогда как пирометаллургия используется для руд с содержанием никеля более 1,5 (мас.%), связанного с отношениями SiO_2/MgO, Fe/Ni и Ni/Co соответственно ниже 1,5 и 12 и более 30. Среди гидрометаллургических методов следует отметить кислотное выщелачивание под высоким давлением (HPAL), атмосферное выщелачивание (АВ) и кучное выщелачивание (КВ).

Также для извлечения никеля и других металлов используется технология подземного выщелачивания,

которая заключается в нанесении выщелачивающего раствора прямо на том месте, где в пределах ее месторождения залегает руда, без необходимости в ее извлечении.

Технология подземного выщелачивания обладает рядом достоинств, главное из которых – снижение в 2–4 раза капитальных и эксплуатационных затрат на добычу и переработку руды в сравнении с традиционными технологиями, за счет исключения из процесса таких затратных статей как:

вскрышные работы и добыча руды;

транспортировка руды;

дробление и измельчение руды;

пирометаллургическая переработка.

Помимо экономических затрат, преимущества метода подземного выщелачивания выражаются в следующем:

сохранение природного ландшафта в районе месторождения (отсутствие карьеров и других горных выработок);

отсутствие прямого контакта работающего персонала с горной породой в процессе эксплуатации;

снижение бортового содержания никеля, что увеличивает минерально-сырьевую базу предприятия;

возможность организации рентабельного предприятия по подземному выщелачиванию для разработки мелких по запасам месторождений и рудопроявлений.

Результаты и их обсуждения

Лабораторные анализы химических свойств проб никель-кобальтовой руды

Химический анализ силикатной никель-кобальтовой руды (НКР) проводился на рентгено-флуоресцентном анализаторе.

Анализатор РФА КБТУ, который применятся при проведении рентгено-флуоресцентного анализа, представлен на рисунке 1:

Рисунок 1 – Общий вид анализатора, который применятся для проведение рентгено-флуоресцентного анализа (РФА КБТУ)

Исходный состав пробы силикатной никель-кобальтовой руды приведённым способом РФА КБТУ приведен в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходный состав пробы силикатной никель-кобальтовой руды приведённым способом РФА КБТУ

Наименование	**Fe**	**Ni**	**Nb**	**Mo**	**Pd**	**Cd**	**Sn**	**Sb**	**Co**	**Ag**	**LE**
Никель руда исходный состав (режим горнорудный)	**19,69**	**1,48**	**0,01**	**0,01**	**0,07**	**0,13**	**0,17**	**0,16**	**0,16**	**0,13**	**76,76**

По данным химического анализа проба никель-кобальтовой руды Кемпирсайского месторождения относится к магнезиальному типу с содержанием никеля 0,63 – 1,488%%, кобальта 0,02 – 0,166 %% и пригодна для переработки способом подземного-скважинного выщелачивания.

4 Лабораторные исследования выщелачивания полезных компонентов методом ПСВ

Лабораторные исследования выщелачивания полезных компонентов методом ПСВ относятся к перколяционным методам выщелачивания полезных компонентов из НКР.

Лабораторные исследования по ПСВ никеля включали в себя:

имитацию процесса подземного скважинного выщелачивания, с получением никель содержащих продуктивных растворов;

переработку продуктивных растворов до товарного никель содержащего продукта.

Технология ПСВ никеля

Технология ПСВ никеля включает в себя стадии закисления и выщелачивания.

Лабораторные исследования по ПСВ никеля проводили при комнатной температуре, без нагрева пульпы.

В качестве выщелачивающего реагента на закислении использовали кислые растворы в присутствии гиидразин хлорида и щавелевой кислоты? А также растворы соляной и серной кислоты.

Целевые показатели по проведению лабораторных исследований по ПСВ никеля

1) Подземное скважинное выщелачивание никель-кобальтовой руды проводят кислыми растворами в присутствии восстановителя. Концентрация серной кислоты – 50 г/л. Концентрация щавелевой кислоты в выщелачиваемом растворе 0,5%.

2) В продуктивных растворах содержание никеля более 300 мг/л. Остаточная кислотность 2 – 2,5 г/л.

3) Продуктивный раствор, содержащий механические примеси, направляется на очистку от примесей – соединений полуторных металлов, главным образом от соединений железа. Очистка проводится раствором гидроксида натрия последовательно в два этапа:

• Первый этап до pH раствора 2,5 с целью осаждения ионов Fe^{2+};

• Второй этап до pH раствора 4,5 с целью осаждения ионов Fe^{3+}.

Планируемые потери никеля с гидратными осадками не более 5%.

4) В зависимости от содержания кобальта и примесей в десорбате будет назначаться дальнейшая переработка раствора.

ВЫВОДЫ

по изысканиям в агитационных условиях при имитации ПСВ никеля

1) Проведение ПСВ никеля возможно проводить выщелачивающими реагентами, в составе которых используется выщелачивающий реагент в виде сернистой кислоты (полученной химическим путем), соляной и серной кислоты в присутствии восстановителя.

2) При проведении ПСВ никеля с выщелачивающим реагентом, в составе которого используется выщелачивающий реагент в виде сернистой кислоты (полученной химическим путем) получаются более насыщенные растворы по посторонним примесям – значение содержаний легких элементов с кеках выщелачивания выше, чем с использованием серной или соляной кислоты в качестве выщелачивающего реагента.

3) При проведении ПСВ никеля с выщелачивающим реагентом, в составе которого входит раствор соляной кислоты в присутствии восстановителя относительно применения раствора серной кислоты в присутствии восстановителя:

- процесс выщелачивание никеля идет опережающими темпами;
- растворы соляной кислоты не вызывают химическую кольматацию ГРМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Anand R.R., Paine M. Regolith geology of the Yilgarn Craton, Western Australia: implications for exploration. Australian Journal of Earth. Sciences 49: 2002. P. 3–162. https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.2002.00912.x.

Berger V.I., Singer D.A., Bliss J.D., Moring B.C. Ni-Co Laterite Deposits of the World—Database and Grade and Tonnage Models. USGS Open-File report 2011-1058, (2011), 26 pp, http://pubs.usgs.gov/ of/2011/1058/ and http://mrdata.usgs. gov/laterite (accessed January 2013).

Brand N.W., Butt C.RM., Elias M. Nickel laterites: classifi cation and features. AGSO Journal of Australian. Geology and Geophysics. 17: (1998). P. 81-88

Oxley A., Barcza N. Hydro-piro intergration in the processing of nickel laterites // Minerals Engineering. 2013. Vol. 54. P. 2–13.

Федоров А.Н., Комков А.А., Бруэк В.Н., Гнусков Н.А., Крыжановский А.П. Освоение процесса Ванюкова для переработки окисленных никелевых руд на ЮУНК // Цветные металлы. 2007. № 12. С. 33–37.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ЗАТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ СООРУЖЕНИИ СКВАЖИН

Шалбаев Ж.С.
АО «Волковгеология», г. Алматы, Республика Казахстан
Zs.sport@mail.ru

Аннотация. Разработан метод гидроизоляции затрубного пространства при сооружении технологических скважин подземного выщелачивания с использованием нового альтернативного герметизирующего материала – полипакера.

Техническим результатом применения данного метода является повышение эффективности и качества гидроизоляции затрубного пространства и скорости сооружения технологических скважин, появление возможности использования обсадных труб любого диаметра, возможности регулирования в широких пределах толщины гидроизолирующего слоя, а также длины участка гидроизоляции непосредственно на участке работ.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE USE OF AN ALTERNATIVE MATERIAL FOR WATERPROOFING THE ANNULAR SPACE IN THE CO

Shalbayev Zh.S.
JSC "Volkovgeologiya", Almaty, Republic of Kazakhstan
Zs.sport@mail.ru

Abstract. A method has been developed for waterproofing the annular space during the construction of technological wells of underground leaching using a new alternative sealing material – polypacker.

The technical result of using this method is to increase the efficiency and quality of waterproofing of the annulus and the speed of construction of technological wells, the possibility of using casing pipes of any diameter, the possibility of regulating the thickness of the waterproofing layer within wide limits, as well as the length of the waterproofing section directly at the work site.

При сооружении геотехнологических скважин для добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания одним из важных этапов является проведение гидроизоляции затрубного пространства скважины. К традиционному способу гидроизоляции относится метод установки цементного кольца путем закачивания цементного раствора через колонну бурильных труб.

Однако существующая технология обладает рядом существенных недостатков. При проведении цементации скважины присутствует риск нарушения целостности обсадных колонн, поскольку первоначально необходимо произвести промывку затрубного пространства в водоупоре (глинах) над фильтровой колонной с помощью бурового снаряда. После завершения первого этапа цементации необходимо как можно раньше приступить ко второму этапу, так как существует большая вероятность набухания глин, что, в свою очередь, может привести к осложнениям (прихвату бурового снаряда, деформации обсадных колонн и т.д.).

Поэтому поиск возможности применения альтернативной технологии по установке гидроизоляции затрубного пространства с использованием новых материалов и оборудования для геотехнологических скважин стал важной задачей для специалистов Партии новых технологий бурения филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ (далее – ПНТБ).

Материал «полипакер» разработан для гидроизоляции затрубного пространства технологических скважин. Изготавливается из специального композиционного материала на полимерной основе, способный при взаимодействии с водой увеличивать свой объем практически в 20 раз. Эффективная гидроизоляция затрубного пространства происходит за счет создания плотного водонепроницаемого барьера между обсадной колонной и стенкой скважины. Материал имеет высокую скорость набухания как в воде, так и в глинистом буровом растворе; после набухания представляет собой упругую эластичную массу, не крошится, не осыпается и не размывается водой; инертен к кислым средам (небольшой концентрации); эластичен и прочен, что существенно снижает риски раскалывания и разрушения изделия в процессе монтажа и спуска колонны; при набухании обеспечивается прочный контакт со стенками скважины; не содержит токсичных компонентов, безопасен для человека и окружающей среды.

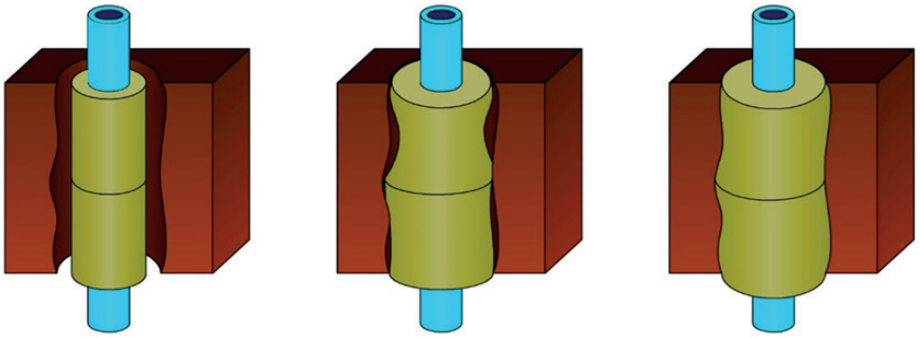
Технология применения полипакера характеризуется скоростью и гибкостью и допускает различные варианты монтажа изделия на колонну.

Полипакер может использоваться в виде готового изделия цилиндрической формы со сквозным

осевым отверстием (рисунок 1). На обсадной трубе изделие монтируется в виде слоев и закрепляется при помощи хомутов по краям. Основное преимущество такой технологии заключается в простоте монтажа и сокращении его сроков.

Так же полипакер может использоваться в виде полотна (в рулонах). Крепление осуществляется послойным наматыванием непосредственно на технологическую колонну перед спуском. Склеивание слоев производится специальным составом, поставляемым в комплекте с материалом. Преимуществами такой технологии являются: возможность использования обсадных труб любого диаметра, возможность регулирования в широких пределах толщину слоя пакера, а также длину участка гидроизоляции непосредственно на участке работ. Кроме этого, отсутствует необходимость в установке фиксирующих хомутов.

При сооружении технологических скважин по данной методике гидроизоляции затрубного пространства нет необходимости проведения этапа расширения ствола скважины диаметром 190-215 мм до интервала цементного кольца. Перед установкой готового изделия из полипакера на тело обсадной колонны крепится нижний направляющий пакер с помощью хомута лепестками вверх по отношению к верхней грани изделия, далее распределяется и устанавливается с помощью клея (полиуретан) расчетное количество полипакера по длине обсадных труб, и крепится верхний хомут для фиксации его положения.



а) б) в)

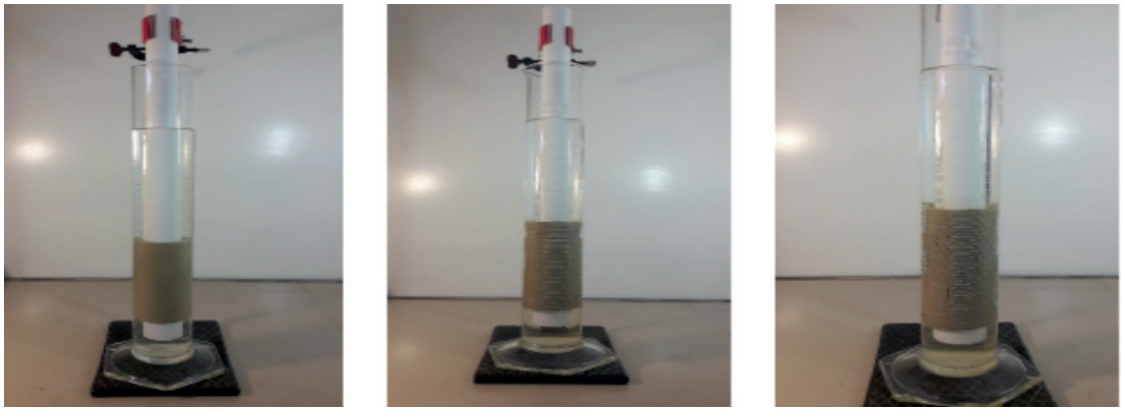
а) – полипакер после спуска в скважину; б) – частичное перекрывание (через 12-18 ч); в) – полное перекрывание (через 24 ч)

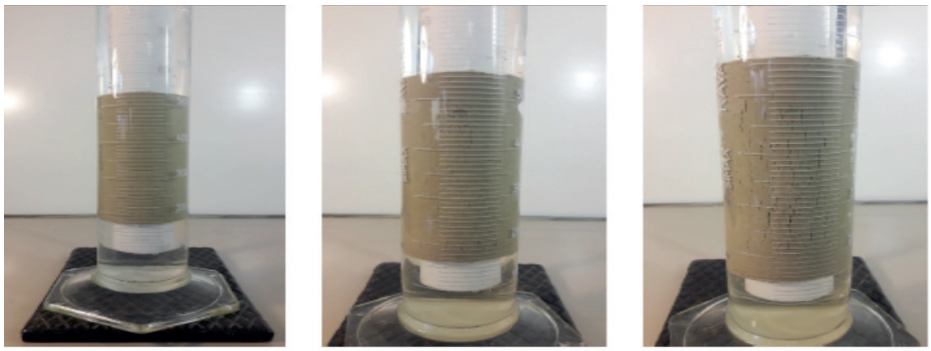
Рисунок 1 – Внешний вид полипакера

Специалистами ПНТБ были проведены лабораторные испытания материала на стенде. Полипропиленовую трубу оборачивали двумя слоями из полипакера, склеивая их друг с другом и их края встык, затем опускали в стеклянный цилиндр с зазором между торцом трубы и дном цилиндра. Трубу закрепляли на штативе соосно с цилиндром. Таким образом, полипропиленовая труба имитировала обсадную трубу, мерный стеклянный цилиндр – стенку скважины. Далее заливали в трубу воду, оставляли на двое суток до полного набухания материала (рисунок 2), потом полностью сливали воду из пространства над полипакером и заливали раствором серной кислоты концентрацией 50 г/дм^3.

В течение 6 месяцев производили наблюдения за полипакером, а также периодический отбирали пробы жидкости из нижней части затрубного пространства, контролируя значения водородного показателя pH.

После лабораторных испытаний пришли к выводу, что полипакер обладает высокой изолирующей способностью по отношению к растворам серной кислоты с концентрацией до 50 г/дм^3. После 6 месяцев испытаний водородной показатель pH изолированного полипакером объема воды не перешел в кислую область и на момент завершения испытаний был зафиксирован на уровне 7,8 (слабощелочная среда), что свидетельствует об очень низкой проницаемости материала и его инертности к кислым средам.





а) – после заливки воды; б) – через одни сутки; в) – через двое суток перед заливкой серной кислоты.

Рисунок 2 – Набухание полипакера по времени:

Несмотря на незначительное разрушение слоя полипакера, непосредственно контактирующего с серной кислотой, на протяжении всего периода испытаний образец в целом сохранил свою форму и гидроизолирующие свойства. Длительный контакт полипакера с растворами серной кислоты способствовал дополнительному упрочнению материала. Полипакер в состоянии увеличенного объёма образовавшееся за счет гидростатического давления, вызывающее натяжение оболочки, способен обеспечить прочное закрепление обсадной трубы в стволе скважины.

В 2019 году на участках буровых работ «Южный Инкай», ТОО «СП Инкай», ТОО «ДП Орталык» было сооружено 5 технологических скважин с применением для гидроизоляции затрубного пространства полипакера. Конструкция обсадной колонны технологической скважины на участке «Южный Инкай» приведена на рисунке 3.

В 2020 году на участке «Южный Инкай» в двух сооруженных технологических скважинах был проведен дополнительный индукционный каротаж, который показал, что до и после закисления скважин свойства полипакера и его расположение в скважине не изменились, а также показал отсутствие перетоков кислых растворов в вышележащие водоносные горизонты.

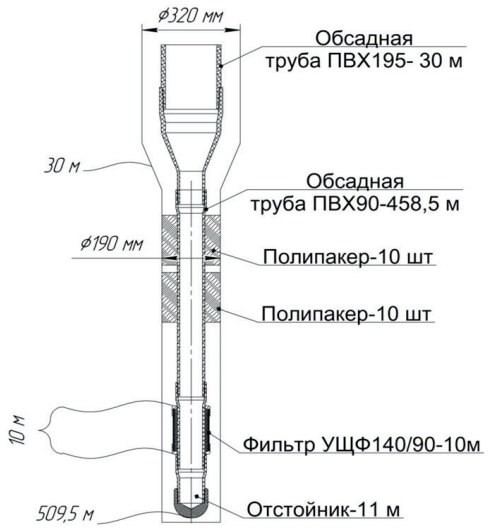


Рисунок 3 – Конструкция обсадной колонны технологической скважины с применением полипакера (участок «Южный Инкай»)

Фактический экономический эффект от применения полипакера для гидроизоляции затрубного пространства вместо цементного кольца по пяти сооруженным технологическим скважинам составил 180 000 тенге на одну скважину.

Таким образом, применение полипакера для гидроизоляции затрубного пространства технологических скважин повышает качество гидроизоляции по сравнению с традиционным способом цементации, снижает затраты на сооружение технологических скважин, увеличивает производительность буровых работ, что, в свою очередь, положительно сказывается на доходной части предприятия. Полипакер является наиболее эффективным и актуальным гидроизоляционным материалом для затрубного пространства при сооружении геотехнологических скважин для добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН

Шалбаев Ж.С.[1], Минаев К.М.[2] , Сагитов Р.Р. [2]
[1]АО «Волковгеология», г. Алматы, Республика Казахстан
Zs.sport@mail.ru
[2]НИ Томский политехнический университет
minaevkm@tpu.ru
sagitov@tpu.ru

Аннотация. В процессе бурения скважин часто прибегают к использованию различных пачек, выполняющих самые разные функции, такие как предотвращение контакта различных жидкостей в скважине, очистка ствола скважины, снижение сил трения, ликвидация осложнений. При этом в большинстве случаев используется преимущественно только один способ применения таких жидкостей – заблаговременное приготовление пачек в отдельных емкостях с последующей прокачкой в скважине. Данный способ отличается низкой технологичностью, привлечением дополнительного парка емкостей и повышенным расходом реагентов. С учетом широкой распространенности технологии прокачки пачек в процессе бурения даже незначительная оптимизация позволит сократить расходы на проведение этих операций. Слабая публикационная активность по этой теме дополнительно обусловливает необходимость более активного изучения и освещения в научной и образовательной литературе традиционных и альтернативных технологий приготовления и использования пачек в бурении скважин.

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR TARGETED DELIVERY OF CHEMICAL REAGENTS FOR WELL CONSTRUCTION

Shalbayev Zh.S.[1], Minayev K.M.[2], Sagitov R.R.[2]
[1]JSC "Volkovgeologiya", Almaty, Republic of Kazakhstan
Zs.sport@mail.ru
[2]National Research Tomsk Polytechnic University
minaevkm@tpu.ru
sagitov@tpu.ru

Abstract. Drilling engineers often use various types of pills that perform a variety of functions in well drilling, such as preventing different fluids in the well from contact, cleaning the wellbore, reducing friction forces, and eliminating drilling problems. In the vast majority of cases, only one method of preparing such liquids is used - advance preparation of pills in mud tanks, followed by pumping them in the well. The main disadvantages of this method are low manufacturability, the need to attract an additional fleet of tanks and increased consumption of reagents. Given the widespread use of pill pumping technology during drilling, even minor optimization will reduce the cost of these operations. Weak publication activity on this topic necessitates more active study and coverage in the scientific and educational literature of traditional and alternative technologies for the preparation and use of pills in well drilling.

Технологии адресной доставки химических веществ широко применяются в фармацевтической отрасли. Таблетирование, капсулирование и т.д. лекарственных препаратов позволяет, например, обеспечить транспортировку лекарств в область желудочно-кишечного тракта в неповрежденном виде, улучшить всасываемость препаратов, минимизировать негативное влияние лекарств на другие органы человека. Таким же образом возможно применение данного подхода в строительстве и эксплуатации скважин различного назначения. Обработка скважин с применением адресной доставки позволит уменьшить расход дорогостоящих реагентов, проводить обработку непосредственно требуемого участка скважины, снизить трудозатраты.

Для реализации технологии адресной доставки используется специальный контейнер, способный хранить действующее вещество и выпускать его при контакте с жидкостью. Данные контейнеры сбрасываются в бурильную колонну или в скважину.

Зарубежные производители используют термин «stick» для обозначения контейнера, содержащего реагент и предназначенного для подачи в скважину в процессе ее бурения или эксплуатации [1]. В российской литературе известен термин «шашка», используемый при реализации адресной доставки реагента и обозначающий технологию, подразумевающую подачу контейнера с реагентом в скважину, находящуюся в эксплуатации [2]. С учетом уже существующей терминологии, для обозначения технологии

доставки контейнера с реагентом в скважину в процессе бурения далее будет использоваться термин «шашка».

На наш взгляд есть несколько совершенно очевидных моментов показывающих преимущество применения химических шашек для обработки скважин перед традиционными обработками химическими растворами:

1. Отсутствие необходимости использования большого количества специальной техники и обученной бригады для поведения операции по обработке;

2. Простота проведения операции сбрасывания шашек в скважину, которую можно проводить как вручную, так и специальным, простым в обращении приспособлением;

3. Максимальное достижение эффекта обработки только требуемого интервала. Для примера: при обработке кислотными растворами прокачка идет по колонне, при которой происходит как потеря требуемой концентрации кислотного раствора в процессе доставки к обрабатываемой зоне, так и нежелательное взаимодействие кислоты с колонной;

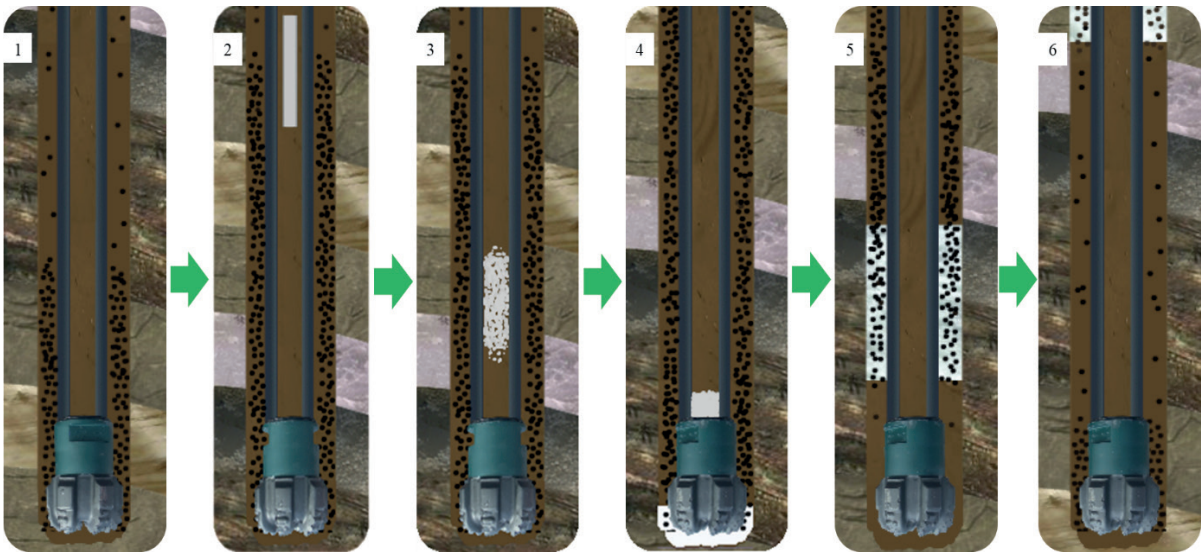
4. Получение необходимой концентрации кислоты (или другого реагента) непосредственно в обрабатываемой зоне. Зависит от количества сброшенных шашек. Растворение шашек происходит при определенном давлении и температуре, т. е. можно рассчитать, чтобы растворение максимально произошло в интервале обработки, а не ранее;

5. Продление срока эксплуатации обсадных труб, насосно-компрессорных труб и другого оборудования, спущенного в скважину.

6. Простота и удобство транспортировки, позволяющая доставить реагент на удаленные промысла без особых затрат.

В качестве примера использования адресной доставки можно рассмотреть технологию улучшения очистки ствола скважины в процессе бурения за счет формирования вязких пачек. Шашки, содержащие комплекс специально подобранных полимерных быстрорастворимых реагентов, сбрасываются в бурильную колонну при наращивании в количестве, требуемом для приготовления необходимого объема пачки с заданной концентрацией действующего вещества. После завершения наращивания и запуска циркуляции контейнер под воздействием жидкости разрушается, а его содержимое распределяется в турбулентном потоке внутри бурильной колонны. Таким образом непосредственно в бурильной колонне формируется очищающая вязкая пачка.

Схематическое изображение процесса прокачки высоковязкой пачки с использованием шашек приведено на рисунке 1.



1 - состояние скважины до прокачки пачки; 2 - шашка подается в бурильную колонну; 3 - оболочка шашки разрушается, содержимое шашки смешивается с буровым раствором и формирует пачку внутри бурильной колонны; 4 - сформированная пачка выходит в затрубное пространство и увлекает частицы шлама; 5-6 пачка с частицами шлама движется к устью скважины по затрубному пространству

Рисунок 1 – Порядок формирования высоковязкой пачки при использовании шашки

Наибольшее распространение за рубежом получили шашки, содержащие:

- смазывающие добавки [3, 4];
- акриловые сополимеры [5, 6];
- поверхностно-активные вещества (ПАВ) [7, 8].

На рынке СНГ шашки представлены достаточно узким ассортиментом. Так, компания ООО «НЭСТ», реализующая продукцию компании M-I Swaco, имеет в своем ассортименте шашки для формирования в бурильной колонне пачки на основе вязкоупругого состава (ВУС) для буровых растворов как на водной, так и на углеводородной основе [9].

В настоящее время разработкой технологий адресной доставки химических реагентов занимаются сотрудники Томского политехнического университета, совместно с малым инновационным предприятием ТПУ ООО НПО ХОС [10]. На данный момент производятся различные варианты шашек для применения в эксплуатируемых скважинах, а также проводятся испытания шашек для применения в процессе бурения скважин. Пример изготавливаемой продукции представлен на рисунке 2. Содержимое шашки и оболочка могут быть подобраны под предполагаемые условия применения по согласованию с заказчиком. Возможно изготовление шашек как с быстрорастворимой оболочкой для наиболее быстрого высвобождения содержимого, так и с оболочкой, обеспечивающей определенную временную задержку.

Рисунок 2 – Пример продукции ТПУ ООО НПО ХОС

Схема водорастворимой шашки производства ТПУ ООО НПО ХОС в разрезе представлена на рисунке 3.

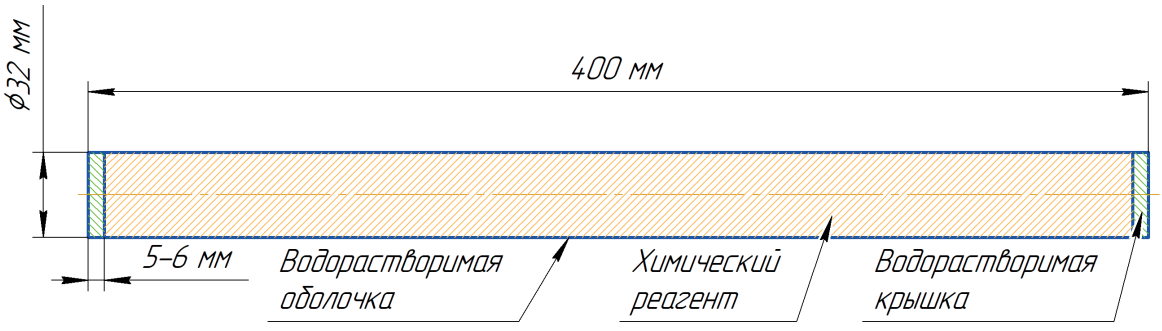


Рисунок 3 – Схема водорастворимой шашки в разрезе

Из проведенного анализа разновидностей шашек видно, что они предназначены для формирования пачек с низкой концентрацией действующего вещества, т.е. кольматационные пачки и пачки с повышенной плотностью не реализуются таким способом приготовления.

Для реализации технологии использования шашек в процессе бурения должны быть соблюдены следующие требования:

− контейнер для хранения действующего реагента (оболочка шашки) должен быть полностью водорастворим;

− время разрушения контейнера для хранения действующего реагента (оболочки шашки) при контакте с жидкостью должно быть минимальным или специально подобранным под условия применения;

− действующий реагент (содержимое шашки) должен полностью диспергироваться в жидкости без образования агломератов;

− действующий реагент (содержимое шашки) должен иметь высокую скорость растворения в жидкости, кроме случаев, когда используемый реагент представлен нерастворимым в данной жидкости веществом;

− размеры шашки должны быть подобраны таким образом, чтобы не создавалось препятствий для циркуляции жидкости.

Кроме того, ограничением возможности использования шашек с тем или иным наполнителем является время, необходимое для полного формирования пачки с момента погружения шашки в жидкость. Поскольку пачка формируется при движении внутри бурильной колонны необходимо оценить время, за которое буровой раствор достигнет компоновки низа буровой колонны (КНБК). Такое ограничение вызвано необходимостью предотвратить возможное негативное влияние нерастворенных компонентов шашки на чувствительные элементы КНБК, как, например, телесистемы. В качестве примера рассмотрим следующие условия: расход бурового раствора 38 л/с, длина бурильной колонны 1475 м, диаметр бурильного инструмента 127 мм, толщина стенки бурильных труб 9,19 мм. В этом случае пачка достигнет КНБК за 6 минут, что и будет являться предельным временем формирования пачки, т.е. за это время оболочка шашки должна разрушиться и полностью высвободить содержимое, а содержимое, в свою очередь, должно полностью раствориться или диспергироваться.

Также стоит отметить, что скорость и качество формирования пачки будет зависеть от режима течения потока жидкости в бурильной колонне, который является функцией расхода жидкости, ее реологических свойств, плотности, а также геометрических размеров бурильной трубы. Очевидно, что при турбулентном режиме течения жидкости будет наблюдаться более интенсивный массообмен при растворении оболочки и содержимого шашки, что приведет к более равномерному распределению реагента по поперечному сечению бурильной колонны и более быстрому формированию пачки.

Оценка эффективности применения различных пачек для очистки ствола скважины обычно проводится путем непосредственного наблюдения шлама, попадающего на вибросита. Подтверждение эффективности работы пачки обычно заключается в визуальном увеличении количества шлама на ситах, однако такой подход имеет недостатки.

Отдельную сложность представляет собой оценка объема пачки, полученной в результате использования шашек. Предположим, что концентрация действующего вещества в пачках для достижения требуемого эффекта должна быть сопоставима, независимо от способа и места их затворения. В зависимости от типа реагента масса одной шашки может находится в диапазоне 500–700 г. Согласно рекомендациям производителей, на одно наращивание необходимо использовать шашки в количестве как минимум 1 шт. [6], более предпочтительно 2–3 шт. [7]. Для примера рассмотрим прокачку вязкоупругих составов, в которых концентрация дополнительно вводимого полимера составляет в среднем 4 кг/м^3. В случае подачи в бурильную колонну шашек с полимером в количестве 2 шт., допустимо предположить формирование пачки объемом 0,25–0,35 м^3.

В программах промывки скважин на нефть и газ средний объем ВУС составляет 8–10 м^3. При этом прокачка таких пачек рекомендуется через каждые 150–200 м проходки [8].

Исходя из предположения сопоставимой эффективности технологий закачки традиционных пачек и использования шашек [11], можно сопоставить требуемый расход реагентов (таблица 1).

Таблица 1 – Расход реагента при использовании традиционной технологии прокачки пачек и технологии использования шашек

Параметр/технология	**Традиционная прокачка пачек**	**Прокачка пачек при помощи шашек**
Интервал бурения, м	200	
Число наращиваний (при длине свечи 18,5 м)	10	
Порядок применения	Единовременная закачка пачки объемом 8 м^3	Сброс в бурильную колонну 2 шт. шашек при наращивании, итого 20 шт. шашек
Затрачиваемое количество реагентов, кг	32	10-14 (в зависимости от массы шашки)
Удельный расход реагентов на метр бурения, кг/м	0,16	0,05-0,07

Для приготовления пачек может быть использована технология шашек, которая позволяет затворять многие рецептуры пачек прямо в бурильной колонне, за исключением пачек, содержащих повышенное количество вносимых компонентов – от 40 кг/м^3, и пачек, применение которых подразумевает установку точного объема жидкости в заданном интервале. Таким образом, согласно выделенной классификации, наиболее подходящие области применения шашек – пачки для очистки ствола скважины и пачки с повышенным содержанием смазывающих добавок, ингибиторов, ПАВ.

Технология шашек отличается не только большим удобством применения, но и экономической целесообразностью, проявляющейся в меньшей потребности в реагентах на метр бурения, позволяя использовать на 40-70 % меньше реагентов для приготовления пачек.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Rapid sweep. Water-soluble polymer stick // Schlumberger. 2017. URL: https://www.slb.com/drilling/drilling-fluids-and-well-cementing/drilling-fluids/drilling-fluid-additives/viscosifiers/rapid-sweep-water-soluble-polymer-stick (дата обращения: 28.09.2022).
2. Способ удаления жидкости из газовых и газоконденсатных скважин: пат. Рос. Федерация, № 2317412, заявл. 05.10.2016; опубл. 30.01.2018. Бюл. №4. – 8 с.
3. Product and method for treating well bores: Patent 6655475B1 USA. Fil. 11.09.2001; Publ. 12.02.2002.
4. Drill Bit Stick // Select Industries. 2022. URL: https://selectindustries.com/wp-content/uploads/2021/12/Drill-Bit-Stick.pdf (дата обращения 29.09.2022).
5. HHL – Horizontal Hole Lubricants // Hydro Foam Technology. 2022. URL: https://www.hydrofoamtechnology.com/products/hhl-horizontal-hole-lubricants (дата обращения 29.09.2022).
6. Product Sheet. Rapid sweep. Water-soluble polymer stick // Schlumberger. 2017. URL: https://www.slb.com/-/media/files/mi/product-sheet/rapid-sweep-ps.ashx (дата обращения 29.09.2022).
7. Product Data Sheet. Poly-Drill Stick // Select Industries. 2021. URL: https://selectindustries.com/wp-content/uploads/2021/12/Poly-Drill-Stick.pdf (дата обращения 29.09.2022).
8. Product Data Sheet. SAPP Stick // Select Industries. 2021. URL: https://selectindustries.com/wp-content/uploads/2021/12/SAPP-Stick.pdf (дата обращения 29.09.2022).
9. Drilling Sticks // Varichem International. 2022. URL: http://www.varichemusa.com/products.php?title=Drilling%20Sticks (дата обращения 29.09.2022).
10. Продукция ООО НПО ХОС // ООО НПО ХОС. 2022. URL: http://npohos.ru/catalog/ (дата обращения 09.10.2022).
11. Integrated Drilling Optimization Approach Delivers Excellent Results to Improve Drilling Efficiency in Remote Artificial Island / P. Paila, C. Kirby, N. Diaz, A. Aboulkheir, D. Mahmoud, R. Al Kindi, Y. Kasem, M. Benygzer, R. Moreira, M. Cesetti, R. Singh // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, Nov. 12–15, 2018.

SEDIMENTARY FACIES AND RESERVOIR ARCHITECTURE CONTROL ON RESERVOIR ACIDIFICATION FOR ISR - OBSERVATIONS, CONCEPTS, AND ANALOGS, IKANSK FORMATION, SOUTH TORTKUDUK, KAZAKHSTAN

Bekzhan Smagambetov[1], Thomas Oppeneau [2], Yerlibek Bolat [2], Alibek Abeuov[3], Syed Muzyan Shahzad[3], Chingis Sagatbekov [2], Louis Lucas[2], Emmannuelle Chanvry[4], Renat Iltukov[2], Milovan Fustic[3]

[1]University of Lorraine, Nancy, 54000, France
[2]Katco JV LLP, South Tortkuduk, Kazakhstan
[3]Nazarbayev University, Astana, 010000, Kazakhstan
[4]Recherche, Orano, France

Abstract. The uranium-bearing Ikansk Formation in the South Tortkuduk uranium field is a complex succession of depositional environments that developed as a result of an interplay of allogenic and autogenic factors in the Chu-Sarysu basin during the Eocene. Major intraformational sedimentary sequences characterized by up to 15m thick fining- and coarsening-upward trends, are interpreted as meandering river point bar and deltaic deposits, respectively. These environments can routinely be recognized in resistivity logs such as commonly employed Ks log, and mapped in cross-sections, slice maps, and three-dimensionally. Non-reservoir architectural elements, characterized by low permeabilities and general absence of recoverable uranium mineralization, include mud-plug, and flood- and delta-plain deposits. Roll front uranium accumulations are recovered by acid injected at the top 5.7 meters of reservoir units with the assumption that acid will saturate the reservoir by moving laterally (because of significant vertical anisotropy controlled by grain size and associated permeability changes) and downward because of the gravity effect.

In this work, we propose the utility of recognizing and mapping reservoir architecture elements with a particular focus on comparing the acid injectivity in point bar versus deltaic reservoir units. The presented concepts are largely supported by well-documented petroleum reservoir development analogs. The vertical grain size trends are commonly coupled with associated changes in bed thicknesses and sometimes occurrences of thin (cm- to dm-scale) interbeds of sand and mudstone. Injected acid, following the paths of the least resistance migrates and occupies the most permeable beds first and moves laterally along the top of lower permeability beds. When strata are thinly interbedded the acid movement is expected to be slower and irregular compared to more uniformly grained parts of the reservoir. Continuous injection coupled with increased acid saturation allows for overcoming the capillary pressure of some fine-grained strata (*sensu* England, 1994; Stainforth, 2004). However, it does not migrate through mudstone layers, even if they are thin (sub-cm-scale). Thus, to predict the migration of acid appears important not only to map the extent of architectural elements but also to understand their geometries and nature, including:

i) mudstone strata in inclined heterolithic strata (IHS) of point bar lateral accretion sets and heterolithic deposits in prodeltas, although thin are commonly tens to hundreds of meters long implying that they act as effective barriers to flow (Strobl et al., 1997; Strobl 2013).

ii) lateral accretion beds of point bar deposits are inclined (6-11 degrees; Thomas et al., 1987) while deltaic beds are characterized by depositional dips of <2 degrees, implying that in heterogeneous reservoirs the gravity will have a significantly greater effect in point bar than in fine-grained heterolithic deltaic facies.

iii) the orientation of dips should predict the migration direction of injected acids (*sensu* (Strobl et al., 1997; Strobl 2013). Considering the low-angle dips, the injected acid may not reach some or all of nearby producing wells (~40m apart) but move further away laterally.

Limitations of Ks logs to identify bed-scale thicknesses and the presence of thin mudstone strata require integration of core description with log analysis. Furthermore, the lack of dipmeter, FMI, and/or oriented core drilling makes it challenging to deduce the orientation of depositional dips, suggesting that coupling information from cross-sections and slice maps with conceptual knowledge about point bar and deltaic facies models is necessary to deduce dip intensity and orientation.

This work demonstrates that understanding the sedimentary facies, depositional environments, and the controls on the reservoir anisotropy including the presence of thin-continuous mudstone strata such as inclined heterolithic strata (IHS) characteristic for point bars and delta-front interbeds appears crucial for effective reservoir characterization and management of acid injection.

This dataset was collected within the framework of a reservoir and Uranium mineralization

Modeling study on Paleogene deposits of the Chu-Sarysu Basin, logistically and financially supported by KATCO JV LLP. SLB is most sincerely thanked for donating high-end interpretation and modeling software licenses (Petrel Platform).

REFERENCE

England, W. A. (1994). Secondary Migration and Accumulation of Hydrocarbons. In L. B. Magoon & W. G. Dow (Eds.), The Petroleum System—From Source to Trap.

Stainforth, J. G. (2004). New insights into reservoir filling and mixing processes. Geological Society, London, Special Publications, 237(1), 115-132. doi:10.1144/GSL.SP.2004.237.01.08

Strobl, R. S., Wightman, D. M., Muwais, W. K., Cotterill, D. K., & Yuan, L. (1997). Geological modelling of McMurray Formation reservoirs based on outcrop and subsurface analogues.

Strobl, R. (2013). Integration of steam-assisted gravity drainage fundamentals with reservoir characterization to optimize production.

Thomas, R. G., Smith, D. G., Wood, J. M., Visser, J., Calverley-Range, E. A., & Koster, E. H. (1987). Inclined heterolithic stratification—terminology, description, interpretation and significance. *Sedimentary geology*, *53*(1-2), 123-179.

OVERVIEW OF ORANO R&D AND INNOVATION PORTFOLIO

H. TOUBON ,
Orano Mining France

Orano Mining has defined three main pillars for its strategy: profitability of our operations and projects, access to new resources, and being a responsible mining player.

The Orano Mining R&D implements either research, innovation or simple development actions that respond to each of these strategic areas. As for exploration, Orano Mining continues to maintain an important R&D effort.

To meet these challenges, Orano Mining's R&D is structured into 5 research, development, and technological innovation programs:

1. R&D program in geosciences: with subjects concerning the improvement of the geological understanding of our deposits and a more technological axis of improving our geophysical exploration tools
2. Environmental R&D program: aimed, for example, at better understanding the geochemistry of our mining residues from open pit, underground mines and the natural attenuation of our deposits operated by ISR.
3. Technological and digital innovations program: cross-functional program using t other market exiting technologies but adapting them to the specific need of the mine. These technologies can concern new logging probes, process monitoring, to software developments, for example in AI
4. R&D program in treatment processes: aimed at improving the performance of our plants
5. ISR R&D program: aimed in particular at improving mining extraction techniques from hardware technologies like oxydation to the development of 3D software modeling tools.

Moreover Orano Mining has defined a development process aimed at removing the obstacles to innovation. Thus we have structured our R&D in four steps :

1. Idea
2. Feasibility or Proof of Concept (POC)
3. Development or Pilot
4. Industrialization

This process consists of promoting ideas upstream and better controlling downstream development and implementation phases.

Orano and KazatomProm have also decided to mutualize part of their R&D, which will enable mutual leverage.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИГНАТУР УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Токсанбаев Б.Ж., Жапабаев Қ.А., Төребеков А.Қ.
ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. В статье описывается применимость различных характеристик (сигнатур) в ядерной экспертизе для оценки происхождения урановых концентратов по месту добычи. В статье приведены результаты исследований кернов и урановых концентратов уранодобывающих предприятий, находящихся в двух урановорудных провинциях. В статье приведены сравнительные характеристики результатов анализа фракционирования РЗЭ и цветовых характеристик.
Ключевые слова: уран, урановый концентрат, ядерная криминалистика, РЗЭ, сигнатура.

INVESTIGATING METHODS FOR IDENTIFYING SIGNATURES OF URANIUM CONCENTRATES

Toxanbayev B., Zhapabayev.K., Torebekov A.
Institute of High Technologies LLP, Almaty, The Republic of Kazakhstan

Abstract. The article describes the applicability of various characteristics (signatures) in nuclear forensics to assess the origin of uranium concentrates at the place of mining. The article presents the results of studies of cores and uranium concentrates from uranium mining enterprises located in two uranium-ore provinces. The article presents comparative characteristics of the results of REE fractional analysis and color characteristics.
Keywords: uranium, uranium concentrate, nuclear forensics, REE, signature.

При проведении ядерно-криминалистических расследований, характеристики ядерного материала используются либо для сравнения с материалом известного происхождения, либо для идентификации источника неизвестного ядерного материала [1]. К этим характеристикам относятся, например, концентрации основных, следовых компонентов, изотопный состав примесей, цвет, структурно-фазовый состав и т.д. [2,3]. Используя этот сложный набор параметров, можно проверить происхождение изучаемого материала или определить с большей уверенностью соответствует ли он заявленному материалу. В связи с тем, что существует множество технологий переработки урана, технологий выщелачивания руды, интерпретация таких характеристик в большинстве случаев очень сложна. Как следствие, не все характеристики могут полезными из-за их высокой изменчивости.

Исследования в области ядерной судебной экспертизы в настоящее время сосредоточены в разработке новых подходов, которые могут идентифицировать сигнатуры ядерных и других радиоактивных материалов с использованием быстрых, недорогих, неразрушающих и простых в использовании технологий и аналитических методов. К примеру, такой метод, как анализ фракционирования РЗМ урановых концентратов, позволяет оценить генезис отрабатываемого рудного горизонта. В случае если месторождения имеют различия в рудообразовании, данный метод может рассматриваться как показатель в ядерной судебной экспертизе.

В данной статье приведены результаты измерений кернов и урановых концентратов двух уранодобывающих предприятий, находящихся в двух урановорудных провинциях. Проведен анализ РЗМ керновых материалов двух месторождений рудного горизонта, изучен состав боле 20 проб с каждого месторождения. Проведен анализ РЗМ проб готовой продукции двух месторождений. Урановые концентраты представлены химическим концентратом природного урана и закисью-окисью урана. Они имеют градацию цвета от светло-желтого до черного. Проанализированы цветовые характеристики восьми проб готовой продукции двенадцати предприятий на предмет рассмотрения данной характеристики в качестве сигнатуры готовой продукции.

Измерение цветовых характеристик выполнены на спектроколориметре X-Rite RM200QC, который работает в цветовом пространстве CIELAB и предоставляет значения в единицах L*a*b*C*H*, где L* отображает яркость (lightness); a* отображает красно/зеленую шкалу; и b* отображает желто/синюю шкалу. Если в CIELAB (L*a*b*) для расчета цвета в цветовом пространстве используются декартовы координаты, то CIELAB (L*C*h) использует полярные координаты. Это выражение цвета может быть выведено из CIELAB (L*a*b*). L* определяет, как указано выше, яркость (lightness), C* показывает насыщенность (chroma) и угол цветного тона (hue angle), значение угла измерения.

Определения элементного состава кернов и урановых концентратов выполнены на квадрупольном масс-спектрометре Perkin Elmer 350X. Все измерения проведены в аккредитованной испытательной лаборатории ТОО «ИВТ».

При выщелачивании урана серной кислотой, РЗМ в урансодержащих технологических растворах представлены в сложных анионных комплексах, которые далее сорбируются на сильноосновной анионит, таким образом попадая в следующие переделы. Электронная конфигурация всех лантаноидов близка, это определяет их исключительное химическое сходство, переход РЗМ по всем технологическим циклам происходит в паритетном соотношении в том числе в готовую продукцию.

На рисунка 1,2 приведены графики среднего состава РЗМ кернов и готовой продукции двух предприятий двух урановорудных провинций. По линии кривой мы можем наблюдать сходимость контура графиков элементного состава РЗМ в пределах одного предприятия. Пропорции РЗМ сохраняются, о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции кривых кернов и готовой продукции одного месторождения.

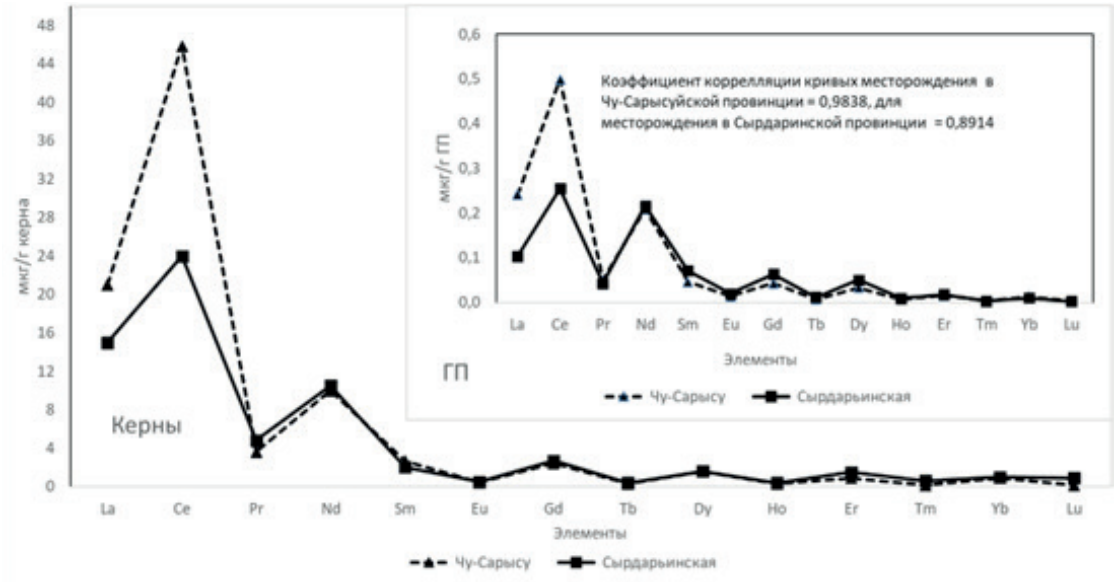


Рисунок 1 – Состав РЗМ кернов и готовой продукции уранодобывающих предприятий

Оценка фракционирования РЗМ в ГП один из зарекомендовавших методов для идентификации и установления генезиса месторождения. Проведена оценка фракционирования РЗМ в кернах и ГП двух уранодобывающих предприятий. Анализ показывает, что данная оценка позволяет нам характеризовать и дифференцировать две урановые провинции (Чу-Сарысуйскую и Сырдарьинскую). Первоначальные выводы подтверждают исследования авторов [4], которые предположили возможность характеризовать генезис и тип месторождения по данному виду анализа. Для оценки фракций легких и тяжелых РЗМ представленные значения нормированы по хондриту (McDonough). Нормирование по хондритам позволяет оценить изменения состава лантаноидов в гипогенных процессах, так как считается, что состав лантаноидов в хондритах в наибольшей степени отражает их состав в исходном протопланетном веществе.

Как видно из рисунка 2, прослеживается сходимость распределения РЗМ в кернах и готовой продукции в пределах одного предприятия. Сигнатуры РЗЭ для отложений рулонных, базальных и тектонико-литологических песчаников характеризуются большим содержанием легких РЗЭ, отрицательной европиевой аномалией (гипогенный источник урана) и относительно одинаковыми содержаниями тяжелых РЗЭ.

Таким образом, анализ фракционирования РЗМ в ГП показывает возможность разделения и идентификации ГП по урановым провинциям. Указанный результат в совокупности с индивидуальными концентрациями РЗМ, является одним из важных и первоначальных оценок при проведении идентификации сигнатур ГП.

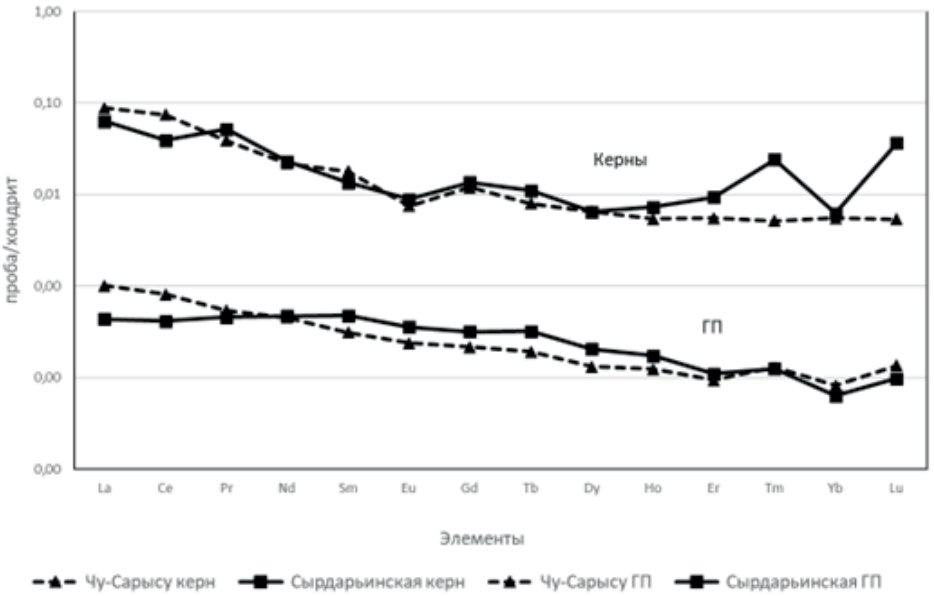


Рисунок 2 – Анализ фракционирования РЗМ кернов и готовой продукции уранодобывающего предприятий

В рамках настоящей работы мы провели анализ цветовых характеристик урановых концентратов двенадцати месторождений, шесть из которых представлены в виде закиси-окиси урана, шесть – химическим концентратом природного урана. Цветовая характеристика используется всеми ведущими лабораториями мира, занимающимися экспертизой урановых концентратов.

На рисунке 3 представлены результаты измерений цветовых характеристик CIELab проб ГП 12 уранодобывающих предприятий.

Результаты измерений свидетельствуют о том, что у каждой пробы уранового концентрата есть отличительные цветовые характеристики. На цвет влияет технология переработки урана, используемые реагенты, термическая обработка. Относительная погрешность измерений каждого из показателей по восьми пробам готовой продукции двенадцати предприятий не превышает 3%. Необходимо отметить, что результаты измерений в CIELab мы можем легко конвертировать в цветовые показатели других цветовых пространств, также проводить визуальный контроль по образцам цветов Атлас цветов Манселла (Рисунок 4).

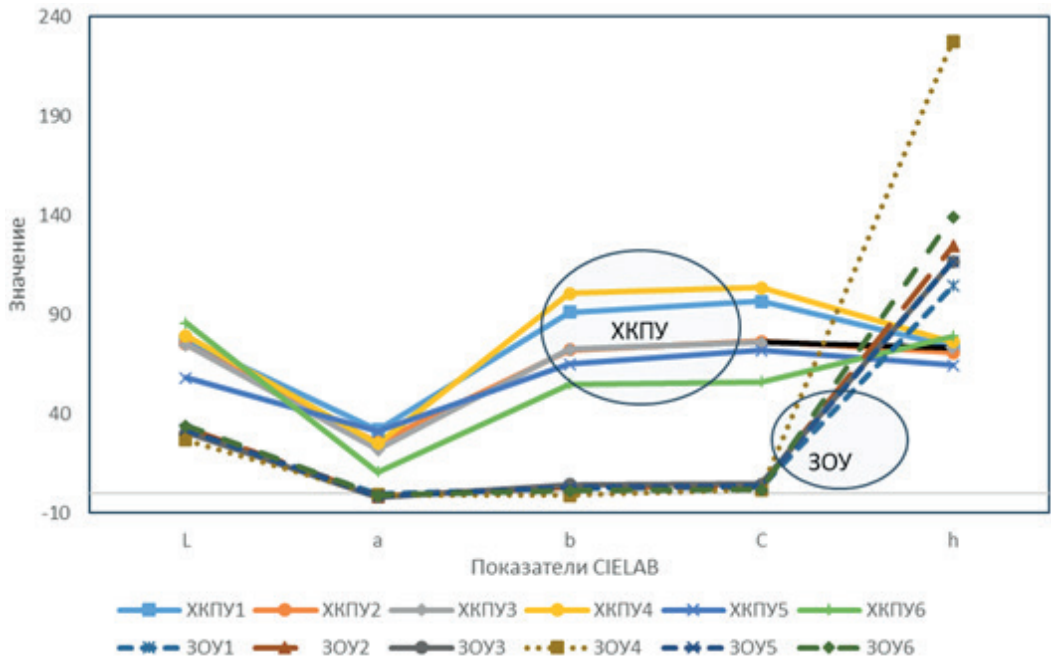


Рисунок 3 – Результаты измерений цветовых характеристик CIELab проб ГП 12 уранодобывающих предприятий

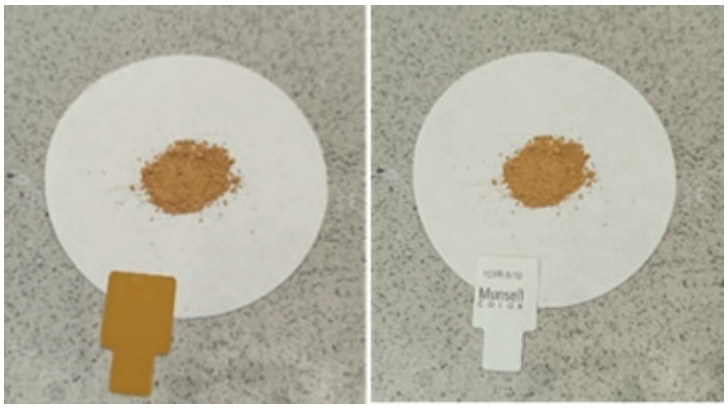


Рисунок 4 – Визуальный контроль цвета пробы по образцам цветов Атласа цветов Манселла

Рассматриваемая комбинация методов изучения сигнатур урановых концентратов, позволяет качественно оценить потенциальное происхождение материала. Принцип сравнения результатов данных на основе цвета и анализа фракционнирования РЗМ позволяет набрать оптимальное количество показателей для последующей статистической обработки с использованием иерархического кластерного анализа итд. Методы и принципы анализа данных могут постоянно обновляться и совершенствоваться, для более уверенных утверждений и решений необходимо выполнить большое количество измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mayer K. Nuclear forensic science: correlating measurable material parameters to the history of nuclear material / Mayer K, Wallenius M, Varga Z.// Chem Rev – 2013. – VOL. 113(2). – P. 884–900.

2. Kristo M. Nuclear forensics. Handbook of radioactivity analysis/. Kristo M //Elsevier. – 2013. – P. 1281–1304.

3. Penkin M. Application of uranium impurity data for material characterization in nuclear safeguards / Penkin M., Boulyga S., Fischer D. // Radioanal Nucl Chem – 2016. – VOL. 307(3), P.1995–1999.

4. Spano T. A novel nuclear forensic tool involving deposit type normalized rare earth element signatures/ Spano T., Simonetti A., Wheeler T., Carpenter G., Freet D., Balboni E. // Terra Nova. – 2017. – Vol. 29 (5). – P. 294–305.

ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВЕДКИ УРАНА

Иргебаев Д.К.
Ст. руководитель **Ныгманова А.С.**
Казахстанско-Британский технический университет

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные методы разведки полезных ископаемых с упором на поиск месторождений урана. Обсуждаются различные методы, используемые в этой области, включая радиометрические и геофизические методы, такие как сейсмика, гравиметрия и магнитометрия. Подробно описан принцип действия каждого метода и его применение при разведке урановых месторождений. Особое внимание уделено радиометрическим методам, позволяющим обнаруживать уран на различных глубинах и в различных средах. В тексте также подчеркивается важность правильной интерпретации данных для достижения целей исследования с минимальными затратами и максимальной эффективностью.

Annotation. This article discusses the basic methods of mineral exploration with an emphasis on finding uranium deposits. Various methods used in this field are discussed, including radiometric and geophysical methods such as seismic, gravimetry and magnetometry. The operating principle of each method and its application in the exploration of uranium deposits are described in detail. Particular attention is paid to radiometric methods that make it possible to detect uranium at various depths and in various environments. The text also emphasizes the importance of correct data interpretation to achieve research objectives with minimal cost and maximum efficiency.

Введение

Даже в руках самых опытных и компетентных специалистов минеральное исследование является дорогостоящим, рискованным и времязатратным делом. Его часто описывают как смесь искусства и науки: большинство проектов по исследованию начинаются с общих идей и геологических концепций и включают в себя различные виды полевых и лабораторных работ, начиная от простого визуального осмотра местности до подробной оценки экономической целесообразности перспективы.

Исследование урана не отличается от вышеописанного, его единственным преимуществом является то, что уран может быть обнаружен на расстоянии, так как он испускает гамма-излучение. Поэтому радиометрические методы являются наиболее полезными методами исследования. В развивающихся странах, заинтересованных в начале или уже начавших программы по исследованию урана, существуют и другие проблемы, помимо перечисленных выше:

- Недостаток или сложности в получении необходимого числа квалифицированных сотрудников для полевых и лабораторных работ (нехватка кадров);
- Отсутствие административной и технологической инфраструктуры, необходимой для поддержки усилий по исследованию (нехватка технологий);
- Относительно небольшой бюджет для многолетней программы (нехватка средств).

В свете вышеизложенного очень важно, чтобы время и ресурсы, доступные программе исследования, были использованы разумно. Это означает выбор оптимальных методов получения необходимой информации и избежание ненужного дублирования усилий государственными организациями. Такое дублирование усилий в области исследований распространено в развивающихся странах. В некоторых случаях было обнаружено, что три государственные организации проводили геологическую картографию одной и той же области.

Поскольку объем, качество и доступность геологической информации различаются от места к месту, а программы по исследованию могут иметь разные размеры и цели, сложно следовать стандартной процедуре. Ниже предлагаются процедуры или последовательности (см. Рисунок 1), предложенные для областей, которые впервые подвергаются исследованию. Если выполнить их систематически, будет возможным получить как инвентаризацию геологии, так и оценку минерального потенциала данной области с минимальными инвестициями и максимальной эффективностью.

Радиометрические исследования

Самыми полезными методами в исследовании урана, безусловно, являются радиометрические обследования. Действительно, сочетание аэрорадиометрических обследований, наземного изучения обнаруженных аномалий и гамма-логирования пробуренных скважин привело к обнаружению значительной части известных урановых ресурсов.

Радиометрические обследования, в которых измеряется общая или специфическая активность

гамма-излучения, имеют различные применения. Соответственно, существует множество полевых и лабораторных инструментов. Основные методы описаны ниже.

Аэрорадиометрические обследования проводятся при начальной оценке больших областей. На борту вертолетов или фиксированных летательных аппаратов устанавливаются высокочувствительные детекторы гамма-излучения (см. Рисунок 2). Радиоактивные аномалии обнаруживаются, записываются и отображаются на картах для последующей проверки на местности. Обычно область покрывается с использованием сетчатого типа паттерна.

Несмотря на относительно высокую стоимость за линейный километр, аэрорадиометрические обследования являются очень эффективными с точки зрения затрат. Общие расходы на полеты, картографирование, оценку и выбор мест для дальнейшего исследования этим методом сравнимы с другими методами. Спектральные данные, если они хорошо оценены, значительно снижают объем дорогостоящей наземной проверки, необходимой для оценки результатов обследования (наземная проверка является необходимой частью обследования и часто обходится дороже, чем аэрорадиометрическое обследование за квадратный километр или за аномалию).

Наземные радиометрические обследования. Наземное изучение урановых аномалий включает использование портативных ручных сцинтилляционных счетчиков или спектрометров, барометров для скважин и эманометров (мониторов радона).

Сцинтилляционные счетчики используются для измерения гамма-излучения, испускаемого природными радиоактивными элементами, содержащимися в горных породах (U, Th, K). Основное применение таких инструментов заключается в поиске радиометрических аномалий, которые в конечном итоге могут привести к обнаружению урановых месторождений. Эти инструменты характеризуются высокой эффективностью обнаружения гамма-излучения, что обеспечивает высокие частоты счета и относительно низкие статистические флуктуации. Сцинтилляционные счетчики являются наиболее часто используемым оборудованием в полевых условиях при исследовании урана; они применяются на всех этапах исследований и в сочетании с геохимическими или геофизическими обследованиями.

Наземная радиометрическая съемка

Последующее изучение урановых аномалий на местности проводится с использованием портативных и переносных сцинтилляционных счетчиков или спектрометров, самописцев, скважинных зондов и эманометров (радоновых мониторов).

Сцинтилляционные счетчики используются для измерения гамма-излучения, испускаемого природными радиоактивными элементами, содержащимися в породах (U, Th, K). В основном такие приборы используются для поиска радиометрических аномалий, что в конечном счете может привести к открытию урановых месторождений. Эта приборы характеризуются высокой эффективностью детектирования гамма-излучений, причем они обеспечивают высокую скорость счета и сравнительно низкий уровень статистических флуктуаций. Это позволяет обнаруживать даже небольшие изменения в концентрации радиоактивных элементов.

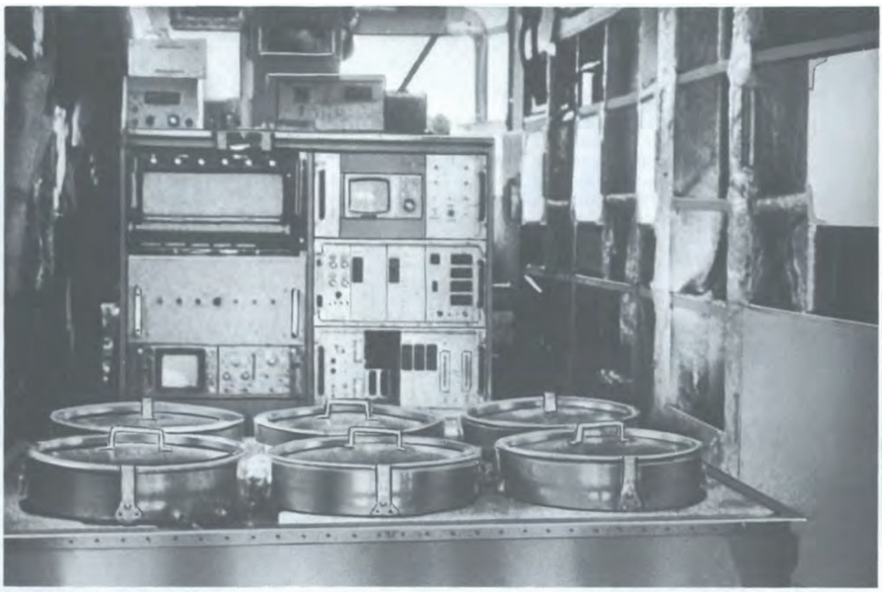


Рисунок 2. На переднем плане показана система гамма-спектрометрии для съемки с воздуха, состоящая из шести крупногабаритных Na I (TL)-детекторов. Эта система устанавливается на борту самолета, производящего съемку, вместе с соответствующей электронной аппаратурой, расположенной за детекторами.

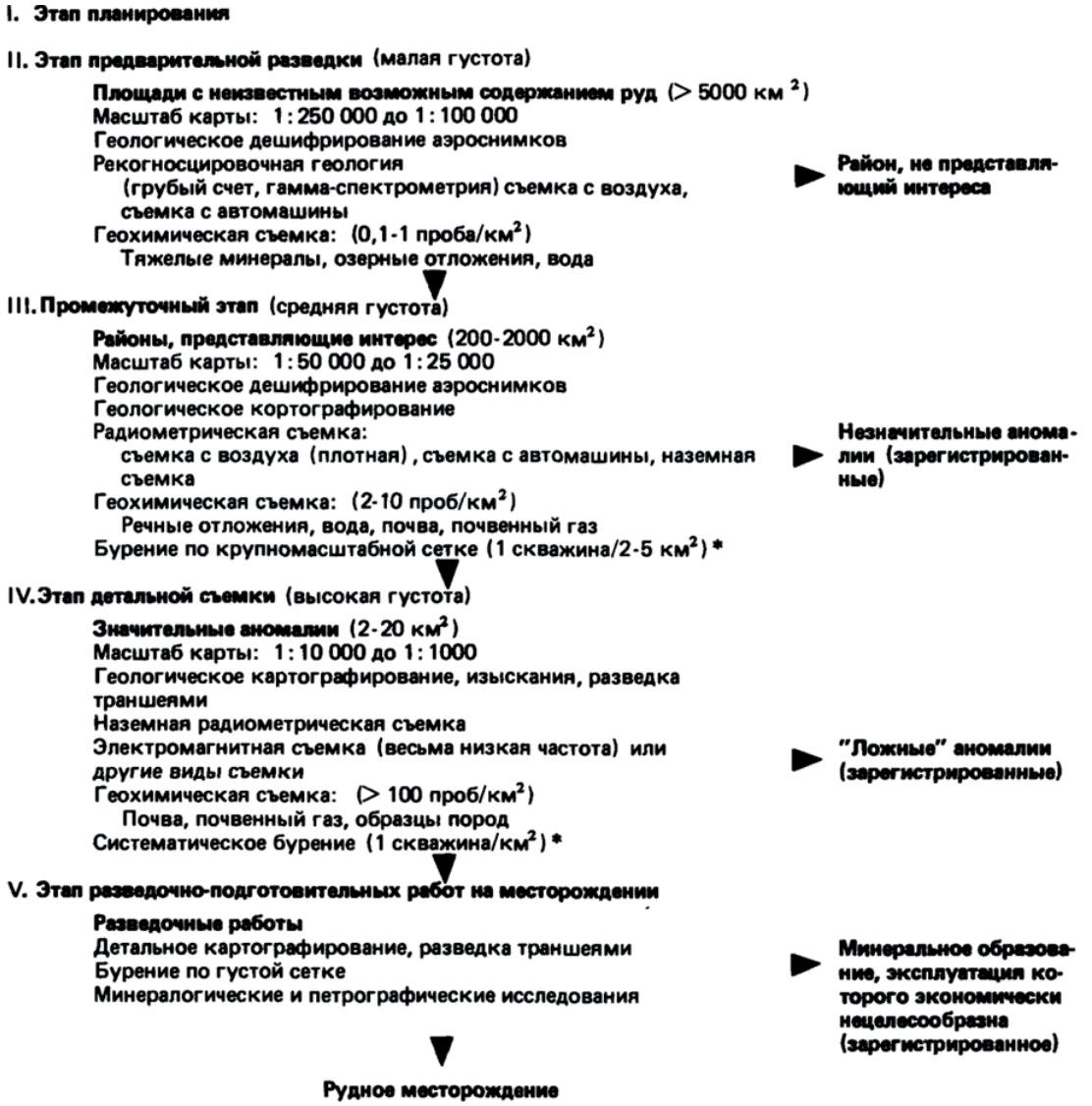


Рисунок 1. Последовательность работ при разведке урановых месторождений

Сцинтилляционные счетчики часто используются в полевом оборудовании для поиска урановых месторождений и применяются на различных этапах разведки вместе с геохимическим или геофизическим исследованием. Они могут быть установлены на подвижных лабораториях для радиометрической съемки с использованием автотранспортных средств, что является эффективным методом разведки в случае наличия хорошей дорожной инфраструктуры. Приборы спектрометра предназначены для радиометрических измерений и позволяют определять концентрации радиоизотопов U, Th и K. Хотя приобретение полевого спектрометра требует больших затрат, он имеет недостатки, такие как увеличенное время работы, трудности с оборудованием в удаленных районах и необходимость частой калибровки. Важно правильно интерпретировать геологические и геохимические данные для получения ценных результатов.

Радиометрический каротаж буровых скважин

В результате наземного излучения урановых аномалий некоторые районы могут быть объявлены бесперспективными с точки зрения наличия запасов урановых руд или заслуживающими проведения детальной разведки. Если принимается решение в пользу проведения дальнейшей разведки, то в большинстве случаев требуется радиометрическая информация о слоях, залегающих под поверхностью. Такую информацию получают с помощью каротажа буровых скважин и путем исследования бурового шлама или кернов.

В ближайшие годы частными и правительственными организациями в соответствии с планами работ по разведке урана будут пробурены десятки миллионов метров скважин. Обычно затраты на бурение составляют от 50 до 80% стоимости программы проведения разведочных работ, и, возможно, эффек-тивное бурение имеет более важное значение с точки зрения эффективности разведки урановых месторождений, чем все другие, отдельно взятые виды разведочных работ.

При выполнении каротажа буровых скважин внутрь ствола скважины спускается детектор гамма-излучений, известный как зонд, который регистрирует радиоактивность (см. Рисунок 3).

Этот метод позволяет геофизикам-разведчикам быстро и эффективно получать максимальное количество информации о геологических слоях под землей. Он включает отбор проб и их анализ in-situ, определение литологии, стратиграфическую корреляцию, а при более сложных программах каротажа - определение петрофизических параметров, таких как плотность, влажность и различные геохимические данные.

Часто проведение каротажа может значительно сокращать затраты на буровые работы, так как позволяет получать необходимые данные из более доступных и дешевых скважин без необходимости отбора керна или из скважин, которые уже были пробурены для других целей. Каротаж скважин обычно предоставляет более репрезентативные и объективные данные при меньших временных и финансовых затратах, чем описательный каротаж, отбор проб и анализ керна или шлама.

Рисунок 3. Каротаж скважины в Пакистане. Рабочий стоит около аппаратуры для регистрации данных каротажа и ручной лебедки, используемой для опускания зонда в скважину, и держит в руках зонд.

Радиометрические методы, включая *радоновые съемки*, основаны на измерении содержания радона, радиоактивного газа, в почве, породах и воде. Радон указывает на наличие урана, в то время как другие элементы семейства урана могут быть источником гамма-излучения. Измерения радона могут помочь обнаружить уран на глубине от 5 до 50 м, хотя гамма-излучение может быть затруднено покрывающим слоем. В полевых условиях используются эманометры, известные также как детекторы радона, для определения аномальных концентраций радона и торона и их продуктов распада. Этот метод позволяет отличать радон от торона и проводить измерения независимо от фонового гамма-излучения. Конечная цель таких радиометрических методов заключается в выборе наиболее подходящих мест для дальнейших разведочных работ, таких как бурение или разведка траншеями.

Существуют и альтернативные методы, которые, хотя и не применяются специально для обнаружения урановых месторождений, могут помочь получить более ясное представление о природе геологических образований или структуре минерализации.

Измерение удельного сопротивления поверхности и индуцированной поляризации

Эти методы базируются на оценке проводимости и распределении электрических токов в земле. Выбор оптимального расположения электродов зависит от различных факторов, включая геометрию объекта,

электропроводность и толщину покрывающих пород. Наиболее распространены решетки Веннера-Шлумбергера и диполь-дипольные решетки.

В целом, методы интерпретации данных о индуцированной поляризации значительно менее разработаны по сравнению с методами интерпретации данных об удельном сопротивлении. Эти электрические методы обычно применяются на более поздних этапах разведки, когда объект уже обнаружен на других проводящих участках, для определения толщины осадочных пород, покрывающих известную структуру или месторождение. Съемки с использованием методов измерения удельного сопротивления и наведенной поляризации могут служить ориентиром при разработке программ буровых работ.

Новые методы

В настоящее время внимание уделяется нескольким методам, которые обещают интересные возможности, хотя они пока не применялись в большом масштабе, а некоторые даже не были подвергнуты экспериментальному тестированию. Эти методы включают в себя использование регистрации радиогенного тепла, остаточного магнетизма, измерения гелия и регистрации радиогенного свинца.

Заключение

В представленной статье рассматриваются основные методы разведки полезных ископаемых с акцентом на поиск месторождений урана. Подчеркивается важность эффективных исследований, отмечается, что минеральные исследования урана – дорогостоящий, рискованный и трудоемкий процесс. Обсуждается сочетание искусства и науки в этом процессе, начиная от общих идей и геологических концепций и заканчивая различными видами полевых и лабораторных работ. Основным преимуществом изучения урана является его обнаружение на расстоянии благодаря испускаемому гамма-излучению, что делает радиометрические методы особенно полезными.

В статье также обсуждаются проблемы, с которыми сталкиваются развивающиеся страны, начинающие или начинающие программы исследования урана, такие как нехватка квалифицированного персонала, отсутствие инфраструктуры и ограниченность бюджетов. Важность разумного использования времени и ресурсов исследовательской программы подчеркивается как ключевой фактор успеха. Рекомендуется выбирать оптимальные методы получения информации и избегать ненужного дублирования усилий. Представленные в этой статье процедуры и последовательности изучения урана на впервые разведанных объектах призваны предоставить наиболее полную информацию о геологическом строении при минимальных инвестициях и максимальной эффективности.

В статье также описаны методы радиометрических исследований, в том числе авиарадиометрические исследования, наземные радиометрические исследования, скважинные радиометрические каротажи, а также радоновые методы, основанные на измерении содержания радона. Каротаж скважин особенно важен, поскольку он дает информацию о геологических слоях под поверхностью, которая необходима для дальнейших исследований.

В целом, в статье подчеркивается важность эффективного использования методов разведки для обнаружения месторождений урана, что имеет решающее значение для энергетической безопасности и развития атомной энергетики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

www.iaea.org. Использовано 19 апреля 2024.
www.kazatomprom.kz. Использовано 19 апреля 2024.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЦЕННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ МЕТОДОМ ИНАА С КАЛИФОРНИЕВЫМ ИСТОЧНИКОМ НЕЙТРОНОВ

Иванников С.И.[1], Иванов В.В.[2], Маркин Н.С.[1], Земскова Л.А.[1]
ФГБУН Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

В зависимости от роста цены на уран и от истощения запасов богатых руд в переработку вовлекаются низкосортные руды, которые включают черные сланцы. Черным сланцам (ЧС) уделяется повышенное внимание, поскольку они широко распространены по различным регионам мира и могут содержать запасы товарных металлов, например, значительные количества урана (U) и молибдена (Mo) [1–3].

В настоящее время существует широкий спектр взглядов, как на само определение «черных сланцев», так и на их происхождение, природу и классификацию. К ЧС относятся все водоосадочные породы с содержанием органического углерода более 1%, по уровню содержания они делятся на низкоуглеродистые (1–3%), углеродистые (3–10%) и высокоуглеродистые (более 10%). Глубоко метаморфизованные аналоги ЧС – это графит содержащие гнейсы [1–6]. Разнообразие геодинамических обстановок и широкий возрастной диапазон их формирования, определяют и большое разнообразие их металлогенической специализации. ЧС обладают повышенным потенциалом в отношении целого ряда цветных и редких металлов, в том числе рения, молибдена, ванадия, кобальта, меди, цинка и др. Объединяет их то, что они в различной степени Au- и платиноидо-содержащие породы [4, 7, 8].

Содержание металлов в ЧС не слишком высоки, обычно не превышают 0,1% [5]. Однако по мере истощения богатых руд и с развитием новых технологий переработки интерес к ним как к источникам критических металлов постоянно возобновляется [1, 2, 7, 8]. Рассмотрим некоторые примеры промышленного использования ЧС для извлечения металлов.

Уран – наиболее изученный элемент в ЧС. В Швеции сырьем для получения урана (с 1948 года) служат урансодержащие глинистые сланцы. Запасы U_3O_8 в урансодержащих сланцах месторождения Ранстад около 1 млн. т. [6]. Знаменитые квасцовые сланцы Норвегии и Швеции характеризуются линзами углеподобного вещества – кольма с содержанием урана до 6400 г/т в центральных частях линз [8]. Диктионемовые сланцы Швеции, Польши и Прибалтики содержат в среднем 220 г/т, при максимальных содержаниях 1500 г/т. Известные в США сланцы Чаттануга и их аналоги в среднем содержат 30 г/т U, в штате Теннеси – до 160 г/т [8]. В 70-е годы исследования сланцев типа Чаттануга прекратились, но затем возобновились в связи с интересом уже не к урану, а к углеводородному сырью, главным образом к газу [8].

Молибден – наиболее характерный элемент для ЧС (как германий для углей). Повышено содержание молибдена в золе карельских шунгитов. Много молибдена в ЧС Оутокумпу в Вост. Финляндии и в ванадиеносных сланцах Тянь-Шаньской системы. Аномально высокие содержания Mo в фаменских сланцах типа Чаттануга до 260 г/т и даже 400 г/т.

Уникальным геохимическим феноменом являются рудные накопления Mo в сульфидоносных ЧС провинции Гуйчжоу (Южный Китай). Здесь залегают конкреционные линзы сульфидов, содержащих 2–7 % Mo, а также с высокими концентрациями As, Se, Ni и Zn наряду с аномальными содержаниями Au, Ag и платиноидов [8].

В Республике Узбекистан достаточно велики запасы *уран-ванадиевых* руд черносланцевого типа. Проведены опытно-промышленные работы, решающие проблемы попутного извлечения V, одновременного выщелачивания и разделения урана и ванадия при переработке полученных растворов [9].

Нерешенными проблемами, препятствующими вовлечению черных сланцев в экономически оборот, являются отсутствие эффективных технологий попутной добычи металлов и, в значительной степени, экологические проблемы, сопровождающие их добычу и переработку.

Кроме того, актуальной проблемой является адекватная оценка содержания микрокомпонентов в таких сложных полиметаллических рудах. Содержание некоторых металлов находится на уровне чувствительности современных методов анализа. Результаты аналитических исследований как и точки зрения на их основании на рудный потенциал того или иного металла далеко не однозначны, в особенности это касается Au и металлов платиновой группы. Полярные мнения объясняются степенью доверия исследователей к результатам аналитики, самим аналитическим методам, а также недостаточностью глубины исследований по наноразмерным формам благородных металлов [4].

Целью работы является исследование содержания микрокомпонентов в образцах черных сланцев разных месторождений методом высокоточного инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с калифорниевым источником нейтронов и оценка возможности применения указанного метода для определения содержания ценных микрокомпонентов в рудах.

Как правило, в качестве источника нейтронов для метода ИНАА используют различные типы ядерных реакторов, отличающихся высокой интенсивностью потока нейтронов. Однако для решения многих задач достаточно мощных радионуклидных источников нейтронов, например ^{252}Cf. Данный тип источников характеризуется малыми размерами, существенно меньшей ценой и сниженными требованиями к радиационной безопасности.

Эффективность метода ИНАА зависит от ядерно-физических характеристик определяемого элемента. Наибольшая чувствительность метода достигается при определении элементов с высокими значениями сечений активации тепловыми и резонансными нейтронами (Mn, Co, As, In, Ir, Au, РЗЭ и др.).

В работе исследованы углеродистые аргиллитоподобные диктионемовые сланцы (черные сланцы) эстонской и шведских частей Прибалтийского палеобассейна. Образцы представляют собой тонкоплитчатые черные сланцы, от буровато-коричневого до чёрного цвета, редкометаллоносные с повышенным содержанием урана.

Для сравнения в работе приведены результаты ИНАА образцов из свит Бурейского, и Лесозаводского графитоносного района Ханкайского массива: слабо окварцованный кварц-серицит-графитовый сланец (образец БМ-23), графитистый кристаллосланец (образец АР-24), биотит-графитовый гнейс (образец АР-22/3) и графитизированный кальцифир (образец АР-22/4).

ИНАА проводили на разработанной в Институте химии ДВО РАН установке [10] на базе радионуклидного источника нейтронов ^{252}Cf (тип НК252М11; АО «ГНЦ НИИАР», Россия). Для получения наведённой активности анализируемых элементов использовали ядерные реакции радиационного захвата тепловых и резонансных нейтронов (см. табл. 1).

Измерение наведённой активности образцов осуществляли на гамма-спектрометрическом комплексе на основе HPGe детектора GC2018 («Canberra», США). Набор гамма-спектров осуществлялся в программе eSBS v.1.5.9.3 («Грин Стар», Россия). Обработку результатов измерений проводили в программе «Гамма-анализатор для ППД» («Грин Стар», Россия), использующей метод разложения пиков полного поглощения по линиям изотопов.

Нейтронно-активационный анализ проводили при следующих условиях: замедлитель – оргстекло; плотность потока нейтронов – $5 \cdot 10^8$ нейтр$\cdot$см$^{-2}\cdot$с$^{-1}$; время облучения – 7 суток; объем образцов – от 1,0 до 100 см^3. Каждое измерение проводили дважды. В первом измерении определяли содержание короткоживущих нуклидов: ^{52}V, ^{165}Dy и ^{239}U. Измерение проводили через 60 с после завершения активации в течении 900 с. Второе измерение проводили через 2 часа после завершения активации в течение 7200 с.

Таблица 1 – Ядерно-физические константы анализируемых элементов

Элемент	Ядерная реакция	σ_{th}, барн	I_x, барн	$T_{1/2}$, ч.	Eγ, кэВ	η, %	Предел обнаружения
V	^{51}V (n, γ) ^{52}V	4,79 ± 1,8	2,63 ± 0,55	0,06	1434,1	100,00	85 ± 15
Mo	^{98}Mo (n, γ) ^{99}Mo	0,20 ± 0,03	3,75 ± 0,53	2,79	140,5	92,00	25,2 ± 4,8
Sc	^{45}Sc (n, γ) ^{46}Sc	26,3 ± 0,6	11,3 ± 0,1	2011	889,3	99,98	3,1 ± 0,5
La	^{139}La (n, γ) ^{140}La	9,4 ± 0,8	11,6 ± 0,1	40,3	487,0	45,50	2,0 ± 0,3
					815,8	23,27	
Sm	^{152}Sm (n, γ) ^{153}Sm	202 ± 4	2909 ± 4	46,5	103,2	29,80	0,12 ± 0,03
Eu	^{151}Eu (n, γ) ^{152m}Eu	3222 ± 1	3866 ± 2	9,31	121,8	7,00	0,07 ± 0,02
					841,6	14,18	
					963,4	11,67	
Dy	^{164}Dy (n, γ) ^{165}Dy	2727 ± 10	518 ± 2	2,33	94,7	3,58	1,6 ± 0,4
U	^{238}U (n, γ) ^{239}U	2,68 ± 0,8	277,0 ± 1,5	0,39	74,6	48,10	18,8 ± 3,2

Количественное определение анализируемых элементов осуществляли относительным методом, путем сравнения результатов облучения стандартных и исследуемых образцов. В качестве стандартных использовали образцы минерального сырья, предоставленные Институтом геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН: черные сланцы (СЧС-1 и СЛг-1); зола бурого угля КАТЭКа (ЗУК-1); зола угля уноса (ЗУК-2); зола бурого угля Азея (ЗУА-1). Содержание углерода в стандартных образцах варьировалось от 1,3 до 5,3 %.

Результаты исследования содержания микрокомпонентов в образцах сланцев из разных регионов Прибалтийского палеобассейна приведены в табл. 2. Метод ИНАА, реализованный на установке с радионуклидым источником нейтронов, позволил определить содержание урана практически для всех образцов, чувствительность метода соизмерима с кларком. Содержание урана в пробах, отобранных на юге Швеции показывают максимальные значения до 272 г/т U в образце.

Практически все пробы эстонской и шведских частей Прибалтийского палеобассейна показывают повышенные, по сравнению с кларком, содержания V (от 120 до 791 г/т, среднее – 350 г/т), Mo (от 34,3 до 411,8 г/т, среднее – 150 г/т) и U (от 20 до 272 г/т, среднее – 93 г/т) (табл. 2). Максимальные содержания Mo

наблюдаются для образцов с юга Швеции, что коррелирует с данными по содержанию U. Содержание РЗЭ в пробах ЧС с юга Швеции показывают существенное превышение кларка для La и Sm (табл. 2).

Повышенная металлоносность ЧС Прибалтийского палеобассейна хорошо видна при сравнении результатов ИНАА с данными по пробам Бурейского и Ханкайского массива (табл. 3).

Таблица 2 – Содержание ценных металлов в черных сланцах эстонской и шведских частей Прибалтийского палеобассейна

Проба	V	Mo	Sc	La	Sm	Eu	Dy	U
Швеция южная								
ИПШ-15/114	791 ± 12	186,4 ± 5,1	12,7 ± 0,3	44,8 ± 0,5	7,86 ± 0,09	0,68 ± 0,05	4,53 ± 0,05	272 ± 32
ИПШ-15/136	353 ± 7	156,7 ± 4,4	18,2 ± 0,3	47,1 ± 0,7	8,35 ± 0,07	1,46 ± 0,01	5,72 ± 0,09	126 ± 5,0
ИПШ-15/209	261 ± 6	411,8 ± 3,9	18,2 ± 0,5	55,7 ± 0,5	22,2 ± 0,21	2,51 ± 0,02	8,39 ± 0,08	203 ± 2,0
Швеция юго-восточная								
ИОЛ-15/30-6	120 ± 8	< 50	9,2 ± 0,6	20,6 ± 2,3	2,09 ± 0,14	0,44 ± 0,03	1,63 ± 0,11	20,5 ± 2,5
ИОЛ-15/30-7	< 100	142,2 ± 6,0	19,6 ± 0,8	42,1 ± 1,8	6,33 ± 0,27	0,96 ± 0,04	3,67 ± 0,15	< 20
Эстония								
ИПЭ-15/Р-11	577 ± 11	137,6 ± 4,5	9,9 ± 0,5	34,9 ± 0,6	7,54 ± 0,14	1,02 ± 0,02	2,84 ± 0,05	86,3 ± 2,5
ИПЭ-15/Р-21	239 ± 10	57,2 ± 3,4	9,3 ± 0,3	22,1 ± 1,1	3,32 ± 0,09	0,63 ± 0,02	3,30 ± 0,09	< 20
ИЭП-3	310 ± 10	139,7 ± 4,0	12,3 ± 0,5	30,8 ± 1,8	6,79 ± 0,20	1,11 ± 0,03	3,21 ± 0,09	52,5 ± 2,5
ИЭП-5С	353 ± 25	151,5 ± 7,0	4,6 ± 0,2	34,0 ± 3,5	5,51 ± 0,24	1,96 ± 0,08	4,10 ± 0,18	29,1 ± 1,3
ИЭП-6А	437 ± 20	34,3 ± 2,7	13,6 ± 0,6	40,9 ± 1,9	8,12 ± 0,37	1,04 ± 0,05	2,83 ± 0,13	97,4 ± 4,5
Кларк [11]	180 ± 10	20,0 ± 3,0	11,0 ± 0,5	28,0 ± 2,0	4,60 ± 0,30	1,00 ± 0,40	2,70 ± 0,20	13,0 ± 2,0

Таблица 3 – Содержание ценных металлов в графитовых сланцев Бурейского и Ханкайского массива Дальневосточного региона России

Проба	V	Mo	Sc	La	Sm	Eu	Dy	U
Хабаровский край								
БМ-23	< 100	< 25	20,9 ± 0,6	22,7 ± 1,4	3,08 ± 0,14	1,30 ± 0,03	6,45 ± 0,52	< 20
Приморский край								
АР-22/3	< 100	< 25	16,2 ± 1,0	23,3 ± 1,5	4,92 ± 0,32	1,26 ± 0,17	3,11 ± 0,10	< 20
АР-22/4	< 100	< 25	14,0 ± 1,5	33,5 ± 1,2	5,20 ± 0,07	1,39 ± 0,15	3,22 ± 0,30	< 20
АР-24	< 100	< 25	15,6 ± 1,3	28,8 ± 1,0	4,90 ± 0,57	1,56 ± 0,11	3,11 ± 0,12	< 20

Заключение

Таким образом, ИНАА с Cf–источником нейтронов является эффективным инструментом для оперативного определения большинства “чувствительных” к нейтронному облучению элементов, присутствующих в черных сланцах. С привлечением других современных методов анализа, применяемых для исследования черных сланцев можно будет оценить общую металлоностность сланцев. Поскольку в настоящее время, по мнению авторов [8], сведения о геохимии некоторых элементов (например, платиноидов) в черных сланцах пока невелики, в условиях дефицита надежной информации приходится опираться не столько на аналитические данные, сколько на химические аналогии и общие геохимические соображения.

Список использованных источников

1. Laznicka P. Giant metallic deposits: Future sources of industrial metals. – Berlin: Springer, 2006. – 949 p.
2. Rigali M.J., Krumhansl J.L. Metals in Oil and Gas-Bearing Shales: Are They Potential (Future) Ore Deposits? //Shale: Subsurface Science and Engineering. – 2019. – P. 59-67.
3. Ключарев Д.С., Соесоо А. Рудное будущее горючих сланцев // Разведка и охрана недр. – 2019. – №. 1. – С. 57-62.
4. Ненахов В. М., Золотарева Г. С., Дубков А. А. Черные сланцы сухоложского типа и их благороднометальный потенциал: современное состояние изученности, технологические реалии и перспективы //Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2021. – №. 1. – С. 53-64.
5. Лапидус А. Л., Худяков Д. С., Бейлина Н. Ю., Трухина М. А., Козлов А. М., Жагфаров Ф. Г. Твердые горючие ископаемые как источник микроэлементов // Химия твердого топлива. – 2022. –№ 1. – С. 3–18
6. Лапидус А.Л., Шпирт М.Я., Малиновская Ю.А., Мовсумзаде Э.М., Худяков Д.С. Горючие сланцы-перспективное сырье для переработки твердых горючих ископаемых // Химия твердого топлива. – 2017. – №. 6. – С. 15-21.
7. Шпирт М.Я., Рашевский В.В. Микроэлементы горючих ископаемых. – М.: Кучково поле. – 2010. – Т. 5. – 384 с.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. – М.-Берлин: Directmedia, 2016. – 305 с.
9. Санакулов К.С., Петухов О.В., Шарафутдинов У.З. Редкие металлы – инновационный ресурс НГМК // Горный вестник Узбекистана. – 2018. – № 4. – С. 57-61.
10. Иванников С.И., Иванов В.В., Маркин Н.С., Руслан А.В., Земскова Л.А. Определение стратегически важных металлов в графитистых образованиях методом нейтронно-активационного анализа с калифорниевым источником // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2024. – Т. 90, № 3.
11. Ketris M.P., Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Int. J. Coal Geol. – 2009. – Vol. 78, No. 2. – P. 135-148.

БУРЕНИЕ С ОБРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ В ТОО СП КАТКО: ПРОЦЕСС И ПРЕИМУЩЕСТВА

Жером Виоле, Денис Дорофеев
ТОО СП КАТКО, г. Астана, Казахстан,

Аннотация. Приведено описание использование бурения скважин для ПСВ с обратной циркуляцией буровых растворов на участках ТОО СП КАТКО.
Ключевые слова: бурение, обратная циркуляция, добыча урана, ПСВ.

REVERSE CIRCULATION DRILLING IN KATCO: PROCESS AND BENEFITS

Jerome Violet, Denis Dorofeyev
LLP JV KATCO, Astana, Kazakhstan,

Abstract. The paper describes the use of reverse circulation drilling for ISL at the sites of JV LLP KATCO.
Key words: drilling, reverse circulation, uranium mining, ISL.

Бурение скважин с обратной циркуляцией (или промывкой) представляет собой метод бурения, в котором используются двойные бурильные трубы. Скважина заполняется буровым раствором под действием силы тяжести. Воздушный лифт, создаваемый сжатым воздухом, заставляет жидкость двигаться снизу вверх по внутренней трубе до выхода. Внутренние трубы позволяют транспортировать буровой шлам непрерывным потоком на поверхность. Шлам проходит через разгрузочный рукав и собирается в зумпф. Вывод шлама по внутренней трубе исключает потери шлама в полостях и трещинах стенок скважины и в ее устье.

Откачные скважины, пробуренные методом обратной циркуляции (RC), показывают дебит на 20-30 % выше, чем скважины, пробуренные классическим методом прямой циркуляции (DC). В основном это связано с уменьшением повреждения стенок скважины во время бурения (быстрая эвакуация шлама) и уменьшением загрязнения руды (проникновение бурового раствора в слабо консолидированные пески) из-за снижения давления на стенки скважины. Принцип бурения с обратной циркуляцией показан на рисунке 1.

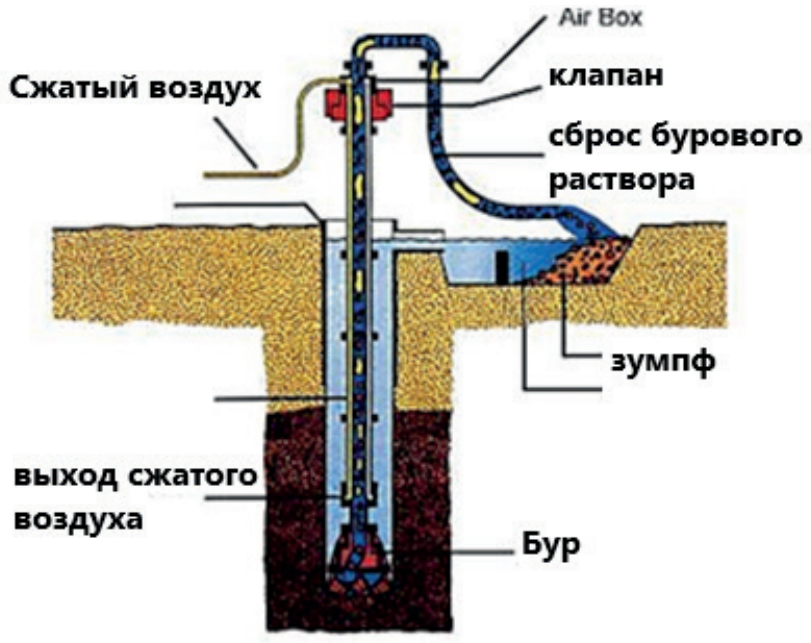


Рисунок 1 – Принцип бурения скважин с обратной циркуляцией

Откачные скважины, пробуренные с помощью буровой установки с обратной циркуляцией (RC), имеют лучший дебит на протяжении всего срока эксплуатации. Как показано на рисунке 2, и в таблице 1, скважины, пробуренные с обратной циркуляцией, дали существенно больше продуктивного раствора (ПР) в отличие от скважин, пробуренных с прямой циркуляцией. Также наработка на отказ таких откачных скважин (время между РВР) значительно больше.

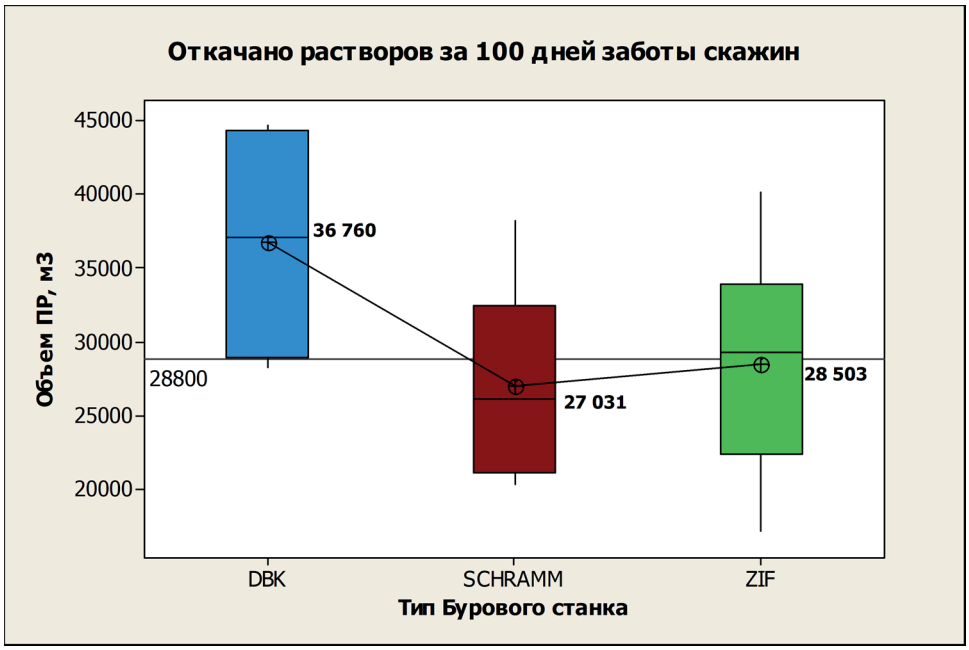


Рисунок 2 – Сравнение производительности откачных скважин за 100 дней работы

Таблица 1 – Сравнение производительности откачных скважин, пробуренных различными станками, раствор ПР, м^3

	ШРАМ (DC)	ЗИФ (DC)	Станок с обратной промывкой (RC)
100 дней	27 031	28 503	36 760
200 дней	57 164	59 521	72 505
300 дней	76 170	82 102	106 563

Помимо всего вышеописанного, используемый в настоящее время в КАТКО станок с обратной циркуляцией намного безопаснее по сравнению с устаревшими станками благодаря интегрированной безопасной конструкции в соответствии с Европейскими нормами по эксплуатации машин и ограниченным числом манипуляций оператора за счет использования гидравлического привода для соединения элементов станка.

ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫЕ РАБОТЫ УЧАСТКА 6-7 НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ БУДЕНОВСКОЕ. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТОО «СП «БУДЁНОВСКОЕ»

Жансугуров Д.О.
ТОО «СП «Будёновское», г. Шымкент, Республика Казахстан
Dzhansugurov@spb.kazatomprom.kz

Анотация. ТОО «СП «Будёновское» – недропользователь, осуществляющий свою геологоразведочную и горно-подготовительную деятельность в соответствии с Контрактами на разведку урана и на добычу урана на участке 6-7 месторождения Буденовское. За 4 года поисково-оценочных работ было пробурено 1 384 геологоразведочные скважины, общим объёмом буровых работ 1 014 188 погонных метров, с комплексом сопровождающих геологоразведочных работ. Результатом поисково-оценочных работ ТОО «СП «Будёновское» явилось то, что с 32 665 тонн урана учтенных и принятых к сведению запасов до 114 238 тонн урана утвержденных запасов урана участка 6-7 месторождения Буденовское, было поставлено на баланс Государства, что так же подтвердил Отчет компетентного лица о запасах руды с выводом: безусловно, участок 6-7 месторождения Буденовское обладает потенциалом дальнейшего прироста Минеральных ресурсов и Минеральных запасов, что существенно повышает надежность объекта недропользования для инвестора. Перспектива ТОО «СП «Будёновское» – Производительность полигона с объёмом добычи урана 6000 тонн урана в год, влекущей за собой организауию новых рабочих мест для населения.

Ключевые слова: месторождение Буденовское, участок 6-7, развитие ТОО «СП «Будёновское».

Краткие сведения о месторождении. Месторождение Буденовское входит в состав Мынкудукского рудного района Кенсе-Буденновской металлогенической зоны и является продолжением месторождения Инкай в южном направлении. Месторождение расположено в Юго-Западной части Шу-Сарысуйской депрессии, представляющей собой эпикаледонскую впадину с двухъярусным строением осадочного чехла. Основным рудовмещающим горизонтом на месторождении является Инкудукский. Мынкудукский и Жалпакский горизонты в этом плане имеют второстепенное значение. Рудные тела на месторождении Буденовское пространственно тяготеют к границе выклинивания ЗПО (зоны пластового окисления), а их контуры в плане и разрезе определены поданным гамма-каротажа – по заданному кондициями бортовому содержанию урана – 0,01% и минимальному бортовому метропроценту – 0,040. Каждое из выявленных рудных тел располагается в пределах одного рудовмещающего горизонта, тем самым, характеризуя устойчивую приуроченность к коррелируемым по разрезам частям продуктивной толщи и представляет собой определенный структурный элемент рудного поля. Тела состоят из нескольких морфологических элементов – главного ролла с хорошо выраженными мешковыми частями и крыльями, соразмерность которых меняется от равновеликих величин до преобладания той или иной морфологической части. Кроме того, широко развиты сопряженные мешково-крыльевые элементы рудного тела ("крылатые мешки"). В процессе развития рудоконтролирующего окисления возникают сателлитные и останцовые тела. Они, как правило, располагаются в "тылу" основных роллов, отделяясь от них незначительным интервалом безрудных пород. В плане все рудные тела имеют облик извилистых лент, различающихся между собой лишь протяженностью, шириной и пространственно взаимосвязаны с основными структурно-морфологическими типами выклинивания ЗПО в плане, где типизация последних основана на положении границы выклинивания ЗПО относительно направления движения региональных кислородсодержащих пластовых вод.

Детальная изученность участка 6-7 месторождения Буденовское. Согласно Рабочей программе к Контракту на разведку урана, период поисково-оценочных работ был рассчитан на 6 лет (2015-2021) проведения геологоразведочных работ, в том числе: бурение геологоразведочных, гидрогеологических, инженерно-гидрогеологических скважин с отбором и без отбора керна, с комплексом сопровождающих работ – геофизические исследования в геологоразведочных скважинах; геологические и радиоэкологические работы; гидрогеологические и инженерно-гидрогеологические и опытно-фильтрационные работы; документация кернового материала и опробование и обработка проб; топографо-геодезические работы; лабораторные и аналитические работы с получением результатов протоколов исследований, камеральные работы по обработке материалов ГИС, по литолого-фациальному картированию, по обработке результатов анализов проб. Вместе с тем, в связи с передачей права недропользования ТОО «СП «Будёновское» поисково-оценочные работы вместо 6 лет заложенных в Контракте на разведку, было выполнено за 4 года.

В общей сложности в период поисково-оценочных работ было пробурено 1 384 геологоразведочные скважины, общим объёмом буровых работ 1 014 188 погонных метров, с комплексом сопровождающих геологоразведочных работ. Буровые работы были проведены методом колонкового бурения, которое

явилось единственно возможным средством поисково-оценочных работ в силу следующих факторов: субгоризонтальное и субсогласное с напластованием пород положение урановорудных залежей в продуктивных горизонтах; изменчивость мощности рудных тел и роллообразная форма залежей в разрезах; крупные размеры и лентообразная форма рудных залежей в плане с выдержанным не значительное расстояние простиранием; изменчивость содержания урана как по простиранию, так и по падению; залегание руд в сложных горно-геологических условиях (напорные воды и значительные глубины залегания руд); контроль оруденения выклиниванием зоны пластового окисления; безальтернативный способ отработки – подземное скважинное выщелачивание.

Согласно "Инструкции по применению классификации запасов…", 2008 г. месторождения такого типа по сложности геологического строения и основным особенностям, перечисленным выше, относятся к группе 2 подгруппе "а", и разведываются только вертикальными буровыми скважинами.

Наряду с методическими основами геологоразведочных работ включающие в себя развитие поисковых и разведочных сетей, геофизические исследования, опробование, гидрогеологические и геотехнологические работы, была проведена детальная изученность характерности ураноносности мезозойско-кайнозойских отложений в пределах юго-западной части Шу-Сарысуйской депрессии.

Оценка технологических условий производилась на основе лабораторного изучения вещественного и химического состава руд, фильтрационных свойств рудовмещающих отложений, расхода химических реагентов в процессе выщелачивания, степени извлечения металла из руд.

Для предварительной характеристики геотехнологических свойств урановых руд участка в процессе геологоразведочных работ были отобраны 8 технологических проб (ТП) из руд Инкудукского горизонта, в котором были сосредоточены основные запасы урана на участке, 3 ТП из руд Мынкудукского горизонта и 2 ТП из руд Жалпакского горизонта. На полученном материале были проведены опыты по фильтрационному выщелачиванию в лабораторных условиях.

Пробы были представлены полевошпат-кварцевыми средне-мелкозернистыми и разнозернистыми песками с гравием и галькой. Обломочный материал состоял, в основном, из полуокатанных зерен кварца, полевого шпата, слюды (биотит, мусковит). Отмечалось небольшое количество сульфидов, титановых минералов (рутил, лейкоксен). Из акцессорных минералов встречаются турмалин, гранат, циркон. Урановая минерализация в основном представлена настураном и, в подчиненном количестве, коффинитом.

Лабораторные исследования процесса выщелачивания урана из руд выполнялись по методике известной в практике подземного выщелачивания (ВНИИХТ, Маманников М. А., 1988 г.) в фильтрационных трубках с длиной рудного слоя 1.0 м. Работы были проведены в лаборатории ХАП ЦОМЭ филиал АО «Волковгеология».

Целью опытов было установление характера изменения основных геотехнологических показателей процесса выщелачивания как на момент закисления горнорудной массы, так и на момент извлечения заданного количества урана. Предварительно были проведены химические, физические, минералогические и гранулометрические анализы ТП.

Моделирование процесса подземного выщелачивания в лабораторных условиях значительно отличалось от натурных: отсутствовали непроизводственные потери выщелачивающего раствора на растекание, отсутствовал водоприток подземных вод. Серная кислота расходовалась только на взаимодействие с рудной массой, находящейся в фильтрационной колонне.

Наряду с выщелачиванием урана в продуктивном растворе изучалось выщелачивание полезных попутных компонентов (ППК) – редкоземельные элементы, иттрий, рений, скандий. Повышение концентрации этих элементов в продуктивном растворе, практически во всех опытах, соответствует пикам повышения концентрации урана. При извлечении 90% урана извлечение РЗЭ составило в среднем 15%; иттрия – 7%, скандия – в среднем 8%. Во всех опытах концентрация ∑ РЗЭ к концу опыта снижается, оставаясь в пределах 3 мг/дм^3 – 13 мг/дм^3 в конце опыта (среднее – 8). Концентрации Re при этом – 0 мг\л, Sc от 0 до 0,4 мг\л, Y от 0 до 1,5 мг\л. Эти значения в несколько раз меньше концентраций ППК, полученных в натурных условиях, в накопительном режиме, при отсутствии формального режима сорбции – десорбции ППК, который применялся в лабораторных опытах путем использования стерильных на ППК «маточников». Концентрация скандия составляет от 0,3 мг/дм^3 до 3 мг/дм^3. Концентрация иттрия – от 0,1 мг/дм^3 до 12 мг/дм^3. Рения в опытах не обнаружено. Извлечение рения наблюдалось только по двум опытам на стадии «закисления» и составляет 1,6% и 6,2%. Таким образом, как степень извлечения, так и содержания ППК в растворах не представляли интереса для попутной промышленной добычи.

Основные геотехнологические показатели, полученные в ходе лабораторных исследований, позволили утверждать о весьма благоприятных свойствах пород и руд всех изученных горизонтах для процесса ПСВ: кислородом с водой отмывается до 30% урана от изначально подсчитанного в пробах, кольматационные эффекты – практически отсутствуют, пиковые содержания урана – до 3–4 г/л(!), средневзвешенные – несколько сотен мг/л, средние удельные затраты серной кислоты чуть более 20 кг/кг урана, Ж/Т около 1,5.

Опробование керна и лабораторные работы. При проведении буровых работ из керна скважин отбирались пробы на следующие виды исследований: определение содержаний урана и радия (рудные пробы), изучение гранулометрического состава и карбонатности пород, проведение спектрального анализа, определение содержаний сопутствующих элементов, определение объемного веса и влажности руд в монолитах.

Выполненный объем опробования и лабораторных исследований по видам приведен в таблице 1.

Таблица 1

Виды опробования, документация, сокращение и ликвидация керна	Единица измерения	Количество опробования	Результат лабораторных и аналитических работ
Документация керна	п.м.	44 662,51	
Радиометрическое опробование	п.м.	24 449,80	
Опробование на уран, селен, радий и калий, торий	шт.	36 979	36 979
	п.м.	11 613,30	
Гранулометрический состав	шт.	11 522	11 522
	п.м.	14 743,90	
Карбонатность	шт.	11 425	11 410
	п.м.	14 623,50	
Монолиты	шт.	482	504
Рентгено-спектральный анализ (спектральный анализ)	шт.	5 391	5 391
	п.м.	7 237,40	
Силикатный анализ	шт.	142	142
Минералогический анализ	шт.	26	26
ППК	шт.	428	428
Трубки выщелачивания	шт.	12	12
Сборные пробы	шт.	7	7
Водные пробы	шт.	26	26
Почвенные пробы	шт.	24	182
Сокращение и ликвидация керна	п.м.	32 120,80	

Отбор проб на уран и радий является основным видом опробования, которое проводилось из представительных по количеству и качеству керновых интервалов с минимальной гамма интенсивностью по каротажу 40 мкр/час и линейным выходом керна по рудному интервалу не менее 70%.

Процесс опробования включал в себя повторную геологическую документацию керна с радиометрическими измерениями и оценкой его представительности и собственно опробование. Документация керна проводилась в специальных журналах. Радиоактивность предварительно очищенного керна измерялась радиометрами РПП-1 "Прогноз" по γ+β излучению. Замеры проводились через 0,1 м до выхода в "нормальное поле" на 2-3 метра. Напротив, строился график радиоактивности керна в масштабе 1:50, который совмещался с кривой гамма-каротажа. Таким способом уточнялись выход керна и его положение в рудном интервале. На приведенной к истинной глубине колонке производилась разметка проб с учетом литологического состава пород геохимической обстановки и величины радиоактивности по интервалам, соответствующим классам содержания урана: до 0,01%, 0,01-0,05%, 0,05-0,1%, более 0,1%.

Пробы отбирались секционно из половины керна, разделенного вдоль его оси. Максимальная длина секций составляла от 1 м до 1,2 м. При минимальной длине секции – от 0,15 м до 0,2 м в пробу отбирался весь керн. Короткие секции от 0,2 м до 0,3 м применялись, в основном, при опробовании маломощных глинистых прослоев и крыльевых частей залежей.

Приведенный материал позволяет сделать вывод о том, что в целом опробование на уран и радий проведено правильно, его результаты достоверны и могут быть использованы для контроля и оценки качества гамма-каротажа.

При геофизических исследованиях в скважинах, стояли задачи: выявление радиоактивных аномалий в скважинах; определение глубин залегания, границ и мощности рудных интервалов и содержания в них урана для подсчета запасов; литолого-стратиграфическое расчленение разреза скважин; выделение в разрезе рудовмещающего горизонта проницаемых и непроницаемых пород с разбивкой проницаемых

пород по литолого-фильтрационным типам, а также определение послойных значений $К_ф$ в разрезе скважин; оценка качества кернового материала и полнота его извлечения при бурении скважин; контроль технического состояния гидрогеологических скважин – целостности обсадной колонны, положения и открытости фильтров, глубины отстойника.

Подсчет запасов и ресурсов урана. Утверждение запасов урана участка 6-7 месторождения Буденовское

Методика подсчета запасов и ресурсов урана по участку 6-7 являлась стандартной и апробированной на всех урановых месторождениях Шу-Сарысуйской депрессии, локализованных в отложениях верхнемелового возраста.

Подсчет запасов и ресурсов урана был выполнен по варианту бортового метропроцента по скважине, включаемой в контур рудного тела или блока mc≥0,0400. При этом был использован способ геологических блоков, что позволило для вывода средних параметров по подсчетным блокам использовать данные не только по сетевым скважинам, но и по скважинам, пробуренным на дополнительных профилях, гидрогеологическим и другим скважинам различного назначения.

Выбор способа подсчета был обусловлен особенностями методики разведки, проведенной вертикальными буровыми скважинами по прямоугольной сети, субгоризонтальным залеганием и пластово-линзообразной морфологией рудных залежей, линейные размеры которых в плане многократно превышают рудные мощности. В сочетании с изменчивостью морфологии оруденения в пределах продуктивного горизонта, все это делает нецелесообразным применение других способов подсчета. Применение способа геологических блоков позволило для вывода средних параметров по подсчетным блокам использовать данные не только по сетевым скважинам, но и по скважинам, пробуренным на дополнительных профилях, гидрогеологическим и другим скважинам различного назначения. Подсчет запасов и ресурсов урана был проведен в соответствии с кондициями, утвержденными для участка 6-7 месторождения Буденовское.

По состоянию на 31.03.2018 был подготовлен и принят ГКЗ РК (Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых Республики Казахстан) Промежуточный отчет, Протокол № 1970-18-П от 11.10.2018, где ГКЗ РК были приняты к сведению и учтены запасы урана: $С_2+Р_1$ – 52 158 тонн урана, $С_2$ – **32 665** тонн урана, $Р_1$ – 19 493 тонн урана.

По состоянию на 01.01.2020 был подготовлен и принят ГКЗ РК, следующий Промежуточный отчёт, Протокол № 2153-20-П от 06.02.2020, где ГКЗ РК были приняты к сведению и учтены запасы урана: $С_2+Р_1$ – 85 323 тонн урана, $С_2$ – **64 110** тонн урана, $Р_1$ – 21 213 тонн урана.

По состоянию на 01.06.2020 было подготовлено и принято ГКЗ РК Технико-экономическое обоснование промышленных кондиций с подсчётом запасов урана, Протокол № 2194-20-П от 14.07.2020, где ГКЗ РК были приняты к сведению предварительно-оцененные запасы урана "участка 6-7" и поставлены на Государственный учет: $С_2+Р_1$ -109 428 тонн урана, $С_2$ – **88 074** тонн урана, $Р_1$ – 21 354 тонн урана.

По состоянию на 01.01.2021 был подготовлен и **утвержден** ГКЗ РК Отчёт по результатам разведки с подсчётом запасов урана по категориям $С_1$, $С_2$ и ресурсов по категории $Р_1$ по участку 6-7 месторождения урана Буденовское в Туркестанской области РК, **Протокол № 2320-21-У от 14.06.2021**, где ГКЗ РК постановило: утвердить запасы урана участка 6-7 месторождения Буденовское по состоянию на 02.01.2021 года в следующих количествах:

Показатели	Единицы измерений	Балансовые запасы по категориям			Забалансовые запасы
		$С_1$	$С_2$	$С_1+С_2$	
уран	т	50 432	63 806	114 238	779
содержание урана	%	0, 077	0, 075	0, 076	0, 074

Учесть забалансовые запасы попутных полезных компонентов участка 6-7 месторождения Буденовское по состоянию на 02.01.2021 в следующих количествах:

Наименование показателей	Единицы измерений	Скандий	Рений	Итрий	Сумма редких земель
руда	тыс.т	160 611	160 611	160 611	160 611
содержание	г/т	1,65	0,18	8,49	57,52
запасы	т	265	29	1 364	9 238

Таким образом утверждённые запасы ТОО «СП «Будёновское» по мере проведения разведки изменились с 32 665 тонн до 114 238 тонн и составляют по категориям: $С_1$ – 50 432 тонн урана, $С_2$ – 63 806 тонн урана, **$С_1+С_2$ – 114 238** тонн урана.

Наряду с этим Товарищество получило отчет компетентного лица о запасах руды – Отчёт по минеральным ресурсам и минеральным запасам на участке 6-7 месторождения Буденовское по стандарту KAZRC по состоянию на 01.01.2021. Результаты оценки Минеральных ресурсов. По подсчитанным Минеральным Ресурсам участок 6-7 относится к крупным урановорудным объектам, с исключительно благоприятными для отработки способом ПВ горно-геологическими и геотехнологическими условиями.

Были сделаны выводы: безусловно, участок 6-7 месторождения Буденовское обладает потенциалом дальнейшего прироста Минеральных ресурсов и Минеральных запасов, что существенно повышает надежность объекта недропользования для инвестора.

Этапы развития и перспективы ТОО «СП «Будёновское

В соотвествии с рекомендациями компетентнаго лица Отчёта по стандарту KAZRC был одобрен Проект разаработки месторождения, пролонгация периода разведки урана и в последующем переход Товарищества с опытно-промышленной добычи на промышленную добычу урана. Проектируемые работы по добыче урана способом ПСВ на участке 6-7 месторождения Буденовское направлены на выполнение предприятием ТОО «СП «Будёновское» долгосрочных обязательств по Контракту на добычу.

К проектированию приняты следующие данные: производительность полигона на период до 2040 года проектируется с объемом добычи урана 6000 т U/год с плановым снижением добычи до конца разработки в 2045 году. Переработка продуктивных растворов с участка 6-7 месторождения Буденовское планируется на двух ЦППР производительностью 4000 тонн и 2000 тонн урана в ХКПУ. Таким образом, за период отработки в 2022-2045 гг. запасов урана категорий C_1+C_2 на геологических блоках, расположенных в границах горного отвода участка 6-7 месторождения Буденовское, погашение запасов – 114 238 т.

Так же в 2022 году был разработан и утвержден «План разведки для оценки обнаруженного месторождения урана на северном и южном флангах участка 6-7 месторождения урана Буденовское в Туркестанской области Республики Казахстан» в соотвествии с письмом одобрением от Комитета геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан о том что: в соотвествии с пунктом 14-1 статьи 278 Кодекса «О недрах и недропользования» Комитет подтверждает обнаружение месторождения урана для оценки в пределах контрактной территории на ппринятые к сведению прогнозные ресурсы урана категории P_1 в пределах участка 6-7 в количестве 5832 т. урана. Проведены геологоразведочные работы, в том числе бурение геологразведочных скважин с отбором керна с комплексом сопутствующих работ для оценки обнаруженного месторождения урана на северном и южном флангах участка 6-7 месторождения урана Буденовское. Идет стадия разработки Отчета с пересчетом запасов урана по категориям C_1, C_2 и ресурсов категории P_1 по участку 6-7 месторождения Буденовское.

На стадии опытно-промышленной добычи урана в 2021 году было пробурено и сооружено 55 технологических скважин, которые обвязаны, закислены и введены в эксплуатацию для добычи урана.

С 2023 года на стадии промышленной добычи урана осуществляются работы по бурению и сооружению технологических скважин, сформированы геотехнологические блока для вовлечения в отработку. Завершено вскрытие 9 технологических блоков. Осуществлен выпуск готовой продукции.

Действует магистральный трубопровод по транспортировке продуктивных растворов, с геотехнологического полигона ТОО «СП «Будёновское», на перерабатывающие мощности в ЦППР АО «СП «Акбастау».

В перспективе ТОО «СП «Будёновское» запланировало строительство **Перерабатывающего комплекса производительностью 6000 тонн в год природного урана на участке 6-7 месторождения Буденовское**, грандиозные проекты по строительству как и производственных объектов, так и для обеспечения жизнедеятельности сотрудников, такие как:

- строительство **Промплощадки 1 Пускового комплекса,** обеспечивающего запланированную производительность на начальном этапе**;**
- строительство **Промплощадки 2 Пусковго комплекса,** существенно увеличивающего производственные мощности для обеспечения выхода на запланированную производельность;
- строительство **на геотехнологическом полигоне** инфраструткуры для распределения технологических растворов;
- водозаборные сооружения;
- строительство **Вахтового посёлка** на 236 человек с расширением до 350 человек со всеми коммуникациями и добствами для проживания и досуга внерабочее время жизнедеятельсти сотрудников;
- строительство **автодорожной магистрали** с выезда от Рудника «Буденовское 6-7» до главных дорог ведущих на населенные близлежащие населенные пункты поселок Сузак, село Шолаккорган, село Шиели;
- строительство **ЛЭП** по всему объекту месторождения Буденовское участок 6-7, в том числе: ВЛ 10 кВ на перерабатывающий комплекс, ВЛ 10кВ на геотехнологический полигон, ПС 110 на 10 кВ и другие объекты для обеспечения производства и досуга задействованного персонала.

В обязательном порядке ТОО «СП «Будёновское» будут соблюдены, Обязательства недропользователя по Контракту на недропользование, таки, как: финансирование социально-экономического развития региона и развития его инфраструктуры; финансирование обучения казахстанских кадров; финансирование научно-исследовательских работ; подписной бонус; Обязательства по ликвидации последствий добычи урана, налог на добычу полезных ископаемых на уран и на подземные воды.

Резюмируя перспективы ТОО «СП «Будёновское», можно сделать выводы о том, что весь процесс деятельности предприятия влечет за собой не только экономическую выгоду, но и организацию новых рабочих мест, что положительно отражается на социальной стабильности населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Промежуточный Отчёт по результатам поисково-оценочных работ с подсчетом запасов урана по категории C_2 на участке 6-7 месторождения Буденовское по состоянию на 31.03.2018г. по Контракту на разведку урана.

2. Промежуточный Отчёт по результатам поисково-оценочных работ с подсчетом запасов и ресурсов урана по категориям C_2 и P_1 на Мынкудукский, Жалпакский и Инкудукский горизонты по участку 6-7 месторождения урана Буденовское по состоянию на 01.01.2020г.

3. Технико-экономическое обоснование промышленных кондиций с подсчетом запасов урана по категории C_2 и подсчетом ресурсов по категории P_1 по участку 6-7 месторождения урана Буденовское по состоянию на 01.06.2020г.

4. Отчет по результатам разведки с подсчетом запасов урана по категориям C_1, C_2 и ресурсов категории P_1 по участку 6-7 месторождения урана Буденовское по состоянию на 01.01.2021г.

5. Отчет по минеральным ресурсам и минеральным запасам на участке 6-7 месторождения Буденовское по стандарту KAZRC по состоянию на 01.01.2021г.;

6. План разведки для оценки обнаруженного месторождения урана на северном и южном флангах участка 6-7 месторождения урана Буденовское в Туркестанской области Республики Казахстан, Алматы 2022г.

7. Проект разработки участка 6-7 месторождения урана Буденовское, в Туркестанской огласит Республики Казахстан, Алматы 2021г.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИ

Иванов А.Г., к.т.н, член - корреспондент РАЕН
г. Москва, Россия, Каширское ш., 33, 115409, тел. 8-914-804-18-53, ivanov_ag@mail.ru
Арсентьев Ю.А., к.т.н., доцент, РГГУ,
г. Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, 23, тел. 8-985-145-62-02, arsentev1956@yandex.ru

Бессмысленно делать то же самое и ждать других результатов.
Альберт Эйнштейн
Все можно сделать лучше, чем делалось до сих пор.
Генри Форд

BASIC TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF IN-SITU URANIUM LEACHING WELLS TO ENSURE THEIR TROUBLE-FREE OPERATION

Ivanov A.G.
Ph.D., Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences,
Moscow, Russia, Kashirskoye shosse, 33, 115409, tel. 8-914-804-18-53, ivanov_ag@mail.ru
Arsentyev Yu. A.
Ph.D Associate Professor, Russian State Geological Prospecting University,
Moscow, Russia, Miklukho-Maklaya str., 23, tel. 8-985-145-62-02, arsentev1956@yandex.ru

Аннотация. Проектирование и сооружение технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана – сложнейший процесс. Для получения качественного продукта необходимо учитывать большое количество технологических аспектов сооружения, а также горно-геологические условия, в которых выполняются буровые работы. В работе сконцентрированы основные моменты, которые должны быть учтены при сооружении таких скважин. Материал может быть полезен как информационный как для специалистов, занятых сооружением и эксплуатацией технологических скважин, так и для составления программ подготовки студентов соответствующих специальностей [1, 2, 3, 4].

Ключевые слова. Подземное выщелачивание урана, технологические скважины, обсадные трубы, фильтры, цементирование скважин, специальные работы в скважинах.

BASIC TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF IN-SITU URANIUM LEACHING WELLS TO ENSURE THEIR TROUBLE-FREE OPERATION

Ivanov A.G.
Ph.D., Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences,
Moscow, Russia, Kashirskoye shosse, 33, 115409, tel. 8-914-804-18-53, ivanov_ag@mail.ru
Arsentyev Yu. A.
Ph.D Associate Professor, Russian State Geological Prospecting University,
Moscow, Russia, Miklukho-Maklaya str., 23, tel. 8-985-145-62-02, arsentev1956@yandex.ru

Annotation. The design and construction of in-situ uranium leaching process wells is a complex process. To obtain a high-quality product, it is necessary to take into account a large number of technological aspects of the structure, as well as the mining and geological conditions in which drilling operations are performed. The paper concentrates the main points that should be taken into account during the construction of such wells. The material can be useful as an informational tool for specialists involved in the construction of and the operation of technological wells, as well as for the preparation of training programs for students of the relevant specialties.

Keywords. In-situ uranium leaching, process wells, casing pipes, filters, well cementing, special works in wells.

Сооружение и эксплуатация технологических скважин должно сопровождаться соблюдением следующих основных требований:

Обсадные трубы

1.Для оборудования скважин должны применяться полимерные обсадные трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ), изготовленные из первичного материала без вторичных добавок.

2.В состав материала труб необходимо вводить добавки модификаторов ударной прочности и морозостойкости.

3.Способ соединения труб – коническая упорная трапециедальная резьба с ограничителями крутящего момента при свинчивании труб $М_{кр}$. Возможно чисто клеевое раструбное соединение с фиксацией сопрягаемых участков соединяемых труб нержавстальными саморезами.

4.Перед свинчиванием труб резьбовые соединения должны быть очищены от грязи, обезжирены растворителем, высушены. Герметик (клей) наносятся **ТОНКИМ** слоем на **ОБЕ** сопрягаемые поверхности.

Фильтры

1.Допустимо применение **ТОЛЬКО** однокаркасных фильтров, обладающих минимальными гидравлическими сопротивлениями при входе / выходе рабочих растворов в фильтр / прифильтровую зону. Оптимальный вариант – фильтры «Джонсон скрин» из стали 316Ti, далее – щелевые фильтры.

2.Обязательным условием применения гравийных фильтров независимо от способа подачи песчано-гравийной смеси в интервал фильтра является центрирование фильтрового каркаса. Применение нецентрированных фильтров **КАТЕГОРИЧЕСКИ** недопустимо.

3.Размер материала обсыпки должен соответствовать гранулометрическому составу пород продуктивного горизонта.

4.Неравномерность водопритока по длине фильтра должна компенсироваться рассредоточением водоприемной поверхности по длине фильтра (наличием сплошных проставок между рабочими участками фильтра). Суммарная длина водоприемной поверхности фильтра не должна превышать 6 – 8 м в зависимости от его диаметра.

Освоение и ремонт

1. Освоение и ремонтно-восстановительные работы в скважинах должны исключать ударные, температурные, избыточные внутриколонные нагрузки на эксплуатационную колонну.

2. Использование зксплуатационной колонны при освоении и ремонте в качестве водоподъемной для скважин, оборудованных полимерными обсадными трубами, **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ.** Необходимо использовать схему откачки со спуском в колонну водоподъемных и воздушных труб (УОС, «Гидролифт»].

3. Освоение разрешается начинать **ТОЛЬКО ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА (ОЗЦ).**

4. Вибрационные нагрузки для разрушения кольматанта в фильтре и прифильтровой зоне допустимы только в интервале фильтра.

5. Частота выполнения ремонтов, прежде всего эрлифтные прокачи, при эксплуатации скважин должны быть **МИНИМИЗИРОВАН**Ы, лучше их исключить вообще. **ПОЛИМЕРНЫЕ ТРУБЫ – НЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ**, модуль Юнга для полимеров в 100 и более раз ниже, чем у металлов.

Цементирование

1. Определяющий момент в достижении качества цементирования – центрирование эксплуатационной колонны в интервале цементирования.

2. Для обеспечения максимального коэффициента замещения промывочной жидкости цементным раствором необходимо применять перемешивание его при подаче в скважину с использованием центраторов специальной конструкции (патентуются АО «Ведущим проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом промышленной технологии»).

3. Состав цементного раствора **НЕ ОПРЕДЕЛЯЕТ КАЧЕСТВО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ**, оно определяется способом его подачи в заколонное пространство.

4. Цементирование эксплуатационной колонны в интервале криолитозоны **КАТЕГОРИЧЕСКИ НЕДОПУСТИМО** из-за создания в обсадных трубах **КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРУЗОК** при эксплуатации скважин**.**

Специальные работы при сооружении и эксплуатации скважин

1. Обеспечение осевой устойчивости достигается размещением центраторов по **ВСЕЙ** ее длине. Расстояние между центраторами определяется расчетом.

2. Минимизация ТЕМПЕРАТУРНЫХ нагрузок достигается корректированием температуры обсадных труб перед спуском их в скважину. Температура труб должна иметь среднее значение между температурой вмещающих пород и среднегодовой температурой выщелачивающих растворов (для нагнетательных скважин) или быть равна температуре вмещающих пород (для откачных скважин).

3. Оборудование устьев скважин должно обеспечивать компенсацию температурных изменений длины эксплуатационных колонн. В противном случае при защемлении колонны на устье или по всей ее длине ЛЮБЫМ материалом, фиксирующим длину колонны, приводит к созданию статически неопределенной системы, что приводит к значительной аварийности скважин, связанной с разрушением полимерных труб.

4. Оборудование устьев должно исключать проникновение вод деятельного слоя в заколонное пространство скважин в интервале криолитозоны.

Вывод

ТОЛЬКО СОБЛЮДЕНИЕ ВСЕХ ПЕРЕЧИСЛЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ОБЕСПЕЧИТ БЕЗАВАРИЙНОЕ СООРУЖЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СПВ УРАНА

Заключение

Авторы благодарят Александрова С.А. – консультанта по бурению компании Headspring Investmens, Намибия – за ценные замечания по тексту предлагаемой статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Забайкин Ю.В., Иванов А.Г. О расчете эксплуатационных колонн из полимерных материалов для условий многолетнемерздых пород // М., Оптимус, Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. Научное обозрение. Выпуск №21 (март 2019), с.27 – 32.

2. Геотехнология урана (российский опыт): монография/ Под ред. И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева // М., «КДУ», «Университетская книга», 2017. – 576 с.

3. Иванов А.Г., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Калиничев В.Н. Особенности применения полимерных обсадных труб при сооружении технологических скважин подземного выщелачивания урана // Известия высших учебных заведений. Серия «Геология и разведка», 2019, №4. – с. 50-57.

4.Пенкевич С.В. Методические указания к расчету эрлифта при откачке из гидрогеологических скважин. Учебное пособие. Москва. РГГРУ – МГРИ, 2003, 28 с.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ДОБЫЧИ УРАНА, СООРУЖЕННЫХ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

Арсентьев Ю.А., к.т.н., доцент, Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, 23,тел. 8-985-145-62-02, arsentev1956@yandex.ru
Иванов А.Г., к.т.н, член-корреспондент РАЕН, г. Москва, Россия, Каширское ш., 33, 115409, тел. 8-914-804-18-53, ivanov_ag@mail.ru
Орехов Д.Д., студент, Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, 23, тел. 8-920-088-56-88, danila5688@yandex.ru
Гаврилов Р.И., студент, Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, 23, тел. 8-920-088-56-88, supermouse27228@gmail.com

Аннотация. При отработке месторождений полезных ископаемых в зоне многолетнемерзлых горных пород возникает необходимость сохранения целостности обсадных колонн вне зависимости от применяемого материала труб. В настоящей работе рассмотрены вопросы сооружения технологических скважин при добыче урана с предотвращением смятия обсадных труб в процессе эксплуатации. Приведены расчетные формулы, показаны влияние толщины ледяной пробки на значение сминающего давления, приведены рекомендации по формированию в заколонном пространстве слоистой структуры льда.
Ключевые слова: многолетнемерзлые горные породы, полимерные обсадные трубы, технологические скважины, добыча урана.

ON SOME FEATURES OF CALCULATION OF THE DESIGN OF TECHNOLOGICAL WELLS FOR URANIUM MINING CONSTRUCTED IN PERMAFROST ROCKS.

ArsentyevYu.A., Ph.D. Associate Professor, Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia, Miklukho-Maklaya str., 23,
tel. 8-985-145-62-02, arsentev1956@yandex.ru
Ivanov A.G., Ph.D., Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, Russia, Kashirskoyeshosse, 33, 115409, tel. 8-914-804-18-53, ivanov_ag@mail.ru
Orekhov D.D., Student, Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia, Miklukho-Maklaya str., 23, tel. 8-920-088-56-88, danila5688@yandex.ru
GavrilovR.Ig., Student, Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia, Miklukho-Maklaya str., 23,
tel. 8-920-088-56-88, supermouse27228@gmail.com

Abstract. When mining mineral deposits in the zone of permafrost rocks, there is a need to maintain the integrity of casing strings, regardless of the pipe material used. In this paper, the issues of construction of technological wells in uranium mining with the prevention of casing crushing during operation are considered. Calculation formulas are given, the influence of the thickness of the ice plug on the value of the crushing pressure is shown, recommendations for the formation of vertically layered ice in the back-of-the-cas space are given.
Key words:permafrost rocks, polymer casing pipes, process crushes, uranium mining.

Особенностью сооружения и эксплуатации технологических скважин скважинного подземного выщелачивания (СПВ) урана является то, что отдельные месторождения расположены в зоне многолетнемерзлых горных пород (ММГП или криолитозона). Их мощность может достигать 100 м и температуры ниже 0 °С (от 0 до – 2°). Это приводит к замерзанию в интервале ММГП любых вод: вод напорных водоносных горизонтов, расположенных ниже интервала ММГП, поверхностных и талых вод (вод деятельного слоя). При этом в заколонном пространстве между стенками скважины и эксплуатационной колонной (ЭК) формируются пробки из льда различной структуры в зависимости от скорости и объема поступающей в заколонное пространство воды. При незначительном затекании или капельном поступлении воды формируется лед слоистой, зернистой или игольчатой структуры, не представляющей опасности для целостности ЭК из полимерных обсадных труб (ПНД, НПВХ) [3]. Однако образование в заколонном пространстве льда с кристаллической структурой, формирующейся при замерзании большого количества воды и с увеличением ее объема примерно на 9%, приводит к возникновению внешнего сминающего давления $p_{см}$ на наружную поверхность обсадных труб колонны, в отдельных случаях превышающего критическое значение $p_{кр}$, при котором кольцевая форма поперечного сечения трубы становится неустойчивой. Если жесткость на изгиб кольцевого сечения обсадной трубы

недостаточна, то может произойти ее разрушение при напряжениях много ниже предела упругости материала.

Для определения фактического значения давления смятия следует воспользоваться формулой (1) [1]

$$p_{см} = \frac{0{,}045 \cdot (r_c - r_н) \cdot E_{тр}}{r_н \cdot \left[\left(\frac{r_н^2 + r_в^2}{r_н^2 - r_в^2} - v_{тр}\right) + \frac{E_{тр}}{E_л} \cdot \left(\frac{r_c^2 + r_н^2}{r_c^2 - r_н^2} + v_л\right)\right]} \qquad (1)$$

где: r_c – радиус скважины, мм; $r_н, r_в$ – наружный, внутренний радиус эксплуатационной колонны, мм; $E_{тр}, E_л$, – модуль произвольной упругости материала трубы и льда, МПа; $v_{тр}, v_л$ – коэффициент Пуассона материала трубы и льда.

Как следует из выражения (1), величина давления смятия при прочих равных условиях: конструкция скважины, диаметральные размеры кольцевого сечения обсадных труб и скважины, а также механических характеристик материала трубы НПВХ зависит от соотношения $E_{тр}/E_л$, изменяющегося в широком интервале значений от 0,3 до 90 при $E_{тр}$ = 2700 МПа, соответствующих виду структуры льда. С помощью выражения (1) выполнены расчеты сминающего давления для обсадных труб НПВХ 140х10 мм в скважинах различного диаметра и соотношений $E_{тр}/E_л$, а результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения сминающего давления для труб НПВХ

№ конструкции скв.	Соотношения $d_c/r_c/s_{л,}$, мм	Расчетные параметры: $V_л$ = 0,3; $V_{тр}$ = 0,36; $E_{тр}$ = 2700 МПа						
		Соотношения $E_{тр}/E_л$, принятые в расчетах						
		0,3	0,9	1,0	3,0	6,0	9,0	30
1	254/127/57	102,01	43,52	39,72	14,47	7,41	4,98	1,51
2	197/98,5/28,5	24,34	12,25	11,32	4,48	2,34	1,59	0,49
3	190,5/95,25/28,25	19,18	9,80	9,06	3,61	1,90	1,28	0,40
4	171,4/85,7/25,7	7,78	4,07	1,77	1,53	0,81	0,55	0,17

Для выявления области применения указанных конструкций скважин при условии исключения повреждений поверхности эксплуатационной колонны или нарушений резьбового соединения труб необходимы сведения о численном значении критического давления $p_{кр}$, поскольку оценка поперечной устойчивости кольцевого сечения обсадных труб выполняется путем сопоставления фактического значения давления смятия $p_{см}$ с критическим давлением $p_{кр}$.

В свою очередь, величину критического давления можно определить по формуле (2)

$$p_{кр} = \frac{E_{тр} \cdot h^3}{4 \cdot (1 - v_{тр}^2) \cdot R^3} \qquad (2)$$

где: R – средний радиус кольцевого сечения трубы НПВХ 140х10 мм (R=65 мм).

С учетом принятых начальных условий и формулы (2) получаем

$$p_{кр} = \frac{2700 \cdot 10^3}{4 \cdot (1 - 0{,}36^2) \cdot 65^3} = 2{,}82 \text{ МПа.}$$

Следует отметить, что выражением (2) можно пользоваться до тех пор, пока сминающее давление меньше предела пропорциональности материала $\sigma_{пц}$ труб, т.е. когда колонна испытывает только упругие деформации.

Таким образом, с учетом полученного результата можно выделить зеленым цветом в таблице или на графиках (рис. 1), рекомендуемые к применению в указанных условиях конструкции скважин в зависимости от соотношения $E_{тр}/E_л$.

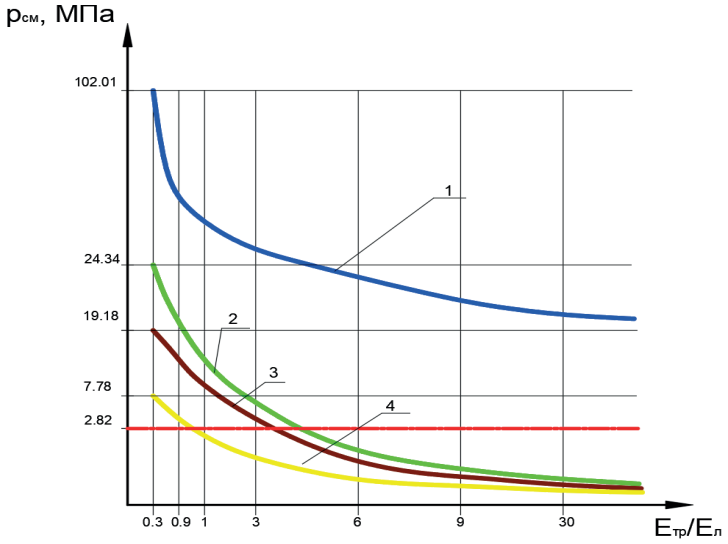


Рисунок 1 – Графики зависимости давления смятия поверхности эксплуатационной колонны от соотношений Етр /Е л.: 1, 2, 3, 4 – номера конструкций скважин (табл. 1).

Анализ сведений, содержащихся в таблице, и графиков, приведенных на рисунке 1, позволяет сделать следующие выводы:

– величина давления смятия возрастает с увеличением толщины ледяной пробки $S_л$ и с уменьшением соотношения механических характеристик трубы и льда $E_{тр}/E_л$;

– на степень точности определения фактического значения давления смятия существенное влияние оказывает величина модуля продольной упругости льда, $E_л$;

– конструкция скважины под номером 4, которой соответствует самый широкий интервал изменения соотношений $E_{тр}/E_л$ от 0,3 до 30 или $E_л$ = 2700 ÷ 90 МПа соответственно будет наиболее востребованной с точки зрения сохранения целостности поверхности эксплуатационной колонны обсадных труб.

Для расширения диапазона применения типов конструкций скважин, сооружаемых в условиях криолитозоны, необходимо исключить влияние сминающего воздействия ледяной пробки, образующейся в заколонном пространстве, на поверхность эксплуатационной скважины. Поставленную задачу можно решить, например, путем нагревания с помощью греющего кабеля внутриколонной жидкости и тем самым обеспечить условия для создания на наружной поверхности колонны обсадных труб нулевой температуры, при которой формируется ледяная пленка, ограничивающая распространение объемной деформации ледяной пробки в сторону поверхности эксплуатационной колонны, показанной на рис. 2.

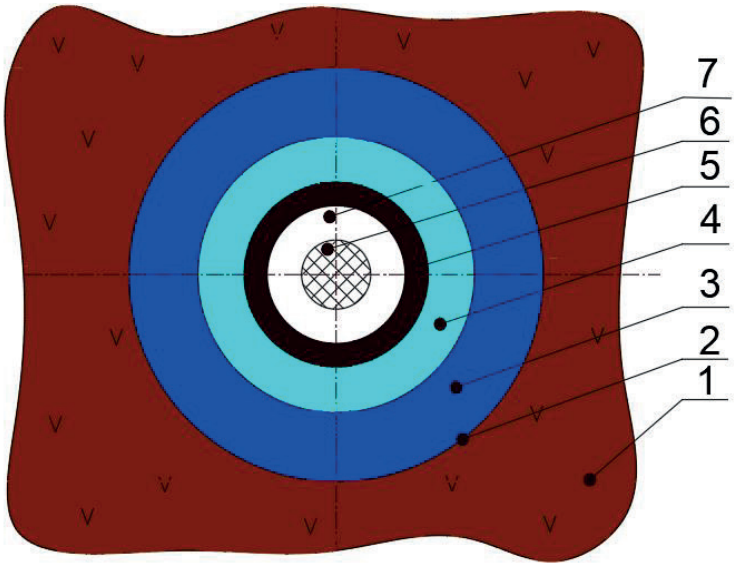


Рисунок 2 – Схема формирования ледяной пленки: 1 – многолетнемерзлые горные породы (ММГП); 2 – стенка ствола скважины; 3 – ледяная пробка; 4 – ледяная пленка; 5 – эксплуатационная колонна; 6 – греющий кабель; 7 – внутриколонная жидкость (вода).

При этом необходимо знать, до какой температуры и в течение какого периода времени следует прогревать внутриколонную жидкость для создания условий образования ледяной пленки. Для этой цели рассмотрим следующую ситуацию [4]. Предположим, что через цилиндрическую однородную стенку эксплуатационной колонны переносится теплота при стационарном режиме от горячего теплоносителя (внутриколонная жидкость) с постоянной температурой t_1 и коэффициентом теплоотдачи α_1к холодному теплоносителю (ММГП) в заколонном пространстве с постоянной температурой t_2 и коэффициентом теплоотдачи α_2 (рис. 3).

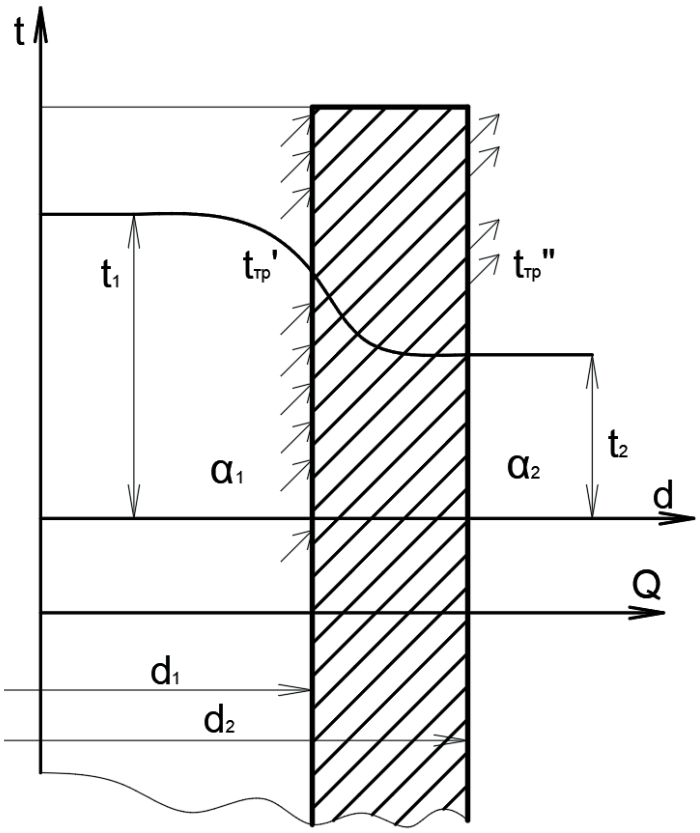


Рисунок 3 – Передача теплоты через цилиндрическую стенку эксплуатационной колонны технологической скважины.

Тогда для теплового потока можно составить три уравнения вида

$$Q = \alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l \cdot \left(t_1 - t'_{\text{тр}}\right) \quad (3)$$

$$Q = \frac{\pi \cdot l}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot ln \cdot d_2/d_1} \cdot \left(t'_{\text{пл}} - t''_{\text{тр}}\right) \quad (4)$$

$$Q = \alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2 . l \cdot \left(t''_{\text{тр}} - t_2\right) \quad (5)$$

Решая эти уравнения относительно разности температур, а затем складывая, получаем формулу (6)

$$Q = \frac{\pi \cdot l \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 . d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \quad (6)$$

где: $\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 . d_2}} = k_{\text{ц}}$ – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К).

Тогда тепловой поток определяется по формуле (7)

$$Q = k_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot l \cdot (t_1 - t_2) \quad (7)$$

При этом плотность теплового потока, проходящего через цилиндрическую стенку трубы длиной 1 м, будет равна по формуле (8)

$$q = \frac{Q}{l} = k_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot (t_1 - t_2) \quad (8)$$

При этом температура на внутренней поверхности трубы определяется по формуле (9)

$$t'_{\text{тр}} = t_1 - q/(\alpha_1 \cdot d_1 \cdot \pi) \quad (9)$$

Температура на наружной поверхности трубы определяется по формуле (10)

$$t''_{\text{тр}} = t_2 + q/(\alpha_2 \cdot d_2 \cdot \pi) \quad (10)$$

Используя выше приведенные выражения для определения температуры на внутренней и на наружной поверхности эксплуатационной колонны выполним расчет применительно к конкретным условиям:t_1 = 1°C = 274,15°K; t_2 = -2°C = 271,15°K; d_1 = 120 мм = 0,120 м, d_2 = 140 мм = 0,140 м; $\boldsymbol{\alpha}_1$ = 3000 Вт/м²·K; $\boldsymbol{\alpha}_2$ = 300 Вт/м²; $\lambda_{\text{тр}}$ = 0,3 Вт/м·K.

Первоначально определим величину коэффициента теплопередачи через стенку цилиндрической трубы

$$k_{\text{ц}} = \frac{1}{\frac{1}{3000 \cdot 0.120} + \frac{1}{2 \cdot 0.3} \cdot ln\frac{140}{120} + \frac{1}{300 \cdot 0,140}} = \frac{1}{0,00278 + 0,258 + 0,0238}$$
$$= \frac{1}{0,285} = 3,508\ \text{Вт}/(\text{м} \cdot K)$$

Находим величину плотности теплового потока, приходящегося на единицу длины трубы

$$q = k_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot (t_1 - t_2) = 3,508 \cdot \pi \cdot (274,15 - 271,15) = 33,05\ \text{Вт/м}$$

С учетом предыдущего результата температура на внутренней поверхности трубы будет равна

$$t'_{\text{тр}} = t_1 - q/(\alpha_1 \cdot d_1 \cdot \pi) = 274,15 - 33,05/(3000 \cdot 0,120 \cdot \pi)$$
$$= 274,15 - 0,029 = 274,12\ °K = 0,97°C$$

Температура на наружной поверхности трубы составит

Полученный результат говорит о том, что данной температуры будет недостаточно для формирования ледяной пленки на наружной поверхности колонны обсадных труб, поскольку она отлична от 0^0C.

Тогда для определения температуры нагрева внутриколонной жидкости воспользуемся выражением (10), представленном виде

$$t_2 + q/(\alpha_2 d_2 \pi) = 0 \quad (11)$$

но поскольку известно, что $q = k_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot (t_1 - t_2)$, то выражение (11) будет иметь вид

$$t_2 + \frac{k_{\text{ц}}}{\alpha_2 \cdot d_2} \cdot (t_1 - t_2) = 0 \quad (12)$$

Обозначим $\frac{k_{\text{ц}}}{\alpha_2 \cdot d_2} = A$, то выражение (12) принимает вид

$$t_2 + At_1 - A \quad (13)$$

Решая выражение (13) относительно температуры внутриколонной жидкости t_1после нагреванияпри условии, что температура в заколонным пространстве $t_2 = -2°$ и принятого обозначения имеем

$$t_1 = \frac{2\alpha_2 d_2}{k_{\text{ц}}} - 2 \quad (14)$$

Выполнив подстановку конкретных значений параметров, составляющих формулу (14), получим

$$t_1 = \frac{2 \cdot 300 \cdot 0{,}14}{3{,}508} - 2 = 21{,}95°C$$

Окончательный результат составит $t_1 = 22°C$.

Для обеспечения расчетной температуры t_1 внутриколонной жидкости необходимо использовать, например, греющий кабель, мощность которого W, Вт/м. При этом продолжительность нагрева внутриколонной жидкости Т(час) может быть определена по формуле (15)

$$T = 0{,}00117 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot l \cdot (t_1 - t_1^0)}{W \cdot 10^{-3}} \qquad (15)$$

где: l – длина колонны обсадных труб, м (l =100м); t_1^0 температура внутриколонной жидкости в естественных условиях, °С t_1^0 1°С); t_1 – температура внутриколонной жидкости после нагрева, ^{0}С $(t_1 = 22°C)$; W – мощность греющего кабеля, Вт/м (W = 10 Вт/м).

Для конкретных условий получим

$$T = 0{,}00117 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}12^2 \cdot 100 \cdot (22° - 1°)}{10 \cdot 10^{-3}} = 2{,}78 \text{ час} = 2 \text{ час } 47 \text{ мин.}$$

Выводы

1. Основной причиной нарушения целостности эксплуатационной колонны технологической скважины является формирование в заколонном пространстве пробки из льда с кристаллической структурой.
2. Применение новых приемов сооружения и эксплуатации технологических скважин в интервале ММГП, предупреждающих аварийность эксплуатационной колонны обсадных труб.
3. Аналитическое обоснование параметров, описывающих условия формирования ледяной пленки, исключающей силовое взаимодействие ледяной пробки и поверхности колонны обсадных труб.
4. Обеспечение возможности использования более широкого диапазона типов конструкций технологических скважин в условиях криолитозоны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Забайкин Ю.В., Иванов А.Г. О расчете эксплуатационных колонн из полимерных материалов для условий многолетнемерзлых пород. Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт // Научное обозрение. – Вып. №21. – М.: ООО ИПЦ «Маска», 2019. – С. 27–32.
2. Железняк И.И., Стетюха В.А. Расчет трубы из полимерного материала под действием внешней нагрузки в скважине в массиве многолетнемерзлых пород // Известия УГГУ. – Вып. №3(51). – 2018. – С. 121–125.
3. Иванов А.Г., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Калиничев В.Н. Особенности применения полимерных труб при сооружении технологических скважин подземного выщелачивания урана // Известия высших учебных заведений. Серия «Геология и разведка». – №4. – 2019. – С. 50–57.
4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. Пособие для вузов. – 3-е изд. – М.: Высш.школа, 1980. – 469 с.

REFERENCES

1. ArsentievYu.A., Nazarov A.P., ZabaikinYu.V., Ivanov A.G. On the calculation of production columns made of polymer materials for permafrost conditions. Current problems and prospects for economic development: Russian and foreign experience. Scientific review. Issue No. 21. – M.: LLC IPC “Mask”, 2019. – pp. 27–32.
2. Zheleznyak I.I., Stetyukha V.A. Calculation of a pipe made of polymer material under the action of an external load in a well in a permafrost massif. News of USGU. – 2018. Issue.3 (51). pp. 121–125
3. Ivanov A.G., Ivanov D.A., ArsentievYu.A., Nazarov A.P., Kalinichev V.N. Features of the use of polymer pipes in the construction of technological wells for underground uranium leaching. News of higher educational institutions.Series “Geology and Exploration”, 2019, No. 4. – P. 50–57.
4. Nashchokin V.V. Technical thermodynamics and heat transfer: Textbook. manual for universities. – 3rd ed. – M.: Higher school. 1980. 469 p.

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ ОБСАДНЫХ ТРУБ НА КАЧЕСТВО СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ДОБЫЧИ УРАНА

Иванов А.Г., к.т.н, член-корреспондент РАЕН
Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии,
г. Москва, Россия, Каширское ш., 33, 115409,
тел. 8-914-804-18-53
ivanov_ag@mail.ru

Аннотация. Месторождения урана России, отрабатываемые методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), расположены как в криолитозоне, так и в зоне вмещающих пород, имеющих положительную температуру. Сложные горно-геологические условия добычи требуют принятия неординарных технических подходов при решении вопросов отработки таких месторождений. Одно из направлений – повышение качества сооружения технологических скважин СПВ урана и сохранение их эксплуатационных характеристик в течение всего периода их эксплуатации. Объект исследования – месторождения СПВ урана. Предмет – технологические скважины. Цель – выработка предложений по повышению качества технологических скважин. В настоящей работе рассматриваются температурные нагрузки, действующие на эксплуатационные колонны (ЭК) из полимерных материалов (полиэтилена низкого давления ПНД и непластифицированного поливинилхлорида НПВХ) в процессе сезона сооружения и эксплуатации скважин. Выполненный анализ позволил обосновать наиболее эффективную технологию спуска полимерных обсадных труб при обсадке технологических скважин.

Ключевые слова: добыча урана, технологические скважины, полимерные обсадные трубы, температурные напряжения, корректировка температуры труб, спуск обсадных труб.

ON THE INFLUENCE OF POLYMER CASING TEMPERATURE ON THE QUALITY OF CONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL WELLS FOR URANIUM MINING

Ivanov A.G., Ph.D., Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences Chief Specialist of JSC "Leading Design, Survey and Research Institute of Industrial Technology", Moscow, Russia, Kashirskoye shosse, 33, 115409,
tel. 8-914-804-18-53
ivanov_ag@mail.ru

Abstract. Uranium deposits in Russia, mined by the in-situ leaching (ISR) method, are located both in the cryolithic zone and in the zone of host rocks with a positive temperature. Difficult mining and geological conditions of mining require the adoption of extraordinary technical approaches to solving the issues of developing such deposits. One of the directions is to improve the quality of construction of ISR uranium process wells and maintain their operational characteristics throughout the entire period their operation. The object of the study is ISR uranium deposits. The subject is technological wells. The goal is to develop proposals to improve the quality of process wells. In this paper, the temperature loads acting on production strings (EC) made of polymeric materials (low-pressure polyethylene HDPE and unplasticized polyvinyl chloride PVC-U are considered) during the well construction and operation season. The analysis made it possible to substantiate the most effective technology for running polymer casing pipes during the casing of technological wells.

Keywords: uranium mining, process wells, polymer casing pipes, temperature stresses, pipe temperature adjustment, casing running.

Технологические скважины СПВ урана оборудуются эксплуатационными колоннами из химически стойких к воздействию рабочих растворов материалов. Такими материалами являются ПНД и НПВХ. Трубы ПНД применяются крайне редко из-за своих низких физико-механических характеристик (плотность, модуль Юнга и пр.) по сравнению с трубами НПВХ. Трубы из этих материалов имеют прочностные характеристики в сотни раз более низкие по сравнению с аналогичными характеристиками металлических обсадных труб. Это необходимо учитывать при выборе полимерных труб для конкретных горно-геологических условий сооружения и эксплуатации скважин. Вопросам повышения качества сооружения скважин и минимизации аварийных ситуаций посвящены различные работы [1, 2, 3, 4, 5 и др.].

Автором выполнен анализ и разработана классификация нагрузок, действующих на ЭК технологических скважин СПВ урана. Классификация приведена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Классификация нагрузок, действующих на ЭК технологических скважин СПВ урана

На рисунке 2 приведена классификация влияния различных горно-геологических факторов, и особенностей конструкции скважин на вероятность возникновения нарушений целостности ЭК из полимерных материалов для технологических скважин СПВ урана.

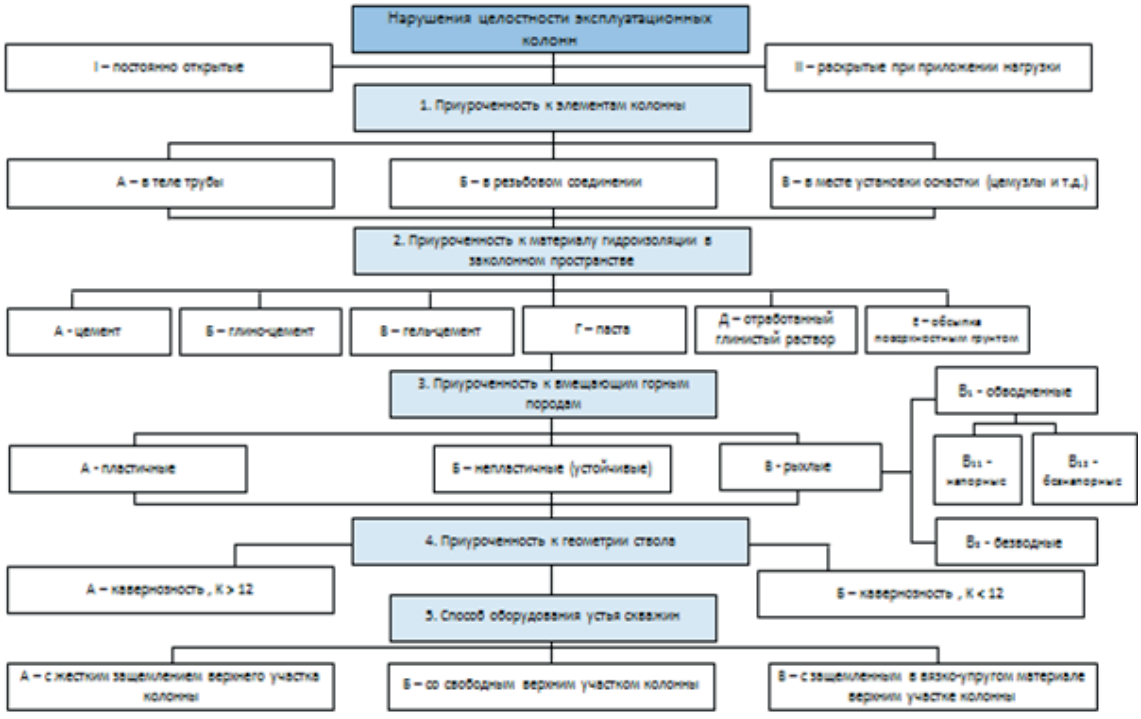


Рисунок 2 – Классификация факторов, влияющих на вероятность возникновения нарушений целостности ЭК технологических скважин СПВ урана

Классификации разработаны автором впервые и ранее не публиковались.

Целью настоящей работы является рассмотрение вопросов по снижению (компенсации) температурных нагрузок на ЭК в криолитозоне и в условиях гидрогенных месторождений с положительной температурой вмещающих горных пород. Для этого рассмотрим изменение температуры обсадных труб при сооружении и эксплуатации скважин СПВ урана. На рис. 3 приведен график изменения температуры труб ЭК в скважинах, сооруженных в условиях криолитозоны.

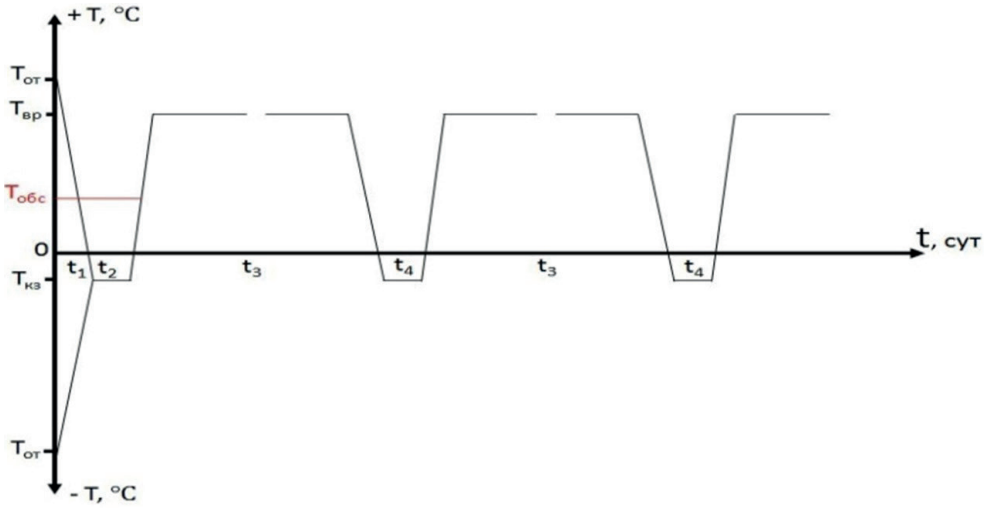


Рисунок 3 – Изменение температуры обсадных труб при сооружении и эксплуатации технологических скважин в криолитозоне: $-T_{от}$, $+T_{от}$ – температура обсадных труб перед спуском в скважину при отрицательной и положительной температуре воздуха на поверхности; $T_{кз}$ – температура пород криолитозоны; $T_{вр}$ – средняя температура выщелачивающих растворов (ВР); $T_{обс}$ – рекомендуемая температура обсадных труб при спуске обсадных труб в скважину; t_1 – продолжительность набора трубами температуры вмещающих пород; t_2 – продолжительность простоя скважины до начала эксплуатации; t_3 – продолжительность цикла эксплуатации скважины до ее остановки (ремонтно-восстановительные и другие виды работ); t_4 – продолжительность простоя скважины межу циклами эксплуатации.

Исходя из приведенного графика следует, что спуск в скважину не подготовленных обсадных труб как в зимний, так и в летний периоды приводит к значительным температурным изменениям длины ЭК. Перепад температуры труб ΔT в летний период может достигать более 30°С ($\Delta T = T_{от} + T_{кз}$). Пример: $T_{от}$ = +30°С, $T_{кз}$ = -2°С, ΔT = 32°С. Такая же ситуация возникает и в зимний период. При $T_{от}$ = -30°С имеем ΔT = 28°С. Температурные нагрузки на ЭК в процессе эксплуатации возникают из-за разности температур $T_{кз}$ и $T_{вр}$. Рассмотрим ситуацию, когда спуск не подготовленных обсадных труб производится в скважину с положительными значениями вмещающих горных пород. График температурных изменений приведен на рис. 4.

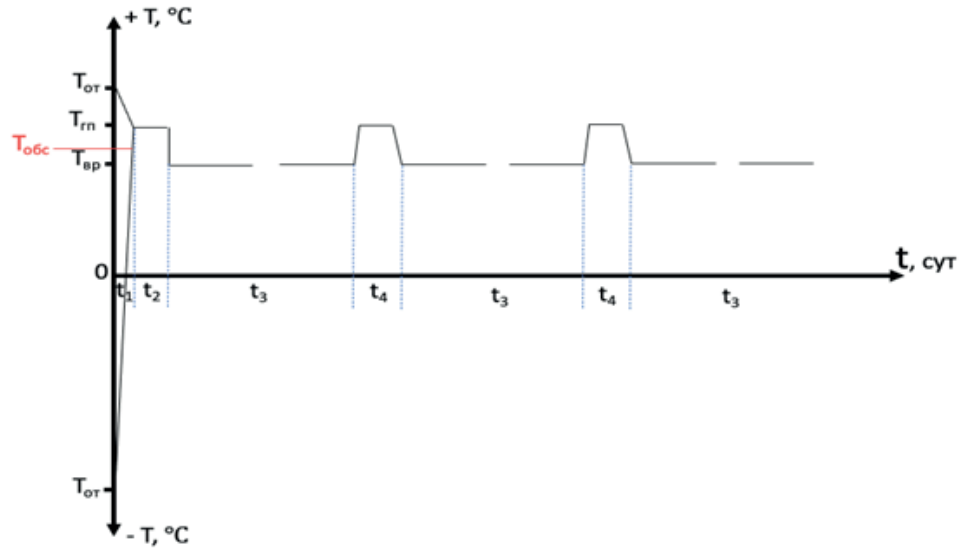


Рисунок 3 – Изменение температуры обсадных труб при сооружении и эксплуатации технологических скважин в криолитозоне: $-T_{от}$, $+T_{от}$ – температура обсадных труб перед спуском в скважину при отрицательной и положительной температуре воздуха на поверхности; $T_{кз}$ – температура пород криолитозоны; $T_{вр}$ – средняя температура выщелачивающих растворов (ВР); $T_{обс}$ – рекомендуемая температура обсадных труб при спуске обсадных труб в скважину; t_1 – продолжительность набора трубами температуры вмещающих пород; t_2 – продолжительность простоя скважины до начала эксплуатации; t_3 – продолжительность цикла эксплуатации скважины до ее остановки (ремонтно-восстановительные и другие виды работ); t_4 – продолжительность простоя скважины межу циклами эксплуатации.

Исходя из приведенного графика следует, что спуск в скважину не подготовленных обсадных труб как в зимний, так и в летний периоды приводит к значительным температурным изменениям длины ЭК. Перепад температуры труб **ΔT** в летний период может достигать более 30°С (**ΔT** = $\mathbf{T_{от}}$ + $\mathbf{T_{кз}}$). Пример: $\mathbf{T_{от}}$ = +30°С, $\mathbf{T_{кз}}$ = -2°С, **ΔT** = 32°С. Такая же ситуация возникает и в зимний период. При $\mathbf{T_{от}}$ = -30°С имеем **ΔT** = 28°С. Температурные нагрузки на ЭК в процессе эксплуатации возникают из-за разности температур $\mathbf{T_{кз}}$ и $\mathbf{T_{вр.}}$ Рассмотрим ситуацию, когда спуск не подготовленных обсадных труб производится в скважину с положительными значениями вмещающих горных пород. График температурных изменений приведен на рис. 4.

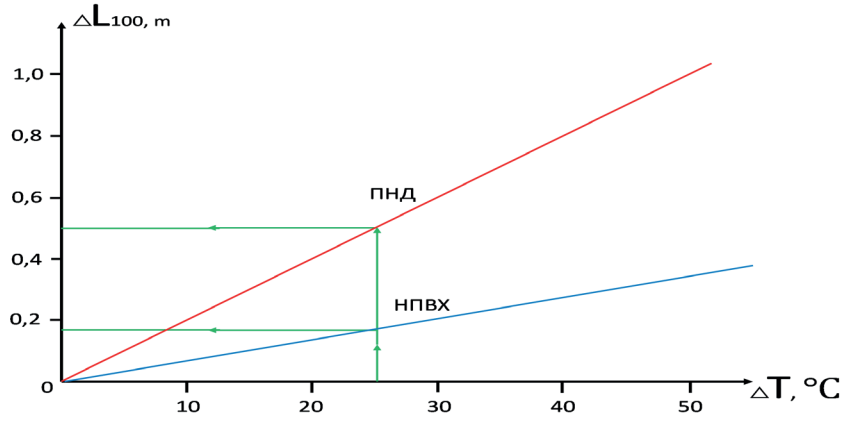


Рисунок 5 – График изменения длины ЭК длиной 100 м при изменении температуры обсадных труб.

Расчетная формула для построения графика имеет следующий вид:

$$\mathbf{\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T} \qquad (1)$$

где: **α** – коэффициент линейного расширения материала труб, ед./ °С (для труб ПНД он равен 0,002 ед./ °С, для труб НПВХ – 0,00006 ед./ °С); **L** – длина эксплуатационной колонны.

Осевая нагрузка **Рос**, действующая при температурных изменениях на трубы ЭК, определяется по формуле:

$$\mathbf{Рос = \alpha \cdot E \cdot \Delta T \cdot A} \qquad (2)$$

где: **А** – площадь поперечного сечения трубы, см^2; **Е** – модуль упругости материала труб, МПа (для труб ПНД он может быть принят равным 800 МПА, для труб НПВХ – 2500 МПа).

Напряжение σ_τ, возникающее в трубах ЭК, может быть определено по следующей формуле:

$$\sigma_\tau = \mathbf{\alpha \cdot E \cdot \Delta T} \qquad (3)$$

Следует иметь ввиду, что температурные напряжения σ_τ возникают только в статически неопределенных системах, т. е. жестко защемленных с двух сторон колонн или колонн, защемленных по всей длине. Исходя из приведенных расчетов и рассуждений, по мнению автора, для снижения температурных нагрузок на полимерные обсадные трубы необходимо минимизировать разность температур $\mathbf{T_{от}}$, $\mathbf{T_{кз}}$, $\mathbf{T_{вр}}$ в криолитозоне и $\mathbf{T_{от}}$, $\mathbf{T_{гп}}$, $\mathbf{T_{вр}}$ в горных породах с положительной температурой. По мнению автора, оптимальная температура обсадных труб при спуске их в скважину $\mathbf{T_{обс}}$ для криолитозоны может быть определена по формуле:

$$\mathbf{T_{обс} = 0{,}5 \cdot (T_{вр} + T_{кз})} \qquad (4)$$

Для горных пород с положительной температурой формула имеет следующий вид:

$$\mathbf{T_{обс} = 0{,}5 \cdot ((T_{гп} - T_{вр})} \qquad (5)$$

При соблюдении условий (4) и (5) температурные нагрузки в обсадных трубах ЭК будут минимальны. На рис. 6 показан один из вариантов контейнера для корректирования температуры труб в зимний период

перед спуском их в скважину. В качестве теплоносителя можно использовать выхлопные газы дизельного агрегата привода двигателя бурового агрегата или компрессора, сжатый воздух или нагретый воздух электрокалорифера.

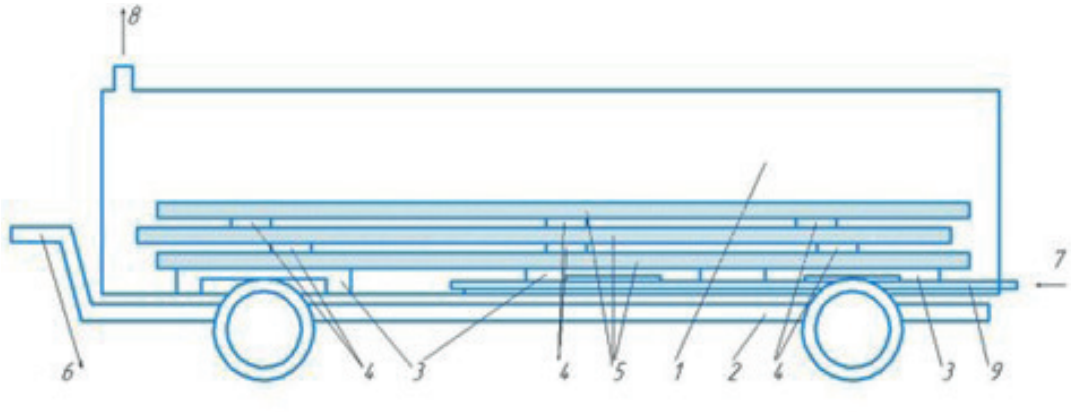


Рисунок 6 – Контейнер для корректирования температуры полимерных обсадных труб; 1 – контейнер; 2 – низкорамный прицеп; 3 – поддоны; 4 – деревянные прокладки; 5 – обсадные трубы; 6 – сцепное устройство; 7 – ввод теплоносителя; 8 – отвод охлажденного теплоносителя; 9 – трубки для подачи теплоносителя.

Снижение температуры труб в летний период в приведенном на рис. 6 контейнер производится следующим образом. Штабель труб, размещенных в контейнере, покрывается любым видом рулонного материала: кошма, геотекстиль или другим. После этого этот материал проливается водой. Испарение воды приводит к охлаждению труб.

Описанная технология подготовки полимерных обсадных труб к спуску их в скважину используется в различных странах и полностью оправдала себя.

Выводы

Корректирование температуры обсадных труб перед спуском их в скважину позволяет:

- снизить нагрузки на ЭК при их эксплуатации;
- в зимний период обсадке скважин снижается аварийность из-за отсутствия разрушений муфтовой части труб;
- во многих случаях фиксировать ЭК на устье в цементном камне (при условии центрирования колонны).

Заключение

По результатам выполненного анализа подана заявка на получение патента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Забайкин Ю.В., Иванов А.Г. О расчете эксплуатационных колонн из полимерных материалов для условий многолетнемерздых пород // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. Научное обозрение. – Вып. №21 (март 2019). – М.: Оптимус. – С. 27–32.

2. Геотехнология урана (российский опыт) / И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева. – М.: «КДУ», «Университетская книга», 2017. – 576 с.

3. Иванов А.Г., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Калиничев В.Н. Особенности применения полимерных обсадных труб при сооружении технологических скважин подземного выщелачивания урана // Известия высших учебных заведений. Серия «Геология и разведка». – №4. – 2019. – С. 50–57.

4. Иванов А.Г., Гурулев Е.А., Алексеев Н.А., Базаров Д.Н., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Назаров А.П. Особенности ремонта эксплуатационных колонн технологических скважин в условиях многолетнемерзлых горных пород // Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», часть1, Алматы, Республика Казахстан. – 2019. – С. 216–223.

5. Святецкий В.С., Гладышев А.В., Солодов И.Н., Суворов А.В. Влияние генетических особенностей урановых месторождений Хиагдинского рудного поля на выбор технологии отработки рудных залежей скважинным подземным выщелачиванием. // Горный журнал. – №4. – 2022.

REFERENCES

1. Arsentyev Yu.A., Nazarov A.P., Zabaykin Yu.V., Ivanov A.G. O raschete operativnykh kolonov iz polimernykh materialov dlya usloviyakh mnogoletnemerzdykh podrodov [On the calculation of operational columns from polymer materials for the conditions of mnogoletnemerzdykh rocks]. Scientific Review. Issue No. 21 (March 2019), pp. 27–32.

2. Geotechnology of uranium (Russian experience): monograph / Ed. by I.N. Solodov, E.N. Kamnev // Moscow, “KDU”, “University Book”, 2017. 576 p. (in Russian).

3. Ivanov A.G., Ivanov D.A., Arsentyev Yu.A., Nazarov A.P., Kalinichev V.N. Osobennosti primeneniya polimernykh obcasnykh trubov pri stroitel’stvo tekhnologicheskikh borekh podzemnogo vylachivaniya urana [Features of the application of polymer casing pipes in the construction of technological wells of underground leaching of uranium]. Geology and Exploration Series, 2019, No. 4. P. 50-57.

4. Ivanov A.G., Gurulev E.A., Alekseev N.A., Bazarov D.N., Ivanov D.A., Arsentyev Yu.A., Nazarov A.P. Osobennosti remonta operativnykh kolonnykh tekhnologicheskikh borekh podov v usloviyakh mnogoletnepermazhnykh gornykh rodov [Features of the repair of operational columns of technological wells in the conditions of mnogoletnepermazhnykh gornykh rocks] // Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference “Actual Problems of the Uranium Industry”, Part 1, Almaty, Republic of Kazakhstan, 2019, pp. 216 – 223.

5. Svyatetskiy V.S., Gladyshev A.V., Solodov I.N., Suvorov A.V. Vliyanie geneticheskikh osobennosti uranovykh depositov Khiagdinskogo rudnogo pole na vybor tekhnologii razrabotki orenykh zalezheniya borehole nezhdennym leachaniyu [Influence of genetic features of uranium deposits of the Khiagdinskogo ore field on the choice of ore deposits development technology by borehole underground leaching]. Mining Journal, No. 4, 2022.

WIREBMR – ДОБЫЧА УРАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНО-СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (ПСВ)

Соловьев Ю.В.
ORICA-OBI, г. Перт, Австралия Nick Jervis-Bardy
Alligator Energy, г. Аделаида, Австралия
Yuri.solovyov@orica.com

Аннотация. Добыча урана методом подземно-скважинного выщелачивания (ПСВ) составляет до 60% мировой добычи урана. Растворитель закачивается в нагнетательные скважины для выщелачивания добываемых минералов из материнской породы, после чего откачивается на поверхность из эксплуатационных скважин. На поверхности оксид урана извлекается из раствора, высушивается и отправляется в виде U_3O_8. WIREBmr™, или прибор скважинного магнитного резонанса – это сважинный геофизический прибор, измеряющий содержание воды в породах вскрытых скважиной с высокой точностью. WIREBmr™ предназначен для измерения объема жидкости в поровом пространстве – общей пористости породы, а также содержания подвижной и связанной жидкости отдельно. Проницаемость пород также рассчитываетя без использоватия дополнительных данных. Данная технология позволяет исключить необходимость использования других методов ГИС, которые требуют применения радиоактивных источников и часто не могут быть использованы в ПВХ колоннах, и при этом позволяет получить результаты намного быстрее, лучшего качества и в большем объеме, чем традиционные опробования скважин или анализ керновых данных.

Ключевые слова: ПСВ – добыча урана методом подземно-скважинного выщелачивания; WIREBmr™ – прибор скважинного магнитного резонанса.

Район работ

Уран классифицирован как критический минерал, поскольку он используется во всех коммерческих ядерных реакторах (*Департамент Енергетики США. Оценка критических минералов 2023*). Соответственно, уран играет ключевую роль в генерировании энергии без использования углеводородов.

Добыча урана методом подземно-скважинного выщелачивания (ПСВ) составляет до 60% мировой добычи урана. Растворитель закачивается в нагнетательные скважины для выщелачивания добываемых минералов из материнской проды, после чего откачивается на поверхность из эксплуатационных скважин. На поверхности оксид урана извлекается из раствора, высушивается и отправляется в виде U_3O_8.

Проект Honeymoon Uranium, расположенный в 80 км к северо-западу от г. Broken Hill, NSW, являтся районом добычи урана методом ПСВ и изначально разрабатывался в 2011–2013 годах, а в 2014 году был переведен в режим капремонта. Месторждение было приобретено компанией Boss Energy Pty Ltd (Boss) в 2015-м. Возобновление производства намечается на декабрь 2023 года и включает площать с общими оценочнами запасами в 36 М фунтов. Недавно проведенные буровые работы увеличили потенциальные запасы дополнительно еще на 25 М фунтов включая часть месторождения Gould's Dam.

Рисунок 1 – Район работ Honeymoon Uranium

Уран на месторождении Honeymoon залегает в переслаивающихся песчаниках в основном внутри Yarramba палеоканала, являющегося частью Eyre Formation. Отложения матричного типа сформированы в результате медленной миграции обогащенных ураном растворов из материнской породы, представленной ураносодержащими гранитами в результате процессов эрозии близлежащих возышенностей.

Проблема

Для извлечения урана методом ПСВ требуется наличие двух критических условий: проницаемой ураносодержащей породы и благоприятных гидрогеологических и геохимических условий.

Пористость, и в частности пористость породы, занятой свободной жидкистью (в больших по размеру связанных между собой порах), вместе с химическим составом минералов и грунтовых вод является основой для создания моделей расчета объемов, скорости закачки и химического состава растворителя для эффективного извлечения урана. Дополнительно проницаемость породы и гидравлическая проводимость являются основным фактором в оценке степени извлекаемости урана.

Традиционно пористость и проницаемость пород измеряется на образцах керна по результатам лаборатовного анализа. Отбор и анализ кернового материала является медленным и дорогостоящим процессом. Он предполагает бурение специальных скважин, обычно не использующихся в добыче урана методом ПСВ, и очень часто приводит к неправильным заключениям в связи с плохим состоянием ствола скважины.

Альтернативным методом определения пористости и проницаемости пластов является метод проведения испытания скважин. Однако испытания скважин требуют дополнительной установки фильтров в необходимых зонах скважин, что делает работы более дорогостоящими.

Методы геофизических исследований скважин на кабеле (ГИС) широко используются при ПСВ. В основном из-за скорости получения результатов в течение дней, а не недель или месяцев. К тому же ГИС дешевле и предоставляют непрерывную запись параметров по глубине, что является предпочтительным для добычи урана и горнорудной промышленности.

Стандартные методы определения пористости пород в нефтегазовой промышленности предполгают использование плотностных и нейтронных методов ГИС. Тем не менее применение этих приборов при ПСВ урана существенно огранчено. Гамма-гамма плотностной каротаж регистрирует гамма-излучение пород, которое обычно маскируется высоким фоном гамма-излучения ураносодержащих пород. Применение нейтронных методов затрудняется значительной потерей энергии при прохождении излучения через колонну ПВХ, что часто сводит на нет эффективность использования этих методов. К тому же прямое определение проницаемости пород не производится, что вызывает необходимость построения многопараметровых коррелляционных зависимостей, зависящих от литологии пород, что часто приводит к существенным ошибкам.

Техническое решение

WIREBmr™, или прибор скважинного магнитного резонанса – это скважинный геофизический прибор, измеряющий содержание воды в породах, вскрытых скважиной, с высокой точностью. WIREBmr™ позволяет измерять объем жидкости в поровом пространстве породы – общую пористость породы, а также содержание подвижной и связанной жидкости. Проницаемость пород также рассчитываетя без использоватия дополнительных данных.

Данная технология позволяет исключить необходимость использования других методов ГИС, которые требуют применения радиоактивных источников и часто не могут быть использованы в ПВХ колоннах, и при этом позволяет получить результаты намного быстрее, лучшего качества и в большем объеме, чем традиционные опробования скважин или анализ керновых данных.

Результат

Использование технологии WIREBmr™ позволило геологической группе Boss Energy значительно повысить надежность геологической интерпретации, которая изначально базировалась на комбинировании гамма-гамма и нейтронных методов ГИС. Это также позволило создать модели пористости и проницаемости, возможность создания которах ранее была ограничена отсутствием непрерывных данных по глубине. Кроме того, геологи Boss Energy были в состоянии принимать оперативные решения, классифицируя наличие проницаемых и непроницаемых пластов, а также о концентрации урана в различных интервалах.

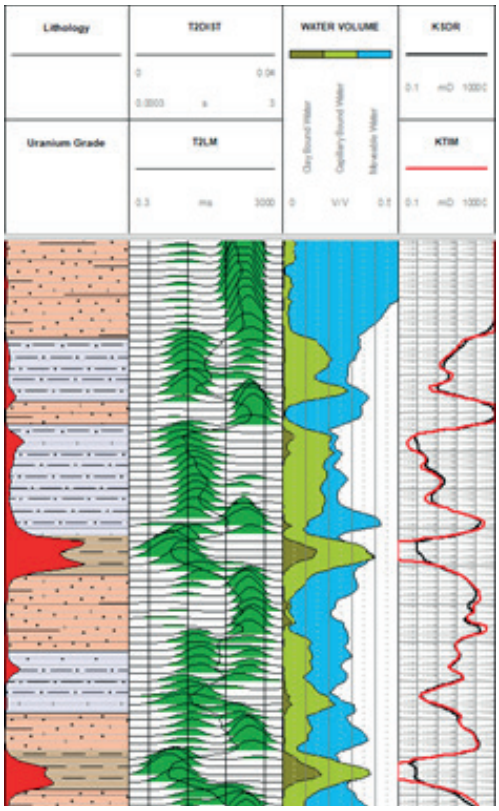


Рисунок 2 – Результат WIREBmr: уточняет местоположение солей урана в песчаниках (выделены зеленым цветом), а также в глинах (выделены голубым цветом).

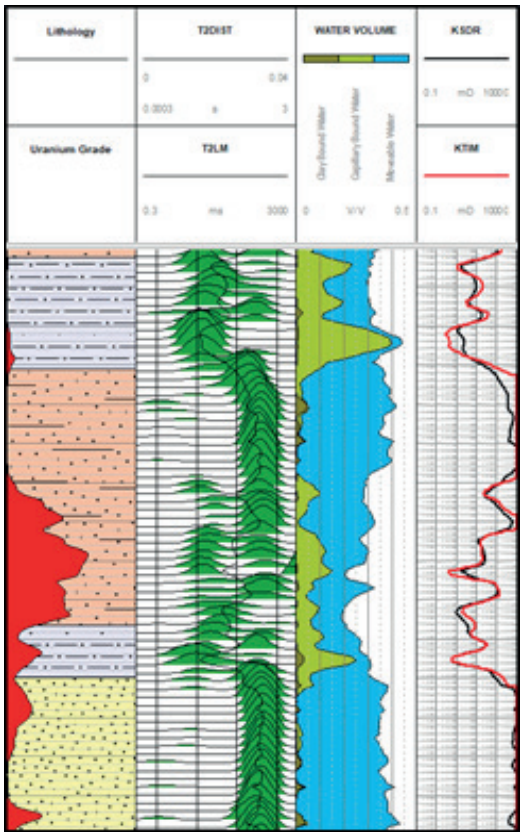


Рисунок 3 – Результат WIREBmr: уточняет местоположение солей урана в глинистых пропластках с очень низкой прноцаемистью. Незначительное содержание урана в пластах песчаника намного лучше извлекается методом ПСВ

Отзывы

«Технология BMR повысила нашу уверенность в правильности литологической интерпретации и планировании работ».

Руан Горе,

Boss Energy, Senior Mine Geologist

Благодарность

Orica выражает благодарность Заказчику за поддержку и разрешение на публикацию этого исследования.

Авторы

Соловьев Ю. В. – ведущий специалист ORICA-OBI, г. Перт, Австралия

Nick Jervis-Bardy – менеджер по развитию бизнеса, Alligator Energy, г. Аделаида, Австралия

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Coates, G.R., Xiao, L.Z., and Prammer, M.G., 1999: NMR logging – principles & applications. Halliburton Energy Services, Houston, Texas, 234 p.

2. Dlubac, K., Knight, R., Song, Y-Q., Bachman, N., Grau, B., Cannia, J., and Williams, J., 2013: Use of NMR logging to obtain estimates of hydraulic conductivity in the High Plains aquifer, Nebraska, USA. *Water Resources Research*, **49**, 1871–1886.

3. Ellis, D.V. and Singer, J.M., 2008: Well logging for earth scientists, 2nd edition. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 692 p.

4. Freedman, R., Cao Minh, C., Gubelin, G., Freeman, J.J., McGinnes, T., Terry, B., and Rawlence, D., 1998: Combining NMR and density logs for petrophysical analysis in gas-bearing formations. Paper II presented at the SPWLA 39th Annual Logging Symposium, Keystone, Colorado.

5. Freedman, R. and Heaton, N., 2004: Fluid characterization using nuclear magnetic resonance logging. *Petrophysics*, **45**, 3, 241–250.

6. Gomaa, N., Al-Alyak, A., Ouzzane, D., Saif, O., Okuyiga, M., Allen, D., Rose, D., Ramamoorthy, R., and Bize, E., 2006: Case study of permeability, vug quantification, and rock typing in a complex carbonate. Paper SPE 102888 presented at the 2006 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas.

7. Herrick, R.C., Couturie, S.H., and Best, D.L., 1979: An improved nuclear magnetism logging system and its application to formation evaluation. Paper SPE 8361 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, Nevada.

8. Hook, P., Fairhurst, D., Rylander, E., Badry, R., Bachman, N., Crary, S., Chatawanich, K., and Taylor, T., 2011: Improved precision magnetic resonance acquisition: application to shale evaluation. Paper SPE 146883 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado.

9. Hürlimann, M.D. and Venkataramanan, L., 2002: Quantitative measurement of two-dimensional distribution functions of diffusion and relaxation in grossly inhomogeneous fields. *Journal of Magnetic Resonance*, **157**, 1, 31–42.

10. Kenyon, W.E., Day, P.I., Straley, C., and Willemsen, J.F., 1986: Compact and consistent representation of rock NMR data for permeability estimation. Paper SPE 15643 presented at the 61st Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, New Orleans, Louisiana

11. Kleinberg, R.L., 1996: Utility of NMR T2 distributions, connection with capillary pressure, clay effect, and determination of the surface relaxivity parameter 2. *Magnetic Resonance Imaging*, **14**, 7/8, 761–767.

12. Kleinberg, R.L. and Vinegar, H.J., 1996: NMR properties of reservoir fluids. *The Log Analyst*, **37**, 6, 20–32.

13. Kleinberg, R.L. and Boyd, A., 1997: Tapered cutoffs for magnetic resonance bound water volume. Paper SPE 38737 presented at the 1997 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas.

14. Morriss, C.E., MacInnes, J., Freedman, R., Smaardyk, J., Straley, C., Kenyon, W.E., Vinegar, H.J., and Tutunjian, P.N., 1993: Field test of an experimental pulsed nuclear magnetism tool. Paper GGG presented at the SPWLA 34th Annual Logging Symposium, Calgary, Alberta.

15. Timur, A., 1968: An investigation of permeability, porosity, and residual water saturation relationships for sandstone reservoirs. *The Log Analyst*, **9**, 4, 8–17.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МНОГОФАКТОРНОМ АНАЛИЗЕ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Васюта А.Е., Носырев Г.М., Данилейко В.В., д.т.н.
АО «РУСБУРМАШ», г. Москва, Российская Федерация
AnEVasyuta@rbm-armz.ru

Аннотация. Проанализированы корреляционные взаимосвязи геологических, геотехнологических и экономических факторов, позволяющих оптимизировать сети технологических скважин, вскрывающих залежи урана для отработки способом подземного выщелачивания. Разработана методика определения оптимального радиуса ячейки сети и прогнозной длительности периода отработки залежи для заданной средней удельной продуктивности залежи/месторождения. Создан автоматизированный комплекс построения сети технологических скважин, который выводит на новый уровень процесс распределения скважин по площади добычных полигонов для различных по продуктивности элементов рудной залежи. В результате сокращаются капитальные затраты на сооружение полигона и снижаются эксплуатационные расходы в процессе одновременной отработки разнопродуктивных участков залежи.

Ключевые слова*:* гексагональная схема, оптимизированная сеть, подземное выщелачивание, продуктивность, рядная схема, скважина, уран, эффективность.

REGULARITIES OF GEOLOGICAL, GEOTECHNOLOGICAL AND ECONOMIC PARAMETERS IN MULTIFACTOR ANALYSIS OF SYSTEM FOR CONSTRUCTING OPTIMIZED GRID OF PRODUCTION WELLS

Vasyuta A.E., Nosyrev G.M., Danileyko V.V. Doctor of Science
RUSBURMASH JSC, Moscow, Russian Federation
AnEVasyuta@rbm-armz.ru

Summary. Correlations between geological, geotechnological and economic factors are analyzed, which allow optimizing the grid of wells for uranium deposits development by in-situ leaching. A methodology for determining the optimal radius of the grid cell and forecasted duration of the deposit development period for a given average specific productivity of the deposit was developed. An automated complex of well grid creation was developed, which brings to a new level the process of well distribution over the area of production well fields for different elements of ore deposit by productivity. As a result, capital expenditures for the construction of a production site are reduced and operating costs are lowered in the process of simultaneous development of differently productive areas of the deposit.

Key words: hexagonal well pattern, optimized grid, in-situ leaching, productivity, in-line well pattern, well, uranium, efficiency.

Месторождения урана палеодолинного типа обладают неоднородностью распределения рудного материала в породах в пределах выделенных эксплуатационных блоков. При осуществлении добычи урана из таких месторождений способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) эксплуатационные скважины (откачные и закачные) размещаются в контурах блоков по равномерной сети по одной из выбранных схем в зависимости от размеров и морфологии рудных тел. Наиболее популярными являются рядная схема (при ширине рудных тел <100 м) и гексагональная (при ширине рудных тел >100 м).

Проектировщики блоков СПВ не учитывают неоднородность рудных залежей по удельной площадной продуктивности пласта, что впоследствии имеет достаточно отрицательные последствия в экономическом плане. Неоднородность распределения руды в контурах блоков при равномерной сети эксплуатационных скважин приводит к тому, что различные части блоков отрабатываются с разной интенсивностью. Участки с низкой продуктивностью отрабатываются быстрее, чем с высокой. Таким образом, низкопродуктивные участки блоков ранее выводятся из эксплуатации, что выражается в нерациональных затратах как на этапе бурения эксплуатационных скважин, так и в процессе добычи.

Пример распределения величин удельной продуктивности по площади эксплуатационного блока показан на рис. 1. Удельная продуктивность меняется от 1,0 до 22,0 кг/м^2, в среднем составляя 4,5 кг/м^2.

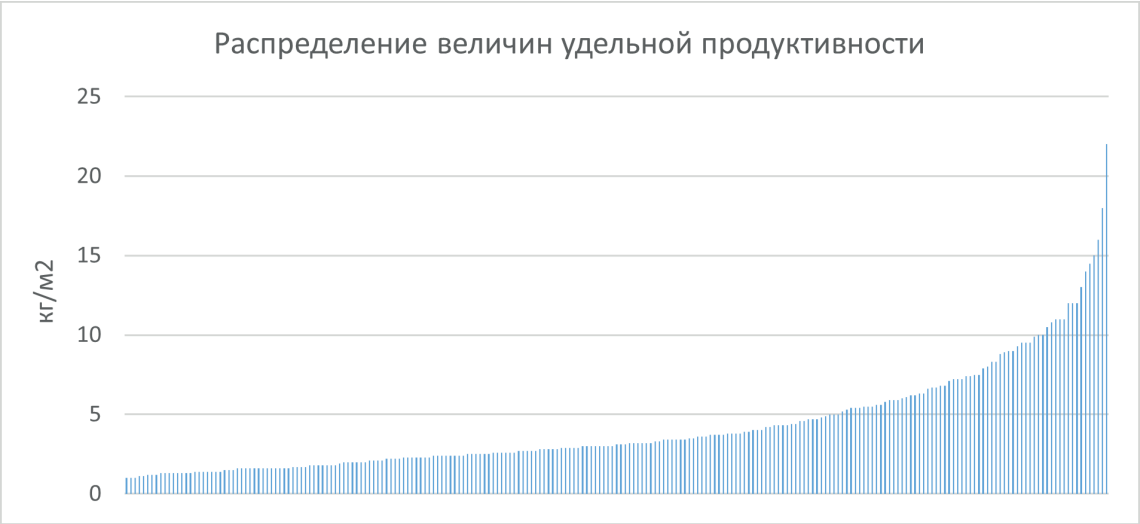


Рисунок 1 – Распределение величин удельной продуктивности

Базовым элементом сети технологических скважин является ячейка, которая включает одну откачную скважину и несколько закачных, радиус данной ячейки является основным параметром такой сети (рис. 2).

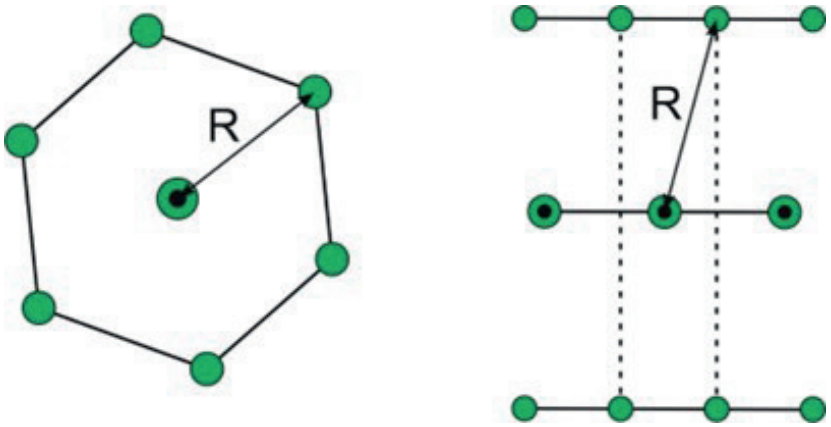


Рисунок 2 – Радиусы ячеек гексагональной и рядной сетей скважин

Радиус ячейки впрямую влияет на экономику добычного предприятия. В простом приближении, чем меньше радиус ячейки, тем быстрее пройдет процесс выщелачивания урана из объема ячейки, соответственно, снижаются эксплуатационные расходы. В свою очередь, чем меньше радиус ячейки, тем плотнее сеть скважин, следовательно, увеличивается их количество, растут капитальные затраты. И наоборот, увеличение радиуса ячейки приведет к росту продолжительности процесса выщелачивания, и увеличению эксплуатационных расходов, но снизятся капитальные затраты за счет более редкой сети и уменьшения количества технологических скважин.

Оценки показывают, что кривая зависимости себестоимости добычи урана от радиуса ячейки сети вскрытия выглядит так, как показано на рис. 3. Минимальная себестоимость соответствует оптимальному радиусу ячейки.

Таким образом, оптимизированная сеть вскрытия эксплуатационных блоков по добыче урана должна обеспечивать:

1. Минимальную себестоимость добычи урана для конкретных геологических и геотехнологических условий залежи, а также экономических параметров предприятия.
2. Равномерную отработку добычных блоков с помощью вариативности радиуса ячейки сети вскрытия в зависимости от удельных продуктивностей различных участков залежи.

Для решения вышеперечисленных задач была построена геотехнолого-экономическая модель оптимизации показателей отработки добычных блоков, месторождений Хиагдинского рудного поля. В качестве исходных данных модели были использованы фактические геологические, геотехнологические и экономические показатели отработки месторождений и залежей, извлечение по которым превысило 80%, либо добыча по которым ведется в настоящее время.

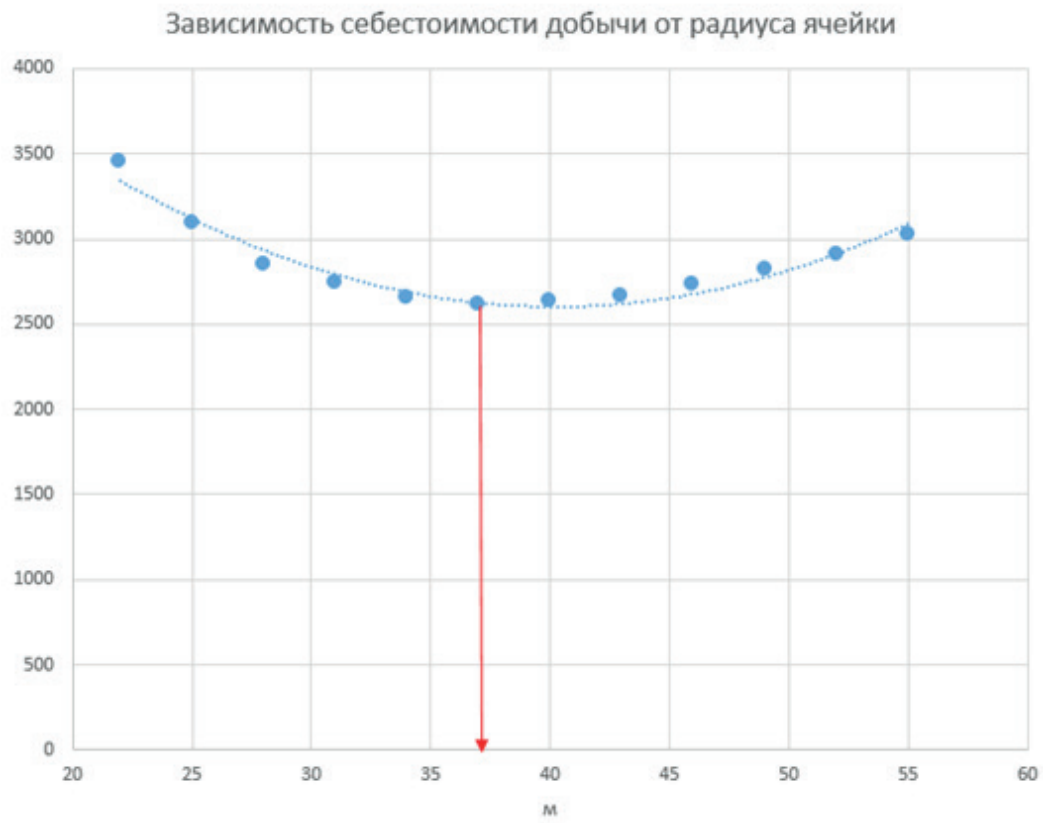


Рисунок 3 – Зависимость себестоимости добычи урана от радиуса ячейки

С помощью модели были проанализированы следующие зависимости различных геотехнологических показателей отработки месторождений/залежей/блоков способом подземного выщелачивания:

- зависимость среднемесячного содержания урана в продуктивных растворах от Ж/Т;
- зависимость накопительного процента извлечения урана от Ж/Т;
- зависимость Ж/Т от времени отработки;
- зависимость добычи от времени отработки.

Анализ вышеуказанных зависимостей показал, что наиболее объективным показателем, отражающим работу блока/залежи, является зависимость добычи от времени отработки. Данный показатель включает в себя как геологические условия блока (удельная продуктивность, гидрогеологические параметры), так и геотехнологические параметры отработки (параметры сети технологических скважин, содержание кислоты в выщелачивающих растворах, содержание урана в продуктивных растворах, дебиты откачных и приемистость закачных скважин).

Для большинства блоков/залежей характерные близкие показатели по данной зависимости, особенно в долгосрочной перспективе. Например, на период отработки 26 месяцев среднее извлечение для ряда блоков/залежей месторождения Хиагдинское составило 37%, Вершинное – 42%, Источное – 44%, Количиканское – 44%. Разброс от среднего значения не превышает 5%. Также, для ряда блоков/залежей на период отработки 48 месяцев среднее извлечение для месторождения Хиагдинское составило 64%, Вершинное – 63%, Источное – 63%.

В свете вышеизложенного для прогноза отработки была выбрана зависимость добычи (в процентах от вскрытых запасов) от времени отработки залежи/месторождения (в месяцах).

Для определения осредненной зависимости добычи от времени отработки были использованы данные фактической добычи, приведенные на начало фактической добычи. То есть, рассчитывалось среднее ежемесячное значение извлечения (фактическая добыча / запасы по блоку/залежи) по блокам/залежам месторождения. Путем усреднения всех графиков фактически отрабатываемых залежей/блоков был получен график среднемесячного извлечения (рис. 4), который был аппроксимирован полиномиальной зависимостью третьей степени с достоверностью аппроксимации 0,9978.

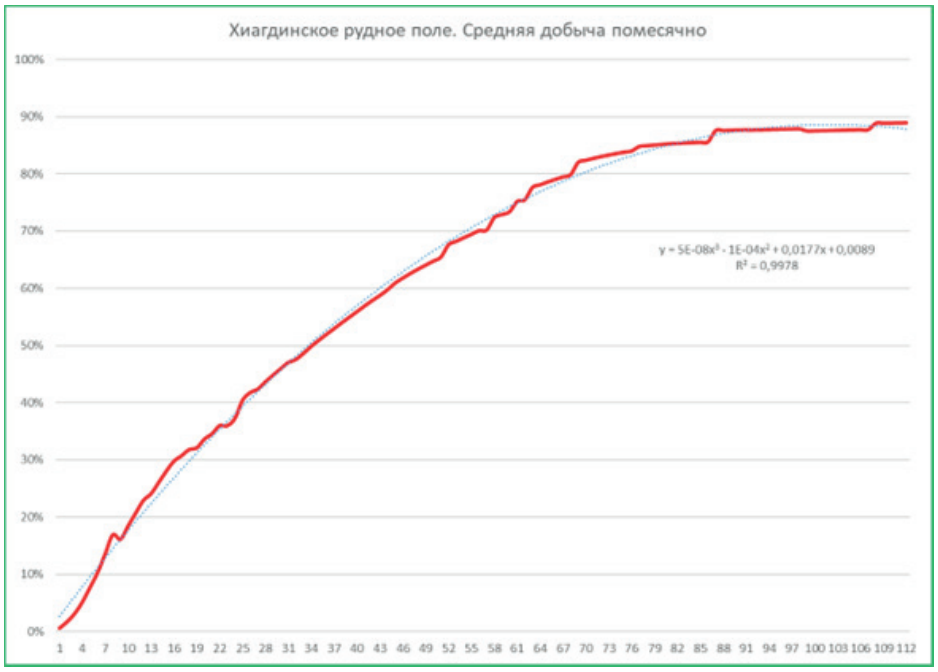


Рисунок 4 – Осредненная зависимость добычи от времени отработки по данным фактической добычи на месторождениях Хиагдинского рудного поля

На основе полученной зависимости был построен прогнозный накопительный помесячный график добычи по месторождениям Хиагдинского рудного поля (рис. 5).

Согласно усредненному накопительному помесячному графику добычи среднее время извлечения запасов залежи/блока до уровня 80% по месторождениям Хиагдинского рудного поля составляет 76 месяцев или 6 лет и 4 месяца с начала поступления промышленных содержаний урана в продуктивных растворах.

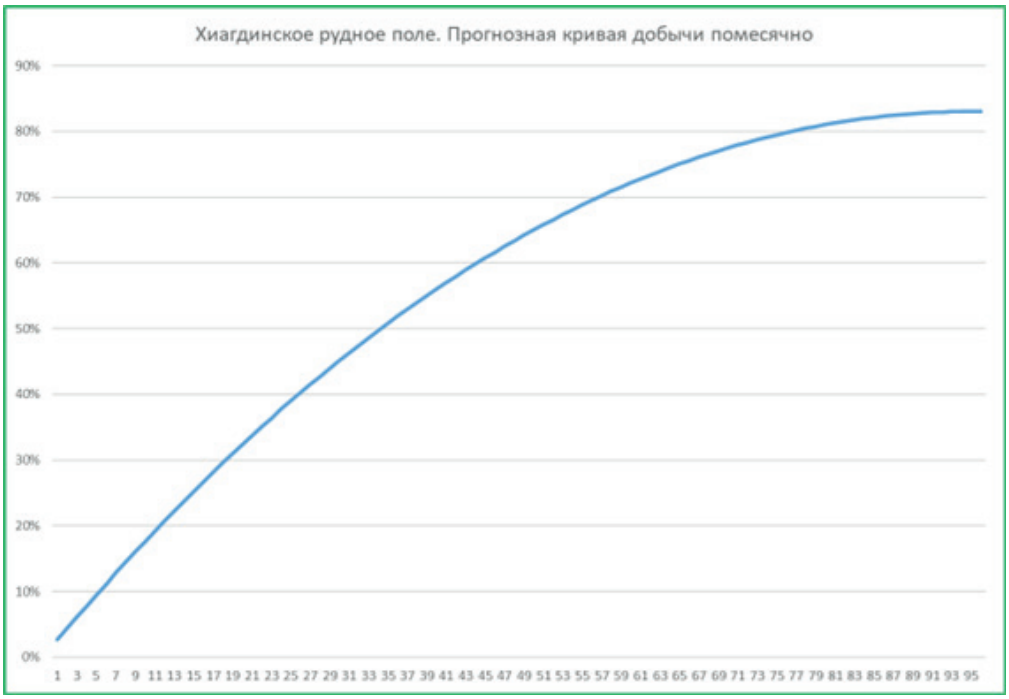


Рисунок 5 – Прогнозный накопительный помесячный график добычи по месторождениям Хиагдинского рудного поля

Также в геотехнолого-экономической модели были использованы зависимость времени отработки от радиуса ячейки (рис. 6) и зависимость времени отработки от удельной продуктивности (рис. 7), выведенная для месторождений Хиагдинского рудного поля Угорцом и др. [1].

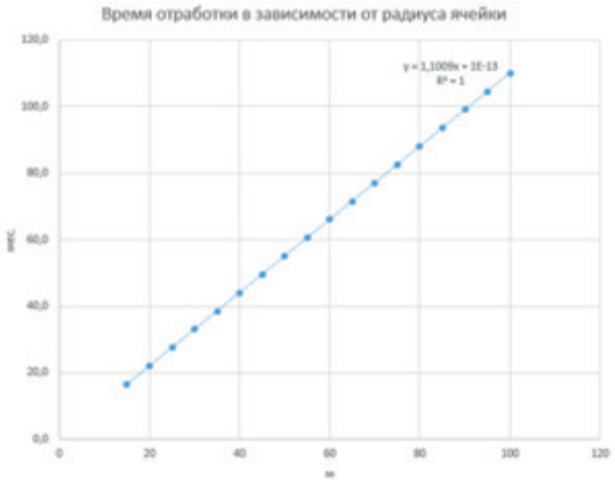


Рисунок 6 – Зависимость времени отработки от радиуса ячейки

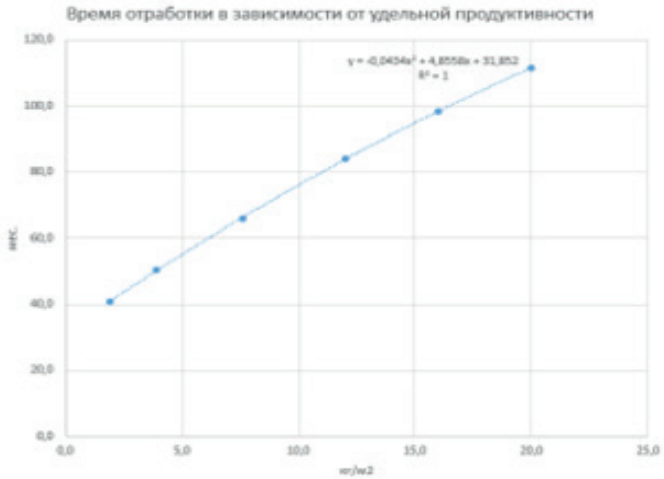


Рисунок 7 – Зависимость времени отработки от продуктивности

С помощью вышеперечисленных зависимостей и исходя из величины запасов по месторождению/залежи, динамики извлечения в процентах и цены урана строится зависимость дохода от времени отработки, удельной продуктивности и радиуса ячейки. Рассчитываются ежемесячные доходы.

Расчет доходов:

*Объем растворов * Содержание урана = Количество урана*

*Количество урана * Цена урана = Стоимость урана*

Рассчитывается сумма капитальных затрат, включающая:

- Общие капитальные затраты;
- Стоимость сооружения откачных скважин;
- Стоимость сооружения закачных скважин.

Капитальные затраты на сооружение скважин рассчитывались следующим образом:

*Количество скважин * Средняя глубина скважины = Метраж скважин*

*Метраж скважин * Стоимость бурения 1 м = Стоимость сооружения скважин*

В капитальные затраты входила инфраструктура скважины, включающая насос (для откачной), трубопроводную обвязку, электроснабжение, КИПиА, дороги и т.п.

Затем рассчитывались суммы ежемесячных эксплуатационных расходов отдельно для периодов закисления и отработки, включающие:

- Расходы на кислоту;
- Расходы на электроэнергию;
- Расходы на замену насосов.

Расходы на кислоту рассчитывались следующим образом:

Закисление:

Содержание кислоты при закислении * Дебит закачной скважины * Количество закачных скважин * Время закисления = Расход кислоты

Отработка:

Содержание кислоты при отработке * Дебит закачной скважины * Количество закачных скважин * Время отработки = Расход кислоты

Расход кислоты * Стоимость кислоты = Расходы на кислоту

Расходы на электроэнергию:

Потребляемая мощность погружного насоса * Количество откачных скважин * (Время закисления + Время отработки) = Потребление электроэнергии; Потребление электроэнергии * Стоимость электроэнергии = Расходы на электроэнергию

Расходы на замену насосов:

(Продолжительность закисления + Продолжительность отработки) / Средняя наработка насоса * Количество откачных скважин * Стоимость насоса = Расходы на замену насосов

Рассчитывалась ежемесячная прибыль, как разница между накопительной суммой доходов от продажи урана и накопительной суммой капитальных затрат и ежемесячных эксплуатационных расходов в периоды закисления и отработки. Также рассчитывается накопительная прибыль. Определялись длительность периода отработки, как сумма месяцев, в которых ежемесячная прибыль является положительной, и сумма накопительной прибыли на конец периода отработки (рисунок 8).

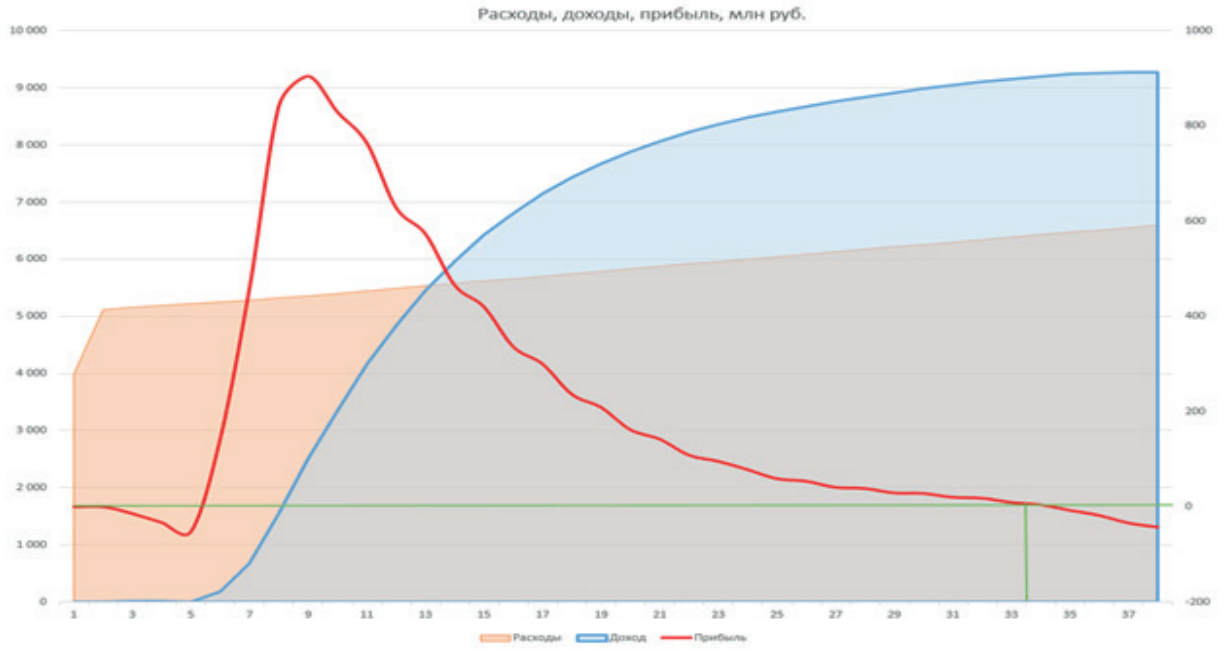


Рисунок 8 – Зависимость расходов, доходов и прибыли от времени отработки

На финальном этапе расчетов для заданной средней удельной продуктивности запускался процесс автоматического подбора параметров сети геотехнологических скважин, критериями которого являлись:

- Минимизация длительности периода отработки;
- Максимизация суммы прибыли.

В результате расчетов на геотехнолого-экономической модели были получены:

- Оптимальный радиус ячейки сети геотехнологических скважин для средней удельной продуктивности залежи/месторождения и значения радиусов для повышенной/пониженной удельной продуктивности.
- Прогнозная длительность периода отработки месторождения, залежи.

Полученная зависимость параметров сети от продуктивности использовалась затем в автоматизированном комплексе построения сети (АКПС), исходными данными для которого являются:

- Средняя удельная продуктивность залежи;
- Зависимость радиуса ячейки сети от увеличения/уменьшения продуктивности;
- Координаты залежи по данным детальной геологоразведки;
- Координаты скважин с фактическими вскрытыми значениями продуктивностей.

Результат работы комплекса АКПС – с помощью разработанного математического аппарата автоматическое создание оптимизированной нерегулярной проектной сети технологических скважин в заданных координатах залежи.

Данная проектная сеть является основой для сооружения эксплуатационных блоков, где в свою очередь, применять принцип сгущения и разрежения сети с учетом фактической продуктивности пробуренных скважин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Угорец В. Обоснование добычи урана методом СПВ на основе геотехнологического моделирования / В. Угорец, К. Петерсон, М. Хартманн. – М., 2011.

2. Руденко А.А. Способы повышения эффективности добычи урана скважинным подземным выщелачиванием / А. А. Руденко, А. В. Гладышев, А. А. Новгородцев // Тр. Третьего международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство». – М.: ФГУП «ВИМС», 2013. – С. 252–257.

3. Оптимизация сети технологических скважин для эффективной отработки урановых месторождений скважинным подземным выщелачиванием / А. А. Руденко, А. В. Гладышев, А. Е. Васюта, В. В. Данилейко // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 9. – С. 24–32.

4. Патент 2794116. Российская Федерация, МПК E21B43/28. Способ подготовки добычных блоков к скважинному подземному выщелачиванию полезных ископаемых: № 2021130504: заявл. 19.10.2021: опубл. 11.04.2023 / А. А. Руденко, А. В. Гладышев, А. Е. Васюта, В. В. Данилейко. – 8 с.

ПОИСКОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРАХ ТЕХНОЛОГИЙ EXPERT GEOPHYSICS LIMITED)

Филиппович А.
Expert Geophysics Limited
info@expertgeophysics.com

Ключевые слова: аэрогеофизика, магнитотеллурические зондирования, электромагнитный метод, разведка полезных ископаемых, MobileMT, TargetEM.

EXPLORATION CAPABILITIES OF MODERN AIRBORNE ELECTROMAGNETIC METHODS (ON EXAMPLES OF EXPERT GEOPHYSICS LIMITED TECHNOLOGIES)

Philipovich A.
Expert Geophysics Limited
info@expertgeophysics.com

Keywords: airborne geophysics, magnetotellurics, electromagnetic method, mineral exploration, MobileMT, TargetEM.

Современные аэрогеофизические методы разведки полезных ископаемых имеют ряд преимуществ по сравнению с наземными методами, включая высокую скорость получения данных на больших площадях, высокую информативность, экономичность (одновременная съемка нескольких физических полей), низкое воздействие на экологию (дистанционное зондирование), возможность работы в труднодоступных местах (безопасность персонала).

Значимое место среди аэрогеофизических методов занимают электромагнитные (ЭМ), позволяющие на основе полученных распределений удельного электрического сопротивления изучать геологическое строение, выявлять рудоконтролирующие структуры, и при определенных петрофизических условиях детектировать рудные тела. Аэроэлектромагнитные (АЭМ) методы с искусственным источником первичного поля, работающие во временной области (TDEM), обладают высоким пространственным разрешением, но имеют ограниченную глубинность (несколько сотен метров) и чувствительны к проводникам в узком диапазоне сопротивлений. АЭМ методам в частотной области с контролируемым источником (FDEM) свойственная низкая разрешающая способность и ещё меньшая глубинность.

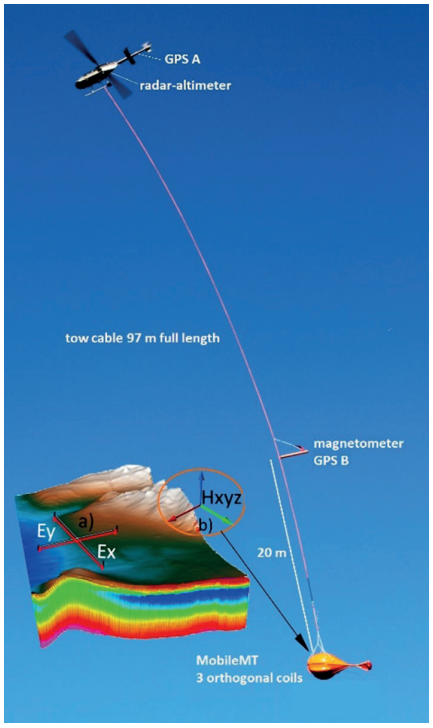


Рисунок 1 - Состав измерительной системы MobileMT: a) электрическая компонента – заземленная линия; b) магнитная компонента – подвесная воздушная система. Дополнительно на систему установлен магнитометр, высотомер и GPS приемник.

Новое поколение аэроэлектромагнитных методов, основанное на методике магнитотеллурических зондирований в аудиочастотном диапазоне (AFMAG) и реализованное в технологии Mobile MagnetoTellurics (MobileMT, рисунок 1), превосходит ограничения упомянутых выше FDEM и TDEM и позволяет существенно расширить возможности аэрогеофизической разведки полезных ископаемых.

Технология MobileMT использует естественные электромагнитные поля в диапазоне частот от 25 Гц до 20 000 Гц, которые в основном связаны с дальними грозами и токами в ионосфере Земли. Грозы высвобождают энергию, которая преобразуется в электромагнитные поля, распространяющиеся в пространстве между ионосферой и Землей. Эти поля и токи индуцируют, в свою очередь, ЭМ поля и токи в недрах Земли. Последние используются в технологии MobileMT для понимания изменений электрического сопротивления геологического разреза.

Измерительная система MobileMT состоит из двух компонентов (рисунок 1):

1. Двух пар ортогональных заземлённых линий, выполняющих роль базовой станции – компоненты ЭМ поля Ex, Ey;
2. Воздушной системы из трех ортогональных индуктивных катушек – компоненты ЭМ поля Hx, Hy, Hz.

Система обладает очень высокой частотой дискретизации измеряемых данных - 73728 Гц, что в совокупности с передовыми

технологиями обработки сигнала как на аппаратурном уровне, так и на цифровом уровне, обеспечивает высокое качество выходных данных.

Расчетным параметром системы на выходе является кажущаяся проводимость для заранее заданных окон частот (обычно 30 окон, от 25 до 20000 Гц). Полученные данные обрабатываются отдельно для каждой частоты в профильном и площадном (grid) вариантах. В дальнейшем выполняется инверсия данных, результатом которой являются геоэлектрические разрезы и кубы удельных электрических сопротивлений (рисунок 2).

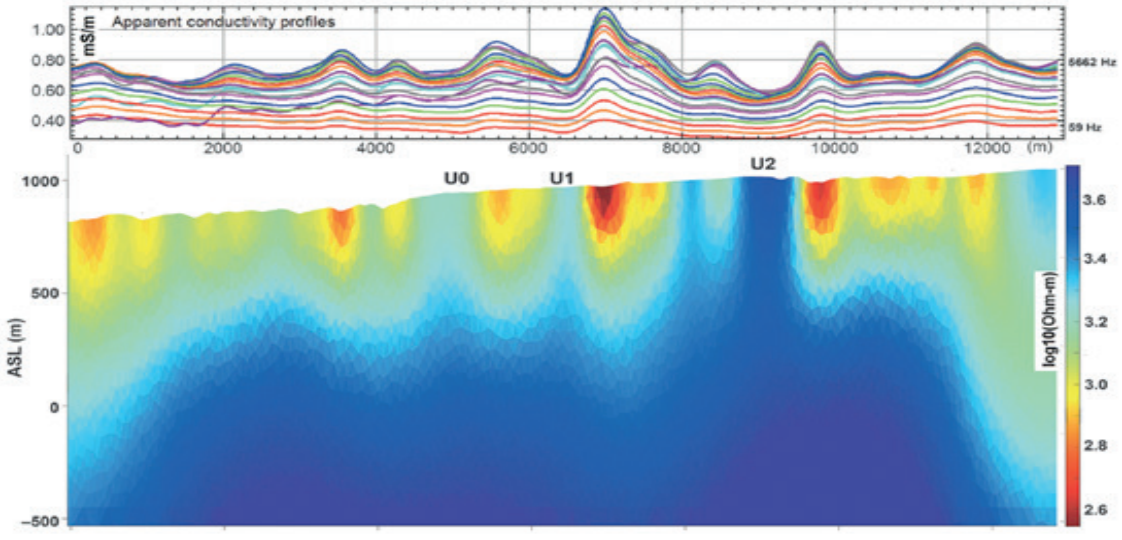


Рисунок 2 - Пример полученных данных кажущейся электропроводности (сверху) и разрез удельного сопротивления (снизу) вдоль линии, пересекающей известные рудные зоны (U0, U1, U2) эпитермального месторождения Унгурли в районе хребта Кендыктас [Prikhodko et al, 2024].

Рисунок 3 - Система в области времени TargetEM.

По данным теоретических расчетов и экспериментальным данным на эталонных объектах, глубинность исследований MobileMT составляет от первых десятков метров до глубин в первые километры. При этом, достигается высокое пространственное разрешение, как в плане, так и по глубине. В свою очередь, передовая технология MobileMT чувствительна к разрезам с низкой дифференциацией сопротивлений.

Наряду с разработками в частотной области, компания EGL создала технологию TargetEM, которая основывается на методе переходных процессов - зондировании становлением поля в ближней зоне. Технология создана для поиска и точного определения местоположения проводящих объектов, а также для изучения геологических структур в диапазоне глубин в сотни метров. Система с искусственным источником устойчива к внешним помехам и показывает высокое соотношение сигнал/шум. Петля источника имеет диаметр 21-31 м и от 4 до 6 витков, максимальный ток – 230 А. Длина импульса источника 6 мс, с быстрым спадом – 1 мс. Приемник находится в центре петли имеет 3 компоненты (X, Y, Z), диаметры катушек индуктивности – 1 м, количество витков - 120. Дополнительно на подвесе устанавливается магнитометр и GPS приемник. Формат вывода данных может быть как потоковый, так и обработанный/суммированный. Выходными параметрами являются Z и X компоненты вариаций магнитного поля dB/dt. Полученные данные можно инвертировать в геоэлектрический разрез удельных электрических сопротивлений (рисунок 4).

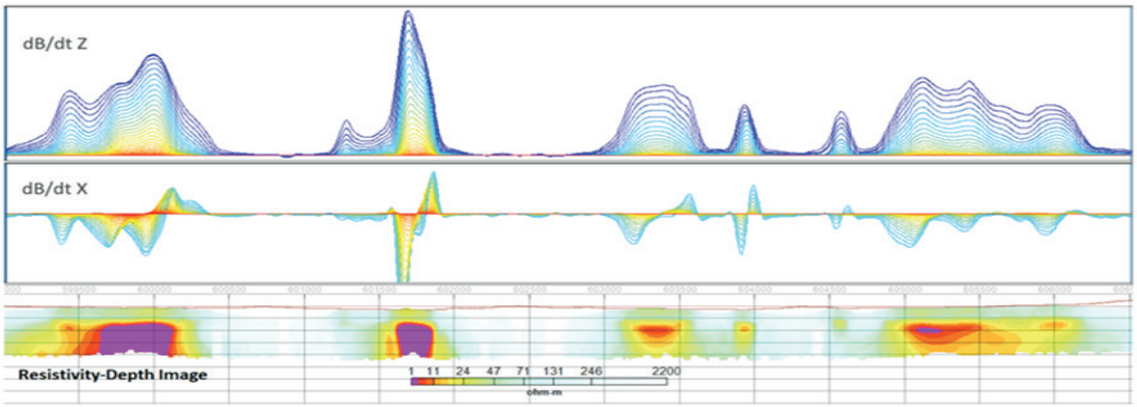


Рисунок 4 - Пример выходных данных системы TargetEM (сверху) и их пересчета в геоэлектрический разрез (снизу).

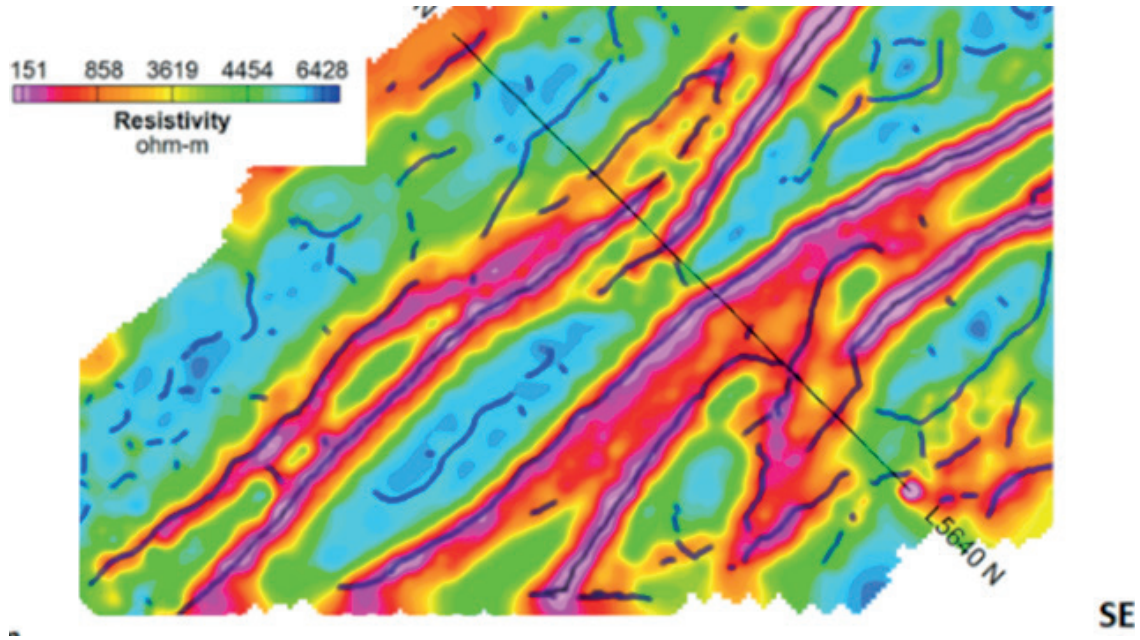


Рисунок 5 - Пример линейных проводящих зон по данным MobileMT в бассейне Атабаска

Опыт разведки урановых месторождений

Технология MobileMT показала успешное применение для задачи поиска и изучения геологической структуры урановых месторождений в бассейне Атабаска (Канада). Бассейн Атабаска - протерозойский осадочный бассейн, где песчаники несогласно залегают на гранитных и метаосадочных породах древнего фундамента, включая богатые графитом литологические образования. Залежи с урановой минерализацией представлены массивными телами, жилами и вкраплениями уранинита.

Предполагается, что графит и/или продукты его распада, действуя как восстановитель, способствуют минерализации урана. Подобные линейные зоны в фундаменте являются проводниками и могут быть обнаружены электромагнитными методами разведки (рисунок 5). Гидротермальная циркуляция, связанная с отложениями урана, также вызывает изменение вмещающих пород. Осадочные и метаморфические минералы могут образовывать глинистые минералы, такие как иллит и дравит (зоны высокой проводимости, окружающие месторождение).

На рисунке 6 показаны два типа залежей с урановой минерализацией, характерных для бассейна Атабаска: a) внедренная залежь - залегающая в фундаменте ниже поверхности несогласия (минерализация по разлому или жилам), b) выходящая на поверхность залежь - залегающая в фундаменте и над поверхностью несогласия. По результатам съемки MobileMT оба типа залежей отображаются в геоэлектрических разрезах и привносят существенную информацию для геологического моделирования.

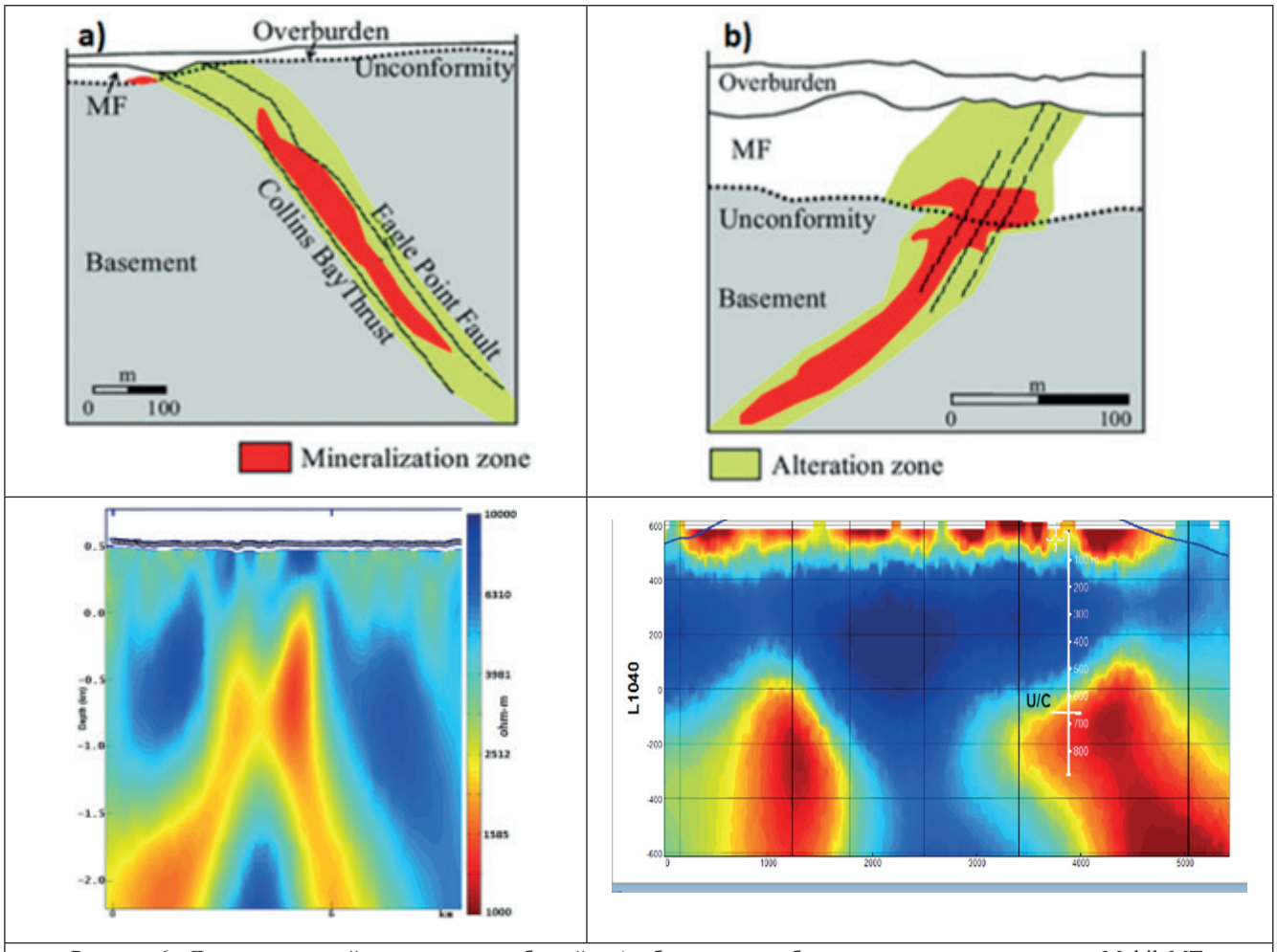


Рисунок 6 - Два типа залежей урановых руд в бассейне Атабаска и их отображение в результатах съемки MobileMT.

Заключение

Новое поколение аэроэлектромагнитных технологий в частотной области MobileMT позволяет достичь существенно более высокое разрешение данных, а также большую глубинность исследований.

Технология MobileMT позволяет картировать и визуализировать геологическое строение в зонах рудной минерализации, а также в зонах тектонической активности.

Аэро методы характеризуются высокой скоростью и плотностью съемки, низкими ресурсозатратами и информативностью получаемых геологических данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

A. Prikhodko, A. Bagrianski, R. Wilson, S. Belyakov, N. Esimkhanova. Detecting and recovering critical mineral resource systems using broadband total-field airborne natural source audio frequency magnetotellurics measurements. GEOPHYSICS, VOL. 89, NO. 1 (2024)

Секция 2
Технологии добычи и переработки урана
Section 2
Uranium extraction and processing technologiesa

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ОСТАНЦОВ НА СТАДИИ ДОРАБОТКИ БЛОКОВ СПОСОБОМ ПСВ

Гладышев А.В[1], Кеслер А.Г [2], Носков М.Д.[2], Суворов А.В.[3], Солодов И.Н.[4]
[1]АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва, РФ
[2]Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск, РФ
[3]АО «Хиагда», г. Чита, РФ
[4]АО «Атомредметзолото», г. Москва, РФ
MDNoskov@mephi.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема повышения эффективности добычи урана способом подземного скважинного выщелачивания на стадии доработки эксплуатационных блоков. Для определения возможных областей образования останцов используются методы математического моделирования. Заверка результатов моделирования проводится с помощью контрольного бурения и прямого определения урана на месте залегания руд с помощью каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-М).

Ключевые слова: добыча урана, подземное скважинное выщелачивание, останцы, математическое моделирование, каротаж мгновенных нейтронов деления.

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING TO INTENSIFY THE EXTRACTION OF URANIUM FROM REMAINS AT THE STAGE OF PROCESSING BLOCKS BY THE ISR METHOD

Gladyshev A.V.[1], Kesler A.G [2], Noskov M.D.[2], Suvorov A.V.[3], Solodov I.N.[4]
[1] JSC «VNIPIpromtekhnologii», c. Moscow, Russia
[2]Seversk Technological Institute NRNU MEPhI, c. Seversk, Russia
[3]JSC « Khiagda », c. Chita, Russia
[4]JSC « Atomredmetzoloto», c. Moscow, Russia
MDNoskov@mephi.ru

Abstract. The problem of increasing the efficiency of uranium mining by underground borehole leaching at the stage of completion of production units is considered. Mathematical modeling methods are used to determine possible areas of remnant formation. Validation of modeling results is carried out using control drilling and direct determination of uranium at the ore site using prompt fission neutron logging (FNL-P).

Key words: uranium mining, underground borehole leaching, remnants, mathematical modeling, borehole prompt fission neutron logging.

Введение

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) урана представляет собой способ разработки месторождений посредством системы технологических скважин [1]. Через закачные скважины происходит нагнетание в продуктивный горизонт выщелачивающих растворов. В результате взаимодействия выщелачивающих растворов с рудой происходит перевод урана в раствор, который извлекается через откачные скважины Способом ПСВ можно отрабатывать месторождения, характеризующихся сложными гидрогеологическими и горно-технологическими условиями. Отработка эксплуатационного блока способом ПСВ включает в себя три стадии: закисление рудной залежи, активное выщелачивание и доработка. В силу различных геологических, гидрогеологических и технологических факторов в процессе

ПСВ образуются области с высоким содержанием остаточного или переотложенного урана, называемые останцами, или целиками. На завершающей стадии отработки актуальной является задача интенсификации добычи урана из останцов. Для выявления останцов в продуктивном горизонте и подготовки предложений по извлечению из них урана целесообразно использовать методы математического моделирования [2–4].

Математическая модель сернокислотного выщелачивания

Расчеты процесса ПСВ и изменения состояния продуктивного горизонта проводятся с помощью геотехнологической моделирующей системы. Моделирующая система основана на математической модели физико-химических процессов, происходящих в системе вмещающая порода – пластовые воды – технологические растворы [5–7]. Модель описывает распределение напоров, фильтрацию, гидродинамическую дисперсию, растворение-осаждение урансодержащих, кислотопоглощающих и восстанавливающих минералов, сорбцию, комплексообразование, гомогенные и гетерогенные окислительно-восстановительные процессы. При моделировании учитываются неоднородности гидрогеологического строения продуктивного горизонта в плане и разрезе, расположение интервалов фильтров технологических скважин, режимы работы скважин и химический состав ВР.

Расчеты выполняются на основе сопряженной двух или трехмерной геолого-гидрогеологической модели продуктивного горизонта. Геолого-гидрогеологическая модель создается или импортируется из базы геологических данных предприятия. Режимы работы технологических скважин вводятся или импортируются из технологической базы данных. Результаты моделирования представляются в виде изоповерхностей, картин распределений физико-химических величин в области моделирования, временных зависимостей геотехнологических показателей отработки технологических ячеек, блоков и т.д. Выполнение расчетов проводится на основе двух или трехмерной адаптивной неравномерной сетки.

Этапы моделирования

Поиск останцов с помощью геотехнологического моделирования осуществляется путем последовательного выполнения семи этапов.

На первом этапе создается геолого математическая модель участков продуктивного горизонта, соответствующих отрабатываемым технологическим блокам. Модель строится на основе данных геологических, геохимических и геофизических исследований, полученных при сооружении технологических и разведочных скважин. Распределения параметров геологической среды генерируются на основе фактических данных по скважинам интерполяционными или геостатистическими методами. Созданные модели участков продуктивного горизонта анализируются, и, при необходимости, производится пополнение исходных данных, изменение параметров геологического моделирования и повторная генерация. Пример построения исходного распределение удельной площадной продуктивности и технологических скважин приведен на рис. 1.

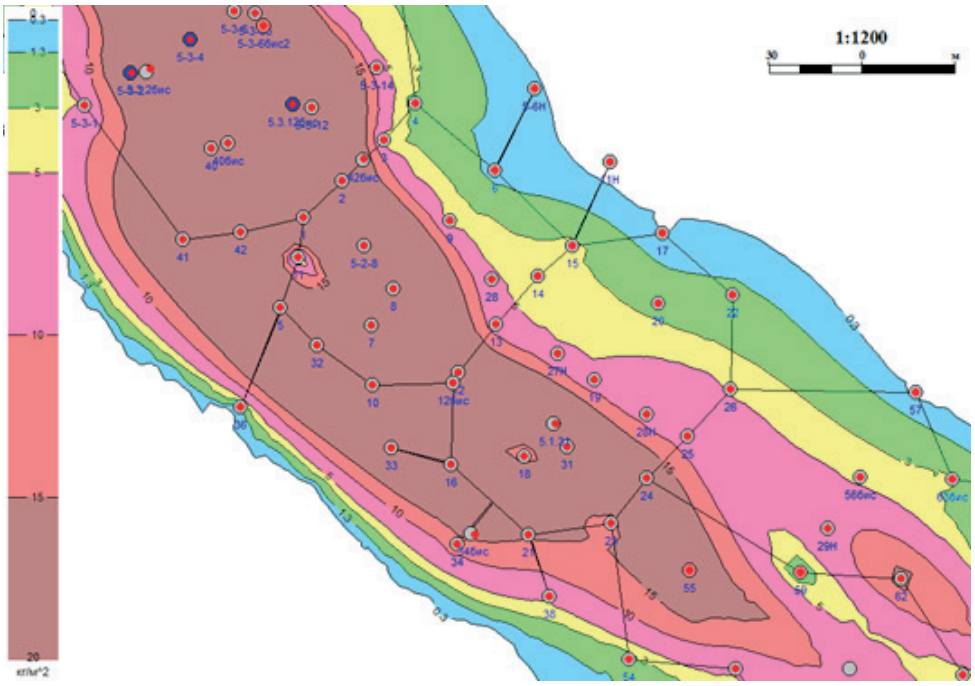


Рисунок 1 – Распределение исходной удельной площадной продуктивности в кг/м^2

На втором этапе создается технологическая модель блока, включающая в себя данные о расположении и режимах работы технологических скважин, а такжео химическом составе рабочих растворов.

На третьем этапе определяются параметры физико-химических процессов, определяющих взаимодействие выщелачивающих растворов с урановыми минералами и рудоносными отложениями. Параметры модели определяются по результатам калибровочных расчетов отработки блоков. Следует отметить, что первые три этапа являются подготовительными, и от качества их проведения и адекватности созданных цифровых моделей зависят достоверность геотехнологических расчетов и эффективность предложений по доработке блоков.

На четвертом этапе выполняется моделирование отработки технологических блоков. Расчеты проводятся с момента начала эксплуатации по текущий момент времени. Основой для проведения расчетов являются созданные на предыдущем этапе работ модели продуктивного горизонта и технологических объектов, а также параметры физико-химических процессов. На основе результатов моделирования в технологической системе рассчитываются значения геотехнологических показателей отработки блоков. Пример результатов моделирования – распределение площадной удельной продуктивности на окончательном этапе отработки приведен на рис. 2.

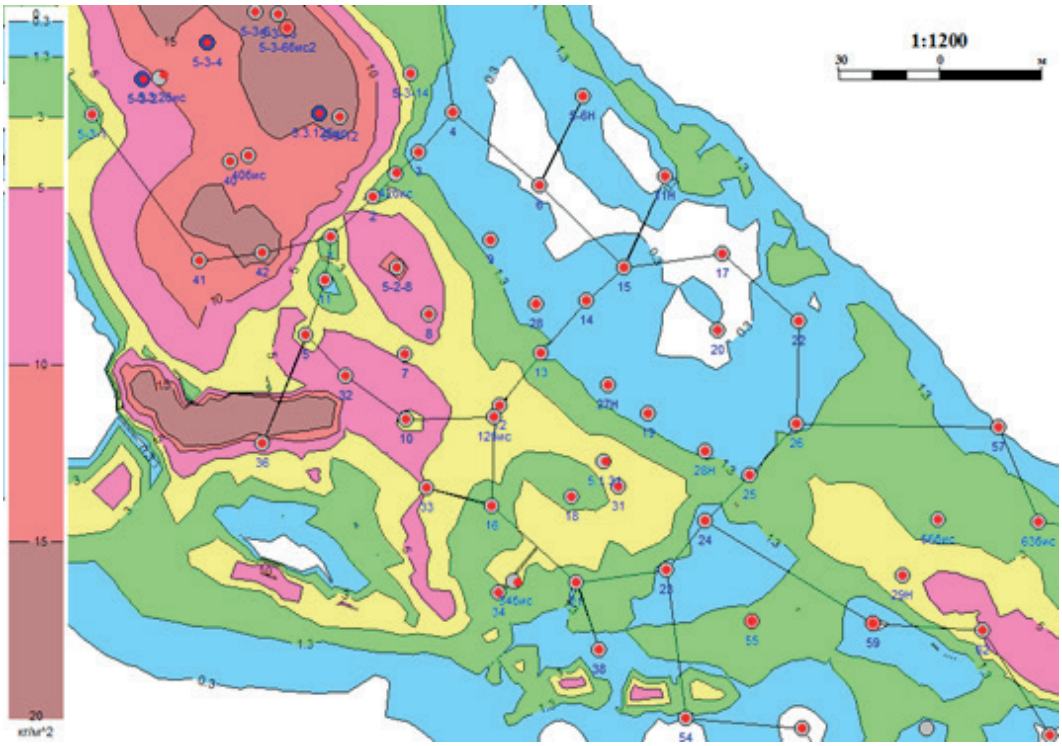


Рисунок 2 – Распределение продуктивности на окончательном этапе отработки

На пятом этапе проводится анализ результатов моделирования, и выявляются участки блоков, где выщелачивание происходило недостаточно эффективно и образовались останцы. При ПСВ останцы могут образоваться в результате нескольких различных причин. Основными геолого-гидродинамическими причинами являются неоднородное распределение содержания урана в плане и разрезе продуктивного оризонта, неоднородное распределение коэффициента фильтрации в плане и разрезе, включая наличие слабопрницаемых пропластков, не оптимальная плотность гидродинамической проработки рудного пласта технологическими растворами. К технологическим факторам, приводящим к образованию останцов, относятся нарушение регулярности схемы вскрытия, неудачная посадка фильтров технологических скважин, неравномерность подачи выщелачивающих растворов в пласт и откачки из пласта продуктивных растворов, дисбаланс расхода вщелачивающих и продуктивных растворов на отдельных участках и по блоку в целом, расположение рудного тела за пределами контура блока, а также образование застойных зон с уменьшеной скоростью движения выщелачивающих растворов. Застойные зоны при гексагональной ячеистой схеме вскрытия могут возникать между соседними закачными скважинами. В случае рядной схемы вскрытия, как между закачными, так и между откачными скважинами в рядах.

На шестом этапе вырабатываются предложения по интенсификации извлечения урана из останцов, и проводятся многовариантные геотехнологические расчеты с целью проверки правильности сделанных предложений. Методами интенсификаци являются: реверс скважин, перераспределение потока растворов

по высоте фильтра, изменение дебитов откачных и нагнетательных скважин, вывод их из работы, сооружение дополнительных скважин, а также изменение содержания реагентов в выщелачивающих растворах.

На последнем, седьмом этапе, проводится сравнительный анализ результатов многовариантных расчетов и выбирается наилучший, с учетом технических возможностей, вариант доработки блоков, который рекомендуется для реализации. Критериями для выбора наилучших альтернатив являются повышение средней концентрации урана в продуктивных растворах и увеличение темпов добычи урана.

Применение каротажа мгновенных нейтронов деления для заверки результатов моделирования

Геотехнологическое моделирование выполняется с применением геолого-гидрогеологической математической модели продуктивного горизонта, построенной на основе данных технологических и разведочных скважин. Распределение геологических и гидрогеологических параметров, характеризующих состояние продуктивного горизонта в пространстве между скважинами, генерируется с помощью интерполяционных или геостатистических методов. Эти методы, позволяют создать наиболее вероятную модель продуктивного горизонта, которая может отличаться от реальности. Соответственно результаты геотехнологического моделирования также могут быть неточными. Поэтому после выполнения геотехнологического моделирования и выявления участков блоков, где образовались останцы, целесообразно провести там контрольное бурение. В условиях техногенно измененного продуктивного горизонта нарушено U-Ra и Ra-Rn радиоактивное равновесие и определение содержания урана методом гамма-каротажа становится невозможным, для геологического опробования керна необходим кондиционный выход керна, которого не всегда возможно достичь из-за измененной структуры пород, подверженных выщелачиванию. Поэтому, для определения содержания остаточного или техногенно переотложенного урана целесообразно использовать каротаж нейтронов мгновенных деления (КНД-М) [8-9], который не зависит от коэффициента радиоактивного равновесия и не требует кернового бурения. В связи с этим, на стадии отработки рудных залежей метод КНД-М может эффективно применяться для контроля процесса выщелачивания урана в недрах с использованием контрольных скважина, а также для оценки линейных запасов урана при добуривании новых и перебуривании аварийных технологических скважин. Методом КНД-М можно выявлять остаточный уран, неотработанные целики и переотложенный уран в условиях техногенно измененной радиологической обстановки.

Заключение

Повышение эффективности добычи урана способом подземного скважинного выщелачивания на стадии доработки эксплуатационных блоков может быть обеспечено интенсификацией извлечения остаточного и переотложенного урана. Для обнаружения останцов и подготовки предложения по их отработке целесообразно применять комплекс методов: выявление остаточного урана в рудах математическим моделированием и заверка этих результатов методом бескернового бурения контрольных скважин и прямого определения остаточного урана в рудах на месте их залегания методом КНД-М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геотехнология урана (российский опыт) / Под ред. И.Н. Солодова – М.: КДУ, 2017. – 576 с.

2. Жиганов А.Н., Истомин А.Д., Носков М.Д. и др. Программный комплекс для моделирования процесса подземного выщелачивания урана // Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. – М.: Руда и металлы, 2005. – Т.1. – С. 297–306.

3. Носков М.Д., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н. Применение математического моделирования для решения геотехнологических и экологических задач при добыче урана способом подземного выщелачивания// ГИАБ. – №7. – 2012. – С. 361–366.

4. Носков М.Д., Шрайнер А.Э. Интенсификация добычи урана из целиков на стадии доработки эксплуатационных блоков методом СПВ // Известия вузов. Физика. – №11/2. – 2017. – Т. 60 – С. 115–118.

5. Кеслер А.Г., Носков М.Д., Истомин А.Д., Носкова С.Н. Комплексная физико-химическая модель сернокислотного выщелачивания урана из песчано-глинистых пород инфильтрационных месторождений // Вестник РАЕН. – №7. – 2013. – С. 41–47.

6. Валитов С.Н., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носков М.Д. Трехмерное моделирование скважинного подземного выщелачивания урана // Известия вузов. Физика. – №11–12. – 2017. – Т. 60. – С. 3–7.

7. Теровская Т.С., Кеслер А.Г., Носков М.Д. Математическая модель изменения состояния продуктивного горизонта при сернокислотном скважинном выщелачивании урана // Известия вузов. Физика. – №12–2. – 2021. — Т. 64. – С. 119–124.

8. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне / Под ред. И.Н. Солодова – М.: ZetaPrint, 2022 – 183 с.

9. Миносьянц А.Р., Солодов И.Н., Гурулев Е.А. Применение каротажа мгновенных нейтронов на разных стадиях освоения урановых месторождений методом СПВ // Разведка и охрана недр. – №7. – 2019. – С. 22–30.

TITLE: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF POLY(STYRENE-CO-GLYCIDYL METHACRYLATE) AS REACTIVE DILUTE TO EPOXY RESIN

Ainakulova Dana Tulegenkyzy, PhD
School of Materials Science and Green Technologies

Abstract. In this study, the physical and mechanical properties of epoxy resin in presence of reactive dilutes were investigated. The reactive dilutes were synthesized based on styrene (St) and glycidyl methacrylate (GMA) via free radical technique using benzoyl peroxide (BPO) as a catalyst with various feed ratios of styrene (St) and glycidyl methacrylate (GMA). The reactive dilutes were characterized by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and thermogravimetric analyzer (TGA). Epoxy resins and hardener were at a ratio of 1: 1, 1: 0.5, and 1: 0.3 respectively. The reactive dilutes [Poly (St-GMA)] have an excellent dilution effect on the epoxy resin where the viscosity of the epoxy resin reduced from 8592 mPa-s to 1656, 680 and 430 mPa-s with the addition of reactive dilutes. Also, the results showed that the highest mechanical properties of epoxy resins including adhesion, tensile and hardness were obtained with reactive dilute contain 70% GMA and 30% St as well as a hardener ratio of 1:0.3. The increase in the mechanical properties attributed the crosslinking resulting from the reaction between modified epoxy resins with the hardener.

Keywords: Epoxy; Hardener; Mechanical properties; Reactive dilute; Styrene.

СИНТЕЗ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИ(СТИРОЛ-КО-ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТА) В КАЧЕСТВЕ РЕАКТИВНОГО РАЗБАВИТЕЛЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Айнакулова Дана Тулегенкызы, PhD
Школа материаловедения и зеленых технологий

Аннотация. В данной работе исследованы физико-механические свойства эпоксидной смолы в присутствии реактивных разбавителей. Реактивные разбавители были синтезированы на основе стирола (St) и глицидилметакрилата метакрилата (GMA) свободнорадикальным методом с использованием пероксида бензоила (BPO) в качестве катализатора при различном соотношении стирола (St) и глицидилметакрилата (GMA). Реакционные растворы были охарактеризованы с помощью ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье (ИК-Фурье) и термогравиметрического анализатора (ТГА). Эпоксидные смолы и отвердитель использовались в соотношении 1: 1, 1: 0,5 и 1: 0,3 соответственно. Реактивные разбавители [Poly(St-GMA)] оказывают превосходное разбавляющее действие на эпоксидную смолу, при котором вязкость эпоксидной смолы уменьшилась с 8592 мПа-с до 1656, 680 и 430 мПа-с при добавлении реактивных разбавителей. Более того, результаты показали, что самые высокие механические свойства эпоксидных смол, включая адгезию, растяжение и твердость, были получены при добавлении реактивных разбавителей, содержащих 70% GMA и 30% St, а также при соотношении эпоксидной смолы к отвердителю 1:0,3. Увеличение механических свойств объясняется сшивкой, возникающей в результате реакции между модифицированными эпоксидными смолами и отвердителем.

Ключевые слова: Эпоксидная смола; отвердитель; механические свойства; реактивный разбавитель; стирол.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА НА ПРОЦЕСС ПСВ

Брехт А.А.[1], Вятченникова Л.С.[2], Жондиллаева М.С.[1], Мусабаев С.Р.[1], Раисов Б.Б.[1], Чистилин П.Е.[1]
[1]Филиал АО «Волковгеология» – «Геотехноцентр»,
[2] ТОО «Два Кей»

Отработка урановых руд на месторождениях пластово-инфильт-рационного типа проводится методом сернокислотного подземного скважин-ного выщелачивания.

Для правильного ведения процесса подземного выщелачивания, анализа работы полигонов, планирования добычи урана и расхода реагентов выполняются расчеты основных геотехнологических параметров.

Практика отработки месторождений показывает, что прогнозные расчеты зачастую не совпадают с фактическими результатами работы блоков. Это приводит к увеличению срока отработки блоков, нерациональному расходу реагентов и материалов и прочим негативным последствиям.

Выявление причин несоответствия прогнозных расчетов геотехнологи-ческих показателей и фактических результатов при добыче урана методом ПСВ является непростой задачей, поскольку факторов, влияющих на процесс выщелачивания урана, большое количество. Главными причинами могут являться природные факторы, которые нельзя изменить, в других случаях – техногенные факторы, зависящие от человека, а в-третьих случаях – и те и другие.

Достаточно подробно изучено влияние на показатели процесса ПСВ технологических факторов, таких как схемы вскрытия оруденения, положение фильтров в скважинах, работа скважин, подача серной кислоты и т.д.

В тоже время, влиянию природных характеристик орудунения на процесс добычи уделяется недостаточно внимания.

В данной статье рассматривается влияние распределения содержания урана в рудном теле на несоответствие прогнозных расчетов и фактических результатов при добыче урана.

Исследования были проведены на основе геотехнологической инфор-мации одного из рудников, по 27 технологическим блокам с коэффициентом извлечения урана 90%. Анализ данных проводился с использованием метода корреляционного анализа.

Несоответствие прогнозных и фактических результатов по добыче урана

В практике работы рудников по добыче урана методом ПСВ несоответствие прогнозных расчетов и фактических показателей по вышелачиванию урана привело к появлению термина «проблемные блоки».

Проблемными стали называть технологические блоки, в которых при полном соблюдении требований к вскрытию руды, четком выполнении регламента по закислению и выщелачиванию производственные показатели по добыче урана имеют значения значительно хуже проектных. Добыча урана в таких блоках сопровождается быстрым уменьшением концентрации урана в ПР, низкими темпами добычи, увеличением объемов рабочих растворов и увеличением сроков отработки запасов.

Изучение вопроса проблемных технологических блоков показало, что возникающее несоответствие прогнозных расчетов и фактических показателей добычи урана связано с погрешностью вычисления основных плановых показателей выщелачивания урана из-за недостаточно обоснованного выбора параметра Ж/Т (или **f**).

В этой связи возникает вопрос о методе определения величины параметра **f** для сооруженного блока и последующего планирования показателей добычи урана на его основе.

Ниже будет рассмотрена взаимосвязь между параметром **f** и содержанием урана в блоке ($C_{ГРМ}$). По определению, содержание урана в блоке равно отношению вскрытых запасов урана Р на горнорудную массу блока $Q_{ГРМ}$. Вычисляют содержание по формуле (1):

$$C_{ГРМ} = \frac{P}{Q_{ГРМ} \times 10}, \% \quad (1)$$

где Р – вскрытые запасы урана в технологическом блоке, т;

$Q_{ГРМ}$ – горнорудная масса технологического блока, тыс. т.

Аналитическая зависимость параметра f от содержания урана $C_{ГРМ}$ в блоке

Для нахождения аналитического выражения между параметром **f** и содержанием урана в блоке $C_{ГРМ}$ преобразуем известное уравнение для вычисления коэффициента извлечения урана (2):

$$K_{изв} = \frac{Q_{ПР} \times C_{ср}}{P} \times 10^2 \ , \% \qquad (2)$$

где P – количество урана в блоке, т;
$K_{ИЗВ.}$ – коэффициент извлечения, %;
$Q_{ПР}$ – количество ПР, добытых из блока (ячейки, скважины) за определенный период времени, $м^3$;
Сср. – среднее содержание урана в ПР, $мг/дм^3$.

Умножим и поделим правую часть выражения (2) на $Q_{ГРМ}$ и плотность раствора $\rho_{р\text{-}р}$ и проведя преобразования получим искомую зависимость для параметра **f** в виде выражения (3):

$$f = \frac{K_{изв} \times C_{ГРМ} \times \rho_{р\text{-}р}}{C_{ср}} \times 10^2 \qquad (3)$$

где **f** – отношение Ж/Т;
$\rho_{п\text{-}р}$ – плотность раствора, $г/дм^3$.

Уравнение (3) указывает на сложную зависимость параметра **f** от коэффициента извлечения урана, содержания урана в блоке и средней концентрации урана в ПР. По уравнению (3) невозможно вычислить точное значение параметра **f** для сооруженного блока, так как неизвестна средняя концентрация урана в ПР на момент извлечения 90 % металла из блока.

Тем не менее полученное уравнение (3) указывает на возможное существование статистической зависимости параметра **f** от содержания урана в блоках с коэффициентом извлечения, равным 90 %.

Корреляционный анализ между параметрами f и содержаниями урана в блоках с коэффициентом извлечения 90 %

Для 27 технологических блоков с извлечением урана 90 % был определен коэффициент парной корреляции между $C_{ГРМ}$ и параметром **f**. Коэффициент имеет высокое значение равное 0,86, что указывает на значимую связь между двумя параметрами.

На рисунке 1 приведена корреляционная диаграмма зависимости параметров **f** от содержаний урана в блоках с коэффициентом извлечения 90%.

На диаграмме видно, что точки значений $C_{ГРМ}$ и **f** для блоков концентрируются в последовательность, имеющую тенденцию увеличения параметра **f** с увеличением значения содержания урана в блоке. Эта тенденция согласуется с формулой (3).

Для массива данных диаграммы построена линия тренда в виде степенной функции (черная пунктирная линия на рисунке 1). Уравнение линии тренда имеет вид (4):

$$\mathbf{f}_{90} = 29{,}423 \cdot (C_{ГРМ})^{0{,}5967} \qquad (R^2 = 0{,}7027) \qquad (4)$$

где $\mathbf{f}_{90}$ – значение параметра Ж/Т при коэффициенте извлечения 90 % урана из блока.

Как видно на диаграмме, точки располагаются внутри области неопределенности, ограниченной линиями значений меньше и больше величины тренда на 30 %.

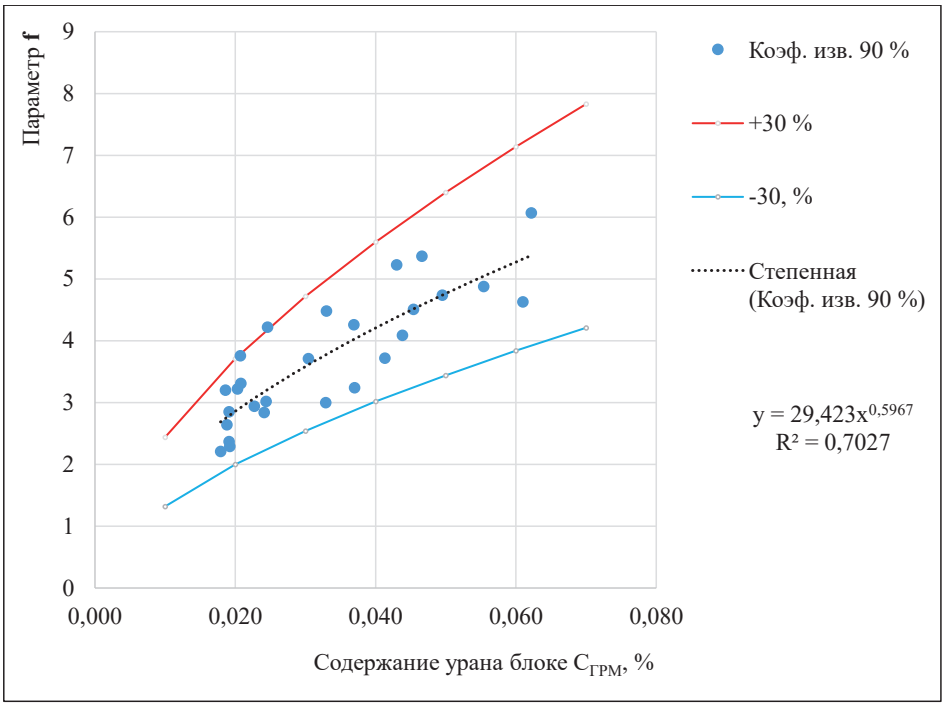


Рисунок 1 – Корреляционная диаграмма зависимости параметра **f** от содержаний урана в блоках с коэффициентом извлечения 90 %

Облако точек на диаграмме характеризуется не только возможными ошибками вычислений запасов урана и горнорудной массы, но также может быть связано с нарушением технологии добычи. В тоже время, характер распределения точек указывает на очень важную особенность взаимного влияния содержания урана в блоке на разброс значений параметра **f**. С увеличением значения $С_{ГРМ}$ увеличивается не только величина параметра **f**, но и интервал неопределенности. Можно предположить, что основная причина в таком распределении точек на диаграмме заключается в неравномерном распределении содержаний урана в рудном теле.

Таким образом, на основе корреляционного анализа получена зависимость параметра $\mathbf{f}_{90}$ ± 30 % от содержания урана в блоке на момент извлечения 90 %. Эта зависимость позволяет:

1) оценить параметр $\mathbf{f}_{90}$ ± 30 % по фактической величине запасов урана и горнорудной массы вскрытого блока;

2) использовать значения параметра $\mathbf{f}_{90}$ ± 30 % для повышения точности прогноза добычи урана на весь период работы технологических блоков.

Влияние распределения содержания урана в рудном интервале на процесс добычи методом ПСВ

Ранее было высказано предположение, что разброс точек на корреля-ционной диаграмме рисунка 1 относительно линии тренда можно объяснить влиянием распределения содержания урана в рудном теле.

Покажем это на примере рудного интервала, определенного методом КНД-м в скважине.

Метод КНД-м определяет в рудном интервале среднее содержание урана с шагом 0,10 м. Это позволяет рассматривать весь рудный интервал как сумму интервалов мощностью 0,10 м со значениями содержания урана, измеренных методом.

Тогда для скважины с площадью влияния, равной S, и рудным интервалом мощностью m можно записать следующие тождества для содержания урана в блоке $С_{ГРМ}$ (5):

$$C_{ГРМ} = \frac{P}{Q_{ГРМ} \times 10} = \frac{S \times m \times \rho_n \times 10 \times C}{S \times m \times \rho_n \times 10} = C \ , \% \qquad (5)$$

где P – запасы урана в области влияния скважины, кг;

ГРМ – горнорудная масса в области влияния скважины, тыс. т;

S – площадь влияния скважины, м^2;

m – мощность рудного интервала, м;

C – среднее содержание урана в руде, %;

p_n – объемная масса рудовмещающих пород и руд, т/м^3.

Как видно из приведенных тождеств, содержание урана СГРМ в блоке равно содержанию урана в рудном интервале. Это позволяет применить уравнение линии тренда (4) для оценки параметра f90 для любого значения содержания урана С в рудном интервале.

Рассмотрим рудный интервал, определенный методом КНД-м, в скважине. Параметры интервала: m=6,80 м; mC=1,1757 м%; C=0,173 %; средняя продуктивность рудного тела m_U=19,99 кг/м^2.

На рисунке 2 приводятся графики изменения содержания урана и расчетного значения параметра $\mathbf{f}_{90}$ по длине рудного интервала.

График распределения содержаний урана построен по данным КНД-м, а график изменения расчетного параметра $\mathbf{f}_{90}$ по результатам вычислений по уравнению линии тренда (4).

Как видно на графиках, распределение содержаний урана в рудном интервале крайне неравномерное, поэтому и параметр $\mathbf{f}_{90}$ изменяется в широких пределах. Максимальное значение $\mathbf{f}_{90}$=26,8 прогнозируется для интервала мощностью 10 см с максимальным содержанием урана 0,853 %.

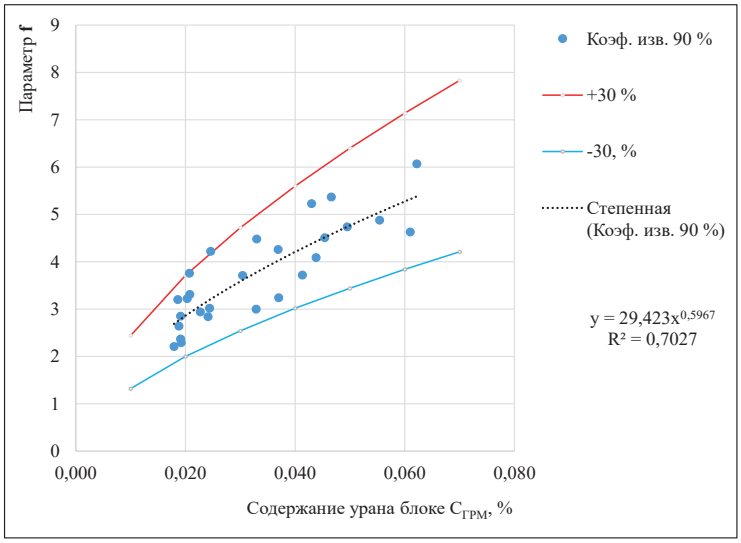


Рисунок 2 – Графики изменения содержания урана по данным КНД-м и расчетного параметра f90 по рудному интервалу скважины

Графики наглядно отображают неравномерность выщелачивания урана в рудном интервале и подтверждают правило: Чем выше содержание урана в руде, тем больше потребуется выщелачивающих растворов для достижения контрактной степени извлечения и тем больше будет параметр f90.

Вариант представления рудного интервала через содержания урана

Проведем сортировку по значениям содержаний урана в рассмотренном рудном интервале на рисунке 2. Затем проводим стандартный алгоритм вычисления средних параметров оруденения в следующем порядке:

1) Формируем выборки по содержаниям урана с шагом, равным 0,010 или 0,100 %, в зависимости от содержаний урана.

2) Для каждой выборки вычисляем суммарное значение мощности и метропроцента.

3) Вычисляем среднее содержание урана по выборкам делением полученного значения метропроцента на мощность.

В результате проведенных операций получаем таблицу 1, в которой отображается характер распределения запасов урана по содержаниям урана в рудном интервале.

Таблица 1 – Распределение линейных запасов урана и изменение расчетного значения параметра $\mathbf{f}_{90}$ в выборках по содержанию урана в рудном интервале

Интервал содержаний		m, м	КНД-м, С, %	КНД-м, mC, %	Доля от общих запасов, %	$\mathbf{f}_{90}$ расчет.
от	до					
0,016		0,1	0,016	0,0016	0,14	2,5
0,025		0,1	0,025	0,0025	0,21	3,3
0,030	0,038	0,9	0,034	0,0303	2,58	3,8

0,045	0,047	0,7	0,046	0,0323	2,74	4,6
0,050	0,057	0,2	0,054	0,0108	0,92	5,0
0,060	0,065	0,3	0,063	0,0188	1,60	5,4
0,071	0,073	0,3	0,072	0,0215	1,83	5,8
0,089		0,1	0,089	0,0089	0,76	6,6
0,100	0,191	2,5	0,152	0,3788	32,22	8,8
0,204	0,298	0,7	0,243	0,1700	14,46	11,5
0,308	0,369	0,3	0,332	0,0996	8,47	13,7
0,417	0,607	0,3	0,530	0,1593	13,55	17,8
0,772	0,788	0,2	0,780	0,1561	13,27	22,0
0,853		0,1	0,853	0,0853	7,25	23,1
	Итого	**6,8**	**0,173**	**1,1757**	**100,00**	**9,5**

Прежде всего обращает на себя внимание неравномерное распределение линейных запасов урана по содержаниям. На интервалы мощностью 0,60 м с содержанием урана от 0,417 до 0,853 % приходится треть от общих запасов урана – 34 % (выделено серым цветом), а параметр $\mathbf{f}_{90}$ для этих интервалов оценивается значениями от 17,8 до 23,1. Такое неравномерное распределение запасов приводит к существенным проблемам в процессе выщелачивания урана.

Необходимо отметить, что значение параметра $\mathbf{f}_{90}$, равное 9,5 по всему рудному интервалу, является наиболее вероятным для достижения 90 % извлечения урана в зоне влияния скважины.

Результаты, полученные в таблице 1, позволяют сделать следующие выводы:

1) С увеличением содержания урана в интервале выборки возрастает и величина параметра $\mathbf{f}_{90}$.

2) По мере отработки руд с малым значением параметра $\mathbf{f}_{90}$ дальнейшее выщелачивание будет сопровождаться существенным разбавлением ПР и снижением в них концентрации урана.

3) Наличие высоких содержаний урана при малой мощности рудного интервала можно считать негативным фактором для добычи урана методом ПСВ из-за большого значения параметра $\mathbf{f}_{90}$. Распределение содержания урана и параметра $\mathbf{f}_{90}$ в рудном интервале указывает на мало благоприятное качество руды для выщелачивания.

Таким образом, проблемы, возникающие при добыче урана при полном соблюдении производственного регламента по выщелачиванию, связаны в первую очередь с неравномерностью распределения содержаний урана в рудных телах. Особенно негативно сказывается на выщелачивание урана наличие руд малой мощности и с высоким содержанием урана.

Выводы

На основе проведенных исследований по влиянию распределения содержаний урана в руде на добычу урана методом ПСВ можно сделать следующие выводы:

1) Предложен метод оценки параметра $\mathbf{f}_{90}$ для прогнозных расчетов плановых показателей по факту вскрытия технологических блоков (ячеек).

2) На основе корреляционного анализа получено уравнение для оценки значения параметра $\mathbf{f}_{90}$ с точностью ±30 % в диапазоне содержаний урана в блоке от 0,018 до 0,062 %.

3) Показана применимость расчетов $\mathbf{f}_{90}$ для рудных интервалов.

4) На примере рудного интервала показано влияние неравномерного распределение содержаний урана на величину параметра $\mathbf{f}_{90}$. С увеличением содержания урана возрастает значение параметра.

5) По мере отработки руд с малым значением параметра $\mathbf{f}_{90}$ дальнейшее выщелачивание будет сопровождаться существенным разбавле-нием пластовыми водами продуктивных растворов и снижением в них концентрации урана.

6) Наличие высоких содержаний урана при малой мощности рудного интервала можно считать негативным фактором для добычи урана методом ПСВ из-за большого значения параметра $\mathbf{f}_{90}$.

7) Предложено объяснение по разбросу точек на корреляционной диаграмме, которое определяется распределением запасов урана по лито-фильтрационным типам рудного тела.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н. и др. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. – Астана, 2001.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА РАЗНЫХ ГОРИЗОНТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

Данилов А.А.[1], Грициенко А.С.[1], Бейсекеев Е. Ш. [2]., Редько А.В.[3], Третьяков С.Ю.[3], Маджара Е.О.[3], Тлеулина К.А.[3]
[1]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы
[2]АО «НАК «Казатомпром», Казахстан, г. Астана
ТОО «СП «Инкай», п. Тайконыр
a.danilov@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Научная статья посвящена анализу результатов проведенных лабораторных испытаний кернового материала ТОО «СП «Инкай». Первая цель проведения испытания – выбор оптимального горизонта для дальнейшего проведения опытно-промышленных испытаний непосредственно на технологическом блоке. Вторая цель – подобрать оптимальную концентрацию перекиси водорода для дальнейшего выщелачивания урана. Проведены лабораторные испытания кернового материала как в статическом, так и динамическом режиме. Результаты научных исследований позволили оценить возможность экономии кислоты при применении пероксида для каждого из трех горизонтов индивидуально и выбрать оптимальный. В статье также рассмотрена возможность ускорения процесса выщелачивания при применении бросовых растворов отработанного блока или маточников сорбции. Перспективы использования перекиси водорода – более быстрая отработка блоков, экономия кислоты, электроэнергии, сокращение объемов переработки ПР.

Ключевые слова: кислотоемкость, керновый материал, статический и динамичесий анализы, инкудукский и мынкудукский горизонты, пероксид водорода, маточники сорбции, подземное скважинное выщелачивание (далее ПСВ), Дочерняя Зависимая Организация (ДЗО).

LABORATORY TESTING OF CORE MATERIAL OF DIFFERENT HORIZONS OF THE INKAI DEPOSIT USING HYDROGEN PEROXIDE

Danilov A.A.[1], Gritsienko A.S.[1], Beisekeev E.Sh. [2]., Redko A.V.[3], Tretyakov S.Y.[3], Madjara E.O.[3], Tleulina K.A.3[3]
[2]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty
[2]NAC Kazatomprom JSC, Kazakhstan, Astana
[3]LLP «JV «Inkai», Taikonyr

Abstract. The scientific article is devoted to analysis of laboratory test results of core material of JV Inkai LLP. The first purpose of the test is to select optimal horizon for further pilot testing directly on the technological unit. The second goal is to select optimal concentration of hydrogen peroxide for further leaching of uranium. Laboratory tests of core material were carried out in both static and dynamic modes. The results of scientific research made it possible to evaluate the possibility of saving acid when using peroxide for each of the three horizons individually and choose the optimal one. The article also considers the possibility of accelerating leaching process when using waste solutions of a spent block or mother solution. Prospects for the use of hydrogen peroxide – faster processing of blocks, saving acid, electricity, reducing volume of processing.

Key words: acid capacity, core material, static and dynamic analyses, Inkuduk and mynkuduk horizons, hydrogen peroxide, mother solution, in situ leaching (hereinafter – ISL), Subsidiary Dependent Organization (SD).

Применение окислителей при ПСВ урана является одним из лучших способов интенсификации данного процесса. Многие ДЗО АО «НАК «Казатомпром» и, ТОО «ИВТ» в частности, проводили ряд работ по подбору и использованию окислителей. К сожалению, за исключением ТОО «Семизбай-U» окислители в производстве на ДЗО нигде не внедрены. На сегодняшний день работы по применению окислителей и, в частности, пероксида водорода, опять стали очень актуальными в связи с возникшим в Республике Казахстан дефицитом серной кислоты.

ТОО «ИВТ» совместно с ТОО «СП «Инкай» заключили Договор о проведении НИР по применению перекиси водорода при ПСВ урана с целью экономии кислоты и интенсификации работы технологических блоков. Работы были разделены на 4 этапа, их состав можно увидеть на Рис. 1.

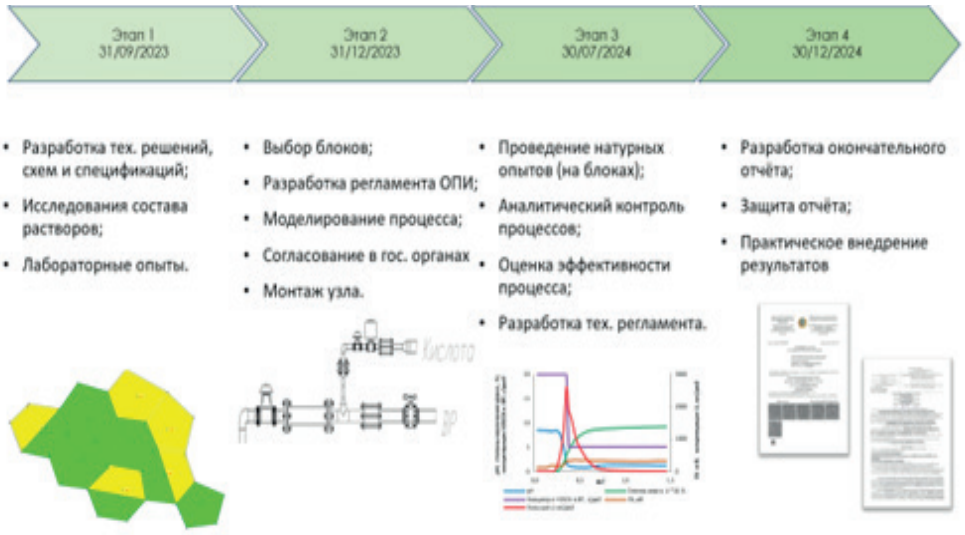


Рисунок 1 – Состав проекта

После заключения Договора ТОО «ИВТ» провел анализ литературы, касающейся научно-исследовательских работ и промышленного применения перекиси. Рассмотрен опыт применения H_2O_2 на 7 отечественных и 2-х зарубежных предприятиях.

После согласования с ТОО «ИВТ» точек бурения, было пробурено 4 эксплуатационно-разведочных скважины с керном, которые позволили получить керновый материал в достаточном для проведения опытов количестве по 3 основным горизонтам рудника ТОО «СП «Инкай»:

Мынкудук (далее mk1);

Нижний Инкудук (далее in1);

Средний Инкудук (далее in2).

Для примера на рисунке 2 приведен разрез со скважины 211-445-0-1ERt, которая прошла все три горизонта.

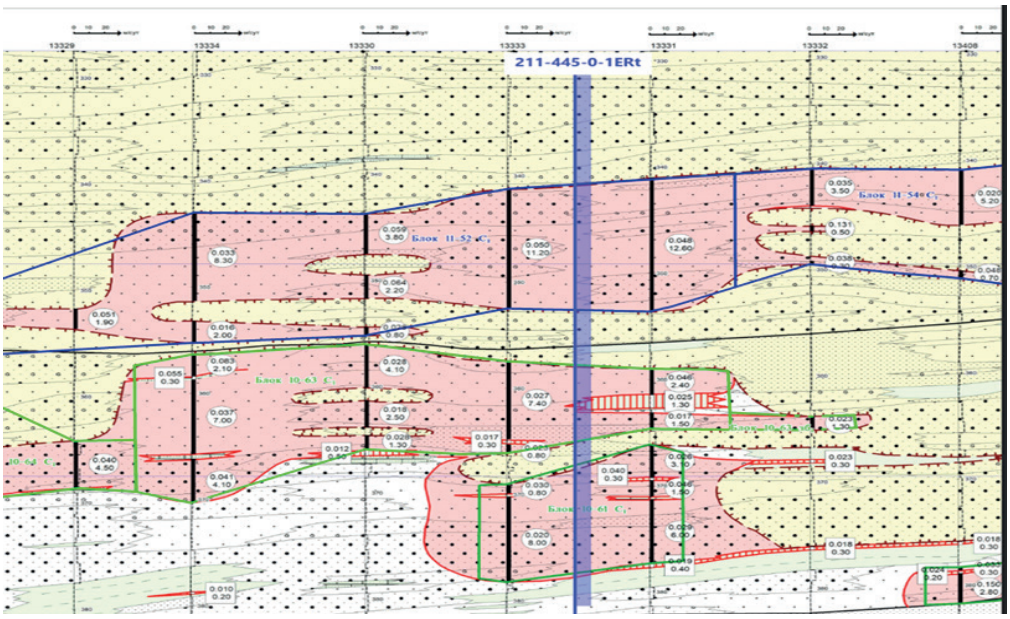


Рисунок 2 – Геотехнологический разрез по профилю 226 со скважиной 211-445-0-1ERt

Выход по керну составил более 75%. Было отобрано 23 технологических пробы.

Химический, физический, гранулометрический анализы технологических проб выполнялись на базе химико-аналитической лаборатории ЛИАМ ТОО «ИВТ». Из полученного материала было составлено 3 технологических пробы (с различных горизонтов – in1, in2, mk1).

В общей сложности было проведено 42 опыта в статическом режиме и 6 опытов в динамическом режиме (на трубках). Опыты по выщелачиванию в статическом режиме проводились не в конических

колбах, а в закрытых флаконах с минимальным воздушным пространством над пульпой. Время агитации – 2 часа. При большем времени агитации (более 2 часов), извлечение урана по технологическим пробам 1Т, 2Т, 3Т было бы одинаковым. Поэтому была поставлена задача не максимально извлечь уран, а показать преимущества применения выщелачивающего раствора определенной концентрации и оптимальных удельных расходов на извлечение урана.

Раствор ПР отфильтровывался от кека и анализировался на содержание в нем урана, алюминия, кальция, железа общего, магния, кремния, остаточной серной кислоты, pH, Eh.

Степень извлечения урана рассчитывалась по первоначальному содержанию урана в пробе и по концентрации урана в продуктивном растворе (фильтрате) после выщелачивания.

Результаты опытов на пластовой воде показали наличие в технологических пробах незначительного количества окисленного урана:

1Т-1в (mk1) – 5,5 %;

2Т-1в (in1)– 4,0 %;

3Т-1в (in2)– 7,9 %.

Основные результаты проведенных опытов показаны в табл. 1 и на рис. 3, 4, 5.

Таблица 1 – Основные результаты проведения испытаний в статическом режиме.

	№п/п		На начало опыта eh,mV	pH	На конец опыта eh,mV	Al	Ca	Fe	Mg	Si	U, мг/л	% извлеч урана	перекиси, мл
Т1 (МК1)	1	1-0		8,15	272	0,141	131,472	0,143	43,866	4,653	27,335	5,53	
	2	1-1		0,76	442	104,527	631,856	270,563	149,353	78,803	394,851	79,87	
	3	1-2		1,03	427	79,042	629,645	187,933	139,732	65,156	381,597	73,15	
	4	2-1	540	0,75	463	89,936	686,876	182,256	149,313	70,995	375,813	76,02	0,015
	5	2-2	567	0,75	468	87,830	667,494	186,399	144,884	70,730	361,980	73,22	0,03
	6	2-3	539	1,05	427	73,284	636,789	180,495	137,485	60,183	352,370	71,28	0,01
	7	2-4	545	1,04	463	70,941	662,558	135,304	136,551	57,854	371,105	75,07	0,02
	8	3-0		3,96	302	69,147	480,635	200,301	792,928	32,814	147,892	29,92	
	9	3-1		0,79	445	434,449	596,424	1 052,932	836,235	112,844	361,400	73,11	
	10	3-2		0,78	435	447,992	631,849	1 117,466	865,762	109,995	364,008	73,63	
	11	4-1	521	0,79	490	420,301	627,625	1 007,341	835,199	103,419	391,526	79,20	0,02
	12	4-2	556	0,80	454	435,692	619,718	1 186,971	857,938	107,131	384,183	77,71	0,04
	13	4-3	535	1,09	478	431,462	600,068	1 018,529	870,285	98,391	366,245	74,09	0,025
	14	4-4	590	1,09	450	436,581	592,489	1 184,617	874,834	98,922	361,723	73,17	0,05
Т2 (ИНК1)	15	5-0		7,48	350	0,137	161,159	0,361	53,203	4,682	16,259	4,02	
	16	5-1		0,67	446	105,507	436,625	154,667	110,347	72,453	313,184	77,51	
	17	5-2		0,90	448	94,782	449,076	131,881	106,522	66,226	319,708	79,12	
	18	6-1	540	0,68	494	96,359	460,555	128,062	108,299	58,971	329,186	81,47	0,015
	19	6-2	570	0,68	503	100,630	446,827	135,854	107,499	68,912	332,536	82,29	0,03
	20	6-3	539	0,92	478	89,271	436,531	124,782	103,637	62,358	325,066	80,45	0,01
	21	6-4	560	0,92	431	87,465	429,277	190,681	101,659	61,468	317,450	78,56	0,02
	22	7-0		2,70	421	386,045	553,516	511,662	799,333	66,401	305,686	75,65	
	23	7-1		0,68	454	445,725	630,851	985,057	814,841	98,280	312,989	77,46	
	24	7-2		0,92	450	453,476	588,171	1 011,895	846,327	92,502	316,649	78,36	
	25	8-1	536	0,68	493	461,941	621,620	1 044,544	834,851	100,923	329,132	81,45	0,02
	26	8-2	577	0,70	523	446,556	607,885	981,994	810,220	100,407	327,941	81,16	0,04
	27	8-3	540	0,94	442	469,372	591,214	1 274,093	871,055	97,976	321,932	79,67	0,01
	28	8-4	546	0,94	484	468,341	596,775	1 090,722	862,498	95,145	320,329	79,27	0,02
Т3 (ИНК2)	29	9-0		8,01	315	0,872	155,372	2,164	51,588	7,766	28,421	7,93	
	30	9-1		0,67	416	91,752	432,328	150,036	122,754	71,685	243,507	67,90	
	31	9-2		0,89	424	97,296	435,749	135,620	127,772	84,549	259,063	72,24	
	32	10-1	532	0,67	412	91,423	437,117	175,654	123,638	70,913	263,566	73,50	0,015
	33	10-2	562	0,68	458	94,119	432,226	115,029	121,872	73,419	281,634	78,54	0,03
	34	10-3	540	0,90	487	78,650	418,940	90,669	118,499	64,941	260,489	72,64	0,015
	35	10-4	565	0,90	421	76,101	422,900	159,454	117,243	61,745	265,900	74,15	0,03
	36	11-0		2,79	425	379,067	531,256	543,926	790,533	67,470	228,617	63,75	
	37	11-1		0,71	453	436,838	615,929	937,841	827,325	103,765	243,494	67,90	
	38	11-2		0,93	397	461,956	599,616	1 149,270	889,789	103,490	260,967	72,77	
	39	12-1	527	0,73	496	433,813	630,636	979,621	841,600	122,179	275,059	76,70	0,02
	40	12-2	585	0,73	435	456,913	629,187	1 204,452	834,408	121,871	265,046	73,91	0,04
	41	12-3	520	0,93	497	457,720	619,441	995,869	878,820	101,395	267,390	74,56	0,02
	42	12-4	588	0,95	443	503,146	616,273	1 189,565	903,696	107,158	266,424	74,29	0,04

где

холостые опыты, 1-0, 5-0 и 9-0 на пластовой воде, 3-0, 7-0 и 11 -0 на МС

25 г/л кисоты
15 г/л кислоты
25 г/л кисоты + х H2O2
25 г/л кисоты+2х H2O2
15 г/л кислоты+х H2O2
15 г/л кислоты+2х H2O2

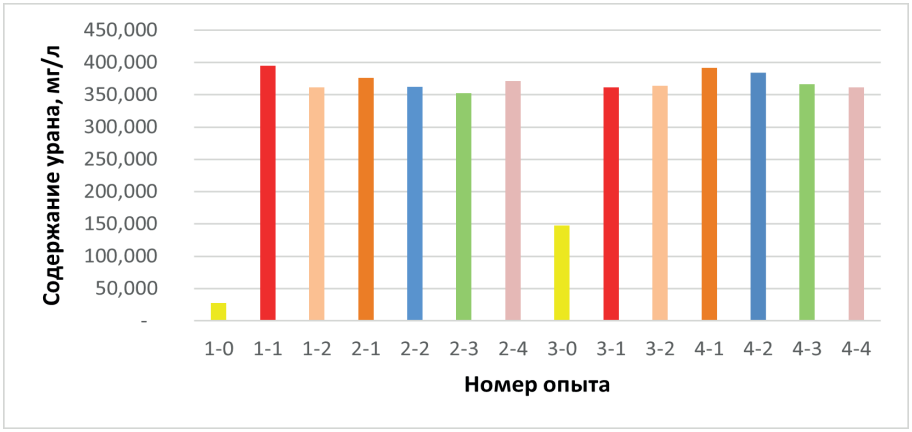


Рисунок 3 – Содержание U, проба Т1, мг/л

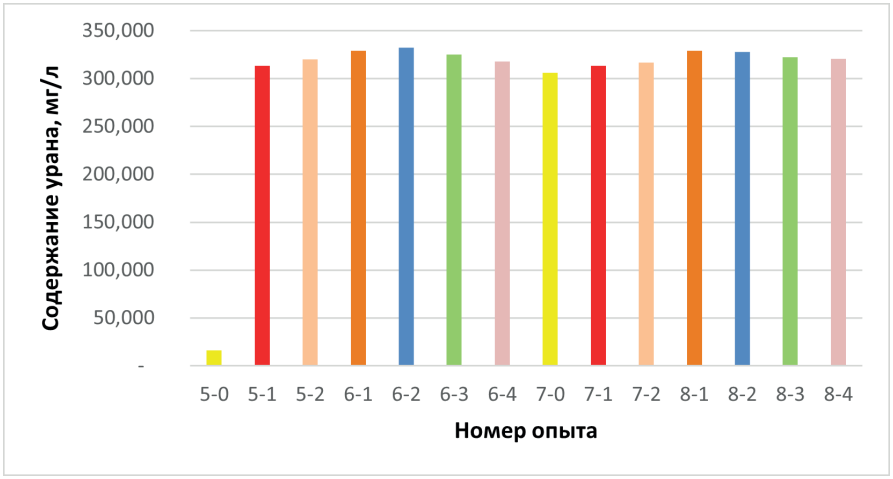


Рисунок 4 – Содержание U, проба Т2, мг/л

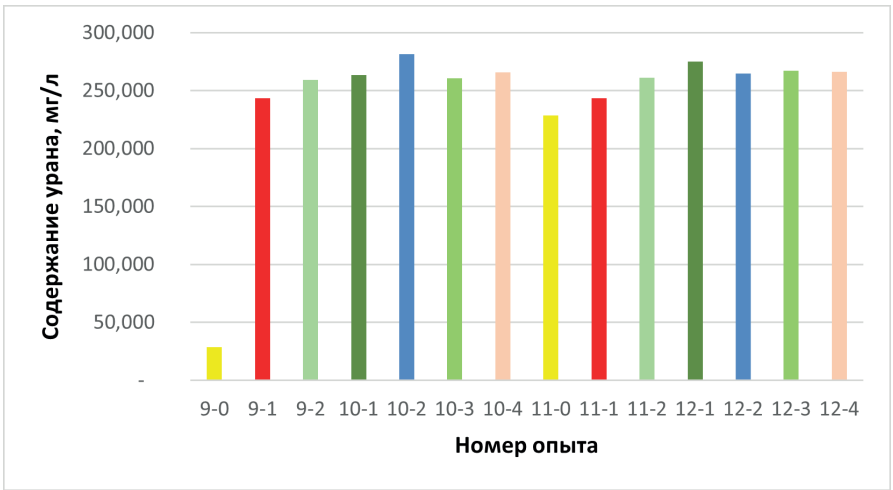


Рисунок 5 – Содержание U, проба Т3, мг/л

Из представленной информации, по сумме статических методов анализа были сделаны следующие выводы:

1. ***Видно значительное улучшение при использовании в качестве исходного ВР маточников по сравнению с пластовой водой при проведении «холостых опытов. 5-7% извлечения урана для пластовой воды и 27-30% для МС.***

2. Повышение кислотности незначительно увеличивает содержание урана и процент извлечения в раствор, но при этом сильно падает pH, что говорит о большом излишке кислоты и возрастают удельные расходы кислоты.

3. Увеличение концентрации перекиси вдвое, согласно программе испытаний, не дает значительного увеличения ОВП, а также большого роста урана.

4. Исходя из вышесказанного было согласовано проводить опыт на трубках с кислотностью 15 г/л, и подачей перекиси 80% от стехиометрии к Fe^{2+} в растворе.

5. Учитывая результаты выщелачивания в статическом режиме и ограниченное количество керна был согласован следующий вариант на каждый керн/горизонт:

трубки 1, 3, 5 – отмывка пластовой водой от окисленного урана и выщелачивание ВР – МС + 15 г/л H_2SO_4;

трубки 2, 4, 6: отмывка пластовой водой от окисленного урана и выщелачивание ВР – МС + 15 г/л H_2SO_4 + H_2O_2 из расчета 80% от стехиометрического количества Fe^{2+}.

На основании результатов статических анализов были проведены динамические. По каждой технологической пробе проведены два опыта с различным режимом подачи ВР:

с серной кислотой 14,9 г/дм3.

с серной кислотой 14,9 г/дм3 + 0,143 г/дм3 перекиси водорода.

Если на стадии отмывки использовалась пластовая вода, то на стадии выщелачивания по результатам статики и по согласованию с Заказчиком для приготовления ВР использовали маточники сорбции.

После удаления окисленного урана на стадии отмывки водой уран в расчетах с баланса не снимали для правильной оценки как общего извлечения, так извлечения при выщелачивании.

Ниже представлены ряд сравнительных графиков на основании проделанных динамических испытаний (см. рис.6, 7, 8, 9, 10, 11, Табл.2).

Рисунок 6 – Степень извлечения урана на стадии выщелачивания только кислотой. Проба 1Т, 2Т, 3Т

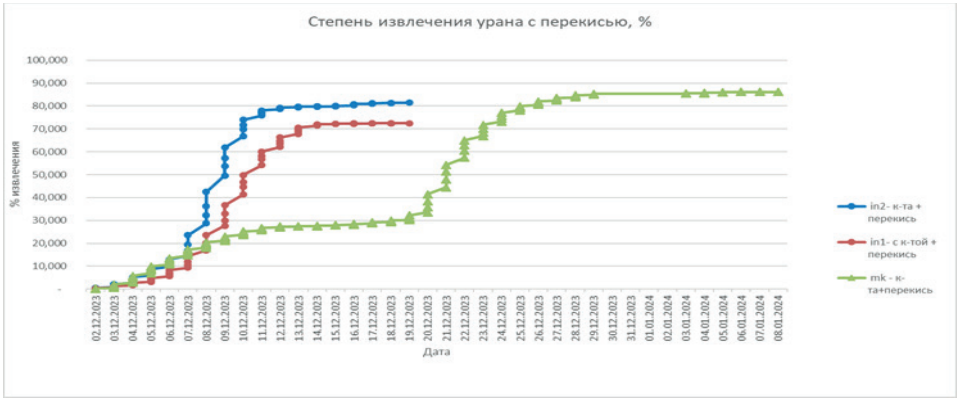


Рисунок 7 – Степень извлечения урана на стадии выщелачивания перекисью и кислотой. Проба 1Т, 2Т, 3Т.

Рисунок 8 – Содержание урана в зависимости от времени выщелачивания. Пробы 1Т, 2Т и 3Т.

Рисунок 9 – Изменение расхода кислоты на 1 кг урана от времени выщелачивания. Пробы 1Т, 2Т, 3Т.

Таблица 2 – Расход кислоты, кг/кг урана, при извлечении 90%.

Горизонт	Расход кислоты, кг/кг урана	% экономии
in2- к-та + перекись	15,0	27,8
in2- к-та	20,7	
in1- с к-той + перекис	20,6	22,8
in1- с к-той	26,7	
mk - к-та+перекись	24,2	9,5
mk - к-та	26,7	

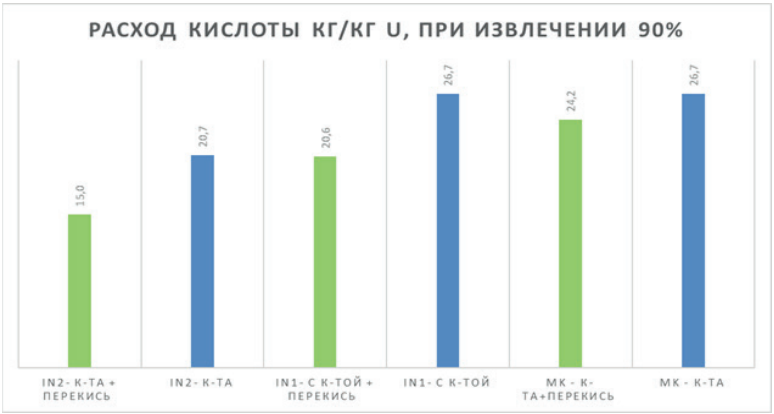


Рисунок 10 – Расход кислоты, кг/кг урана, при извлечении 90%.
Пробы 1Т, 2Т, 3Т.

Рисунок 11 – Зависимость степени извлечения урана от времени.
Пробы 1Т, 2Т, 3Т.

На основании всего комплекса лабораторных исследований были сделаны следующие выводы, которые будут использованы при проведении опытно-промышленных испытаний на блоке:

1. Проведенные работы показали эффективность применения H_2O_2 как в статическом, так и в динамическом режиме.
2. Экспериментальный блок желательно выбирать не в восстановленной, а в окисленной зоне во избежание излишних затрат дорогостоящего пероксида водорода.
3. Для получения положительных результатов и отработки режимов работы требуется обеспечить подачу перекиси в течении не менее 3 месяцев, а желательно 6-8 месяцев.
4. В качестве экспериментального нами рекомендуется горизонт in2, на котором H2O2 дал наибольший эффект по выщелачиванию урана при проведении опыта на трубках. In1 также перспективен с точки зрения экономии кислоты.
5. 6. В лабораторных условиях получена экономия по кислоте от 27,8 до 9,5%, в первую очередь за счет сокращения Ж/Т и времени выщелачивания, при проведении полевых испытанияй эффект будет, по мнению специалистов ТОО «ИВТ, меньше, но должен достигать 10-15%.
7. При проведении испытаний отмечено увеличение процента извлечения урана при использовании перекиси, что дает возможность повысить этот показатель на блоке в полевых условиях ориентировочно на 5%.
8. Планируемый окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) выщелачивающего раствора при активном выщелачивании, после подачи пероксида водорода, должен составлять 500-550 мВ.
9. Кольматационные явления отмечены на начальной стадии на всех трубках, особенно ярко выражены на горизонте mk. Это связано, в первую очередь, с вещественным составом этого горизонта, который выделяется более высокой кислотоемкостью не только на Инкае, но и на других месторождениях. При этом сегодня сложно дать оценку, какое влияние на кольматацию оказывают маточники сорбции. Мы считаем, что МС уже насыщены солями HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+} и т.д., переход их из твердой фазы в ПР будет затруднен и, как следствие, кольматационные явления замедлятся. Но данное утверждение следует проверять как в лабораторных, так и в полевых условиях.
10. При проведении опытов на трубках, перекись дала положительный эффект на всех горизонтах. Наиболее низким этот показатель был зафиксирован на горизонте mk, что опять напрямую связано с вещественным составом этого горизонта. Проба Т3 (in1) имеет более высокую карбонатность, чем проба Т1(mk), но при этом более низкий процент алеврит-глин (см. раздел Характеристика исследуемых проб), а расход кислоты и время выщелачивания ниже. Более высокая кислотоемкость (и вообще расход любого окислителя) связана здесь не с карбонатами, а с алеврит-глинистой составляющей и большим количеством слюд. Специалисты ТОО «ИВТ» считают, что в долгосрочной перспективе работы с перекисью на горизонте mk тоже актуальны, но до проведения опытных-промышленных работ, отработки режимов и времени подачи перекиси проводить здесь испытания не стоит.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Временная технологическая инструкция использования пероксида водорода при ПСВ урана на участке №1 месторождения «Инкай». 2008 г., ТОО «ИВТ.
2. Отчет о НИР по теме: «О результатах геотехнологических исследований опытно-промышленной добычи урана способом

ПСВ из руд месторождения Семизбай за период с 1984 по 1989 годы» ВНИИ Химической технологии, опорная научно-исследовательская станция. Степногорск, 1989 г.

3. Каневский Е.А. Физико-химические основы выщелачивания урана из руд (Диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук). – М., 1964.

4. Савченко Г.А. и др. Типовая инструкция по геотехнологии добычи урана на месторождениях, отрабатываемых методом СПВ. 2002 г., Разработано РУМЦ «Геотехнология».

5. Садыков Р.Х. Подземное выщелачивание урана за рубежом. Растворители и окислители при ПВ урана и средства подачи газообразных окислителей в пласт. – Инф. Вып. №79. – М., ЦНИИАтоминформ. – 1986 г.

6. Филиппов А.П., Нестеров Ю.В. Редокс процессы и интенсификация выщелачивания урана. – М., 2009.

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИТРИТА НАТРИЯ И ОЗОНА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Данилов А.А.[1], Абрамухин П.И.[1], Мырзакулов Н. Д.[1], Карпенко В. Ю. [1], Ешманов Б. А.[2].
[1]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы
[2]ТОО «ДП «ОРТАЛЫК», Казахстан, с. Созак
a.danilov@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Научная статья посвящена анализу результатов проведения опытно-промышленных испытаний по применению нитрита натрия и озона в качестве окислителей при подземном скважинном выщелачивании урана на руднике Центральный Мынкудук. Испытания проводились с использованием установки активации выщелачивающих растворов (далее УАВР), разработанной ТОО «ИВТ» совместно с НАК «Казатомпром». В ходе испытаний было использовано три режима подачи окислителей с целью получения оптимальных технико-экономических показателей. В ходе эксперимента технологический блок был поделен в крест простирания пополам на контрольный блок (без подачи окислителя) и на экспериментальный блок (с подачей окислителя). При этом кислотность на обоих блоках была одинаковой. В процессе опытно-промышленных испытаний были получены интересные результаты. На контрольном блоке из-за дефицита кислоты наблюдалось стабильное падение содержания урана в продуктивном растворе, тогда как на экспериментальном с помощью окислителей удалось добиться при той же кислотности сначала стабилизации содержания урана, а потом и роста. Результаты научных исследований позволили доказать как целесообразность использования окислителей, так и необходимость подачи нитрита натрия только совместно с озоном. Перспективы использования данных окислителей – возможность стабилизировать содержание урана в продуктивном растворе при дефиците серной кислоты, либо интенсифицировать процесс отработки блока при удержании требуемой кислотности.

Ключевые слова: окислительно-восстановительный потенциал, кислотоёмкость, окислители, нитрит натрия, озон, выщелачивающий раствор, маточники сорбции, интенсификация.

CONDUCTING PILOT TESTS USING SODIUM NITRITE AND OZONE DURING LEACHING

Danilov A.A.[1], Abramukhin P.I.[1], Myrzakulov N.D.[1], Karpenko V.Y.[1], Eshmanov B.A.[2].
[1]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty
[2] LLP “DP “ORTALYK”, Kazakhstan, Sozak

Abstract. The The scientific article is devoted to the analysis of the results of pilot tests on the use of sodium nitrite and ozone as oxidizing agents in underground borehole leaching of uranium at the Central Mynkuduk mine. The tests were carried out using a leach solution activation unit developed by IVT LLP together with NAC Kazatomprom. During the tests, three modes of supply of oxidizers were used in order to obtain optimal technical and economic indicators. During the experiment, the technological block was divided in half into a control block (without oxidizer supply) and an experimental block (with oxidizer supply).

Moreover, the acidity on both blocks was the same. During pilot tests, interesting results were obtained. On the control block, due to acid deficiency, a stable drop in the uranium content in the productive solution was observed, while on the experimental block, with the help of oxidants, it was possible to achieve, at the same acidity, first stabilization of the uranium content, and then an increase. The results of scientific research made it possible to prove both the feasibility of using oxidizing agents and the need to supply sodium nitrite only together with ozone. The prospects for using these oxidizers are the ability to stabilize the uranium content in the productive solution when there is a deficiency of sulfuric acid, or to intensify the process of block mining while maintaining the required acidity.

Key words: redox potential, acid capacity, oxidizing agents, sodium nitrite, ozone, leaching solution, sorption mother liquors, intensification.

Проведенные в 2016-2017 гг. ТОО «ИВТ» исследования технологии кавитационно-струйной активации выщелачивающих растворов нитритом натрия в сочетании с озоном позволили установить, что подобная обработка позволяет повысить окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) выщелачивающих растворов (ВР), увеличить эффективность извлечения урана и снизить расход кислоты на выщелачивание.

Для проверки и подтверждения результатов опытно-промышленных испытаний разработанной ТОО «ИВТ» технологии и установки было принято решение провести опытно-промышленные испытания на руднике Центральный Мынкудук ТОО ДП Орталык.

Опытно-промышленные испытания были проведены на руднике Центральный Мынкудук, согласно

согласованной со специалистами ТОО «ДП «Орталык» Программы опытно-промышленных испытаний Установки и технологии активации ВР химическими реагентами специального назначения.

В качестве объекта для проведения ОПИ выбран действующий технологический блок №10-69-2. Блок был разделен пополам на контрольный (т.е. работающий в стандартном режиме) и экспериментальный (т.е. на который подавался ВР доукрепленный нитритом натрия) блока. УАВР была подключена к основным технологическим коммуникациям данного блока в соответствии со всеми требованиями техники безопасности.

Рисунок 1 – Точки подключения опытно промышленной УАВР к технологическим коммуникациям.

Рисунок 2 – Общий вид опытно-промышленной мобильной установки активации выщелачивающих растворов.

Опытно-промышленные испытания осуществлялся в период с 15.09.2023 по 22.12.2023. Параллельно осуществлялся мониторинг работы как контрольного, так и экспериментального блока. Наблюдения за изменением параметров проводилось и после закрытия Договора, вплоть до начала февраля 2024 года.

Рисунок 3 – Общий вид установленных баков.

Рисунок 4 – Общий вид установленного озонатора.

Общая длительность проведения опытно-промышленных испытаний и соответственно эксплуатация пилотной установки составила 100 календарных дней. За это время потребление нитрита натрия достигло 15 000 кг, количество выщелачивающего раствора прошедшего (активированного) через установку превысило 10838,3 м3. Суммарный объем выщелачивающих растворов с измененными редокс-свойствами (после смешения активированного раствора с ВР), закачанными в блок № 10-69-2 за весь период составил более 98,5 тыс. м3.

Было отработано 3 режима подачи нитрита натрия. Сроки отработки режимов работы и основные параметры активации выщелачивающих растворов приведены ниже:

1. Подача нитрита натрия (50% от стехиометрии к среднему содержанию Fe2+) с 15.09.2023 по 30.09.2023 г.
2. Подача нитрита натрия (100% от стехиометрии к среднему содержанию Fe2+) с 30.10.2023 по 17.11.2023 г.
3. Подача нитрита натрия (100% от стехиометрии к среднему содержанию Fe2+) с озоном, с 17.11.2023 по 22.12.2023 г.

Подача нитрита натрия по режимам 1 и 2 не привело к увеличению ОВП, тогда как подача озона по режиму 3 привело к росту ОВП в среднем на 20%. Следует отметить, что выщелачивающие растворы анализируемых блоков характеризуются изначально достаточно высоким значением данного показателя, средняя величина Eh закачных растворов находится на уровне 415-430 мВ, что свидетельствует о большей окислительной способности геотехнологической системы.

За время проведения эксперимента, к сожалению, ощущался дефицит кислоты, что привело к снижению среднего содержания по урану как на экспериментальном, так и контрольном блоках (См. Рис. 5, 6).

Рисунок 5 – Основные параметры работы контрольного блока.

Экспериментальный блок был более бедным изначально по продуктивности, но за счет подачи активированного ВР работа его стабилизировалась и в конце наблюдается незначительный рост содержания по урану (См. Рис. 6). Наблюдения были продолжены до 2.02.2024 года, т.е. 6 недель после завершения опыта.

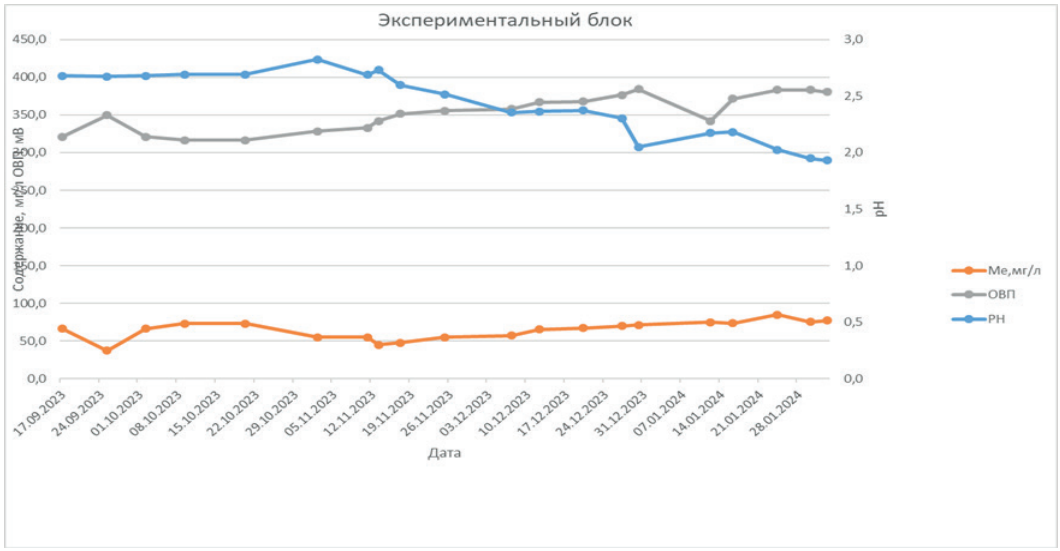


Рисунок 6 – Основные параметры работы экспериментального блока.

На основании проведенных работ можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение концентрации нитрита натрия вдвое (с 50 до 100% от стехиометрии к среднему содержанию Fe2+) не дала положительных результатов. Учитывая это, в дальнейшем при проведении похожих ОПИ рекомендуется отработка режимов с подачей нитрита натрия в диапазоне 50-80 % от стехиометрии к среднему содержанию Fe2+ для экономии реагента.
2. Подача нитрита натрия приводит к снижению pH активирующего раствора.
3. Подача озона одновременно с нитритом натрия привела к резкому росту ОВП примерно на 20%.
4. После подачи озона одновременно с нитритом натрия на экспериментальном блоке наблюдается стабилизация и медленный рост содержания урана несмотря на дефицит кислоты, тогда как на контрольном блоке наблюдается его падение.
5. В виду значительной инертности реакции блока на подачу реагента наблюдения за экспериментальным и контрольным блоками проводились до 02.02.2024 года, и сделанные в декабре выводы полностью подтвердились.

Можно уверенно сказать, что данный методический подход к проведению опытно-промышленного испытания полностью оправдал себя, дав возможность с высокой вероятностью оценить эффективность применения окислителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о НИР по теме: «Разработка технологии малокислотного выщелачивания с применением кавитационно-струйных технологий в сочетании с химическими реагентами специального назначения (промышленные испытания)» (Этап 2). Алматы, 2021.
2. Отчет о НИР по теме: «Исследования целесообразности использования окислителя на различных этапах процесса ПСВ урана на месторождении «Заречное». Алматы, 2011.
3. Отчет о лабораторных исследованиях технологических параметров руды месторождения «Мынкудук» Участок Центральный ТОО «ДП Орталык». Алматы, 2021.
3. ГОСТ 19906-74 Нитрит натрия технический. Технические условия.
4. Филиппов А.П., Нестеров Ю.В. Редокс процессы и интенсификация выщелачивания урана. – М., 2009.
5. Садыков Р.Х. «Подземное выщелачивание урана за рубежом. Растворители и окислители при ПВ урана и средства подачи газообразных окислителей в пласт» Инф. Вып. №79. М., ЦНИИАтоминформ, 1986 г.
6. Пастухов А.М. Применение искусственных окислителей для интенсификации процесса подземного выщелачивания урана: заключительный отчет о НИР / УрФУ. Екатеринбург, 2013.
7. Колтунов В.С., Марченко В.И. Кинетика окисления U(IV) азотистой кислотой, катализируемого ионами трехвалентного железа. Радиохимия. – 1973. – Т.15. – № 1.

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРОСОВЫХ РАСТВОРОВ ОТРАБОТАННЫХ БЛОКОВ

Данилов А.А.[1], Абрамухин П.И.[1], Жансугуров Д.О[2]., Кигай С.Р.[3], Волков Ю.А.[3], Тимаков А.С.[4].
[1]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы
[2]ТОО «СП «Буденовское», Казахстан, с. Сарыжаз
[3]ТОО «АППАК», Казахстан, с. Каракур
[4]ТОО «Kazakhmys Smelting», г. Жезказган
a.danilov@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Научная статья посвящена анализу результатов проведенных опытно-промышленных испытаний на руднике ТОО «АППАК» по использованию бросовых растворов отработанных блоков при закислении новых. Особое внимание уделено изменению геотехнологической обстановки на отработанном блоке и рекультивации его водоносного горизонта. Проведены, как лабораторные испытания кернового материала, так и опытно-промышленные испытания на двух парах блоков (отработанный-новый) разных рудных горизонтов. Результаты научных исследований позволили оценить положительное влияние бросовых растворов в качестве дополнительного окислителя, позволяющего сократить время ввода геотехнологического блока в эксплуатацию. В статье также рассмотрено ускорение рекультивации отработанного водоносного горизонта за счет принудительного замещения кислых урансодержащих растворов на пластовые воды. Перспективы использования очевидны – ускорение ввода блоков в добычу и более быстрая его отработка, экономия кислоты, электроэнергии, возможность проводить рекультивацию водоносного горизонта до завершения эксплуатации рудника при минимальных затратах, а также доизвлечение урана.

Ключевые слова: рекультивация водного горизонта, отработанный блок, бросовые растворы, продуктивные растворы (ПР), выщелачивающие растворы (ВР), довыщелачивание урана, кислотоёмкость, керновый материал, алевритоглинистый класс, стадия доработки блока.

RECLAMATION OF AQUIFERS AND INTENSIFICATION OF URANIUM MINING BY THE PSV METHOD THROUGH THE USE OF WASTE SOLUTIONS OF SPENT BLOCKS

Danilov A.A.[1], Abramukhin P.I.[1], Zhansugurov D.O.[2]., Kigay S.R.[3], Volkov Y.A.[3], Timakov A.S.[4].
[1]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty
[2] LLP “JV “Budenovskoye”, Kazakhstan, Saryzhaz
[3] APPAK LLP, Kazakhstan, Karakur
[4]Kazakhmys Smelting LLP, Zhezkazgan

Abstract. The scientific article is devoted to the analysis of the results of pilot tests carried out at APPAK LLP on the use of waste solutions of used blocks during the acidification of new ones. Particular attention is paid to changing the geotechnological situation in the depleted block and reclamation of its aquifer. Both laboratory tests of core material and pilot industrial tests were carried out on two pairs of blocks (used-new) of different horizons. The results of scientific research made it possible to evaluate the positive effect of waste solutions as an additional oxidizer, which allows reducing the time for putting a geotechnological block into operation. The article also discusses the acceleration of reclamation of waste aquifers through the forced supply of produced water. The prospects for use are obvious – accelerating the commissioning of blocks into production and faster mining, saving acid and electricity, the ability to reclaim the aquifer before the end of the mine operation at minimal cost.

Key words: water table rehabilitation, spent block, waste solutions, productive solutions, leaching solutions, additional leaching of uranium, acid capacity, core material, silt-clay class, stage of block completion.

На протяжении всего времени работы, добывающие предприятия АО «НАК «Казатомпром» сталкиваются с рядом проблем – дефицит кислоты, длительное время отработки блоков, стремление удержать себестоимость получаемой продукции при росте инфляции и снижении средней продуктивности вновь вводимых блоков. Поэтому исследовательские работы, проводимые по интенсификации работы технологических блоков являются наиболее актуальными.

ТОО «ИВТ» совместно с ТОО «АППАК» заключили Договор о проведении НИР с использованием бросовых растворов отработанных блоков.

Основные цели данной работы – решить ряд проблем, с которыми столкнулось предприятие, за период добычи урана на руднике «Западный Мынкудук» используя классическую схему закисления/пассивного закисления (см. рис.1):

Основные проблемы:

1. Длительное время активного закисления из-за низкого содержания железа 3+ в ВР и высокой кислотоемкости рудовмещающих пород.

2. Наличие дебаланса растворов ПР-ВР при пассивном закислении.

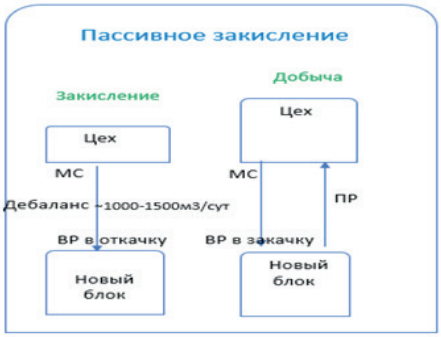


Рисунок 1 – Схема классического пассивного закисления

3. Удаленность ряда блоков от цеха и необходимость перекачивание требуемого объема растворов на значительное расстояние.

4. *Невозможность доизвлекать уран с ячеек с низким содержанием из-за низкой рентабельности* (порядка 6-12 мг/л) на отработанных блоках, ожидающих ликвидации.

5. Не извлекаемый остаток серной кислоты на отработанных блоках.

6. Проблема рекультивации отработанных блоков. Естественная рекультивация водног-о горизонта после отработки месторождения по мнению ряда авторов занимает 15-40 лет.

В рамках проведения данной НИР было предложено испытать две схемы закисления новых блоков с использованием бросовых растворов отработанного блока (см. рис. 2,3).

Рисунок 2 – Первая схема закисления, предложенная для применения на Инкудукском горизонте, уч. Песчаный

Рисунок 3 – Вторая схема закисления, предложенная для применения на -Мынкудукском горизонте, уч. Осенний

На двух отрабатываемых рудных горизонтах было выбрано по паре блоков (отработанный – новый) и проведена обвязка для обеспечения подачи растворов согласно предложенных схем закисления.

На каждом из четырех блоков был отобран керн для проведения лабораторных испытаний.

Химический, физический, гранулометрический анализы технологических проб выполнялись на базе химико-аналитической партии ЦОМЭ АО «Волковгеология».

По каждой технологической пробе проведено по два опыта сравнения. По технологической пробе 1Т опыты №1, №2 (участок №17, Песчаный – Инкудукский рудный горизонт). По технологической пробе 2Т опыты №3, №4 (участок №14, Осенний – Мынкудукский рудный горизонт).

Опыты по выщелачиванию урана проводились по специально разработанному регламенту. В опытах №1 и №3 выщелачивающий раствор был приготовлен на кислом растворе с отработанных блоков, имеющих значительное количество растворенных солевых примесей. Опыт №2 и №4 проводился на обычной пластовой воде.

Основные выводы специалистов ХАП ЦОМЭ по проведенным анализам:

1. Раствор с отработанного блока однозначно является дополнительным окислителем, интенсифицирующим процесс выщелачивания. Наблюдается уменьшение расхода по серной кислоты при использовании бросовых растворов (См. Рис. 4.).

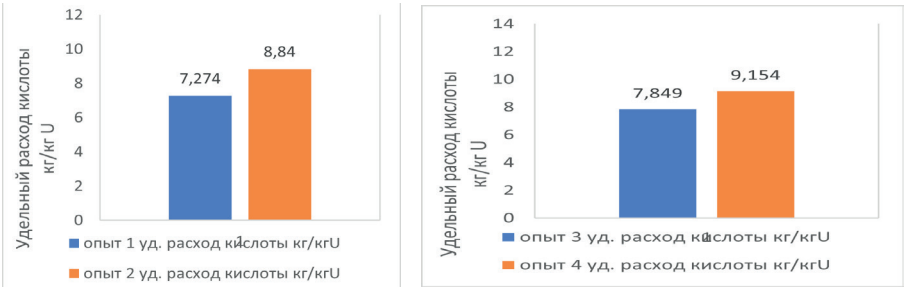


Рисунок 4 – Графики сравнения удельных расходов кислоты на 90 % извлечения урана в опытах №1, №2, №3, №4

2. После проведения сернокислотного выщелачивания урана, успешно проведена рекультивация керна подземными водами. Наблюдения проводились по следующим показателям: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, SO_4^{2-}, SiO_2, pH.

3. Химический состав пластовой воды восстанавливается. Наметилась тенденция к восстановлению фильтрационных свойств породы.

Параллельно с лабораторными анализами керна, 02.05.2023г. были начаты опытно-промышленные испытание на первой паре блоков Инкудукского горизонта участка Песчаный по предложенной схеме №1. Была выбрана следующая пара блоков: новый блок №17н1 и отработанный блок №51. Извлечение по №51 блоку на момент остановки в 2018 году составило более 90%, среднее содержание урана в ПР откачных скважин 6-12 мг/л.

Ежедневный анализ ПР по обоим блокам показал стабильный рост содержания урана и 13.05.2023, т.е. через ***11 дней после начала испытаний по закислению***, блок №17н1 был подключен на цех и начата промышленная переработка продуктивных растворов (добыча). Хотелось бы отметить, что на данном участке за все время эксплуатации месторождения самое раннее подключение блока к цеху было после **28 дней** закисления, а средний показатель составлял 45-50 дней (было проанализировано 43 блока уч. Песчаный). На Рис.5 приведена схема блоков вскрытия блоков №17н1 и №51, с указанием возможной зоны растекания растворов с отработанных блоков на примыкающие ячейки.

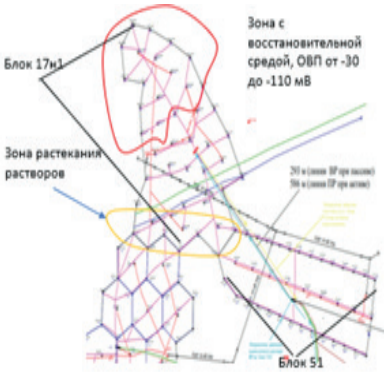


Рисунок 5 – Схема вскрытия блоков №17н1 и №51

В таблице 1 ниже приведены данные анализа продуктивных раствор с откачных скважин блока №17н1 по трем параметрам (содержание урана, pH, Eh).

Три ячейки блока, выделенные в таблице желтым цветом и отмеченные на Рис.5, как зона потенциального растекания растворов. Данные ячейки примыкали к работавшему блоку и были частично закисленны (фактический pH от 3,8 до 5,5).

Остальные 10 ячеек незакислены и резкое снижение pH с повышением ОВП с отрицательных значений (выделены красным цветом) можно объяснить ***только влиянием бросовых растворов.***

Таблица 1 – Изменение геотехнологических показателей ПР блока №17н1

№ п/п	Место отбора проб			02.05.2023			13.05.2023			27.05.2023			10.06.2023			25.06.2023			10.07.2023		
				Определяемые показатели			Определяемые показатели			Определяемые показатели			Определяемые показатели			Определяемые показатели			Определяемые показатели		
	Участок	№ блока	№ скважины	U,мг/л	pH	Eh,mB	U,мг/л	pH	Eh,mB	U,мг/л	pH	Eh,mB	U,мг/л	pH	Eh,mB	U,мг/л	pH	Eh,mB	U,мг/л	pH	Eh,mB
1	Песчаный	17н1	17н1-4-0	2,1	5,43	80	107,5	1,4	311	82,6	1,32	380	77,5	1,32	376	79,5	1,38	360	94,4	1,58	344
2			17н1-4-1/1	13,5	3,79	281	14,4	4	242	28	2,3	380	61,9	1,98	320	66,5	1,4	359	81,7	1,71	344
3			17н1-4-2	<0,7	6,38	35	1,2	5,73	35	0.7	3,06	311	18,3	2,57	348	25,6	2,21	359	46,4	1,94	335
4			17н1-4-3	<0,7	7,63	-52	1	7,13	-56	2,2	4,29	218	30	1,86	429	30,7	1,69	390	26,1	1,59	419
5			17н1-6-0	4,9	4,48	125	5,9	4,3	322	13,8	1,88	383	28,4	1,82	400	34,3	1,76	429	45,6	1,49	395
6			17н1-6-1	<1,2	6,46	10	4,1	4,48	234	43,5	1,88	383	41.9	1,75	384	52,6	1,62	416	37,8	1,57	433
7			17н1-6-2р	1,7	5,68	45	74,5	1,82	309	42,8	1,82	383	39,7	1,92	330	42,6	1,73	385	79,9	1,43	413
8			17н1-6-3	<1,10	6,86	32	0,9	6,74	-88	0,7	1,57	408	18,3	2,77	337	42,5	2,45	321	73,7	1,77	330
9			17н1-6-4	<1	7,5	-110	0,7	7,24	-59	44,7	5,2	247	43,5	1,54	336	35,7	1,43	422	50,6	1,23	389
10			17н1-8-0	<1	7,51	-82	6	5,74	41	32,6	1,93	304	33,9	1,83	416	36,4	1,66	422	43	1,65	433
11			17н1-8-2	<1	7,25	-30	19,7	2,35	3731	104,9	1,96	404	96,6	1,4	377	106,5	1,38	341	107,5	1,13	398
12			17н1-10-1	2,1	7,06	-101	0,7	6,92	-65	11,1	3,61	399	19,7	2,07	338	31,3	1,79	341	44,9	1,48	344
13			17н-1-10-3	<1	7,25	-98	2,2	7,57	-40	23,3	3,52	255	54,5	1,59	400	51,9	1,69	407	57,2	1,41	423

Рост содержания урана и ОВП блока №17н1, в центральной и особенно северной его части скорее всего обусловлен привносом с бросовыми растворами трехвалентного железа.

Для сравнения нами проанализированы 136 скважин участка Песчаный, начавших работу с отрицательного ОВП, и работа которых в целом значительно замедляла скорость отработки всех блоков.

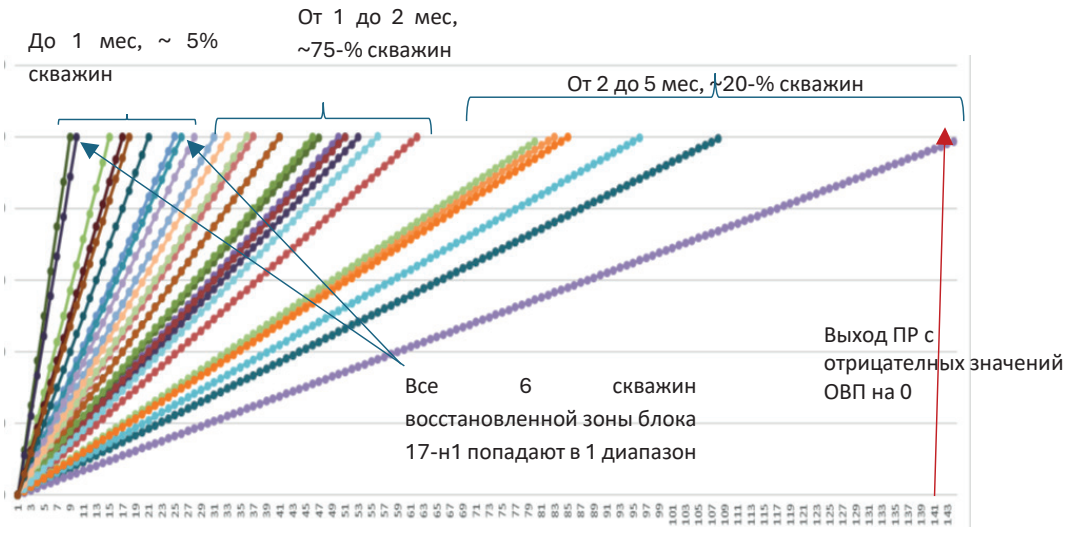


Рисунок 6 – Тенденция изменения ОВП скважин уч. Песчаный от отрицательных значения до положительных в зависимости от количества отработанных дней

При сравнительном анализе, видно, что все 6 откачных скважины блока №17н1 с отрицательным ОВП попадают в первый «идеальный диапазон» времени закисления, выйдя на положительный ОВП за 10-20 дней (см. рис. 6).

Немаловажную роль играет солевой состав раствора, подаваемого с отработанного блока. Основными

компонентами минерализации воды, как известно, являются HCO_3, SO_4^{2-}, Cl, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{2+}. В природной обстановке анионы подземных вод играют существенную роль в переходе урана из пород и руд в воду.

В бросовом растворе также присутствует растворенный уранил-ион в виде ***аквакомлексов***, наличие которых, как и всякое комплексообразование с точки зрения термодинамики, способствует ускорению протекания реакции растворения UO_2 и UO_3, так как увеличивает отрицательное значение энергии Гиббса и сдвигает равновесие вправо. Несмотря на сложность протекающих процессов и возможность переосаждения урана из раствора на границах перемещающихся зон pH и Eh, считаем, что наличие урана в ВР – положительный фактор.

С октября 2023 года начато закисление по предложенной схеме №2 на второй паре блоков Мынкудукского горизонта участка Осенний. Была выбрана следующая пара блоков: новый блок №92 и отработанный блок №43. Извлечение по №43 блоку на момент остановки в 2019 году составило более 90%, среднее содержание урана в ПР откачных скважин также не превышало 6-12 мг/л.

Блок был закислен бросовыми растворами в пассивном режиме через откачку на 70% ГРМ, после чего с 01.01.2024 г. начата добыча. Рост содержания урана на блоке №92 (несмотря на его более низкую продуктивность) на начальной стадии значительно опережает рост на смежных блоках, где применялось пассивное закисление с использованием маточников сорбции (см. рис. 7).

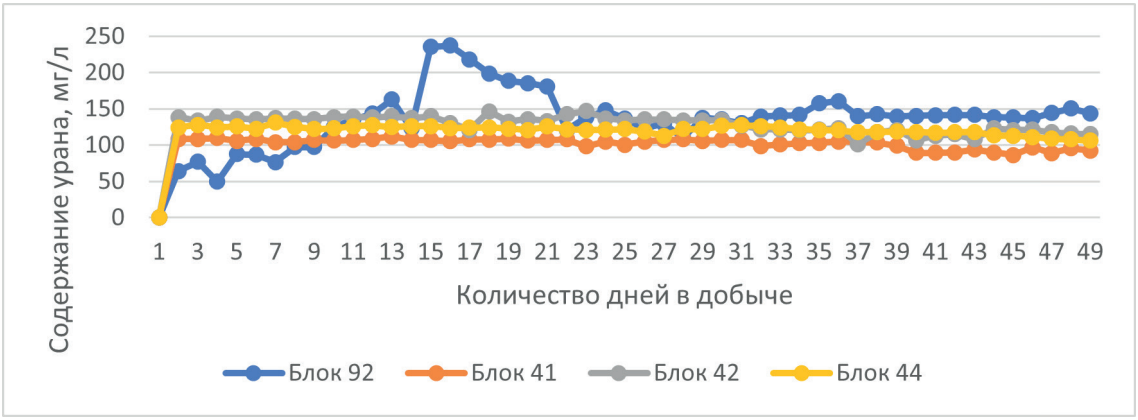


Рисунок 7 – Изменение содержания урана на блоке от времени после закисления

Большой интерес вызывает поведение отработанных блоков после начала опытно-промышленных испытаний.

Во-первых, хотелось бы сразу отметить, что содержание урана в момент их повторного запуска было выше, чем при выводе блоков из эксплуатации, что объясняется прохождением ряда физико-химических процессов в недрах.

Во-вторых, несмотря на увеличении со временем pH за счет замещения бросовых растворов пластовыми водами либо с нового блока, либо из-за контура, наблюдается не стабильное падение содержание урана, а его флюктуации и даже рост, что видно на Рис. 8,9. Возможно, что это обусловлено повторным проходом гидрокарбонатного фронта.

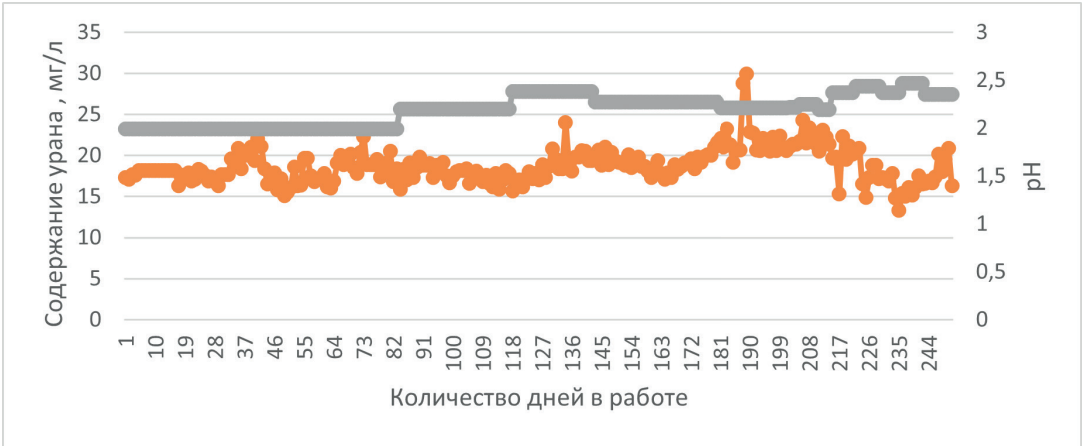


Рисунок 8 – Изменение содержания урана и pH во времени на блоке 51, уч. Песчаный

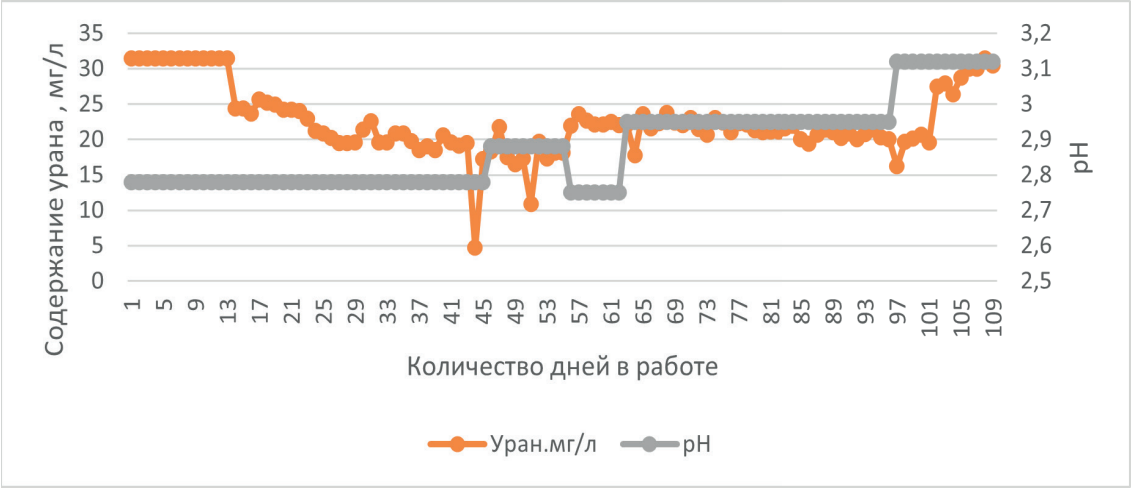


Рисунок 9 – Изменение содержания урана и pH во времени на блоке 43, уч. Осенний

Для контроля рекультивации отработанных блоков с периодичностью один раз в четыре месяца проводиться отбор проб на 28 закачных скажинах. Определяемые компоненты – pH, Eh, U, SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Feобщ, Al^{3+}, Mn^{2+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, HCO^{3-}, общая минерализация. По завершению работы блоков планируется построить схемы изменения ореолов по каждому из них.

Опытно-промышленные испытания на блоках еще продолжаются и их планируется завершить в срок согласно Договора между ТОО «АППАК» и ТОО «ИВТ» к 30.07.2024 г.

ВЫВОДЫ

На основании лабораторных работ с керновых материалов:

1. Бросовые растворы с отработанного блока является дополнительным окислителем, интенсифицирующим процесс выщелачивания.
2. Отработанный керн рекультивируется подземными водами с восстановлением фильтрационных свойств породы.
3. Химический состав пластовой воды отработанного блока интенсивно восстанавливается за счет замещения.

На основании опытно-промышленных испытаний на блоках при использовании бросовых растворов:

1. При закислении по 1 схеме сокращается время, необходимое для получения промышленных содержаний урана в ПР, начало добычи ускоряется в 2-4 раза по сравнению с традиционной схемой активного закисления.
2. Значительно улучшаются технологические показатели работы откачных скважин, особенно скважин восстановленной зоны – ОВП, pH, содержание урана.
3. При проведении закисления по схеме №2 сокращается общий дебаланс растворов ПР-ВР, увеличивается содержание урана в растворах по сравнению с пассивным закислением. Возможно, это связано с тем, что маточники сорбции не так обогащены по Fe^{3+}, как бросовые растворы, т.к. смолы, используемые при сорбции урана имеют высокое сродство именно к Fe^{3+}.
4. Происходит экономия электроэнергии за счет сокращения плеча перекачивания раствора на удаленных от цеха блоках.
5. Появляется возможность доизвлечения урана на уже отработанных блоках. Так при среднем содержании урана в бросовом растворе ~ 6мг/л (или 6 г/м^3), количество доизвлекаемого урана составляет 900-1500 кг и более. При этом учитывается только уран в бросовом растворе без общего влияния интенсификации процесса, что способствует более полному извлечению урана из рудного тела.
6. При использовании бросовых растворов происходит рециклинг остаточной серной кислоты и очень важного окислителя урана – Fe^{3+}. Так по предварительным расчетам экономия серной кислоты составляет не менее 150-200 тн с каждого блока.
7. Идет интенсификация процессов рекультивации водоносных горизонтов отработанных блоков.

Наблюдается постепенное увеличение pH, положительное изменение солевого состава. По завершению всех работ мы планируем построить карты изменения ореолов загрязнения во времени по 14 показателям на отработанных блоках №51 и №43. **Предложенная технология, позволяет поднять экологичность добычи урана методом ПСВ на новый уровен.**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о выполненной работе Этапа 1 по Договору № 779156/2022/1 от 30.11.2022 на тему:«Проведение опыта использования растворов с ранее отработанных блоков при закислении вновь водимых блоков с рекультивацией подземных вод». ТОО «ИВТ, 2022 г.

2. Отчет о выполненной работе Этапа 2 по Договору № 779156/2022/1 от 30.11.2022 на тему:«Проведение опыта использования растворов с ранее отработанных блоков при закислении вновь водимых блоков с рекультивацией подземных вод». ТОО «ИВТ, 2023 г.

3. Тимаков А.С., Данилов А.А., Кононеров Д.М. Проведение опыта использования растворов с ранее отработанных блоков при закислении вновь вводимых блоков с рекультивацией подземных вод. Актуальные вопросы повышения эффективности и интенсификации технологии подземного выщелачивания урана. – Алматы, 2019/ – С. 251–253.

4. Способ подземного выщелачивания металлов. Патент РК №4390 Республика Казахстан / Тимаков А. С.; Копбаева М. П.; Чистилин П. Е.; Данилов А. А. Заявитель и патентообладель ТОО "Институт высоких технологий"; заявл. 20.06.2019; опубл. 01.11.2019.

5. T.J. Gallegos, K.M. Campbell, R.A. Zielinski, P.W. Reimus, J.T. Clay, N. Janot, John R. Bargar, William M. Benzel. Persistent U(IV) and U(VI) following in-situ recovery (ISR) mining of a sandstone uranium deposit, Wyoming, USA, Applied Geochemistry 63 (2015), pp. 222–234.

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ. ПРЕИМУЩЕСТВАМИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ, ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ПОТОКЕ И ДР.

Гурова Н.В., Титекли Б.М., Цветков В.И.,
АО «ТЕХНОЛИНК», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация Цифровая трансформация промышленного производства в эпоху Индустрии 4.0 является важнейшим компонентом повышения эффективности деятельности предприятий и получения конкурентноспособной продукции.

Компания ТЕХНОЛИНК занимается созданием высокоэффективных автоматизированных систем и комплексов для промышленных предприятий. Решения компании охватывают весь спектр задач промышленной автоматизации: от АСУТП до MES, включают системы класса LIMS, АСАК, промышленную аналитику, системы предиктивного анализа оборудования и производственных процессов.

В данном сообщении представлены два компонента комплекса решений от компании ТЕХНОЛИНК:

• Автоматизация процесса сортировки исходного рудного сырья;

• Автоматизированная система аналитического контроля (АСАК).

Операция сортировки исходного сырья, в частности руды, содержащей редкие и редкоземельные металлы, влияет на качество процесса обогащения в целом. Чем качественнее будет выполнено отделение пустой породы от минералов на первой стадии процесса, тем более эффективным будет извлечение полезных компонентов.

Предлагаемое решение для автоматизации процесса сортировки основано на применении современных технологий искусственного интеллекта в производстве интеллектуальных машин для сортировки руды.

Автоматизированная система аналитического контроля (АСАК) – комплексное решение задач по осуществлению контроля и автоматизированного управления технологическим процессом.

Разработанное компанией ТЕХНОЛИНК решение АСАК (Зарегистрированная торговая марка АСАК@ LAST) представляет собой единый интегрированный комплекс оборудования, программно-технических, методико-математических и метрологических средств, выполняющий задачи по отбору, сокращению, доставке, подготовке и анализу проб с последующей утилизацией опробованного материала или его возвратом в процесс, позволяющее получать информацию о содержании химических элементов в основном технологическом потоке в режиме реального времени.

Abstract. The digital transformation of industrial production in the era of Industry 4.0 is a critical component of increasing the efficiency of enterprises and obtaining competitive products.

The TECHNOLINK company is engaged in the creation of highly efficient automated systems and complexes for industrial enterprises. The company's solutions cover the entire range of industrial automation tasks: from process control systems to MES, including LIMS, ASAC class systems, industrial analytics, predictive analysis systems for equipment and production processes.

There are two components of the solution package from TECHNOLINK presented:

• Automation of the process of sorting feedstock;

• Automated system of analytical control (ASAC).

The operation of sorting feedstock, in particular ore containing rare and rare earth metals, affects the quality of the beneficiation process as a whole. The better the separation of waste rock from minerals at the first stage of the process, the more effective the extraction of useful components will be.

The proposed solution for automating the sorting process is based on the use of modern artificial intelligence technologies in the production of intelligent ore sorting machines.

Automated system of analytical control (ASAC) is a comprehensive solution to the problems of monitoring and automated control of the technological process.

The ASAC solution developed by TECHNOLINK (Registered trademark ASAC@LAST) is a single integrated complex of equipment, software, hardware, methodological, mathematical and metrological tools that performs the tasks of selecting, reducing, delivering, preparing and analyzing samples with subsequent disposal of the tested material or its return to the process, which makes it possible to obtain information about the content of chemical elements in the main process flow in real time.

Компания ТЕХНОЛИНК занимается созданием высокоэффективных автоматизированных систем и комплексов для промышленных предприятий. Присутствует на рынке промышленной автоматизации более 25-ти лет. Компанией реализовано более 300 крупных проектов в различных отраслях промышленности на территории России и стран СНГ. Крупные клиенты компании – предприятия ГМК РФ и Казахстана.

Территориально компания расположена в г. Санкт-Петербурге и на Урале (г. Ревда, Свердловская область), имеет собственную производственную базу и самостоятельно осуществляет полный комплекс работ: проектирование, изготовление и комплектацию, монтаж и ввод в действие разрабатываемых систем.

Решения по цифровизации промышленных производств компания рассматривает как инструмент стратегического фокуса бизнеса – операционная эффективность, непрерывные улучшения, устойчивое развитие и безопасность.

Для эффективного использования данного инструмента компания нацелена на его усовершенствование, развитие, наполнение новыми функциями для наибольшего удовлетворения требований Заказчиков.

Комплексное решение компании охватывает все области управления производства. В состав комплекса входят следующие компоненты:

- Автоматизация процесса сортировки исходного рудного сырья;
- Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) – комплексная базовая автоматизация, инструмент управления и основной источник оцифрованной информации о технологическом процессе в масштабе от отдельного агрегата до производства в целом;
- Автоматизированная система аналитического контроля (АСАК)-

собственное решение компании по отбору, сокращению, доставке, подготовке и анализу проб с последующей утилизацией опробованного материала или его возвратом в процесс, позволяющее получать информацию о содержании химических элементов в основном технологическом потоке в режиме реального времени;

- **MES (системы управления производством) –** системы, управляющие, контролирующие и синхронизирующие выполнение в реальном времени физических процессов, связанных с преобразованием сырья в промежуточные и/или готовые изделия, а также координирующие выполнение рабочих заданий с системами производственного планирования уровня предприятия (ERP, PLM, управление жизненным циклом продукта;
- **LIMS (лабораторные информационные менеджмент системы)** – решение для управления, трансформации и оптимизации бизнес-процессов в лаборатории, позволяющее отказаться от бумажных журналов и перейти к электронному документообороту, включая процедуры аттестации и формирования паспорта продукции в соответствии с ISO/ГОСТ и регламентами предприятий;
- **Системы виртуального мониторинга ключевых показателей качества технологических процессов**;
- **Системы предиктивного анализа оборудования и производственных процессов**;
- **Хранение производственных данных**.

Как следует из перечня разрабатываемых систем, включая проектирование, изготовление, комплектацию, монтаж и ввод их в действие, компания ТЕХНОЛИНК видит несомненные преимущества в поставке комплексного решения для управления предприятием. Таковыми преимуществами являются:

- **Прозрачность**; не всегда поставщики услуг предоставляют полную информацию о своих услугах, что затрудняет принятие обоснованного решения.
- **Нестабильное качество**: иногда качество работы подрядчиков может варьироваться, что может повлиять на общий результат
- Неспособность сотрудничать: разные подрядчики могут иметь разные подходы и стили работы, что может вызвать проблемы в процессе сотрудничества.
- **Сложность управления проектами:** при работе с несколькими подрядчиками, управление проектом может стать сложной задачей, особенно при координации их работы
- **Ответственность подрядчика:** подрядчик планирует долгосрочное сотрудничество с Заказчиком, старается каждую услугу выполнить в срок и без замечаний;
- **Легкость интеграции**: интеграция между различными системами выполняется одной командой, нет необходимости выполнять дополнительные официальные договоренности с другими подрядчиками.

Правительство РК уделяет большое внимание добыче и переработке руд, содержащих редкие и редкоземельные металлы, рассматривает это как одно из самых перспективных направлений, о чем свидетельствуют принятая правительством программа развития на 2025-2028 гг.

По информации, взятой из открытых источников, НАК «Казатомпром» не только планирует расширение производства переработки тантал-бериллий-ниобиевых руд на Ульбинском МЗ с целью обеспечения производства собственным сырьем, но и разведку новых месторождений РМ и РЗМ.

Это послужило основанием в данном сообщении осветить два компонента комплексного решения компании ТЕХНОЛИНК:

- Автоматизацию процесса сортировки исходного рудного сырья;
- Автоматизированную систему аналитического контроля (АСАК).

Автоматизация процесса сортировки исходного рудного сырья

Как я упоминала ранее, наша компания уделяет большое внимание развитию компонентов комплексного решения, в том числе дополняя его партнерскими решениями.

Таким дополнением является решение китайской компании "HPY sorting" для сортировки исходного рудного сырья, в том числе содержащего РМ и РЗМ. КНР является основным поставщиком РМ и РЗМ на мировой рынок, успешно разрабатывает свои собственные решения на базе современных технологий (нанотехнологии, искусственный интеллект и др.) и применяет их в производстве РМ и РЗМ.

Компания Ganzhou HPY Technology Co. Ltd, — это высокотехнологичное предприятие, специализирующееся на разработке и производстве интеллектуальных машин для сортировки руды. использующих передовые технологии искусственного интеллекта. такие как технологии восприятия взаимодействия человека с компьютером и глубокого обучения.

Как новатор в китайской горнодобывающей промышленности, компания Ganzhou HPY Technology Co, Ltd достигла в Китае первых результатов сортировки руд, содержащих вольфрам, олово, сурьму, свинец и цинк, медь, молибден, золото, литий и более 30 других видов металлов. Это новшество не только революционизировало традиционную обработку минерального сырья, но также внесло значительный вклад в технологический прогресс глобальной горнодобывающей промышленности. В результате Министерство природных ресурсов Китая и Китайская ассоциация цветных металлов официально признали HPY Technology важным участником в китайской горнодобывающей промышленности. На 2022 год компания HPY Technology Co, Ltd продала более 400 машин для сортировки руды.

С момента своего основания в 2015 году, HPY Technology посвятила себя реформированию и инновациям в области обогащения полезных ископаемых. У компании более 200 прав интеллектуальной собственности, она разработала первый алгоритм искусственного интеллекта для сортировки руд в Китае – алгоритм Wenshu – и серию Circle, первое в мире оборудование сенсорной сортировки кольцевой формы, что позволило HPY достичь мирового уровня технологий сортировки руд,

Внедрение технологии сортировки руд может помочь горнодобывающей промышленности достигнуть оптимально эффективности производства, снизить энергопотребление и выбросы CO, облегчить создание экологически чистых месторождении и обеспечить надежную поддержку в достижении целей по нулевым выбросам углерода в горнодобывающей отрасли.

С выходом на зарубежные рынки в 2022 г., PPC оборудование HPY Technology было установлено в нескольких странах вдоль инициативы “Пояс и Путь“. В результате, в настоящее время HPY занимает второе место в мире по поставкам оборудования рентгенорадиометрической сепарации руды.

Серия CIRCLE

- Рентгенорадиометрическая сортировка руды кольцевой формы
- Металлические/неметаллические материалы
- Уголь

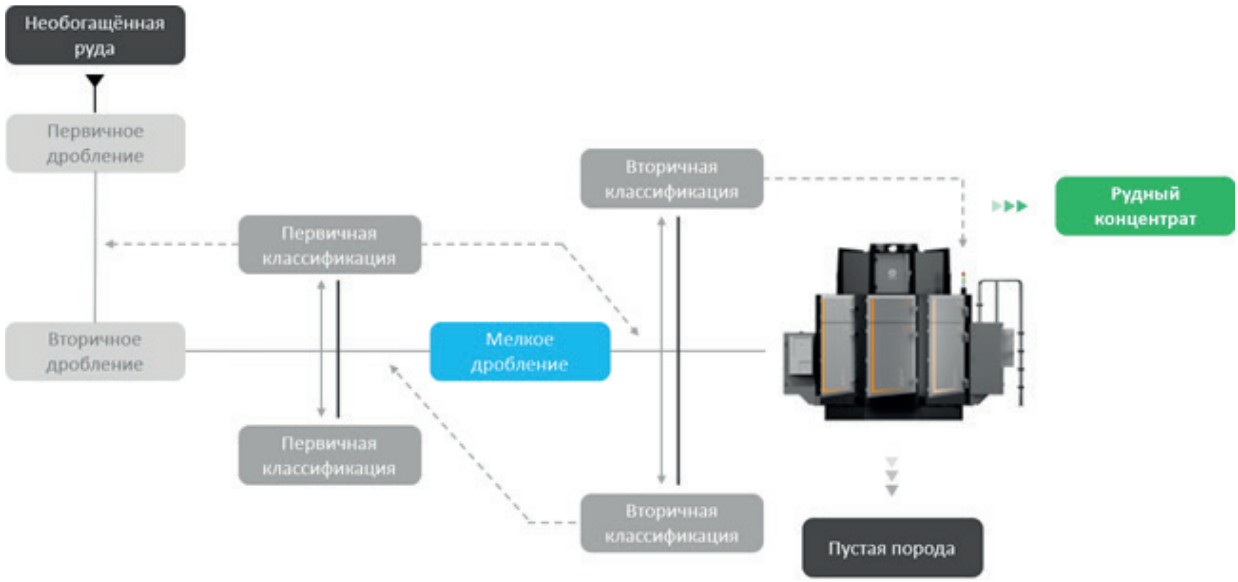
Высокая производительность и широкий диапазон крупности:

- ***Высокая скорость обработки***: Высокоэффективная промышленная система управления с временем отклика в миллисекундах и скоростью реакции воздушных клапанов в одну тысячную секунды, возможностью обрабатывать до 10000 кусков в секунду.
- ***Высокая точность***: Воздушные клапаны обеспечивают эффективную сепарацию руды и пустой породы. Клапаны выполнены в многорядном исполнении, расположены по окружности в 360° и разработаны на основе точных научных расчетов. Они обеспечивают точное попадание на каждый кусок руды, что повышает эффективность сепарации и сокращает ненужные затраты

- ***Широкий диапазон крупности***: благодаря анализу кусков в свободном падении наша технология позволяет работать с широким диапазоном класса крупности, включая частицы размером до 5 мм., обеспечивая точное попадание и распознавание кусков.

Высокая точность распознавания:

- ***Уникальная система подачи***: Система подачи руды представляет собой уникальное сочетание вибрационного диска с широкой поверхности передачи. обеспечивающее равномерную и эффективную подачу руды для сепарации в свободном падении.
- ***Область изображения***: разработанная независимо технология анализа в свободном падении обеспечивает качество изображения на 30% выше. чем у традиционного оборудования. а также точность сортировки до 99%
- ***Алгоритм ИИ***: используется метод активного машинного обучения (Active Learning), который оптимизирует классификационную модель стимулирует устройство для самообучения распознаванию материалов. что позволяет улучшать точность распознавания по мере использования.



Модель		Габаритные размеры	Вес (кг)	Мощность (кВт/ч)	Крупность частиц (мм)	Производительность (т/ч)
Металлические минералы	HPY-CM1700	5100*3273*4070	18000	20	+10-60	80-120
	HPY-CM3400	6382*3548*3083	32000	40	+10-60	160-240
Неметаллические минералы	HPY-CN1700	5100*3273*4070	18000	20	+10-60	70-100
	HPY-CN3400	6382*3548*3083	32000	40	+10-60	140-200
Уголь	HPY-CC1700	5100*3273*4070	18000	20	+13-30	50-80
		5100*3273*4070	18000	20	+30-80	60-90
	HPY-CC3400	6382*3548*3083	32000	40	+13-30	100-150
		6382*3548*3083	32000	40	+30-80	120-170

Серия INSIGHT

● Рентгенорадиометрический метод (XRT) в сочетании с визуальной спектрометрией (VIS) позволяет выявить внешние и внутренние характеристики материала

● Металлические/неметаллические материалы

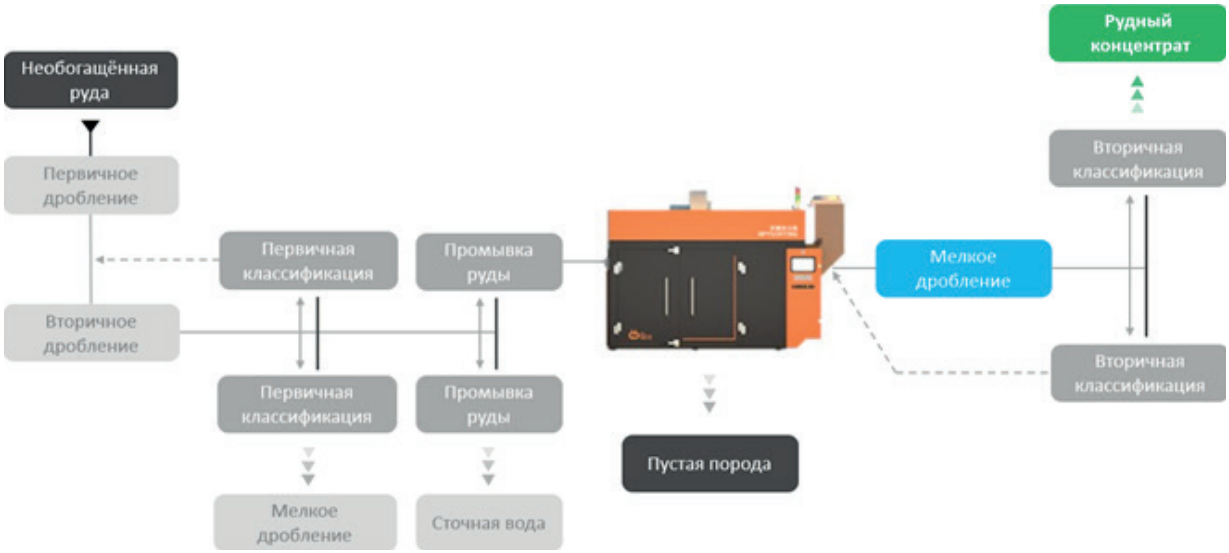
● Уголь

Интеллектуальное Оборудование для сортировки руды

● Интеллектуальное оборудование для сортировки руды с многочисленными источниками идентификации

● Оборудование в основном использует комбинацию двухсторонней отражательной высокой четкости и рентгеновской просвечивающей визуализации, которая может быть настроена в соответствии с физическими характеристиками различных руд, а также сбор внутренней информации о минералах и информации о цвете и текстуре поверхности минералов, в сочетании с алгоритмами обучения искусственного интеллекта для значительного повышения точности сортировки руды.

● Новая модульная конструкция оборудования коренным образом изменила структуру машины по сравнению с предыдущим поколением ленточных оборудований. Структура вибропитатель + короткая лента + свободное падение значительно упрощает механическую сложность и размеры оборудования. уменьшая трудности обслуживания.



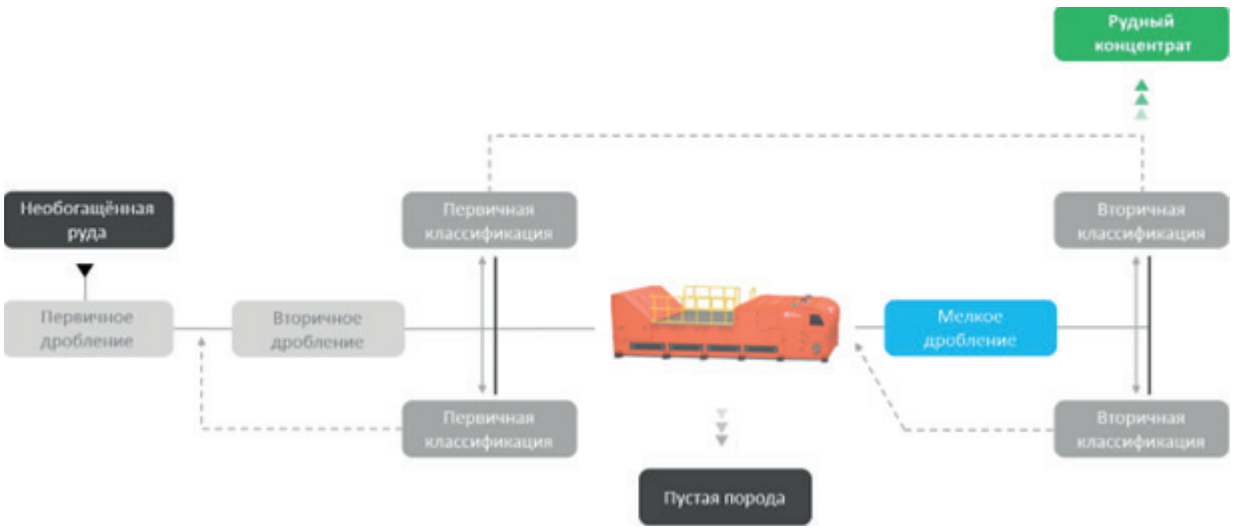
Модель		Габаритные размеры	Вес (кг)	Мощность (кВт/ч)	Крупность частиц (мм)	Производительность (т/ч)
HD визуальная спектрометрия (VIS)	HPY-CM1700	8012*2337*2911	8500	24.4	+10-60	15-40
	HPY-SC1600	8387*2705*3035	9000	30.5	+10-60	20-50
	HPY-SC2400	8012*4280*2911	17000	46.8	+10-60	30-80
Рентгенорадиометрический метод (XRT)	HPY-SX1200	7856*2337*2911	11500	18.8	+10-60	15-40
	HPY-SX1600	8231*2705*3035	12000	23.3	+10-60	20-50
	HPY-SX2400	7856*4280*2911	23000	35.6	+10-60	30-80
Комбинированный	HPY-SM1200	7856*2337*2911	11500	26.3	+10-60	15-40
	HPY-SM1600	8231*2705*3035	12000	34	+10-60	20-50
	HPY-SM2400	7856*4280*2911	23000	50.6	+10-60	30-80

Серия CLASSIC HPY XRT

Серия Classic представляет собой инновационное оборудование, использующее рентгеновскую технологию с одной/двумя энергиями и высокоскоростные воздушные струи для разделения руды от пустой породы.

Рентгеновская технология позволяет создать изображение в градациях серого цвета, различающее целевые и жильные минералы. С помощью алгоритма искусственного интеллекта. полученная информация используется для точного разделения руды и пустой породы,

Серия Classic — это надежное и эффективное оборудование, прошедшее множество итераций и являющееся самым широко используемым интеллектуальным устройством для сортировки руды в горнодобывающей промышленности Китая.



Модель		Габаритные размеры	Вес (кг)	Мощность (кВт/ч)	Крупность частиц (мм)	Производительность (т/ч)
Рентгенорадиометрический метод (XRT)	HPY-60-X1400	10978*2400*3243	11550	20.5	+10-60	40-60
	HPY-60-X2800	10950*5640*3185	24500	43	+10-60	80-120

Компания HPY выпускает эффективное оборудование для угольной промышленности Серии Golden Coal, которое используется для всех типов угля (каменный, бурый, антрацит и др. В этом сообщении данное оборудование не освещается. Если есть заинтересованность, готовы обсудить.

Автоматизированная система аналитического контроля (АСАК)

Эффективность работы горно-обогатительного или гидрометаллургического предприятия напрямую зависит от качества управления технологическим процессом.

АСАК ТЕХНОЛИНК является лидером среди отраслевых решений. Применима как для высокообразивных пульп, так и для агрессивных растворов.

На прошлой конференции я делала доклад на тему «Управление качеством как компонент управления производством», где достаточно подробно, было описано наше решение АСАК применительно к урановому производству (Приложение 1). В связи с развитием редкоземельного производства в компании НАК «Казатомпром» и расширением возможностей нашей разработки было принято решение еще раз коснуться этой темы.

Расширение возможностей АСАК ТЕХНОЛИНК означает наличие своего собственного анализатора, успешно прошедшего сертификацию, совершенствование подсистем проботбора и прободоставки. Теперь АСАК предлагается не только для пульповых продуктов, но и для растворов. Кроме того, подсистемы пробоотбора и прободоставки в качестве отдельного решения компания предлагает для сыпучих продуктов.

АСАК. Преимущества решений ТЕХНОЛИНК

• Оригинальные надежные способы пробоотбора из любых технологических потоков.
• Строго дозированный объем пробы, обеспечивающий производство анализа.
• Фильтрация раствора отбираемого продукта с использованием стандартных промышленных фильтров с регенерацией фильтрующего элемента в каждом цикле.
• Очистка всего тракта от остатков предыдущей пробы промывочной водой.
• Возврат материалов измеренных проб в технологический процесс.
• Эвакуация сопутствующих пробе вредных и опасных газов.
• Контроль стадий прохождения проб с предотвращением аварийных ситуаций и визуализацией информации.
• Передача информации по сетям с использованием по назначению.
• Изготовление оборудования из коррозионностойких материалов.
• Простота технического обслуживания, надежность, минимальные эксплуатационные затраты.

АСАК. Пульпы. Ключевые характеристики

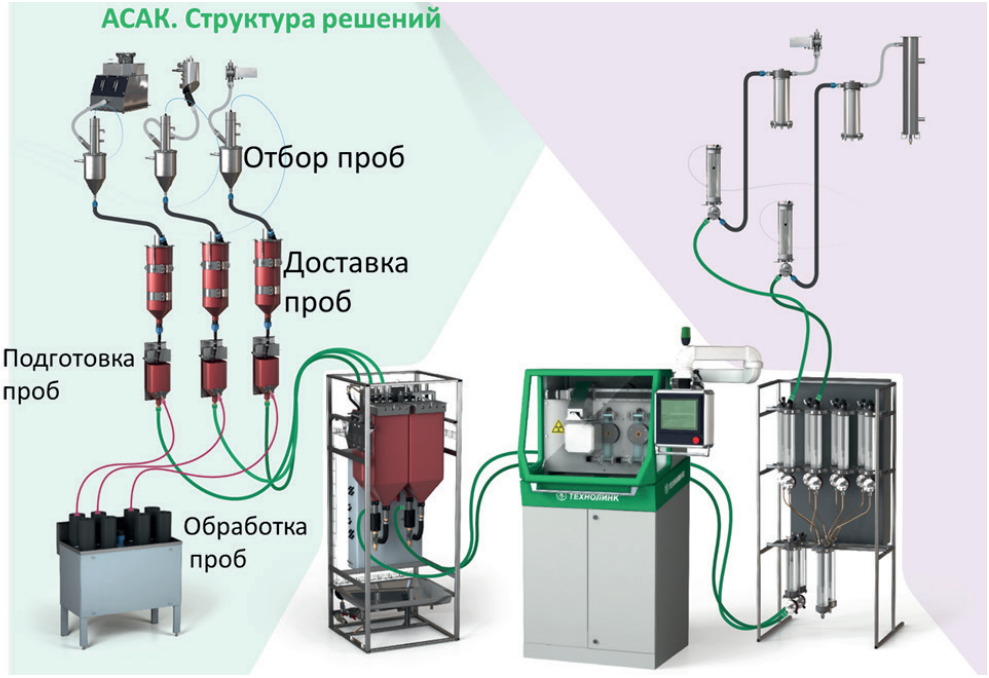
• Определяемые элементы от Ca(20) до U(92);
• Диапазон измерения – от 0,1 до 60%;
• Время полного цикла измерений –15 минут;
• Содержание твердой фазы 10 – 60%;
• Время измерения одного продукта – от 50 с до 2 мин;
• Автоматический отбор и доставка проб
• Регулирование количество отсечек пробоотборника
• Тип доставки пробы – пневматический
• Централизованное управление и интеграция с АСУ ТП

АСАК. Растворы. Ключевые характеристики

• Объём отбираемой пробы,	350 ± 50 мл
• Разовый объём промывочной воды,	200 мл
• Дискретность выдачи информации,	5 -15 минут
• Расстояние транспортирования,	до 200 м
• Давление пожарно-хозяйственной воды,	не менее 0,2 МПа
• Давление сжатого воздуха,	не менее 0,35 МПа

• Напряжение в сети, 220 В
• Мощность потребляемая, не более 200 Вт

Далее на рисунке представлена структура решений АСАК.



Одним из важнейших компонентов любого решения, определяющего качество, является проботбор. Компания ТЕХНОЛИНК производит свои собственные пробоотборники 3-х типов:

Пробоотборники пересечные Отбор оперативных и балансовых проб от самотёчных потоков и потоков под давлением в соответствии с ГОСТ 14180-80. Полное поперечное пересечение технологического потока пробоотсекающим ножом для обеспечения наибольшей представительности пробы. Пробоотборники выпускаются в коррозионностойком исполнении, обладают высокой абразивной устойчивостью к пульповым продуктам. Применение пневматических приводов обеспечивает надёжность и безопасность. Выбор модели определяется производительностью технологического потока и диаметром трубопровода.

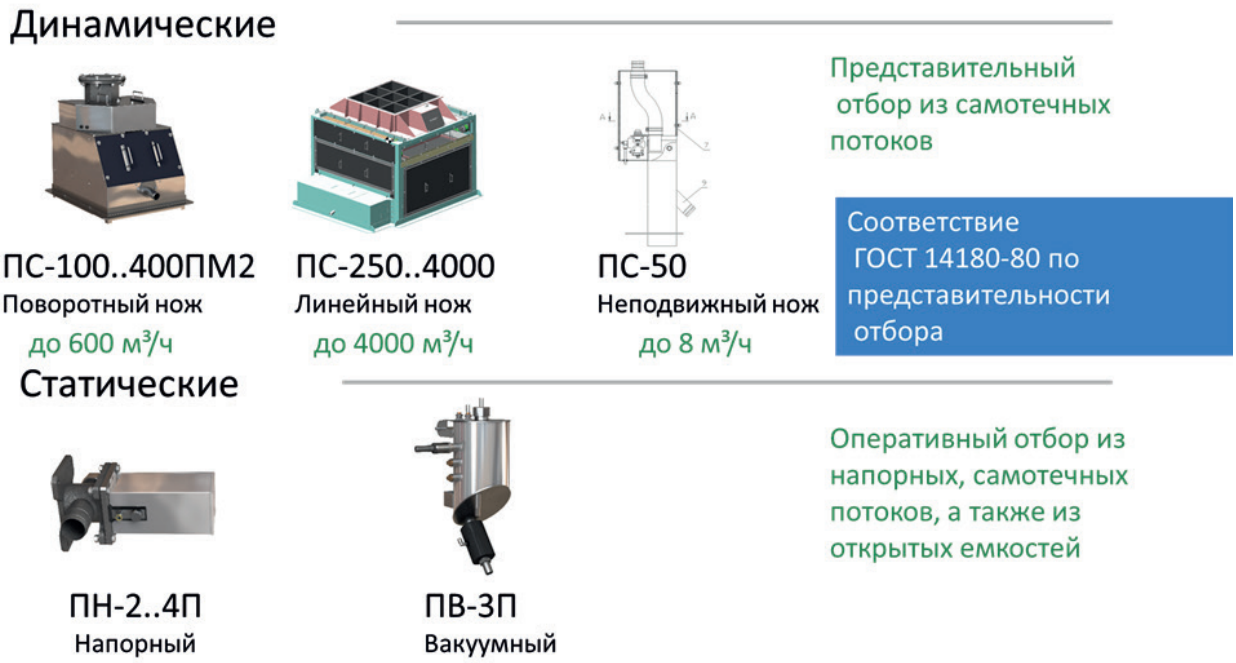
Пробоотборники напорные Отбор оперативных проб от потоков под давлением. Применяется в условиях, исключающих применение пересечных пробоотборников (поток под давлением или невозможность организовать вертикальный нисходящий поток), а также в случаях, когда не требуется строгое выполнение ГОСТ 14180-80 в части пересечения потока. Устанавливаются строго на вертикальных участках трубопроводов, на восходящих потоках. Пробоотборники выпускаются в коррозионностойком исполнении, комплектуются надёжным пневмоприводом

Пробоотборники вакуумные Отбор оперативных проб из открытых ёмкостей и лотков. Принцип действия основан на всасывании материала в пробоотборник через заборную трубку из открытых лотков или ёмкостей. Для улучшения представительности пробы пробозаборный патрубок предварительно продувается сжатым воздухом и очищается от отстоявшейся пульпы. Пробоотборники выпускаются в коррозионностойком исполнении, обладают высокой абразивной и химической устойчивостью

Для пульп могут быть использованы все 3 типа пробоотборников, компанией накоплен большой опыт успешного использования пробоотборников на предприятиях РФ (ГМК «Норильский никель», Гайский ГОК, Кольская ГМК и др.)

Для растворов предлагаются к использованию напорные пробоотборники.

Далее на рисунке представлены пробоотборники, применяемые для отбора пульповых проб



Прободоставка и пробоподготовка

Прободоставка и пробоподготовка – следующие стадии в цепочке определения качества.

Станции пневмодоставки проб

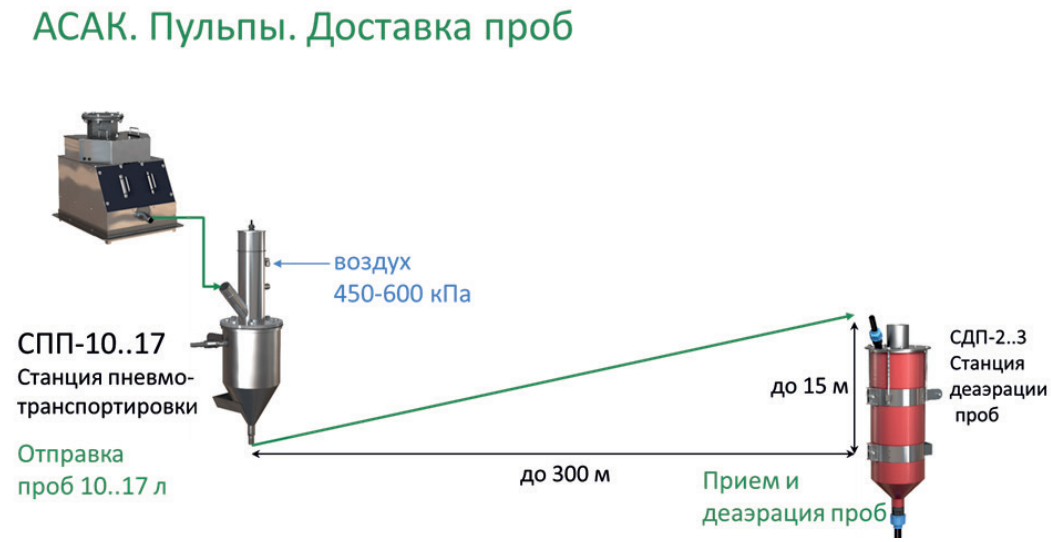
Накопление точечных проб и транспортировка накопленной пробы к месту анализа. Контроль уровня позволяет исключить переливы и потери части пробы. Для обеспечения надёжной работы отсечного клапана используется клапан принудительной деаэрации. Использование пневмотранспорта снижает требования к геометрии линии транспортировки и объёму пробы.

Станции деаэрации проб

Приём пульпы из линии пневмодоставки и отделение из них сжатого воздуха. Проба, поступающая из трубопровода пневмодоставки, циклонируется внутри корпуса станции. Корпус станции выполнен из полимерного материала. Рабочие поверхности станции защищены футеровкой, стойкой к абразивному износу.

Станции буферные

Обеспечение равномерной подачи пробы на пробосократитель. Станция выполняет роль промежуточной ёмкости, в которую поступает проба от станции деаэрации или напрямую от пробоотборника. Слив принятой пробы выполняется равномерно, что обеспечивает представительное сокращение. Основные конструктивные элементы выполнены из абразивно-коррозионностойких полимерных материалов



Анализатор потоковый **АК-21** предназначен для непрерывного измерения концентраций химических элементов в пульпе и растворах. Данные, получаемые от анализатора, позволяют эффективно управлять технологическим процессом обогатительных и гидрометаллургических производств.

Состав анализатора

● **МУЛЬТИПЛЕКСОР** обеспечивает мультиплексирование приходящих потоков и их последовательную подачу на кюветы блока измерения, промывку контуров измерения и сброс отработанной пробы в дренаж. ***Мультиплексор имеет два исполнения – для пульп (обогащение) и растворов (гидрометаллургия).*** Мультиплексор пульп обеспечивает их циркуляцию по контуру измерения, что позволяет сократить объём пульповой пробы, необходимой для анализа.

● **БЛОК ИЗМЕРЕНИЯ** содержит две проточные кюветы, мобильный рентгенофлуоресцентный спектрометр с устройством перемещения и встроенный реперный образец. ***Блок измерения имеет два исполнения – открытое и закрытое (защищенное)***

Во время анализа одной кюветы, вторая проходит стадию промывки и готовится к приёму следующей пробы. При необходимости на кювете выполняется автоматическая замена защитного окна. Применение **двух проточных кювет** позволяет разделить потоки на «богатые» и «бедные» и исключить кросс-заражение проб, искажающее результаты анализа. Параллельность действий измерения и промывки обеспечивает максимальную производительность анализа, без задержек на вспомогательные обслуживающие процессы

Встроенный **шкаф управления** обеспечивает автоматическое управление процессом измерения и подачей проб на измерение, а также коммуникацию со сторонними информационными системами (АСУТП, MES, LIMS и др.). Встроенное программное обеспечение производит расчёт концентраций химических элементов на основании полученных от спектрометра данных. Отображение результатов измерений, диагностика и настройка анализатора выполняются на встроенной **сенсорной панели** оператора.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ Измерительное устройство реализует рентгеноспектральный флуоресцентный метод анализа, основанный на регистрации вторичного (флуоресцентного и рассеянного) рентгеновского излучения, испускаемого пробой под воздействием первичного излучения.

РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИЙ Концентрации химических элементов рассчитываются по интенсивностям спектральных линий по предварительно подобранному алгоритму. По интенсивности рассеянного излучения производится расчёт плотности пробы (содержания твёрдой фазы в пульпе). По мере эксплуатации и накопления спектральных данных предварительные алгоритмы расчёта, подобранные по общим выборкам анализируемых продуктов или по теоретическим данным, адаптируются для каждого типа продукта в отдельности, что позволяет достичь максимальной точности

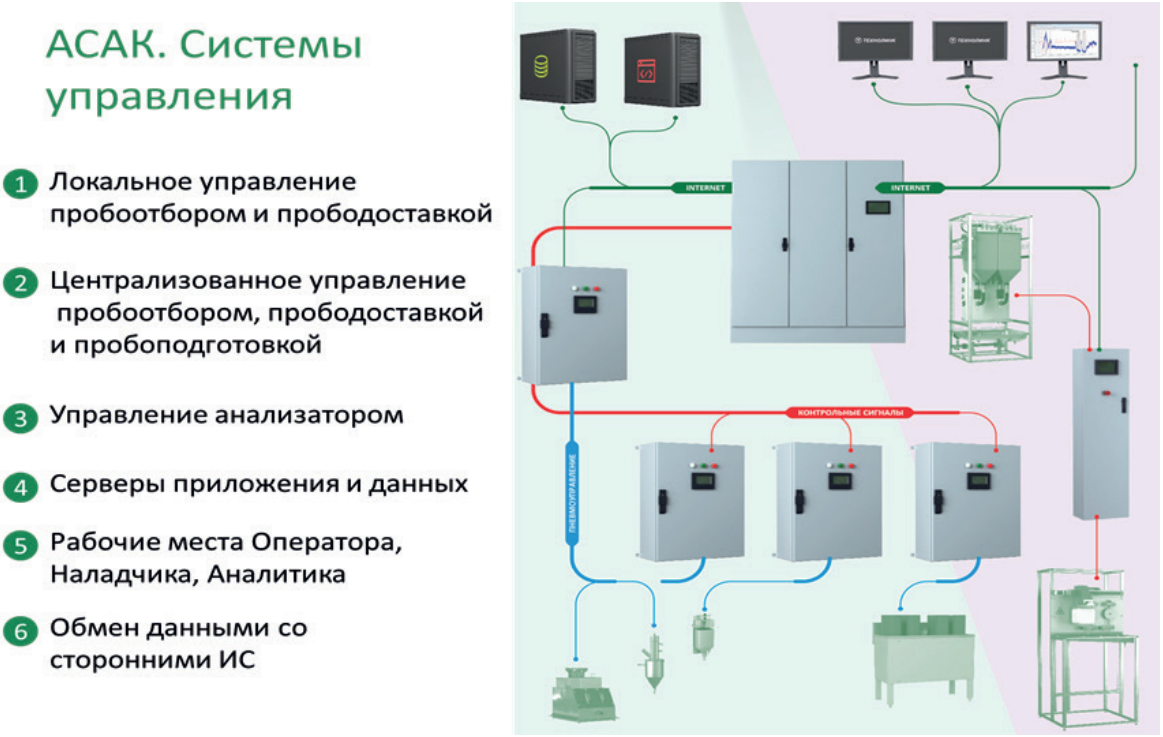
Контроль и управление всеми агрегатами системы АСАК@LAST осуществляется дистанционно с панели оператора. В окне управления в режиме реального времени производится отображение состояния анализаторов и оборудования пробоотбора и прободоставки в виде мнемосхем и информационных

сообщений. Вывод значений технологических параметров на экран монитора производится как в виде текущих значений, так и в виде графиков и временных трендов.

За счет того, что постоянно и автоматически производится диагностика оборудования, исполнительных устройств и линий связи, достигается достоверность поступающих в систему данных. В случае неисправности определенного канала измерения или управления выдается соответствующее предупреждение или аварийное сообщение.

Система так же постоянно контролирует значения параметров поступающих проб технологических продуктов. В случае отклонения от нормы этих значений, в окне тревог выдается соответствующее сообщение, что позволяет оперативно вмешиваться в ход технологического процесса анализа. При аварийных значениях параметров сжатого воздуха, автоматически производится отключение соответствующих агрегатов.

Методико-математическое обеспечение АСАК@LAST позволяет разрабатывать методики анализа на основе различных уравнений связи. Разработаны оригинальные алгоритмические и программные средства, позволяющие обеспечить ускоренный ввод в эксплуатацию новых спектрометров и технологических точек контроля.



Компания АО «ТЕХНОЛИНК» готова предоставить материалы по остальным компонентам комплексного решения по запросу заинтересованных сторон.

REVOLUTIONARY DEVELOPMENTS IN THE MINING SPHERE: IN-SITU LEACHING OF URANIUM

Koval I.D.,
Associated Professor: **Nygmanova A.S.**
Kazakh-British Technical University,
Almaty, Kazakhstan

Thesis Statement

The application of in-situ leaching (ISL) in uranium extraction stands as a transformative innovation in mining, supported by its superior environmental sustainability, cost-effectiveness, and operational efficiency over conventional mining techniques. ISL minimizes environmental disruption by extracting uranium without the need for extensive excavation, reduces operational costs significantly compared to traditional methods, and streamlines the extraction process, making it a pivotal advancement in the mining industry.

Introduction

The mining industry has undergone significant advancements in recent years, with technological innovations revolutionizing traditional mining methods. One such innovation is In-Situ Leaching (ISL), also known as solution mining, a technique gaining increasing prominence for its potential to extract minerals, particularly uranium, in a more cost-effective and environmentally sustainable manner.

Although ISL in itself is not a new method of mineral extraction, significant advancements have been made in recent years, making ISL a more advantageous method for mining companies, especially in cases of extraction of potassium and uranium, the latter of which will be prioritized in this paper. Along with recent innovation, ISL is currently experiencing a steep incline in popularity, due to mining companies gradually transferring to more environmentally friendly ways of fulfilling their demands for mineral extraction. ISL can also be applied to other minerals such as copper and gold.

ISL of uranium ores started in the United States and the Soviet Union in the early 1960s. The first uranium ISL in the US was in the Shirley Basin in the state of Wyoming, which operated from 1961 until 1970 and was using sulfuric acid in its processes.[1] The first commercial mine began operating in 1974. About 16% of world uranium production is by ISL (including all Kazakhstan and Uzbekistan output).[2]

ISL involves leaving the ore where it is in the ground and using liquids that are pumped through it to recover the minerals out of the ore by leaching. Consequently, there is little surface disturbance and no tailings or waste rock generated. However, the orebody needs to be permeable to the liquids used and located so that they do not contaminate groundwater away from the orebody.[2] Unlike traditional mining, which involves the excavation and removal of ore, ISL allows for the extraction of minerals without disturbing the surface. Additionally, ISL can be more cost-effective and efficient, making it an attractive option for mining companies looking to minimize their environmental impact. However, the success of ISL relies on careful planning and monitoring to ensure that groundwater resources are protected and that the process is carried out safely and responsibly.

When preparing deposits of uranium for development by the ISL method, an important role is given to the choice of schemes for opening deposits with production injection-pumping wells. The location of these wells depends on the morphological characteristics of the deposit being mined, the hydrogeological conditions of the productive horizon and the geotechnological parameters of the experimental work. Experimental work is a necessary step to substantiate the main parameters of the preparation and development of deposits by the ISL method (well layout, installation of filters, productivity of solutions, solution lifting means, consumption indicators of reagent, etc.) [3]

There are three principle advantages of ISL in comparison to conventional methods: (1) reduced risk to operators by avoiding underground mining; (2) stripping, mining, and milling of the ore on the surface is unnecessary, which is a great advantage as it minimizes the burden of dealing with tailings; (3) as a concomitant effect to the last point, there is a reduced amount of radioactivity reaching the surface; (4) one is able to extract lower grade ore than is possible with other techniques; and (5) there is minimal surface disturbance with the least environmental impact.

The greatest disadvantage of ISL is that there is a lower recovery rate in comparison to other methods. Also, there is a risk of potentially contaminating ground water. Clearly, this operation must be far removed from any source of water that may become potable.[4]

Ultimately, the primary goal of this study is to introduce the reader to In-Situ Leaching and provide a more in-depth understanding of the history, the benefits, the drawbacks, and the process of ISL itself.

Defining In-Situ Leaching

In-situ leaching (ISL) stands out as a highly cost-effective mining method. It uniquely involves moving a substantial portion of the mineral processing operations underground, enabling the direct extraction of metal solutions from the ore body. This innovative approach not only reduces operational expenses but also minimizes surface disturbances typically associated with conventional mining techniques.

Currently, in situ leaching is a widely used mining technique, alongside open-pit and underground mining methods. Unlike the latter two methods, which depend on the depth of the ore deposit, in situ leaching relies on the characteristics of the uranium deposit itself. This method is particularly suitable for uranium deposits located in aquifers with good permeability. In situ leaching involves drilling and positioning wells strategically, including injection and production wells, within the uranium deposit. A leaching solution is injected into the deposit to dissolve the uranium, forming a uranium-rich solution called the pregnant solution, which is then brought to the surface for further processing.

"In-Situ Recovery (ISR) technology has been in existence for 65 years, but was only widely developed for uranium production in South Kazakhstan last the last 10–15 years with strong improvements in experience in applying ISR.[5]

ISL has a long history in the copper industry, spanning four decades, although its early applications encountered difficulties. Recent years have seen significant success in Russian copper and gold mines, where ISL has been effectively employed, drawing from insights gained in uranium extraction. For instance, at Dalur, a uranium mine in Russia, efforts are underway to construct a plant that will extract scandium and rare earths as by-products from the uranium pregnant solutions, showcasing the evolving capabilities of ISL technology and its expanding adaptability.

The assessment of ISL feasibility for various deposits necessitates a unique approach distinct from conventional mining methods. Moreover, certain deposits deemed uneconomical for extraction using traditional techniques may become financially viable through ISR operations, highlighting ISL's transformative potential in accessing previously inaccessible mineral resources.

Practical Application

As stated above, uranium deposits suitable for ISL occur in permeable sand or sandstones, confined above and below by impermeable strata, and which are below the water table.

Such deposits were formed by the lateral movement of groundwater bearing oxidised uranium minerals through the aquifer, with precipitation of the minerals occurring when the oxygen content decreased, along extensive oxidation-reduction interfaces. The uranium minerals are usually uraninite (oxide) or coffinite (silicate) coatings on individual sand grains. The ISL process essentially reverses this ore genesis, in a much shorter time frame.

"There are two operating regimes for ISL, determined by the geology and groundwater. If there is significant calcium in the orebody (as limestone or gypsum, more than 2%), alkaline (carbonate) leaching must be used. Otherwise, acid (sulfate) leaching is generally better. In this case the leach solution is at a pH of 2.5-3.0, about the same as vinegar. Acid leaching gives higher uranium recovery – 70-90% – compared with 60-70% for alkaline leach, and operating costs are about half those of alkaline leach."[8]

The design of ISL wellfields varies greatly depending on the local conditions such as permeability, sand thickness, deposit type, ore grade and distribution. Whatever the type of pattern used, there is a mixture of injection wells, to introduce the leach solution to the orebody, and extraction wells with submersible pumps used to deliver pregnant solution to the processing plant. Wells are typical of normal water bores.

Where large sheet-like deposits exist, such as in Kazakhstan, rows of injection wells interleafed with rows of extraction wells can be used cost effectively.

This pattern has a relatively low installation cost and is simple to install. However the time taken to recover the uranium under leach is extended due to the large distances between the well types (typically 50-60m).

"In most western applications (and Kazakh operations in channels narrower than 60m) closer spaced patterns are employed to recover the uranium at a faster rate (per unit area) than the alternating line patterns. The most common type of pattern employed as illustrated in Figure 3 are:

- Five spot pattern (usually 20-30 m between wells).
- Seven spot pattern (usually 13.5-20 m between wells)."[8]

The submersible pumps initially extract native groundwater from the host aquifer prior to the addition of uranium complexing reagents (acid or alkaline) and an oxidant (hydrogen peroxide or oxygen) before injection into the wellfield. The leach liquors pass through the ore to oxidise and dissolve the uranium minerals in situ.

"Depending on the type of leaching environment used the uranium will be complexed as either a uranyl sulphate, predominantly $UO_2(SO_4)_3^{4-}$, in acid leach conditions or a uranyl carbonate, predominantly $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ in a carbonate leach system. This can then be precipitated with an alkali, e.g. as sodium or magnesium diuranate.

In either case the pregnant solution from the production wells is pumped to the treatment plant where the uranium is recovered in a resin/polymer ion exchange (IX) or liquid ion exchange (solvent extraction – SX) system."[8]

After recovery of the uranium, the barren solution is re-fortified with oxidant and complexing agent before being returned to the wellfield via the injection wells. However, a small flow (about 0.5%) is bled off to maintain a pressure gradient in the wellfield and this, with some solutions from surface processing, is treated as waste. This waste water contains various dissolved ions such as chloride, sulphate, sodium, radium, arsenic and iron from the orebody and is reinjected into approved disposal wells in a depleted portion of the orebody. This bleed of process solution ensures that there is a steady flow into the wellfield from the surrounding aquifer, and serves to restrict the flow of mining solutions away from the mining area.

Advantages of In-Situ Leaching for Uranium Extraction

In comparison to open-pit and underground mining, in situ leaching provides unique benefits. Operating within the natural ore deposits, this method avoids extensive surface disturbances and excavation, leading to lower costs, shorter mining timelines, and reduced environmental impact. Additionally, in situ leaching involves injecting leaching solution directly into uranium deposits, eliminating the generation of waste rock, radioactive dust, and emissions. This not only prevents health risks for workers but also reduces waste disposal expenses.

"In situ leaching significantly enhances the industrial value of low-grade sandstone-hosted uranium deposits. These deposits are widely distributed globally, encompassing countries like Australia, Canada, and Kazakhstan, constituting a vital component of the world's uranium resources."[6] Open-pit and underground mining are not practical for deposits with low uranium content due to their high costs and environmental impacts. However, in situ leaching can overcome this drawback. Operating within the ore body, in situ leaching reduces costs associated with waste processing and uranium milling while minimizing environmental impacts. As a result, these deposits can be economically and efficiently mined, expanding the recoverable uranium resources, and supporting the sustainable growth of the global nuclear energy industry.

Challenges and Disadvantages

In spite of its numerous advantages, in situ leaching is not without its challenges and disadvantages. These aspects must be carefully considered and managed to ensure the safe and sustainable implementation of ISL projects. One of the primary concerns associated with ISL is the potential for groundwater contamination. The leaching solution used in ISL can contain various chemicals that, if not properly managed, may leach into the surrounding groundwater, posing risks to human health and the environment. Additionally, ISL operations may have lower recovery rates compared to conventional mining methods, leading to inefficiencies in resource extraction. Furthermore, the potential for subsidence, or the sinking of land above the mined area, is a concern, particularly in areas with weak or unstable geology. These challenges underscore the importance of comprehensive planning, monitoring, and mitigation strategies in ISL operations to ensure their sustainability and minimize negative impacts.

Soil chemical anomalies often result from the erosion and leaching of tailings rather than from production activities. Wind-borne pollution and water leaching are the primary sources of this pollution. Wind can spread pollution over a wide area, but it typically affects only the soil surface. For instance, in a U-Th tailing in northern China, high concentrations of radioactive elements U and Th were found in the southeast of the tailing due to prevailing northwest winds. The soil downwind had a U content 2.65 times higher than the background value and 1.61 times higher than the upwind soil. The pollution from tailings spread up to approximately 4 km but was mainly concentrated within 10 cm of the surface. Water leaching, on the other hand, has a smaller horizontal range but can affect soil deeper. In a tailing pond, for example, the U content peaked at 8.5 m from the surface due to continuous leaching from precipitation, with the maximum migration depth reaching 14 m. Additionally, open wastewater leakage can also contribute to soil pollution.

"Compared with soil, uranium ISL has a greater impact on groundwater. Similar to uranium deposits No. 737, No. 738 and No. 739 in Xinjiang, soil indicators remained within limits from mining to decommissioning. However, for groundwater, indicators were still in an abnormal state after years of decommissioning. Among them, $\sum$Fe (275 mg/L) and Mg^{2+} (252 mg/L) were more than 200 times higher than the background value, and SO_4^{2-}, U, Ca^{2+}, and NO_3^- also exceeded the standard numerous times. The pollution degree of groundwater varies with the mining method. Acid leaching has a significant influence on groundwater. The highest content elements in the groundwater of the acid-leaching mining area are usually SO_4^{2-}, $\sum$Fe, Ca^{2+}, Mg^{2+}, and U. Other heavy metals will also be leached into the groundwater. Although the concentration is relatively low, it still far exceeds

the groundwater quality standard, posing a potential threat to the groundwater environment. The low pH of groundwater is another problem. Compared with acid leaching, CO_2 leaching is more friendly to the groundwater environment because the weakly alkaline environment leads to the precipitation of pollutants."[7]

Radon release and radiation exposure in uranium mines can lead to radioactive anomalies. The dissolution of rock and soil by solvents can result in the release of radon. Radon is primarily released through the evaporation of wastewater or waste liquid pools and the precipitation of radon-content dust on solid surfaces after uranium mine decommissioning. The amount of radon released is influenced by the concentration of radon in groundwater and leachate, as well as the scale of the mine. Effective ventilation systems and human management practices can usually control radioactivity during production, minimizing environmental impacts. However, in decommissioned uranium mines, the radioactivity of radon from heap leaching of tailings waste can exceed environmental limits.

Mitigation of Disadvantages

Mitigating environmental risks associated with uranium in situ leaching involves several key strategies. One approach is to carefully select and design the ISL operation to minimize impacts on groundwater quality. This includes selecting sites with favorable hydrogeological conditions, such as impermeable layers above and below the ore zone to prevent the migration of leaching solutions and contaminants. Additionally, monitoring wells can be installed around the ISL operation to detect any potential leakage of contaminants into groundwater and to ensure compliance with regulatory standards.

Another measure is to properly manage and treat the leaching solutions to prevent the release of contaminants into the environment. This can include using impermeable liners in the leach pads and evaporation ponds to prevent seepage, as well as employing water treatment technologies to remove contaminants from the leaching solutions before discharge.

Furthermore, effective dust control measures should be implemented to minimize the dispersion of radon-containing dust into the air during ISL operations. This can include using dust suppression techniques such as covering exposed surfaces with soil or vegetation, and using water sprays or chemical dust suppressants.

Overall, implementing these mitigation measures can help reduce the environmental risks associated with uranium in situ leaching and ensure the sustainable management of uranium resources.

Recent Developments

The pursuit of advancements in uranium in situ recovery (ISR) has spurred the creation of several innovative technologies. Among these advancements are the incorporation of advanced sensors for real-time monitoring, automated control systems to enhance operational efficiency, and the integration of artificial intelligence for predictive analytics, which collectively contribute to more efficient and sustainable ISR practices.

An additional noteworthy innovation is the adoption of biodegradable and environmentally friendly leaching agents. These agents not only mitigate the environmental footprint of the extraction process but also enhance the overall sustainability of uranium production.

Conclusion, Future Outlook

In conclusion, the evolution of uranium in situ leaching technologies has revolutionized the efficiency and environmental sustainability of uranium extraction. The integration of advanced sensors, automated control systems, and artificial intelligence has enabled real-time monitoring and optimized operational strategies, significantly enhancing the effectiveness of ISL practices. For instance, the use of advanced sensors in ISL operations can provide detailed insights into the leaching process, allowing for precise adjustments to optimize resource extraction and minimize environmental impact. Additionally, automated control systems can continuously monitor and adjust key parameters such as flow rates and chemical concentrations, ensuring optimal conditions for uranium recovery while minimizing resource wastage.

Furthermore, the adoption of biodegradable and environmentally friendly leaching agents has been a pivotal development in reducing the environmental footprint of ISL operations. For example, the use of citric acid as a leaching agent in ISL has shown promising results in terms of both uranium recovery and environmental impact reduction. By utilizing such environmentally friendly agents, ISL operations can minimize the generation of harmful waste products and reduce the need for costly waste disposal procedures.

Looking ahead, the outlook for ISL is promising, with ongoing research and development expected to further enhance operational efficiency and environmental sustainability. One area of focus is the development of new leaching agents that are not only effective in extracting uranium but also environmentally benign. Additionally, advancements in sensor technology and data analytics are expected to enable even greater precision and control in ISL operations, further optimizing resource extraction and minimizing environmental impact.

Overall, ISL has emerged as a key technology in the sustainable management of uranium resources, paving the way for a more efficient and environmentally friendly approach to uranium extraction. Continued advancements in ISL technologies will be crucial in maximizing the utilization of uranium resources while minimizing environmental impact, ensuring a sustainable supply of this vital energy resource for future generations.

REFERENCES

1. Wikipedia.org: In Situ Leach.

Retrieved on February 24th, 2024, from https://en.wikipedia.org/wiki/In_situ_leach#:~:text=ISL%20of%20uranium%20ores%20started,1961%2D1970%20using%20sulfuric%20acid.

2. Ian Hore-Lacy. World Nuclear Association – London, United Kingdom, Uranium Information Centre – Melbourne, Australia: Uranium Mining, Processing, and Enrichment (2004).

Retrieved on February 24th, 2024, from

3. Y. S. Oryngozhin, E. V. Fedorov, Zh. N. Alisheva, N. A. Mitishova – In-Situ Leaching Technology For Uranium Deposits (February, 2021).

4. Markus H.A. Piro, Ksenia Lipkina – Advances in Nuclear Fuel Chemistry (2020).

5. Seredkin M., Zabolotsky A., Jeffress G. (2016, December). *In situ* recovery, an alternative to conventional methods of mining: Exploration, resource estimation, environmental issues, project evaluation and economics. *Ore Geology Reviews,* Volume 79, 500-514. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.016

6. Li G. & Yao J. (2024, March 2). A Review of In Situ Leaching (ISL) for Uranium Mining. *Mining*, *4*(1), 120-148; https://doi.org/10.3390/mining4010009

7. Zheng F., Teng Y., Zhai Y., Hu J., Dou J., & Zuo R. (2023). Geo-Environmental Models of In- Situ Leaching Sandstone-Type Uranium Deposits in North China: A Review and Perspective. *Water, 15*, 1244.

8. World Nuclear Association (2020, September). In Situ Leach Mining of Uranium. https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/in-situ-leach-mining-of-uranium.aspx

ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИН ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА

Сатанов М.М.[1], Абдрахманов Н.Н.[1], Маркенбаев Ж.Д. [1], Кенжетаев Ж.С.[2], Алтайбаев Б.Т. [2]
[1]ТОО «Байкен-U», г. Кызылорда, Казахстан
[2]ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Казахстан
zh.kenzhetaev@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Рассмотрены особенности применяемых методов ремонтно-восстановительных работ на скважинах при восстановлении фильтрационных характеристик руд. Отобраны пробы кернового материала и осадкообразований, с различных продуктивных горизонтов при подземном скважинном выщелачивании урана. Рентгенофазовым методом установлены, сравнительно проанализированы количественно-качественные характеристики, минералогические составы руд и осадкообразований. Установлено что, на скважинах вскрывающие Сантонский и Маастрихтский горизонты, образуются осадки преимущественно химического происхождения, такие как гипс. При этом на скважинах вскрывающие Кампанский горизонт образуются многокомпонентные осадки, включающие кварц, гипс, полевые шпаты. На основе полученных данных разработана методика интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана в сложных горно-геологических условиях за счет растворения осадкообразований и повышения фильтрационных характеристик руд. Предложен и экспериментальным путем обоснован подход интенсификации скважинной добычи урана путем растворения и предотвращения осадкообразований с применением растворов фтористоводородной кислоты.

Ключевые слова: скважинная добыча урана, ремонтно-восстановительные работы, технологические блоки, коэффициент глинистости руд, продуктивный горизонт, фильтрационная характеристика пласта

SELECTION OF RATIONAL PARAMETERS FOR CHEMICAL TREATMENT OF WELLS DURING UNDERGROUND LEACHING OF URANIUM

Satanov M.M.[1], Abdrakhmanov N.N.[1], Markenbaev Zh.D. [1], Kenzhetaev Zh.S.[2], Altaibayev B.T.[2]
[1]«Baiken-U» LLP, Kyzylorda, Kazakhstan
[2]«Institute of High Technologies» LLP, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The features of the applied methods of repair and restoration work on wells when restoring the filtration characteristics of ores are considered. Samples of core material and sediment formations were taken from various productive horizons during underground borehole leaching of uranium. The quantitative and qualitative characteristics, mineralogical compositions of ores and sedimentation have been established and comparatively analyzed by the X-ray phase method. It has been established that sediments of predominantly chemical origin, such as gypsum, are formed at wells opening the Santonian and Maastricht horizons. At the same time, in wells that penetrate the Campanian horizon, multicomponent sediments are formed, including quartz, gypsum, and feldspars. Based on the data obtained, a technique has been developed for intensifying underground borehole leaching of uranium in difficult mining and geological conditions by dissolving sedimentation and increasing the filtration characteristics of ores. An approach to the intensification of borehole uranium mining by dissolving and preventing sedimentation using hydrofluoric acid solutions has been proposed and experimentally substantiated.

Key words: borehole uranium mining, repair and restoration work, technological blocks, ore clay coefficient, productive horizon, reservoir filtration characteristics

Последствия изменения климата и тенденция увеличения спроса на электроэнергию в развивающихся странах вызывает повышенный интерес к дальнейшему развитию ядерной энергетики. Работы по разработке и запуску новых модульных атомных электростанций малой и большой мощности с компактными размерами, и низким углеродным следом, могут оказать значительное влияние на сокращение выбросов CO_2 во всем мире (IAEA 2018; IPCC 2018). Уран является основным компонентом, от которого зависит атомная промышленность, и важнейшим элементом устойчивого развития ядерной энергетики [1, 2]. Уранодобывающая отрасль Казахстана, основанная на высокоэффективной технологии скважиной добычи, способна внести достойный вклад в удовлетворение возрастающего спроса на урановые ресурсы.

Скважинный способ добычи урана [3] является наиболее экономически рентабельным, экологически безопасным в условиях глубокого залегания ниже 300 м, при низком содержании полезного компонента в руде ниже 0,1 – 0,2 %. Данная технология является наиболее эффективной и не несет высоких капитальных и эксплуатационных затрат при разработке месторождения. Технология скважинной добычи урана предусматривает растворение полезного компонента движущимся потоком растворителя на месте залегания рудного тела с последующим выносом и подъемом образовавшихся соединений на поверхность через технологические скважины. Применяемая серная кислота в качестве реагента растворителя взаимодействует с карбонатными и глинистыми минералами рудовмещающих пород, кольматирует продуктивный горизонт [4]. Образующиеся осадки увеличивают гидравлическое сопротивление в пласте, снижают фильтрационные характеристики руд, понижают производительность скважин и препятствуют процессам подземного выщелачивания урана. Вследствие этого, производительность и межремонтный цикл (МРЦ) скважин снижается. Это увеличивает период отработки технологических блоков, вследствие чего, повышается расход серной кислоты, электроэнергии и прочих эксплуатационных составляющих [5]. Скважины на данных блоках часто останавливаются на проведение ремонтно-восстановительных работ (РВР) и возникает необходимость в дополнительном повышении проницаемости прифильтровой зоны пласта (ПЗП). В некоторых случаях необходимо проведение затратных, тяжелых комплексных обработок с применением буровых установок, включающих промывку, химическую обработку, свабирование и компрессорную прокачку.

Эффективность скважинной добычи урана во многом зависит от применяемых методов восстановления первоначальных фильтрационных характеристик пласта и способности повышать дебит и период бесперебойной работы скважин. Основными методами по восстановлению проницаемости пород призабойной зоны пласта при проведении восстановительных работ являются физический, химический и комбинированный виды восстановительных работ.

Выбор метода восстановления производительности добычной или приемистости нагнетательной скважин зависит от характеристик каждого отдельного метода, бюджета, конструкции оборудования и скважин, гидрогеологических и других особенностей месторождения. В таблице 1 приведено краткое описание основных методов восстановления проницаемости пластов и их средняя себестоимость.

Как видно из таблицы 1, применяемые методы РВР по видам делятся на гидродинамические, химические и комбинированные, направленные на эффективное устранение определенного вида осадкообразования. Гидродинамические методы, такие как компрессорная прокачка и промывка скважин технической водой, основаны на воздействий разности давления и направлены на разрушение и диспергирование механических осадкообразований [6]. Химические методы воздействия растворением преимущественно направлены на разрушение и устранение осадков, образованных в результате взаимодействия технологических растворов с вмещающими породами продуктивного горизонта [7]. Комбинированные методы включают проведение комплексных работ с применением буровых установок и вспомогательного оборудования, сочетающих промывку скважины с последующей химической обработкой, свабированием и компрессорной прокачкой [8]. Вместе с тем указанные методы малоэффективны в сложных горно-геологических условиях, многокомпонентные осадкообразования накапливаются в ПЗП и образуют сцементированные непроницаемые участки, не поддающиеся традиционным методам воздействия. Это потребовало проведение соответствующих лабораторных и опытно-промышленных экспериментов.

Таблица 1 – Применяемые методы РВР на уранодобывающих предприятиях

Характер воздействия	Метод осуществления	Основное назначение	Себестоимость, USD
Гидро-динамический	Компрессорная прокачка	Удаление глинистого раствора, механических взвешенных частиц и примесей из ПЗП	142,5
	Промывка технической водой	Удаление мелких пылевидных частиц и глинистых материалов из ПЗП	112,3
Химический	Серно-кислотная	Растворение железистых и алюминиевых химических отложений	225,0
	Глин-кислотная	Растворение карбонатных и кремниевых химических и механических отложений	397,5
Комбини-рованный	Реагентные обработки с механическим воздействием	Удаление песчаных пробок из колонны и фильтровой части скважины, растворение химических отложений, интенсификация свабированием, осветление растворов компрессорной прокачкой.	2250

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рентгенофазовые исследования руд

Для решения вопросов, вызывающих снижение производительности скважин и содержание урана в ПР при выщелачивании руд, необходимо определить минералогический состав продуктивного горизонта и структуру вмещающих пород. Полученные данные позволят определить причины снижения фильтрации растворов в зависимости от минералогических характеристик руд продуктивных ярусов на месторождении Сырдарьинской депрессии. Для сравнения физико-химических характеристик руд были отобраны пробы кернового материала из Сантонского, Маастрихтского и Кампанского продуктивных горизонтов месторождения урана «Северный Харасан».

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с CuKa – излучением, β-фильтр. Условия съемки дифрактограмм: U=35 кВ; I=20 мА; съемка θ-2θ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов [9,10]. В таблице 2 приведены результаты полуколичественного рентгенофазового анализа керновых проб.

Таблица 2 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа проб кернового материала

Минерал	Формула	Сантонский ярус, %	Маастрихтский ярус, %	Кампанский ярус, %
Кварц	SiO_2	90.8	54.7	66.3
Смектит	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	-	27.0	-
КПШ	$KAlSi_3O_8$	9.2	10.1	5.7
Каолинит	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	-	6.7	11.6
Гипс	$CaSO_4\,2(H_2O)$	-	-	16.4

Результаты рентгенофазового анализа керновых проб различных рудных ярусов показывают схожесть минералогического состава руд продуктивных горизонтов месторождения «Северный Харасан». При этом руды включают изменения содержащихся минералов в более широком диапазоне, кварц от 54,7 до 90,8 %, КПШ от 5,7 до 10,1 %, каолинита от 6,7 до 11,6 %.

Наличие в пробах КПШ (5,7 – 10,1 %), каолинита (11,6 – 6,7 %), гипса (16,4 %), в пробах Кампанского и Маастрихтского ярусов также свидетельствуют об образовании ионообменной, механических и химических осадков, препятствующие процессам скважиной добычи. При этом руды Сантонского яруса более однородны без образований осадков при подземном выщелачивании руд. Набухание глин и осаждение гипса в зонах разгрузки приводит к образованию непроницаемых участков в продуктивном горизонте, изменению направления потока выщелачивающих растворов по безрудным участкам и снижению содержания урана в ПР и как следствие замедлению извлечения урана из недр.

Рентгенофазовые исследования осадкообразований

Основная цель рентгенофазовых исследований заключается в том, чтобы в лабораторных условиях определить и сравнить количественно-качественные характеристики осадкообразований различных рудовмещающих горизонтов. Установление количественно-качественных характеристик кольматантов позволит подобрать эффективные подходы для их разрушения, диспергирования, удаления и дальнейшего предотвращения осадкообразования на длительный период [13].

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на том же оборудовании и методике указанной в разделе 2.1 Для основных фаз проводился расчет содержания. В таблице 3 приведены результаты полуколичественного рентгенофазовых анализов проб осадкообразований.

Таблица 3 – Результаты полуколичественных рентгенофазовых анализов кристаллических фаз проб осадкообразований

Минерал	Формула	Сантонский ярус, %	Маастрихтский ярус, %	Кампанский ярус, %
Quartz	SiO_2	-	-	35.6
Gypsum	$CaSO_4\,2(H_2O)$	100	100	16.7
Calcite	$Ca(CO_3)$	-	-	8.9

Albite	$(Na,Ca)(Al,Si)4O_8$	-	-	33.9
КПШ	$KAlSi_3O_8$	-	-	4.9

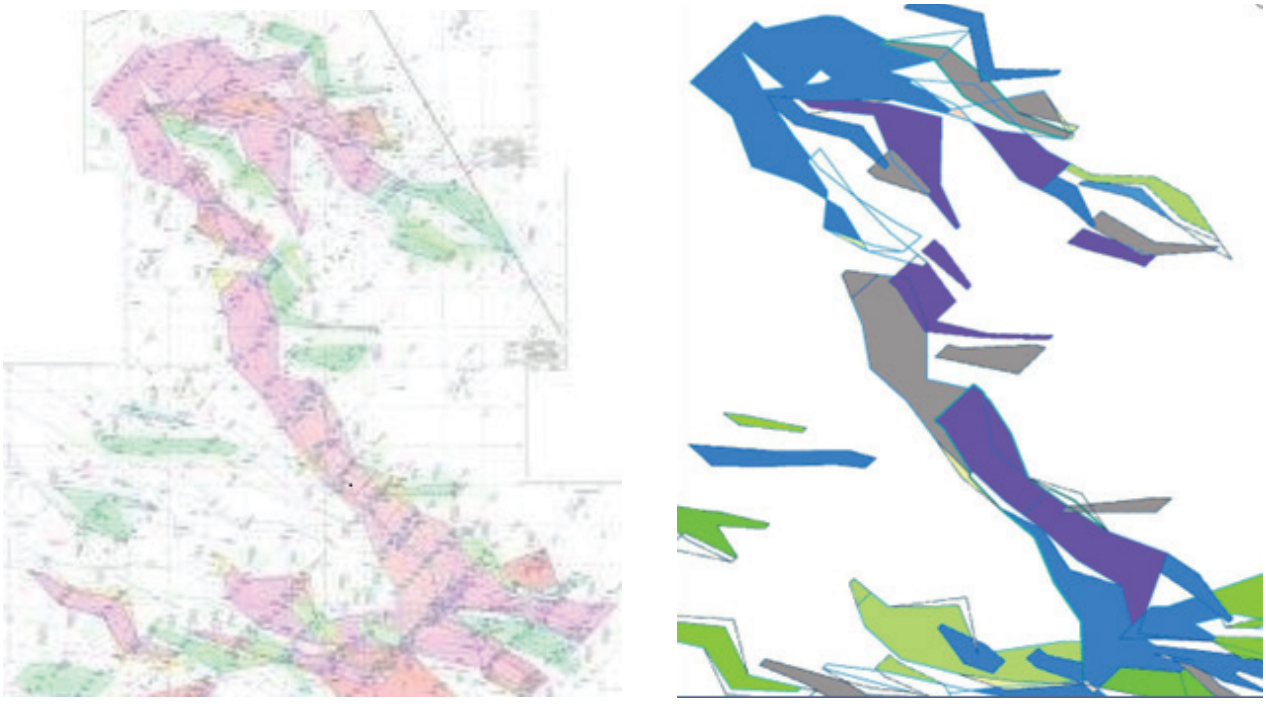
Результаты рентгенофазового анализа осадкообразований проб из скважин Сантонского и Маастрихтского горизонтов Сырдарьинской депрессии свидетельствуют, что осадки однокомпонентные и состоят 100 % из гипса продукта химического происхождения. Осадкообразования из скважины Кампанского горизонта Сырдарьинской депрессии показывают, что осадки многокомпонентные и имеют сложную структуру. Наличие кварца в количестве (35,6 %), альбетита (33,9 %), КПШ (4,9 %) подтверждают преобладание механического типа кольматации, наличие гипса (16,7 %) и кальцита (8,9 %), присутствие осадков химического происхождения.

Кварцевые, гипсовые и полевошпатные осадкообразования накапливаются в фильтровой части скважин, снижают фильтрационные характеристики продуктивного горизонта, препятствуют линиям тока технологических растворов, направляя растворы по безрудным участкам.

Подбор рациональных параметров химической обработки скважин

Разработка рациональных параметров химической обработки скважин с низкими фильтрационными характеристиками руд предусматривает ранжирование участков и блоков в зависимости от коэффициента глинистости руд для применения различных концентрации фтористоводородной кислоты при РВР скважин. На рисунке 1 приведена обзорная схема технологических блоков месторождения «Северный Харасан» участок Харасан-2 по продуктивным горизонтам (a) и коэффициенту глинистости (b).

Как видно из рисунка 1 (a), технологические блоки участка Харасан-2 состоят из Сантонского, Маастрихсткого и верхнего и нижнего Кампанского продуктивных горизонтов. На рисунке 1 (b) блоки ранжированы по коэффициенту глинистости и отмечены цветами в диапазоне 0 – 12 % (зеленый), 13 – 15 % (синим), 16 – 18 % (фиолетовым), 19 – 22 % (коричневый). При этом фактические данные отработки блоков с высоким показателем коэффициента глинистости от 16 до 18 % и более 19 % значительно отстают от проектных значений по причине резкого снижения фильтрационных характеристик руд. Это приводит к снижению производительности добычных и приемистости нагнетательных скважин по причине кольматации продуктивного горизонта, и снижению коэффициента использования скважин, в связи с увеличением количества остановок на проведение РВР.



(a) (b)

Рисунок 1 – Обзорная схема технологических блоков участка Харасан-2 (a) по продуктивным горизонтам; (b) по коэффициенту фильтрации

При обычных кислотных обработках фильтровой зоны технологических скважин с низкими фильтрационными характеристиками руд, поступающий декольматирующий раствор проникает в прифильтровую зону пласта по верхней части фильтра по наиболее проницаемым участкам. При этом основная, нижняя часть прифильтровой зоны пласта остается необработанной, с непроницаемыми рудными зонами. Декольматирующий раствор проникая по наиболее проницаемым зонам и участкам реагирует с рудовмещающими породами и нейтрализуется без взаимодействия с осадкообразованиями в продуктивном горизонте. Нерастворенные осадкообразования поступают в прифильтровую зону скважины, заклинивают отверстия фильтра и производительность скважины резко снижается.

Проведение экспериментальных опытов на скважинах при ПСВ урана

Химические методы РВР направленны на растворение и устранение осадков, образовавшихся в результате взаимодействия технологических растворов с вмещающими породами продуктивного горизонта. Применение растворов фтористоводородной кислоты при РВР скважин производится по специально разработанной методике на специальном технологическом оборудовании, при соблюдении требований безопасности труда. Суть метода заключается в подаче растворов фтористоводородной кислоты непосредственно в фильтровую часть скважины для ее реакции с осадкообразованиями, растворение и удаление продуктов реакции за пределы скважины путем эрлифтной откачки. Концентрация и объем фтористоводородной кислоты подбирается в зависимости от производительности скважины, опыта предшествующих химических обработок и глинистости технологического блока. Добавление серной кислоты предусматривается для укрепления раствора, снижения pH и предотвращения нейтрализации основного растворителя в продуктивном горизонте. В таблице 4 приведены параметры декольматирующих растворов.

Таблица 4 – Составы декольматирующих растворов

Состав декольматирующего раствора	Объём, $м^3$	H_2SO_4, кг	HF, кг	Коэффициент глинистости руд	МРЦ до, суток NH_4HF_2	МРЦ после, суток HF
$HF + H_2SO_4$	3.0	120	150 (2,0%)	0-12	26	55
$HF + H_2SO_4$	3.0	120	200 (2,5%)	13-15	30	48
$HF + H_2SO_4$	3.0	120	250 (3,2%)	16-18	25	30
$HF + H_2SO_4$	3.0	120	300 (4,0%)	19-22	32	50

Приготовление декольматирующего раствора из технической фтористоводородной кислоты с исходной концентрацией 37 % в количестве 150, 200, 250, 300 кг на общий объем в 3,0 $м^3$, составит 2,0, 2,5, 3,2 4,0 %, от общей массы, при добавлении 120 кг серной кислоты, составляющей 4,0 % от общей массы. Анализ производительности и продолжительности работы эксплуатационных скважин до и после обработки скважин позволил определить эффективность химического метода РВР с применением фтористоводородной кислоты, определяемой в межремонтном цикле (МРЦ). На рисунке 2 приведена диаграмма периодов бесперебойной работы скважин до и после проведения экспериментальных работ на скважинах ПСВ урана.

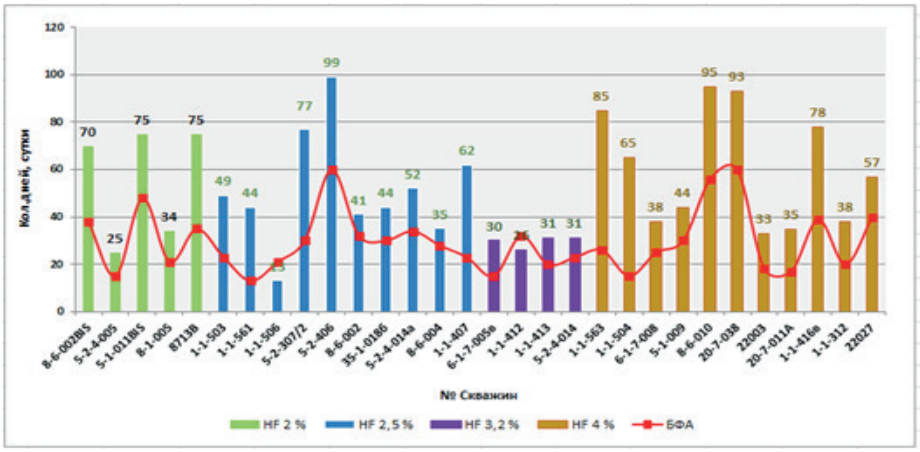


Рисунок 2 – Результаты сравнительного анализа работы скважин до и после химической обработки скважин

Сравнительный анализ работы геотехнологических скважин до и после проведения химической обработки показал, что предшествующий МРЦ скважин составлял в среднем 30 суток при применении растворов бифторида аммония (NH_4HF_2 в количестве 50 кг). При применении фтористоводородной кислоты произошло увеличение МРЦ при 2,0 % до 55 суток, при 2,5 % до 48 суток, при 3,2 % до 30 суток, при 4,0 % до 50 суток. Повышение МРЦ скважин обусловлено большим объемом подаваемой фтористоводородной кислоты с 33 кг до 55 – 112 кг в пересчете на HF, при сравнении готовой фтористоводородной кислоты HF с NH_4HF_2.

Выводы

Отобраны пробы осадкообразований из действующих технологических скважин, вскрывающие Сантонский, Маастрихтский и Кампанский рудные интервалы и определены количественно-качественные характеристики и установлены составы осадкообразующих материалов. Результаты рентгена-фазовых исследований пробы из скважины Кампанского горизонта показывают, что осадки многокомпонентные и имеют сложную структуру. Наличие кремния в количестве 35,6 %, альбетита 33,9 %, микроклина 4,9 % свидетельствуют, что преобладают механический тип кольматации, наличие гипса в 16,7 % и кальцита 8,9 % показывает о присутствии осадков химического происхождения.

Полученные результаты по применению фтористоводородной кислоты для РВР скважин достаточно высокие, по сравнению с традиционными методами. Применение специального сертифицированного оборудования для обработки непосредственно фильтровой области скважин повышает эффективность, производительность труда и безопасность химического метода РВР. Подача декольматирующих растворов на основе фтористоводородной кислоты (2,0-5,0%), серной кислоты (2,0-5,0%), непосредственно в фильтровую часть технологических скважин позволяет снизить расход химических реагентов и повысить эффективность растворения осадкообразований за счет предотвращения разубоживания декольматирующего раствора в колоне скважины. При этом достигается увеличение межремонтного цикла (МРЦ) скважин, повышение производительности скважин с низкими фильтрационными характеристиками руд при среднем коэффициенте глинистости руд продуктивного горизонта $K_{гл} \geq 16,0$, а также повышение эффективности подземного скважинного выщелачивания урана и сокращение эксплуатационных расходов на добычу в сложных горно-геологических условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Khawassek, Y.M. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert / Y.M. Khawassek, M.H. Taha*, A.A. Eliwa // International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering. – 2016. – V 6. – P. 62–73.

2. Rashad, M.M. Kinetics of uranium leaching process using sulfuric acid for Wadi Nasib ore, South western Sinai, Egypt / M.M. Rashada, S.A. Mohamedb, E.M. EL sheikha, H.E. Miraa, G.M. Abd el Wahaba, S.A. Zakia // Aswan University Journal of Environmental Studies. – 2020. – V 2. – P. 171–182.

3. Bahig, M.Atia1., Mohamed, A. Gado1., Mohamed, F.Cheira1. Kinetics of uranium and iron dissolution by sulfuric acid from Abu Zeneima ferruginous siltstone, Southwestern Sinai, Egypt // Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. – 2018. –V 3. – P. 1–12.

4. Chen, J., Zhao, Y., Song, Q., Zhou, Z., & Yang, S. Exploration and mining evaluation system and price prediction of uranium resources // Mining of Mineral Deposits, 2018. 12(1). P. 85–94.

5. Rakishev B.R., Mataev M.M., Kenzhetaev Z.S. Analysis of mineralogical composition of sediments in in-situ leach mining of uranium// Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2019. (7). P. 123–131.

6. Kenzhetaev, Z.; Nurbekova, M.; Togizov, K.; Abdraimova, M.; Toktaruly, B. Methods for intensification of borehole uranium mining at the fields with low filtration characteristics of ores. Mining of Mineral Deposits, 2021, 15, P. 95–101.

7. Nikitina, Yu. G., Poyezzhayev, I. P., Myrzabek, G. A. Improvement of opening schemes of wellfilds to optimize the cost of mining uranium // Gornyi Vestnik Uzbekistana. – 2019. – Vol.1. – P. 6–11.

8. Rakishev, B.R., Bondarenko, V.I., Matev, M.M., Kenzhetaev, Z.S. Influence of chemical reagent complex on intensification of uranium well extraction// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2019, (6). – P. 25 – 30.

9. Rakishev, B., Mataev M.M., Kenzhetayev, Z., Altaybayev, B., Shampikova, A. Research into leaching of uranium from core samples in tubes using surfactants// Mining of Mineral Deposits. – 2020. – 14(4). – C. 97–104.

10. Юсупов, Х.А., Алиев, С.Б., Джакупов, Д.А., Ельжанов, Е.А. Применение бифторида аммония для химической обработки скважин при подземном выщелачивании урана / Горный журнал. – 2017. – №4. – С. 57–60.

11. Mataev M.M. The impact of ammonium bifluoride complex on colmataging formations during the process ofin situ uranium leaching / M.M. Mataev, B.R. Rakishev, G.S. Kenzhetaev // International journal of advanced research. – 2017. – No5. – P. 147–154.

12.Bayan Rakishev, Zhiger Kenzhetayev, Asel Shampikova and Bakytzhan Toktaruly Increasing of filtration characteristics of ore bodies in borehole uranium mining./ 2nd International Conference Essays of Mining Science and Practice, RMGET 2020; Dnipro; Ukraine; 2020, 22-24 April.

13. Юсупов, Х.А., Джакупов, Д.А., Башилова, Е.С. Повышение эффективности отработки сложных гидрогенных месторождений урана с применением пероксида водорода // Горный журнал Казахстана. – 2018. – №2. – С. 18–21.

СОРБЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ СПВ УРАНА НА ОПУ ДОБРОВОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Соловьев А.А. [1], Татарников А.В.[1], Мешков Е.Ю.[1], Андреева С.И.[1], Бояркина Е.С.[2]
[1]АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», г. Москва, Россия
[2] АО «Далур», Курганская обл., Россия
Solovev.A.A@vnipipt.ru

Аннотация. Проведены исследования сорбционного извлечения урана из сернокислых растворов с повышенным содержанием хлорид-ионов ионитами различной функциональности и структуры, а также регенерации анионитов, с целью получения товарного десорбата с минимальным количеством хлорид-ионов. Оптимальным к применению в рассматриваемой системе с повышенным содержанием хлорид-ионов является пористый пиридиниевый анионит повышенной емкости, например Purolite A560.

Приведены усредненные показатели работы сорбционного передела опытно промышленной сорбционной установки на месторождении Добровольное (АО «Далур») с использованием пористого пиридиниевого анионита, который является аналогом исследуемого в работе анионита Purolite A560.

Ключевые слова: ионит, сорбция, донасыщение, десорбция, хлорид-ион, уран.

SORPTION PROCESSING OF PRODUCTIVE SOLUTIONS FROM IN-SITU URANIUM LEACHING AT THE PILOT PLANT OF A DOBROVOLNOYE FIELD

Solovyev A.A.[1], Tatarnikov A.V.[1], Meshkov E.Yu.[1], Andreeva S.I.[1], Boyarkina E.S.[2]
[1] Design&Survey and Research&Development Institute of Industrial Technology, Joint-Stock Company, Moscow, Russia
[2] JSC «Dalur», Kurgan region, Russia
Solovev.A.A@vnipipt.ru

Abstract. Studies of sorption recovery of uranium by ionites of different functionality and structure from sulphuric acid solutions with increased content of chloride ions, as well as regeneration of anionites, obtaining commercial desorbate with a minimum amount of chloride ions were carried out. Optimal for use in the considered system with increased content of chloride ions is a porous pyridinium anionite of increased capacity, e.g. Purolite A560.

The averaged performance of sorption process of pilot industrial sorption unit at Dobrovolnoye field (JSC «Dalur») using porous pyridinium anionite, which is an analogue of Purolite A560 investigated in the work, is given.

Key words: ionite, sorption, saturation, desorption, chloride ion, uranium.

Постановка задачи

Условия отработки Добровольного месторождения урана методом скважинного подземного выщелачивания характеризуются повышенным содержанием хлорид-ионов в водах продуктивного горизонта (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав пластовых вод водоносных горизонтов месторождении «Добровольное», мг/дм^3:

HCO_3^-	Fe^{3+}	Fe^{2+}	$Fe_{общ}$	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Минерализация	Общая жесткость
231,8	0,1	0,1	0,2	408,	7455,0	344,5	160,7	4399,9	13 000	31 мг-экв. /дм^3

С целью получения технико-экономического обоснования постоянных кондиций Добровольного месторождения необходимо определить оптимальный сорбент для переработки продуктивных растворов с повышенным содержанием хлорид-ионов на опытной промышленной установке (ОПУ), обеспечивающий эффективное извлечение урана и обладающий оптимальными параметрами регенерации.

Сравнение сорбции урана ионитами различной функциональности и структуры, выбор типа ионитов

При проведении исследований использовали иониты гелевой и макропористой структуры, содержащие различные функциональные группы (таблица 2). Состав исходного раствора, мг/дм^3 :47,4 – U; 150 – Fe^{3+}, 630 – Fe^{2+}; 534 – Ca; 220 – Mg; 4600 – Na, 7500 – Cl^-, pH=1,5.

Таблица 2 – результаты сорбции урана из модельного продуктивного раствора в статических условиях.

Ионит	Функциональная группа	Структура	Крупность согласно сертификату, мкм	ПОЕ по сертификату, мг экв/ см^3	C_U, г/ дм^3
АМП	Пиридиниевый азот	гелевый	800-2000	1,1	9,6
Purolite A660		гелевый	800-1400	1,3	14,2
Purolite A560		макропористый	800-1300	1,1	15,5
Purolite PFA460		гелевый	570 ± 50	1,3	8,8
Ambersep 920U	Четвертичный азот	макропористый	750-950	1,0	7,8
Purolite PFA600		гелевый	570 ± 50	1,6	9,7
Purolite A100	Третичный азот	макропористый	800-1300	1,3	6,3
Lewatit 62WS		макропористый	550± 50	1,7	7,4
Lewatit A365	Полиамин	гелевый	>400	3,4	7,2
Purolite GS176	Фосфорильный кислород	макропористый	>400	Опытная партия	12,9
Lewatit TP260	Аминометилфосфоновая	макропористый	550± 50	2,3	2,2

Как видно из таблицы 2, только ионит Purolite GS176, содержащий фосфорильный кислород, и моносферные аниониты Purolite PFA600 и PFA460 имеют емкость по урану, сравнимую (но не выше) с емкостью пиридиниевых анионитов стандартной крупности. Этого обстоятельства недостаточно для оправдания усложнения технологии, связанной со снижением производительности стандартных колонн СНК-3 по раствору из-за увеличения гидродинамического сопротивления слоя ионита (крупность зерен PFA460, PFA600 – 570 ± 50), или с применением карбонатной десорбции и последующей очисткой урана от тория. (GS176, TP260).

Наиболее высокую емкость по урану показали пиридиниевые аниониты нового поколения Purolite A560 и Purolite A660, которые и были выбраны для последующих исследований. Также для дальнейшей работы выбраны пиридиниевый анионит АМП, как эталон сравнения сорбционных свойств, и Ambersep 920U (обозначение на рисунках Amb920), которому свойственна облегчённая десорбция (эталон сравнения десорбции).

Сорбция

Равновесие сорбции урана ионитами изучали в статических условиях методом переменных объемов, при непрерывном перемешивании модельного раствора и ионита в течение 48 часов при нормальных условиях.

Изотермы сорбции урана ионитами, построенные по полученным результатам, показаны на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, линейный характер изотермы сорбции урана анионитом Ambersep 920U практически исключает его использование для сорбции урана из растворов ПВ, содержащих 7,5 г/дм^3 хлорид-иона и 20-25 мг/дм^3 урана при pH=1,55

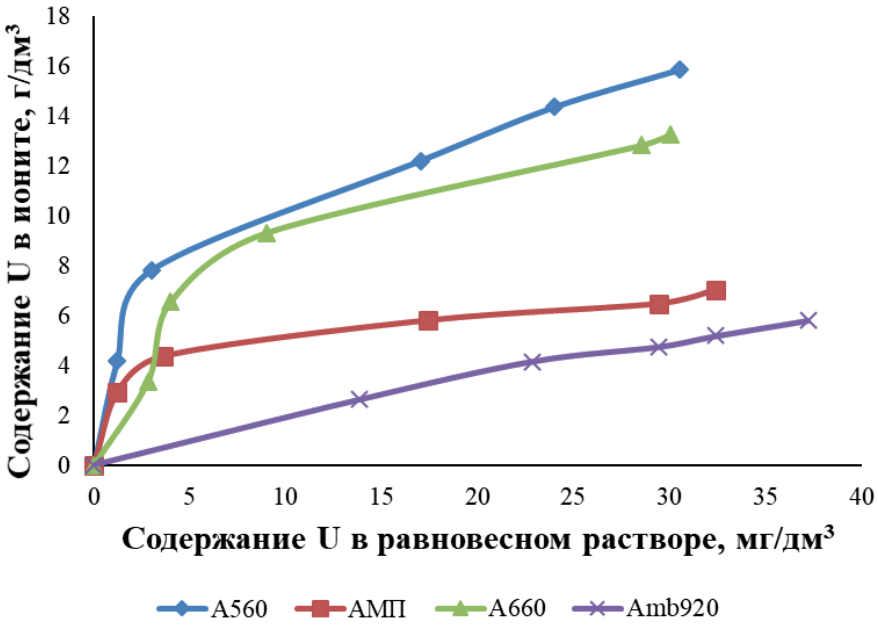


Рисунок 1 – Изотермы сорбции урана анионитами

По результатам определения ПДОЕ анионитов по урану в динамических условиях (таблица 3, рисунок 2) можно сделать вывод о значительном преимуществе пиридиниевых анионитов нового поколения перед пиридиниевым анионитом АМП и сильноосновным анионитом Ambersep 920U для сорбции урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания, содержащих повышенное количество хлорид-иона.

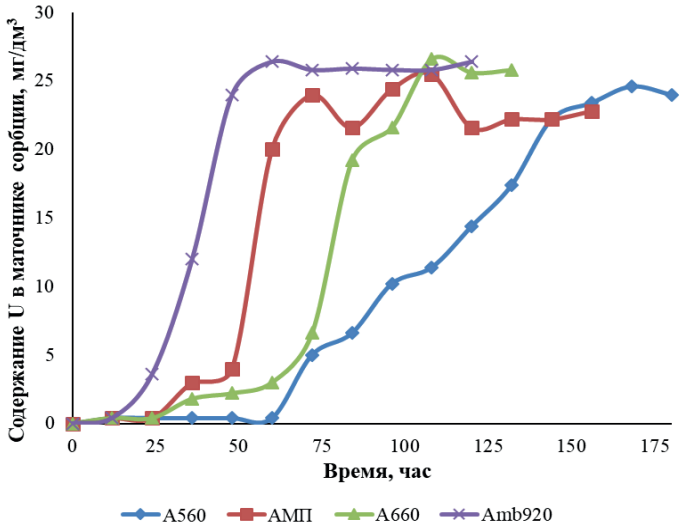


Рисунок 2 – Выходные кривые сорбции урана анионитами из растворов ПВ, содержащих 7,5 г/дм^3 Cl^-, pH=1,55.

Таблица 3 – Показатели сорбции урана

Анионит	Содержание в аниоките, г/дм^3			K_k, г/дм^3	β
	U	NO_3^-	Cl^-		
АМП	4,92	2,20	17,70	246	0,086
А560	13,63	1,90	16,20	598	0,055
А660	12,12	1,65	20,60	459	0,053
Ambersep 920U	5,27	3,15	11,34	200	0,067

Регенерация

Для определения параметров десорбции провели опыты по десорбции насыщенных анионитов в динамических условиях (рис. 3). Во всех опытах расход десорбирующего раствора составлял 1 колоночный объем в час, использовался десорбирующий раствора состава, г/дм^3: 20 – H_2SO_4, 100 – NH_4NO_3.

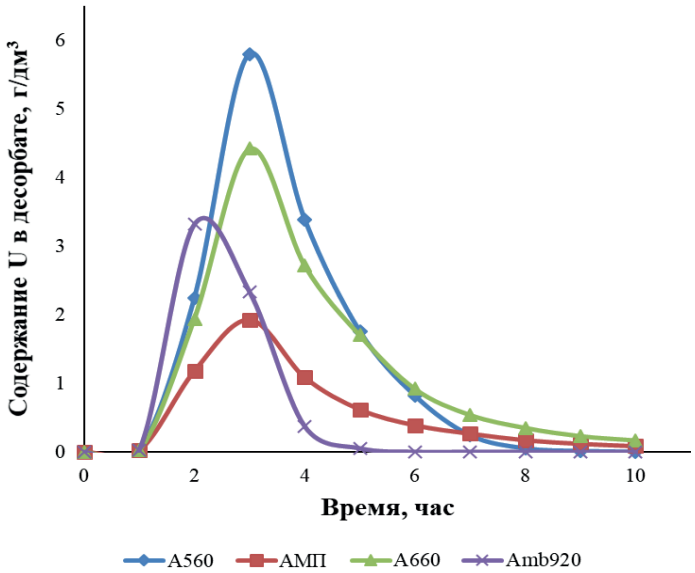


Рисунок 3 – Выходные кривые десорбции урана из анионитов.

Состав растворов для донасыщения анионитов рассчитывали исходя из объема минимально необходимого десорбирующего раствора, определенного при обработке выходных кривых десорбции и целевого объема, выводимого товарного десорбата – 0,33 $м^3/м^3$ насыщенного анионита (таблица 6). Донасыщение анионитов проводили при комнатной температуре, осуществляя подачу раствора в нижнюю часть колонки с расходом 0,5 от объема загруженного ионита в час (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание металлов и анионов в анионитах после донасыщения

Ионит	$К_{уд}$, $см^3/г$	Содержание в аниоките					
		г/дм³			мг/дм³		
		U	NO_3^-	Cl^-	Fe	Al	Ca
АМП	2,45	31,84	49,5	1,40	49,0	20,4	85,7
А560	2,25	59,51	37,0	1,07	31,1	13,3	124
А660	2,1	56,90	39,0	2,35	42,9	9,52	157
Ambersep 920U	2,6	24,85	26,0	3,95	42,3	34,6	177

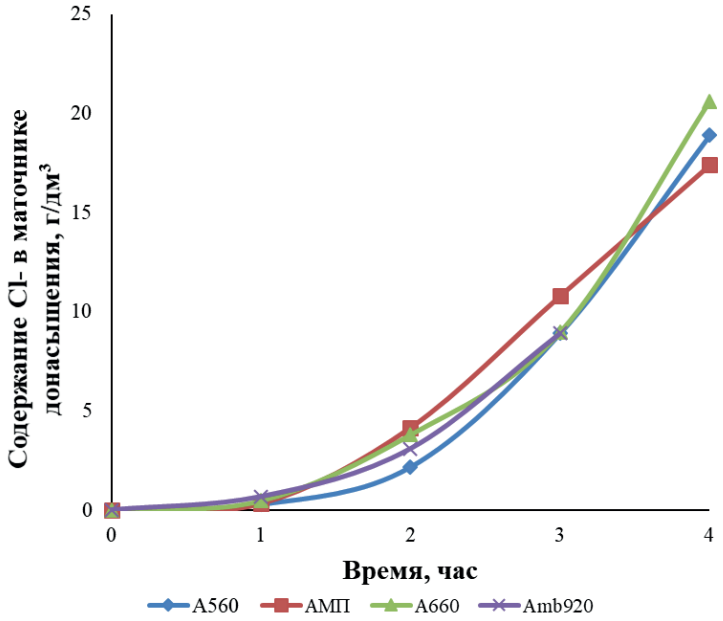


Рисунок 4 – Выходные кривые десорбции Cl^- из насыщенных анионитов при донасыщении анионитов ураном из модельного товарного десорбата.

Хлорид-ион эффективно вытесняется из анионитов при донасыщении, для удовлетворительной отмывки анионита от хлорид-иона требуется не менее 2 удельных объемов модельного товарного десорбата, поступающего на донасыщение. Отсутствие точки перегиба выходных кривых на рисунке 4 свидетельствует о том, что при таком удельном объеме товарного десорбата процесс отмывки от хлорид-иона еще не завершен.

На рисунке 5 показаны выходные кривые десорбции урана из донасыщенных анионитов, в таблице 5 – остаточное содержание металлов и анионов в анионитах после десорбции.

Расчетное удельное содержание хлорид-иона, перешедшего в десорбат, составляет 0,54 $г/дм^3$ анионита Purolite A560 и 0,98 $г/дм^3$ анионита АМП. То есть при выводе в товарный десорбат Purolite A560 порядка 0,3 $м^3/м^3$ насыщенного анионита содержание хлор-иона в нем должно составить 1,6 $г/дм^3$, АМП – 3,0 $г/дм^3$.

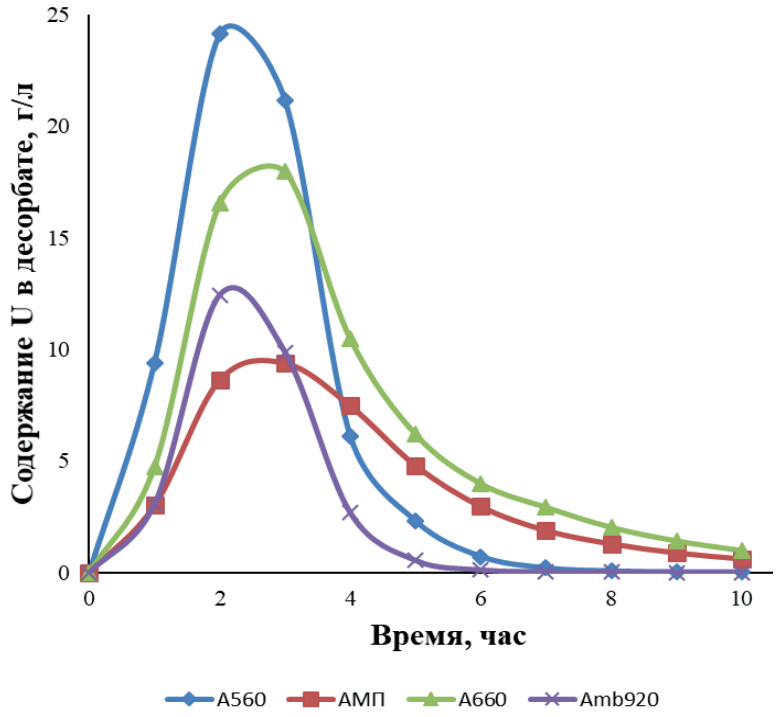


Рисунок 5 – Выходные кривые десорбции урана из донасыщенных анионитов.

Таблица 5 – Остаточное содержание металлов и анионов в анионитах после десорбции (с предварительным донасыщением)

Ионит	$K_{уд}$, см^3/г	Содержание в анионите					
		г/дм^3			мг/дм^3		
		U	NO_3^{-*}	Cl^-	Fe	Al	Ca
АМП	2,85	0,52	71,8	0,41	35,0	2,8	24,5
A560	2,75	<0,04	66,8	0,53	21,9	2,6	25,5
A660	2,6	0,10	81	0,65	76,9	23,1	26,9
Ambersep 920U	3,0	<0,04	68	0,63	60,0	16,6	23,3

*По балансу денитрации

Расчетное минимальное количество десорбирующего раствора, полученное для донасыщенных анионитов, показано в таблице 6. Там же определено и количество десорбата, которое необходимо вывести на операцию донасыщения ионита ураном при выводе в товарный десорбат порядка 0,3 м^3/м^3 насыщенного анионита. В то же время необходимый объем десорбирующего раствора при десорбции урана с донасыщенных гелевых пиридиниевых анионитов значительно увеличился, особенно для анионита АМП.

Таблица 6 – Расчетные удельные потоки растворов на донасыщении и десорбции

Анионит	Насыщенный анионит, м^3/м^3 насыщенного анионита		Раствор донасыщения в опыте, м^3/м^3 насыщенного анионита	Донасыщенный аниионит, м^3/м^3 насыщенного анионита	
	ДР	Раствор донасыщения		ДР	Раствор донасыщения
A560	2,0	1,7	2	2,4	2,1
АМП	2,4	2,1	2	3,7	3,4
A660	2,3	2,0	2	2,9	2,6
Ambersep 920U	1,8	1,5	1,5	2,1	1,8

Как видно из данных таблиц и выходных кривых десорбции урана из донасыщенных анионитов, наиболее эффективно десорбция урана осуществляется из пористых анионитов пиридиниевого типа, показатели десорбции урана из которых незначительно изменились по сравнению с показателями десорбции из насыщенных анионитов без донасыщения.

Практическое использование результатов исследования

По стоянию на 28.03.2024г геотехнологические показатели отработки ГРМ ОПУ месторождения «Добровольное»:

- достигнутое значение Ж:Т = 1,088;
- содержание урана в ПР 34 мг/дм^3
- сорбционная переработка ПР, начало переработка ПР 15.10.2023 г. и проводятся по настоящее время.

Таблица 7 – Усредненные показатели сорбционного передела за третью декаду марта 2024 года

Продукт	Содержание, г/дм3		
	Уран	Нитрат-ион	Хлор-ион
Сорбция			
ПР	0,034	0,13	7,5
ВР	0,002	0,13	7,5
Сорбент	13,4	5,0	н/д*
Донасыщение			
Маточник донасыщения	0,27	0,38	23,9
Сорбент	30,7	62,4	н/д*
Десорбция			
Товарный десорбат	26,5	40,1	2,1
Сорбент	3,0	73,8	н/д*
Конверсия			
Маточник конверсии	1,5	22,1	0,5
Сорбент	2,2	49,6	н/д*
Отмывка от кислоты			
Промывная вода	0,01	3,9	0,14
Сорбент	2,1	37,8	н/д*

Примечание: *- не определяли/нет данных

Выводы

Проведены исследования сорбционного извлечения урана ионитами различной функциональности и структуры из сернокислых растворов с повышенным содержанием хлорид-ионов в статических и динамических условиях.

Оптимальным к применению в рассматриваемой системе с повышенным содержанием хлорид-ионов является пористый пиридиниевый анионит повышенной емкости, например Purolite A560.

В настоящее время на АО «Далур» на месторождении Добровольное запущена опытно промышленная сорбционная установка с использованием пористого пиридиниевого анионита АМП-п, который является аналогом исследуемого в работе анионита Purolite A560.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мешков Е.Ю. Сорбционная переработка продуктивных растворов скважинного подземного выщелачивания урана с повышенным содержанием хлорид-ионов / Мешков Е.Ю., Соловьев А.А., Татарников А.В., Бобыренко Н.А. // IX научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Молодежные решения для достижения лидерства атомной отрасли на мировом энергетическом уровне в эпоху трансформации экономики»: сборник тезисов. – СПб: СИНЭЛ, 2021. – С 42–45.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА (ТП ГП)

Бектаев М.Е., Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Алтынбек А.Д.,
ТОО «BMC Kazakhstan», НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева» г.Алматы, Республика Казахстана
erbekta@gmail.com

TECHNOLOGICAL PLATFORM OF GEOTECHNOLOGICAL FIELD FOR «IN SITU» URANIUM LEACHING

Bektayev M., Turysbekova G.S., Bektay E.K., Altynbek A.D.
«BMC Kazakhstan» LTD, NJSC "KazNRTU named after K.I. Satpayev" Almaty, Republic of Kazakhstan
erbekta@gmail.com

Аннотация. Ключевое место в технологии подземного скважинного выщелачивания урана занимает эффективность геотехнологического поля. Несмотря на все успехи по автоматизации и цифровизации процессов применяемых при ПСВ урана, но геотехнологическое поле до сих пор остается не охваченным полноценной автоматизированной системой управления. Работа по контролю и снятию показателей ведется на блоках в основном вручную. Снятие проб и их анализ в лаборатории, ведется ежедневный учет потоков растворов по скважинам через расходомеры либо по письменным журналам либо через планшеты путем визуального контроля показателей расходомеров. Следует отметить, что благодаря успешной работе геотехнологического поля и всей системы магистральных трубопроводов, ТУЗов, УППР, системе закачных и откачных скважин на блоках и обеспечивается успех добычи ПСВ урана. Известно, что состав рудного тела различается не только между отдельными блоками, но и в пределах одного блока. Подтверждением является разное содержание урана в продуктивных растворах откачных скважин в пределах одного блока, иногда в несколько раз. На практике же применяется стандартный усредненный подход в рамках ко всем блокам, за исключением блоков на стадии активного выщелачивания и стадии закисления. В рамках реализации проекта по созданию мобильного комплекса извлечения металлов проектной группой были отработаны элементы технологической платформы геотехнологического поля. Дозированная подача дополнительных реагентов (химических окислителей и поверхностно активных веществ и др.) на отдельные скважины и удаленный цифровой автоматический контроль обьемов выщелачивающих и продуктивных растворов с данными показателей растворов (pH и ОВП и состава основных веществ) реально создает **управляемое геотехнологическое поле**.

Технико-экономические расчеты показывают, что создание **системы управляемого геотехнологического поля** – актуальная задача которая позволит увеличить обьемы производства урана **на 10 %** и более, либо соответственно снизить себестоимость продукции.

Ключевые слова: Продуктивный раствор, выщелачивающий раствор, геотехнологическое поле, насос дозаторы, окислительно-восстановительный потенциал

Key words: Productive solution, leaching solution, geotechnological field, dosing pump, redox potential

Введение

В настоящее время использование ПСВ урана в Казахстане имеет значительные успехи. Основное место в применении этой технологии занимает работа геотехнологического поля. Несмотря на все успехи по автоматизации и цифровизации процессов применяемых при ПСВ урана, но геотехнологическое поле нуждается в применении эффективной системы управления. По прежнему, многие работы ведутся вручную: снятие проб и их анализ в лаборатории, ведется ежедневный учет потоков растворов по скважинам через показания расходомеров по письменным журналам либо через планшеты путем визуального контроля показателей расходомеров. Это означает, что геотехнологическое поле имеет **значительный нераскрытый потенциал**. Для успешной работы геотехнологического поля по добыче урана требуется контроль и управление всей системы магистральных трубопроводов, ТУЗов, УППР, системе закачных и откачных скважин на блоках.

Следует отметить, что состав рудного поля различается как между отдельными блоками, так и существенно в пределах одного блока. Самым простым подтверждением этому является разное содержание

урана в продуктивных растворах откачных скважин в пределах одного блока, иногда в несколько раз. На практике же применяется стандартный усредненный подход ко всем блокам, за исключением блоков на стадии активного выщелачивания и стадии закисления.

Создание **системы управляемого геотехнологического поля** – актуальная задача которая позволит увеличить обьемы производства урана **на 10 %** и более, соответственно снизить себестоимость продукции. Можно повысить эффективность использования серной кислоты за счет дополнительного воздействия только на отдельные проблемные скважины, а не на весь блок в целом на стадии отработки. Дозированная подача дополнительных реагентов (химических окислителей и поверхностно активных веществ и др.) на отдельные скважины реально создает **управление геотехнологическим полем**.

Также возможно применение не только серной кислоты, но и других реагентов (например ПВА для лучше проницаемости рудного поля, пероксида водорода или других химических окислителей для решения проблем кольматации или восстановления работы скважины) без проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР).

Дозированная подача дополнительных реагентов (химических окислителей и поверхностно активных веществ и др.) на отдельные скважины и удаленный цифровой автоматический контроль обьемов выщелачивающих и продуктивных растворов с данными показателей растволров (как минимум pH и ОВП и состава основных элементов) реально создает **управляемое геотехнологическое поле**. Создание технологической платформы геополя создает условия применения не только серной кислоты но подбор дополнительных химических выщества включая окислители или поверхностно-активные вещества и другие реагенты для решения проблем кольматации или восстановления работы скважины без проведения дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ (РВР).

Геотехнологи получают инструмент системного анализа рудника в целом с детализацией по каждой закачной и откачной скважине. Учет и контроль обьемов потоков растворов по каждой скважине, возможность воздействия на отдельные скважины в силу особенности их работы — это путь к реальной цифровизации геотехнологического поля. Своевременное выявление растеканий из скважин, за счет автоматического анализа расхождений потоков растворов по блоку и сумме потоков по отдельным скважинам.

Предлагаемая технологическая платформа геотехнологического поля (ГП) позволяет снизить себестоимость в условиях увеличения цен на серную кислоту, соответственно добиться увеличения добычи урана по руднику. Внедрение системы в комплексе с цифровизацией работы цеха переработки продуктивных растворов (ЦППР) приведет к реализации создания полноценного «умного» рудника ПСВ урана.

Одна из основных проблем проекта – цифровизация геотехнологического поля в условиях низких содержаний урана в продуктивных скважинах на стадии отработки. Новизна решения заключается в разработке системы дозирования и система дистанционного контроля за потоками и технологическими показателями выщелачивающих и продуктивных растворов (pH и ОВП и др).

Все эти задачи и проблемы находяться в тренде наукоемкой экономики [1,2,3]. Это отмечается в работах связанных с анализом и тенденциями развития горно-металлургического комплекса Казахстана[4]. Существует цикл работ связанный с моделированием процессов подземного скважинного выщелачивания урана, включая микробалансы потоков и оптимальные схемы расположения скважин [4,5].

Дистанционный контроль управления скважинами на геотехнологическом поле – задача которая до сих пор комплексно не решена на урановых рудниках Казахстана. Существующие современные инструменты цифровизации позволяеют это сделать, но видимо сдерживаются в связи с дороговизной их реализации. Практика показывает, что большая часть блоков находиться на стадии отработки (пассивного выщелачивания) свыше 70 и более %. Малое содержание урана в продуктивных скважинах на стадии отработки (пассивное выщелачивание) приводит к тому, что цифровизация таких блоков на системной основе имеет ограниченное применение. На многих урановых рудниках сотрудники вынуждены снимать вручную данные с расходомеров, носить пробы со скважин и блоков, снимать вручную показания обьемов по блокам и скважинам.

Подача серной кислоты (пероксида водорода и других химреагентов включая поверхно-активные вещества-ПАВ) осуществляется обычно только в целом на блок без детализации по отдельным закачным скважинам. Это приводит к значительному перерасходу кислоты и применяется обычно на стадии закисления и стадии активного выщелачивания. Например, подача на блок выщелачивающего раствора в

обьеме 100м3/час при подаче дополнительной серной кислоты 10 г/л требует 1 тн в час, за 1 месяц 720 тонн (при цене 30 тенге – свыше 21 млн тенге). При дозированной подаче на только проблемную ячейку на 6 скважин по 2 г/л в течение месяца будет подано 8,5 тонн – 0,5 млн тенге.

Результаты

Научно-исследовательской группой разработана система дозирования химических реагентов применимая на закачных скважинах, отработана система дистанционной передачи данных с электромагнитных расходомеров, насос дозаторов, pH и ОВП в автоматическом режиме, система обработки данных в поточном режиме. Подача дополнительных реагентов обеспечивается насос дозаторами. Повышение цены на серную кислоту приводит к еще большей актуальности задачи управляемого дозирования серной кислоты на каждую из скважин. Реализация проекта для электромагнитных расходомеров и специальных дозаторов реагентов позволит через сервер контролировать обьемы ВР и ПР на каждой и скважин и соответственно по блокам. Использование эффективной системы подачи химреагентов (серной кислоты, пероксида и других реагентов) создают реальные условия воздействия на проблемные скважины для восстановления проницаемости рудного тела, использовать специальные виды реагентов для повышения содежания урана в ПР. Подходы для реализации этой задачи были решены в процессе создания мобильных комплексов извлечения металлов. На рисунке 1 приведены элементы этой системы

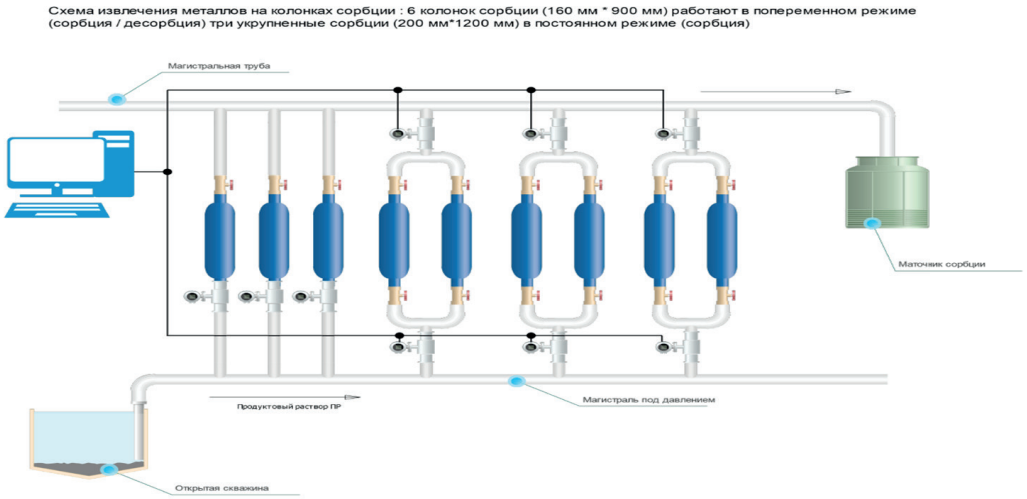


Рисунок 1 – Системы дистанционного управления и контроля электромагнитных расходомеров и подачи реагентов через насос дозаторы

Положительные эффекты от внедрения системы:

Появится цифровая картина состояния геотехнологического поля **в динамическом режиме**. Научно обоснованная система управления подачей химреагентов на каждую скважину и дистанционный контроль за объемами потоков на скважинах создает условия для контроля и управления геотехнологическим полем. Система позволяет контролировать содержание урана в ПР за счет воздействия на отдельные закачные скважины и обеспечивает снижение расхода реагентов за счет точечного воздействия на проблемные скважины на стадии отработки. Создает возможность использования других типов химрегаентов для улучшения работы скважин (например пероксид, поверхностно активные вещества или дополнительные химические окислители для растворения четырехвалентного урана). Создаются условия для полноценного дистанционного управления геотехнологическим полем для уранового рудника и внедрения интеллектуальных систем управления (система «Помощник геотехнолога»)

Технологическая платформа позволяет управлять геотехнологическим полем с системой дозирования химреагентов (серной кислоты , пероксида водорода и других химреагентов), включая систему закачных скважин и системой дистанционного контроля за обьемами ВР и ПР. Геотехнологи через компьютер в офисе будут контролировать и анализировать состояние геотехнологического поля, формировать отчетные данные, управлять геотехнологическим полем.

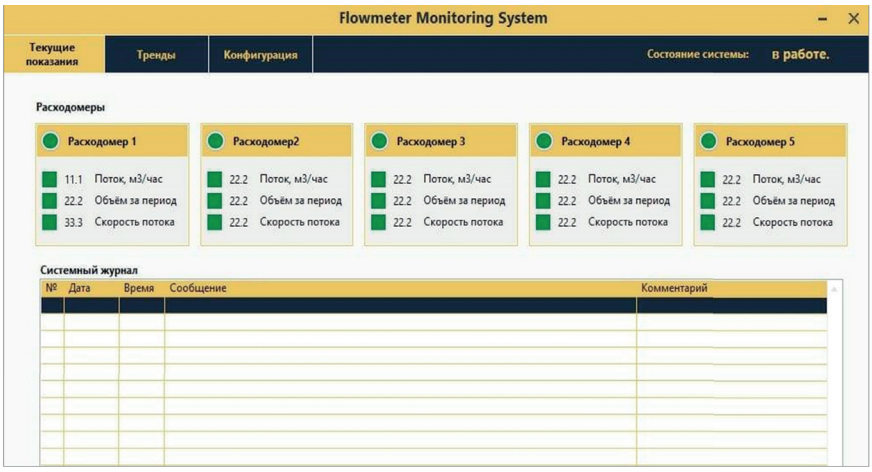


Рисунок 2 – Пример монитора геотехнолога (помощник геотехнолога)

Таблица 1 – Предварительный расчет эффективности технологической платформы на одном блоке

№	Наименование	ед.изм	кол-во	Тенге
1	производительность в час	м3/час	100	
2	затраты на установку и ее монтаж без НДС (включая контейнер для обеспечения подачи реагентов с насос дозаторами по каждой из закачной скважине, системы электромагнитных расходомеров обеспечивающих удаленный контроль за обьемами выщелачивающих и продуктивных растворов на каждой из скважин на блоке, выделенный компьютер для обработки и визуализации данных, систему автомаического определения pH и ОВП продуктивных растворов) (включая затраты на блок в размере около 100 млн тенге и около 50 млн на систему централизованного контроля и управления (помощник Геотехнолога)	тенге		150 000 000
3	Увеличение содержания U в ПР (минимальный вариант)	%	**10**	
4	Среднее содержание урана в продуктивном растворе на блоке	Мг/л	20	
5	Дополнительный доход за счет использования системы ТП (100м3/час*2 гр/м3* 24 часа*365 суток) при условной цене 150$/кг и курсе 450 тг/$			177 390 000

Окупаемость проекта достигается в течение одного года. Учитывая что расширение системы на два и более блока дает окупаемость данного проекта в течение 7 месяцев на каждый дополнительный урановый блок за счет снижения затрат на центральный компьютер обработки информации.

Обсуждение

Реализация проекта на геотехнологическом поле на 1000 скважинах позволит окупить проект в течение полугода (за счет снижения затрат на централизацию цифровой системы), также создаст условия для эффективного управления всем геотехнологическим поле уранового месторождения. Основной эффект достигается за счет разработки экономичной системы управления системой закачных и откачных скважин уранового блока, системой подачи дополнительных химических реагентов. Показательно, что у геотехнологов возникает реальная возможность воздействовать точечно на отдельные закачные скважины, варьировать режимы их работы в зависимости от показателей продуктивных скважин смежных с управляемыми закачными скважинами.

Следует отметить, что внедрение подобных систем управления тормозились из-за высоких затрат на расходомеры и насос дозаторы, аппараты передачи данных и другие элементы системы. Проектная группа разработала рентабельную систему дистанционного управления геотехнологическим полем обеспечивающую эффективность внедрения данной системы.

Выводы

1. Технологическая платформа (цифровизация) управления геотехнологическим полем на основе дозирования подачи химреагентов и дистанционным контролем за обьемами потоков технологических растворов является актуальной задачей для ПСВ урана.

2. Разработана система дозирования химических реагентов применимая на закачных скважинах, отработана система дистанционной передачи данных с электромагнитных расходомеров, насос дозаторов,

pH и ОВП в автоматическом режиме. Полученные данные обрабатываются на компьютере в поточном режиме.

3. Проект масштабируем на любое количество закачных и откачных скважин и всего геотехнологического поля. Минимальный обьем для полноценной работы технологической платформы составляет блок скважин (от 70 до 100) с учетом единовременных затрат. По результатам исследований подана заявка на патент .

4. Внедрение технологической платформы можно проводить поэтапно по отдельным блокам что снизит риски внедрения инновации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технологические тренды и наукоемкая экономика: бизнес, отрасли, регионы : коллективная монография / Под. ред. проф. О.Н. Кораблевой и др. — Санкт-Петербург : Астерион, 2021. — 668 с. — DOI: 10.53115/ 9785001880134.

2. А.П. Свинцова Промышленный потенциал: понятие, критерии, структура, Экономический вестник УГНТУ /под ред. д. э.н. Родионовой Л. Н. //Сб. трудов УГНТУ, 2001. — с. 103–106

3. Цифровая экономика / Федеральный проект «Цифровые технологии». [Электронный ресурс] https://futurerussia.gov.ru/cifrovye-tehnologii.

4. Анализ современного состояний и тенденций развития горно-металлургического комплекса Республики Казахстан: отчет о НИР /АО «ЦНЗМО». – Алматы, 2008. – 511 с.

5. Application of hydrochemical simulation model to determination of optimal well pattern for mineral production with In-Situ Leaching/ Shayakhmetov, N.M., Aizhulov, D.Y., Alibayeva, K.A., Serovajsky, S., Panfilov, I.Procedia Computer Science, 178, pp. 84–93, 2020

6. Flow microbalance simulation of pumping and injection unit in in situ leaching uranium mining area/ Zhang, C., Tan, K., Xie, T., Gan, N., Kong, L. Processes, 9(8), 128, 2021

OPTIMIZING ULTRA-FLOC TREATMENT PARAMETERS FOR ENHANCED PURIFICATION OF RECIRCULATING SOLUTIONS AT URANIUM MINES: A COMPARATIVE STUDY

Dauletbayev A.S. [1,2], Altynbek A.D.[3], Kadirbekov K.A.[4]
[1]Almaty Technological University; [2]Kazakh National Pedagogical University named after Abaya;
[3]Semizbai-U LLP; [4]JSC "Institute of Chemical Sciences named after A.B.Bekturov"; Almaty, Kazakhstan
aklakz@mail.ru

A study was conducted comparing how different types and amounts of flocculant added affect the purification of circulating solutions in a uranium mining enterprise from suspended particles. Polyacrylic acid-based flocculants with the conventional names Chinaflok, Praestol, Superflok and Magnaflok were used in the tests. An apparatus called "Ultra-flock tester" was used to separate suspended particles of the recycled solution and determine the optimal processing parameters. This included determining the optimal value of the speed gradient, which turned out to be in the range of 1000-10000 revolutions per minute.

A study was conducted comparing how different types and amounts of flocculant added affect the purification of circulating solutions in a uranium mining enterprise from suspended particles. Polyacrylic acid-based flocculants with the conventional names Chinaflok, Praestol, Superflok and Magnaflok were used in the tests. An apparatus called "Ultra-flock tester" was used to separate suspended particles of the recycled solution and determine the optimal processing parameters. This included determining the optimal value of the speed gradient, which turned out to be in the range of 1000-10000 revolutions per minute.

It was revealed that Chinaflok and Praestol flocculants were more effective compared to Superflok and Magnaflok under certain parameters. In particular, Chinaflok showed better results compared to Praestol. In addition, the correct selection of processing parameters using a flocculant made it possible to significantly reduce the content of pollutants in the solution.

The results of the study of the dependence of the flocculation efficiency of the circulating solution on the velocity gradient of the medium when adding Chinaflok flocculant in an amount of 5 mg/l at different speed modes of the ultra-flock tester are shown in the figure.

As can be seen from the figure, a decrease in the concentration of iron, silicon, aluminum and others is observed at all speed modes, while the best indicators are observed at a speed of 1,000 rpm. An increase in the mixing speed of the circulating solution to 5,000 rpm reduces the degree of removal of the detected elements by almost 2 times, and a further increase in the speed mode of the device will not lead to a noticeable change in the achieved content of the studied elements. On the contrary, when carrying out the process at a speed of 10,000 rpm, there is a slight increase in the silicon content compared to the previous experiment on the Ultra-flock tester. From the above, it follows that for this circulating solution, where the concentration of isolated suspended particles is about 100 mg/l, the optimal value of the velocity gradient lies in the range below 1,000 rpm. In higher speed ranges (at a velocity gradient of 5,000, especially at 10,000 rpm), there was a decrease in the efficiency of flocculation, since in our case excessive turbulence contributed to the destruction of floccules.

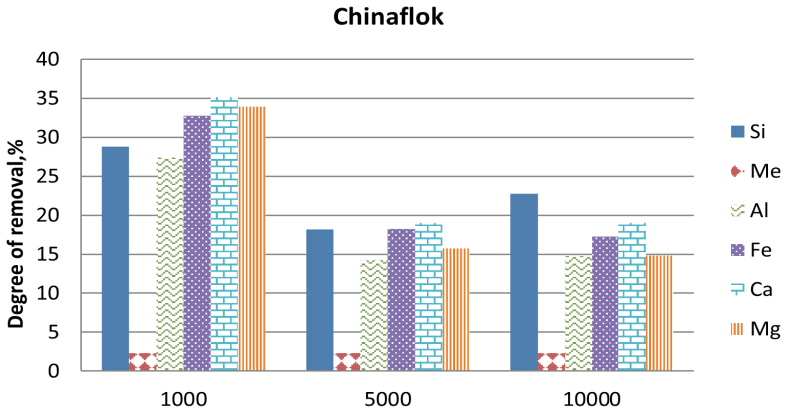


Figure - The results of the study of the circulating solution when adding Chinaflok flocculant at different speed modes Ultra-flock tester

At the optimal dosage, Chinaflok reduced the concentration of various dispersed phases in the circulating solution, such as silicon, aluminum, iron, magnesium and calcium. The study also showed that at very high mixing speeds, the destruction of large floccules was observed, which probably has an impact on the purification process.

These results are valuable for improving the purification process at a uranium mining facility. The use of

optimal flocculation parameters using the Ultra-Flock Tester, especially with Chinaflok, can significantly increase the efficiency of the cleaning process, while reducing the content of pollutants in recycled solutions.

Keywords: recycled uranium solution, suspended solids, flocculant, Ultra-flock tester, velocity gradient, purification.

УРАН КЕНІШТЕРІНДЕ ҚАЙТАЛАМА ЕРІТІНДІЛЕРДІ ТАЗАРТУДЫ ЖАҚСАРТУ ҮШІН УЛЬТРА ҰНТАҚТЫ ӨҢДЕУ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ

Түйінді сөздер: айналымдағы уран ерітіндісі, ағынды заттар, флокулянт, "Ультра-флок сынаушы" аппараты, жылдамдық градиенті, тазалау.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАПОРОШКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЧИСТКИ ВТОРИЧНЫХ РАСТВОРОВ НА УРАНОВЫХ РУДНИКАХ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Ключевые слова: оборотный урановый раствор, взвешенные вещества, флокулянт, аппарат "Ультра-флок тестер", градиент скорости, очистка.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИ УЛЬТРАФЛОКУЛЯРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ЦЕЛЬЮ ОЧИСТКИ РЕЦИРКУЛИРУЕМЫХ РАСТВОРОВ УРАНОВОГО РУДНИКА

[1] Кадирбеков К.А., [2,3] Даулетбаев А.С., [4]Алтынбек А.Д.
[1]АО "Институт химических наук им. А.Б.Бектурова";
[2]Алматинский Технологический университет
[3]Казахский Национальный Педагогический университет им. Абая
[4]ТОО "Семизбай-U"
Алматы, Казахстан
kkairati@mail.ru

Аннотация. В рамках исследования изучалось влияние природы и количества флокулянта на процесс очистки оборотных растворов уранового рудника при их ультрафлокуляционной обработке. Выявлено, что при добавлении небольших доз флокулянта образуются самые крупные флокулы. Исследование показало, что флокулянт Praestol формирует частицы равномерной формы и размера. Применение флокулянта Praestol приводит к флоккуляции взвешенных частиц размером менее 50 мкм в крупные частицы 100-1600 мкм, при этом наибольшее количество частиц имеет размер около 315 мкм. Оптимальная доза флокулянта Praestol составляет 4 мг/л. Исследование также показало, что алюмосиликаты и коллоиды железа являются основными компонентами взвешенных частиц. При добавлении различных количеств флокулянта один и тот же полимер может как флоккулировать, так и стабилизировать дисперсную систему. Обычно устойчивость системы сначала снижается, а затем возрастает с ростом концентрации полимера.

Ключевые слова: оборотные растворы, урановый рудник, флокулянт Praestol, ультрафлокуляция, взвешенные частицы, алюмосиликаты, коллоиды железа, оптимальная доза, стабилизация дисперсной системы.

УРАН КЕНІШІНІҢ РЕЦИРКУЛЯЦИЯЛАНАТЫН ЕРІТІНДІЛЕРІН ТАЗАРТУ МАҚСАТЫНДА УЛЬТРАФЛОКУЛЯРЛЫ ӨҢДЕУ КЕЗІНДЕ ПОЛИМЕРЛІ ФЛОКУЛЯНТТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ 1

Қадырбеков Қ.А., Дәулетбаев А.С., Алтынбек А.Д.

Аннотация. Зерттеу барысында флокулянттың табиғаты мен мөлшерінің уран кенішінің айналымдағы ерітінділерін ультрафлокуляциялық өңдеу кезінде тазарту процесіне әсері зерттелді. Флокулянттың аз дозаларын қосқанда ең үлкен флокулалар пайда болатыны анықталды. Зерттеу көрсеткендей, Praestol флокулянты біркелкі пішін мен өлшемдегі бөлшектерді құрайды. Praestol флокулянтын қолдану өлшемі 50 мкм-ден аз ілулі бөлшектердің үлкен бөлшектерге 100-1600 мкм-ге айналуына әкеледі, ал бөлшектердің ең көп саны шамамен 315 мкм құрайды. Praestol флокулянтының оңтайлы дозасы 4 мг/л құрайды. зерттеу сонымен қатар алюминий силикаттары мен темір коллоидтары қайтарма ерітіндідегі бөлшектердің негізгі компоненттері екенін көрсетті. Флокулянттың әртүрлі мөлшерін қосқанда, бір полимер дисперсті жүйені флоккуляциялауы да, тұрақтандыруы да мүмкін. Әдетте жүйенің тұрақтылығы алдымен төмендейді, содан кейін полимер концентрациясының жоғарылауымен артады.

Түйін сөздер: айналым ерітінділері, уран кеніші, Praestol флокулянты, ультрафлокуляция, ағынды бөлшектер, алюминий силикаттары, темір коллоидтары, оңтайлы доза, дисперсті жүйені тұрақтандыру.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF POLYMER FLOCCULANTS IN ULTRAFLOKULAR TREATMENT IN ORDER TO PURIFY RECYCLED SOLUTIONS OF A URANIUM MINE

Kadirbekov K.A., Dauletbayev A.S., Altynbek A.D.

Abstract. Within the framework of the study, the influence of the nature and amount of flocculant on the purification process of recycled solutions of a uranium mine during their ultraflocculation treatment was studied. It was revealed that when small doses of flocculant are added, the largest floccules are formed. The study showed that Praestol flocculant forms particles of uniform shape and size. The use of Praestol flocculant leads to flocculation of suspended particles with a size of less than 50 microns into large particles of 100-1600 microns, with the largest number of particles having a size of about 315 microns. The optimal dose of Praestol flocculant is 4 mg/l. The study also showed that aluminosilicates and iron colloids are the main components of suspended particles. By adding different amounts of flocculant, the same polymer can both flocculate and stabilize the dispersed system. Usually, the stability of the system decreases first, and then increases with increasing polymer concentration.

Key words: circulating solutions, uranium mine, Praestol flocculant, ultraflocculation, suspended particles, aluminosilicates, iron colloids, optimal dose, stabilization of the dispersed system.

Дисперсные системы, такие как природные и сточные воды, а также промышленные суспензии, часто содержат значительное количество минеральных частиц размером менее 50 микрон. Эти системы классифицируются как свободнодисперсные, где частицы дисперсной фазы могут свободно перемещаться. В зависимости от размера частиц, системы могут быть грубодисперсными, микрогетерогенными или ультрамикрогетерогенными, последние из которых также известны как коллоидные системы.

Устойчивость дисперсных систем определяется их способностью сохранять равновесное распределение дисперсной фазы в объеме среды. Эта устойчивость может быть седиментационной или агрегативной, причем нарушение агрегативной устойчивости может привести к осаждению частиц. Для улучшения очистки от таких дисперсий и коллоидов применяются флокулянты, которые способствуют образованию механических связей между частицами и их ускоренному осаждению.

Промышленный сектор год от года использует миллионы тонн флокулянтов, водорастворимых полимеров, для различных целей, таких как очистка питьевой воды, городских сточных вод, водоснабжение, а также в различных процессах горнодобычи, обогащения угля и металлургии, а также в других отраслях промышленности.

В последние годы в технологии сепарации техногенных суспензий широкое распространение получает метод ультрафлокулярной (УФ) обработки. Основное отличие ультрафлокуляции от традиционной флокуляции заключается в использовании неоднородных гидродинамических полей, которые в 5...30 раз превышают средние скорости сдвига ($G=1000...3000\ s^{-1}$). Применение ультрафлокуляции особенно эффективно для обработки относительно концентрированных суспензий высокомолекулярными флокулянтами. УФ-обработки позволяет увеличить производительность отстойника и снизить содержание взвеси в сливе. УФ-обработка также позволяет существенно снизить расход дорогостоящих флокулянтов.

Флокулянты могут быть неорганическими (например, полимерная кремниевая кислота), природными (целлюлоза, крахмал) или синтетическими органическими полимерами (полиакриламиды). Синтетические полиакриламидные флокулянты широко применяются в различных отраслях благодаря их эффективности, доступности и низкой токсичности.

Несмотря на разнообразие флокулянтов, полиакриламидные остаются наиболее востребованными благодаря своей высокой флокулирующей способности и относительно низкой стоимости. Перспективы применений этой группы флокулянтов прогнозируется благоприятным из-за их эффективности и результатов исследований их действия на дисперсные системы.

В данной работе определяются изменения размера хлопьев в процессе флокуляции. Результаты экспериментов показывают, что размер хлопьев сначала быстро увеличивается и в конечном итоге стабилизируется на определенном стационарном уровне.

Оптимальный расход флокулянта на единицу массы взвешенного вещества существенно зависит от его дисперсного состава и концентрации. В связи с этим а также для установления, в дальнейшем, оптимального способа удаления взвешенных частиц из раствора были исследованы гранулометрические составы механических взвесей проб растворов с помощью анализатора размеров и форм частиц QICPIC, который позволяет измерять частицы в диапазоне от 1 мкм до 30 мм с применением метода анализа изображений.

Результаты исследования гранулометрического анализа состава пробы исходного оборотного раствора с поз.104 представлены на рисунке 1.

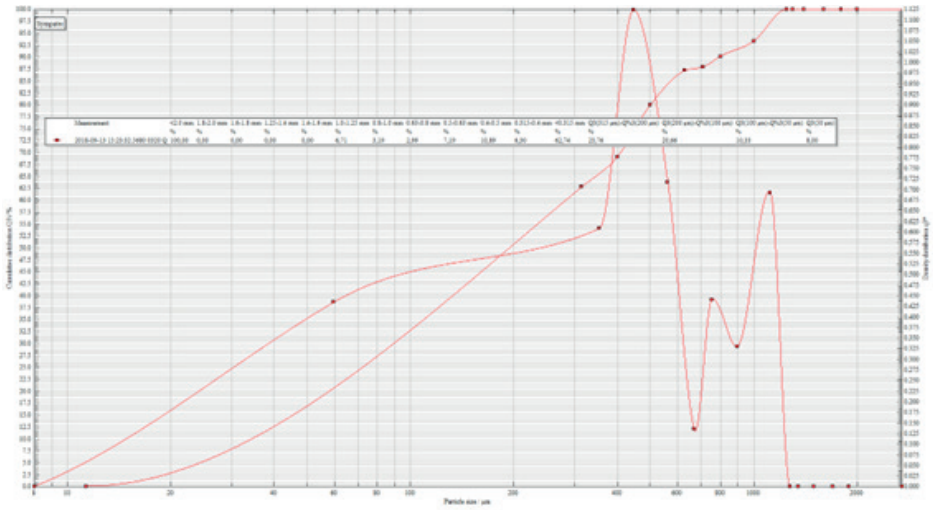


Рисунок 1 – Распределение взвешенных частиц в пробе ОР (104)

Гранулометрический анализ взвешенных частиц пробы оборотного раствора с поз.104 показал, что больше половины (62,74%) твердых частиц имеют размеры менее 315 μм, а размеры остальных взвешенных частиц находятся в интервале 0,315-1,25 мм.

Мелкие фракций обнаруженных взвешенных частиц ОР распеделены следующим образом: фракция 315-200 μм составляет 23,7%; фракция 200-100 μм равен 20,7%; фракция 100-50 μм находится в пределах 10,3% и фракция менее 50 μм обнаружена в количестве 8,0%. Более крупные фракций имеют следующие размеры: частицы в интервале 0,315 -0,63 мм составляют около 27%, размеры остальных около 9% частиц находятся в пределах 0,63-1,25%.

Из кривой распределения взвешенных частиц ОР (104) вытекает, что их средний размер составляет 253,5 μm; при этом эффективный размер частиц равен 59,7 μm, а кривая распределения имеет значение – 5,05.

На рисунке 2 представлен фрагмент момента визуализации твердых частиц оборотного раствора с поз.104.

Фазовый анализ показал в оборотных растворах одну основную фазу в большом количестве. Это – кварц, его содержание в пробе составляет более 90%, а результаты элементного анализа свидетельствуют (по кремниюй и алюминию) о наличии алюмосиликатов в составе пробы оборотного раствора. Алюмосиликаты могут присутствовать в глинистой взвеси с общей формулой Al_2O_3 $ySiO_2$ zH_2O или в простейшем виде Al_2O_3 $ySiO_2$ zH_2O (например, из молекул алюмокремниевой кислоты примерного вида $H_4Al_2Si_2O_9$).

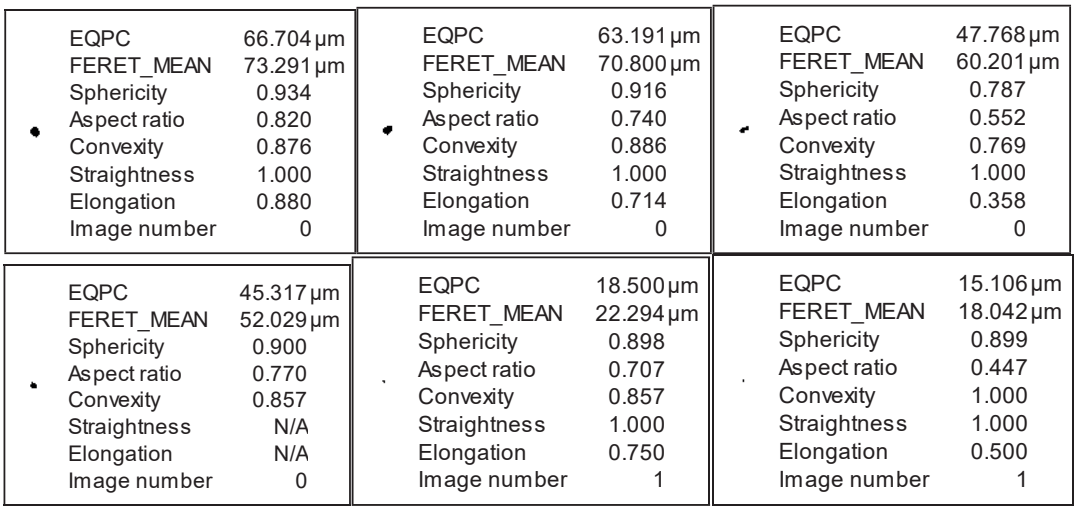


Рисунок 2 – Результаты визуализации формы взвешенных частиц раствора пробы ОР с поз.104) на анализаторе частиц QicPic

Следует отметить, что высокая кислотность оборотного раствора с поз.104 и 203 и высокое содержание в них SiO_2 и других соединений кремния приведут к образованию глубоко полимеризованной формы кремниевой кислоты (гамма-формы), которая наряду с возможными комплексными соединениями железа (или коллоидами ее гидроокиси), а также другими обнаруженными металлами будет снижать эксплуатационные характеристики ионообменных смол при извлечении целевого металла.

Результаты исследования воздействия полиакриламидного флокулянта, на примере флокулянта Praestol, на размеры и количество образующихся частиц в пробах оборотного раствора с позиции 104 изображены на рисунке 3.

На рисунке 3 представлены формы и размеры частиц обработанного флокулянтом Praestol (4 мг/л) взвешенных частиц пробы ОР с поз.104, полученных с помощью анализатора частиц QicPic. Указанные формы и размеры характерны для всех обработанных флокулянтом растворов ОР-1 и свидетельствуют о увеличении размеров взвешенных частиц исходного оборотного раствора.

Распределение частиц в объеме оборотных растворов изображено на рисунке 4. Несмотря на сходство влияния природы и концентрации флокулянта на размеры и количество образующихся частиц, при добавлении флокулянта Praestol наблюдаются значительные изменения.

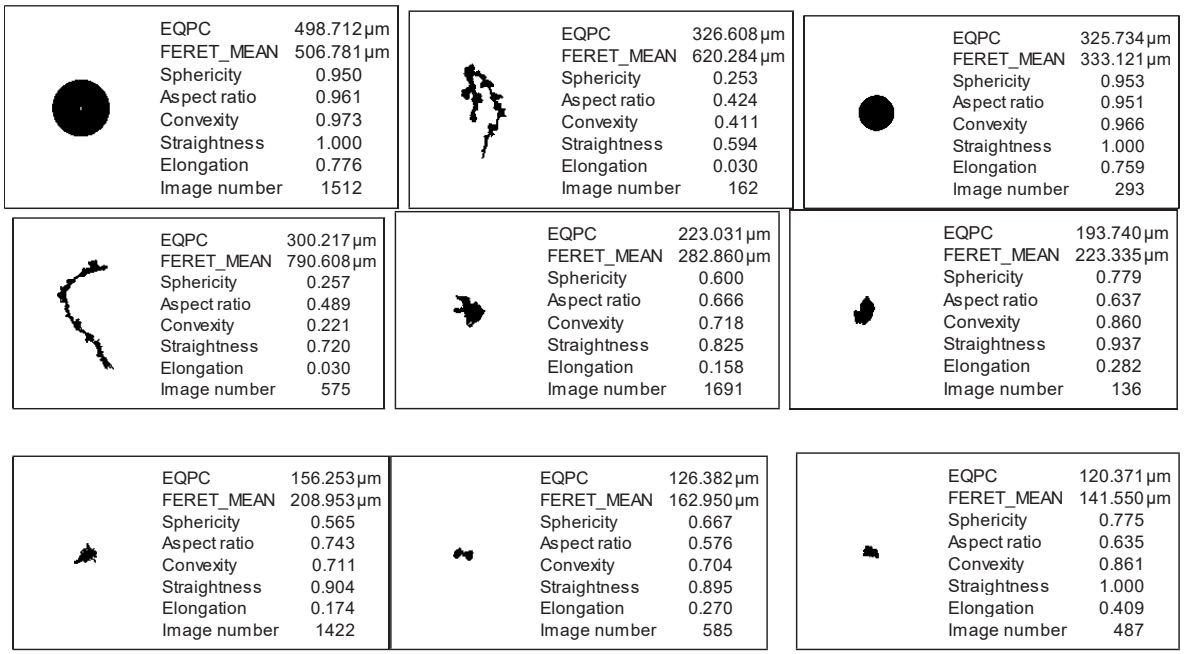


Рисунок 3 – Формы и размеры обработанного флокулянтом Praestol взвешенных частиц пробы ОР с поз.104 полученные на анализаторе частиц QicPic

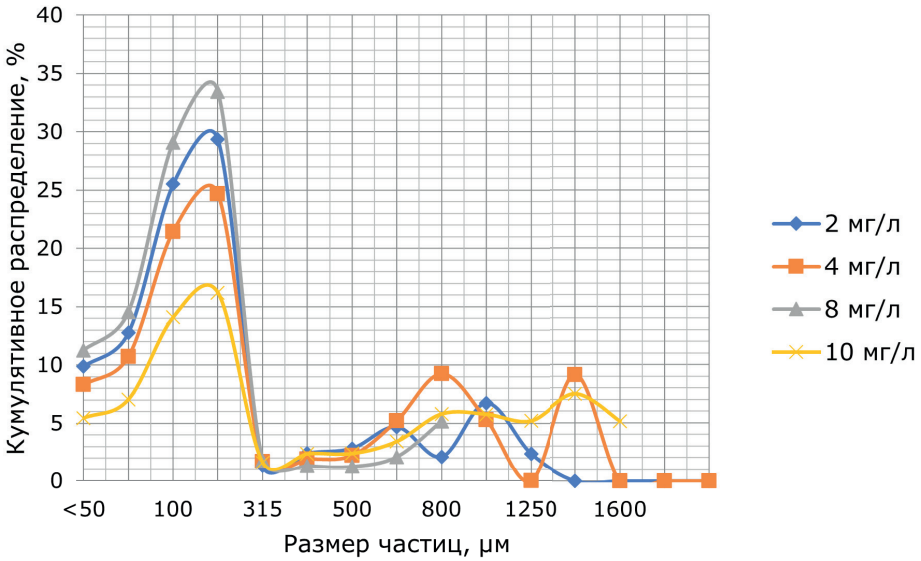


Рисунок 4 – Исследования влияния флокулянта Praestol на размер образованных флокул в оборотных растворах с поз. 104

При добавлении флокулянта Praestol во всех изученных количествах в кривых распределения присутствуют три максимума. Они не обнаружены в виде явных площадок, характерных для частиц определенных размеров, преобладающих во всем объеме раствора. Тем не менее, количественно наибольший максимум наблюдается в кривой при размере частиц 200 μм, который проявляется во всех изученных концентрациях флокулянта. Следующие максимумы в кривой наблюдаются в области размера частиц 630-1000 и 1400 μм.

Расположение максимумов в кривой и их высота изменяются с увеличением концентрации флокулянта в оборотном растворе. С увеличением количества флокулянта, максимум в кривой при размере частиц 200 μм сначала уменьшается (при 4 мг/л флокулянта), затем увеличивается, и наконец, при добавлении флокулянта в количестве 10 мг/л уменьшается до минимальной величины. Более существенные изменения в кривой обнаруживаются в областях более крупных флокул, где второй и третий максимумы проявляются в интервале 600-1000 и 1200-1400 μм. Также отмечается постепенный рост крупных частиц с размером 600-1400 μм при увеличении количества флокулянта в оборотном растворе.

Отмечено, что при использовании флокулянта Praestol в оборотных растворах наблюдается удаление и снижение содержания различных элементов. Флокуляция наиболее эффективна для железа, и для его полного удаления требуется минимальное количество флокулянта Praestol. При этом дальнейшее добавление флокулянта значительно снижает концентрации алюминия, кремния, магния и кальция (рисунок 5). Однако степень удаления этих элементов различается в зависимости от состава оборотного раствора.

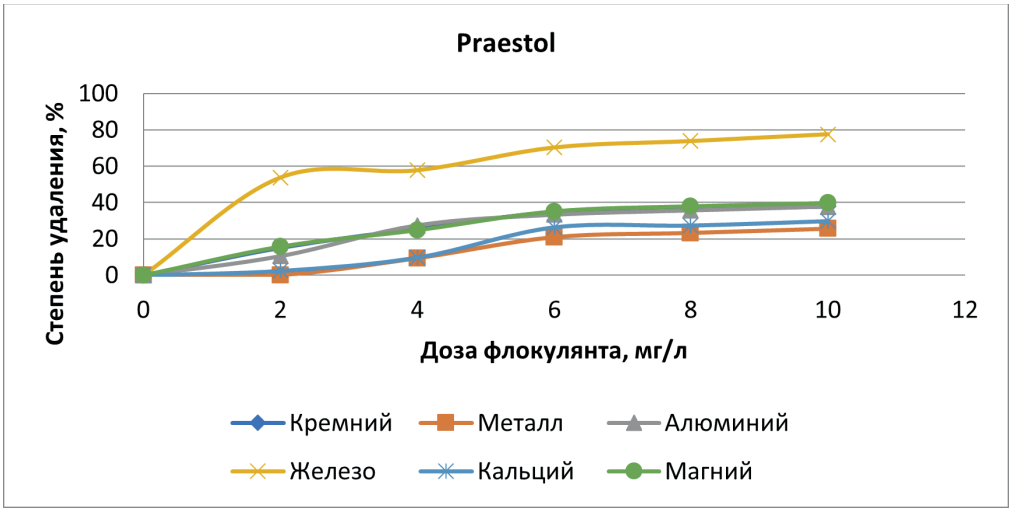


Рисунок 5 – Исследования влияния концентрации флокулянта Praestol на оборотные растворы с поз. 600/1

Флокуляция кремния, алюминия, кальция, магния и железа не достигает максимального значения при увеличении концентрации флокулянта от 2,0 до 10 мг/л, и степень их удаления изменяется незначительно. Это означает, что преимущество флокулянта Praestol будет проявлено при экономии флокулянта и средств.

Заметно, что при добавлении разных количеств флокулянта один и тот же полимер может как флоккулировать, так и стабилизировать дисперсную систему. Обычно устойчивость системы сначала снижается, а затем возрастает с ростом концентрации полимера. Достаточно малые добавки полимера приводят к высокой эффективности флокулянтов.

ПОВЫШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРАХ БИОАКТИВАЦИЕЙ ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩИХ РАСТВОРОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Алтынбек А.Д., Шидерин Б.Н.
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева», г.Алматы, Республика Казахстана
erbekta@gmail.com

INCREASING THE URANIUM CONCENTRATION IN PRODUCTIVE SOLUTIONS BY BIOACTIVATION OF LEACHING SOLUTIONS DURING UNDERGROUND HOLE LEACHING

Turysbekova G.S., Bektay E.K., Altunbek A.D., Shiderin B.N.
NJSC "KazNRTU named after K.I. Satpayev",
Almaty, Republic of Kazakhstan
erbekta@gmail.com

Аннотация. Целью работы было исследование влияния бактериального окисления железа на содержание урана в продуктивном растворе. Приведены данные проведенных опытно-промышленных испытаний технологии бактериального окисления железа на одном из урановых месторождений Казахстана. Использование проточных биореакторов общей производительностью 300 000 м3/год позволило увеличить содержание трехвалентного железа и окислительно-восстановительного потенциала выщелачивающего раствора. В результате проведенных опытно-промышленных испытаний на урановом блоке установлено повышение содержание урана на 20% без добавления дополнительной серной кислоты и на 40% при подаче дополнительной серной кислоты. Повышение урана в продуктивном растворе достигается за счет перевода четырехвалентного урана (слаборастворимого) в шестивалентную (растворимую) форму. В долгосрочном аспекте это позволяет увеличить общую извлекаемость урана из месторождения, что повышает отдачу при разработке месторождения. Проведен технико-экономический расчет внедрения промышленной установки производительностью 2000 м3/час исходя из данных проведенных опытно-промышленных испытаний с добавлением и без добавления дополнительной серной кислоты. Представлен расчет минимального варианта увеличения содержания урана в продуктивном растворе на 10,5%. Срок окупаемости промышленной установки производительностью 2000 м3/час составляет от 2 до 4 месяцев. Ежегодный доход от внедрения промышленной установки составляет от 6,3 до 18 млн $ в год при ежегодных затратах менее 0,54 млн $. Испытания показывают также эффективность внедрения локальных установок на отдельных блоках. Эффективность промышленной установки более высокая за счет снижения затрат на насосные станции и их обслуживание при работе на локальных блоках.

Ключевые слова: Продуктивный раствор, биоактивация, выщелачивание, бактерии, уран, окислительно-восстановительный потенциал.

Key words: Productive solutions, bioactivation, leaching, bacteria, uranium, redox

Введение

В мире расширяется использование специальных штаммов бактерий для интенсификации процессов выщелачивания металлов [1–13]. Внедряются системы кучного выщелачивания металлов , чанового выщелачивания. Активно развиваются подходы для подземного выщелачивания металлов. Подземное скважинное выщелачивание отличается спецификой проведения процесса когда рудная масса остается на месте залегания что значительно снижает капитальные и эксплуатационные затраты. Активное применение ПСВ урана в Казахстане позволило стране занять ведущее место в добыче урана. Интенсификация подземного скважиненого выщелачивание (ПСВ) урана в условиях удорожания цен на серную кислоту и другие факторы актуальна для урановых рудников. Ключевой гипотезой проекта является возможность повышения содержания урана в продуктивных раствороа благодаря биоактивации выщелачивающих растворов [14–17].

Основной целью проведенных испытаний было исследование повышения содержания урана в продуктивном растворе за счет работы проточных биореакторов разработанных в НИЛ «БиоГеоТехнология золота, урана и полиметаллических руд» НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева». Были смонтированы две проточные установки бактериального окисления железа (БОЖ-1 и БОЖ-2) общей производительностью

300 тыс м3/год по раствору. В ходе опытно-промышленных испытаний проверялась гипотеза что трехвалентное железо, полученное биологическим путем в проточных биореакторах позволит перевести четырехвалентный урана (слаборастворимый) в шестивалентную (растворимую) форму что приведет к повышению содержанию урана в продуктивных растворах. Исследований проводились на одном из блоков уранового месторождения на севере Казахстана в условиях относительно низких температур выщелачивающего раствора 10–14 ^{0}С.

Рисунок 1 – Общий вид установок БОЖ-1 и БОЖ-2

Основные этапы проведения опытно-промышленных испытаний

На начальном этапе были проведения исследования на пилотных биореакторах обьемом 1 м3 и 6 м3. Исследования показали возможность использования проточных биореакторов с повышенной кинетикой биоокисления двухвалентного железа до трехвалентного. Установлены взаимосвязь содержания трехвалентного железа и окислительно-восстановительного потенциала выщелачивающего раствора на пилотных установках.

На 1-2 этапе были разработаны и смонтированы две установки БОЖ-1 и БОЖ-2 различной конструкции. Проведены опытно-промышленные испытаний без подачи дополнительной серной кислоты.

На 3-4 этапе проведены испытания установок БОЖ-1 и БОЖ-2 с добавлением дополнительной серной кислооты. При этом содержание урана в продуктивном растворе увеличилось на 40 %.

На основании полученных результатов испытаний проведен расчет экономической эффективности внедрения промышленной установки бактериального окисления железа на одном из урановых месторождений РК.

Расчет сделан при расчете на производительность 400 тонн в год.

Таблица 1 – Предварительный расчет эффективности применения промышленной установки производительностью 2000 м3/час

№	Наименование	ед.изм	кол-во	Тенге	Доллар
1	производительность в час	м3/час	2 000		
2	затраты на установку и ее монтаж без НДС	тенге	750 000 000		1 666 667
3	затраты в час	квтч	750	28 125	63
4	затраты на эксплуатацию установки	квтч/год	6 480 000	243 000 000	**540 000**
5	затраты электроэнергии на 1м3/час	квтч/м3	0,38	14	
6	Увеличение содержания U в ПР (минимальный вариант)	%	**10,5**		
7	общее производство в год (текущее)	тн	400		
8	увеличение U (400тн *10,5%) при условной цене 150$/кг	тн/год	420	2 835 000 000	**6 300 000**

Расчет исходя из данных полученных опытно-промышленных испытаний технологии с добавлением дополнительной серной кислоты и без добавления

9	увеличение U (200тн*20% + 200тн*40%)	тн/год	120	8 100 000 000	**18 000 000**

Расчет сделан из предположения, что около половины урана добывается из блоков на стадии отработки (без добавления дополнительной серной кислоты) и около половины на блоках на стадии активного выщелачивания и закисления, где согласно регламента добавляется дополнительно серная кислота.

Технико-экономический расчет показывает возможность получения дополнительного количества урана за счет использования промышленной установки производительностью 2000 м3/час. Окупаемость

установки от 2 до 4 месяцев. Перевод имеющегося в рудном теле слаборастворимого четырехвалентного урана в растворимую шестивалентную форму за счет трехвалентного железа полученного биологическим путем позволяет повысить извлекаемость урана в долгосрочном аспекте .

Обсуждение

В ходе исследований проведены контрольные испытания технологии с добавлением дополнительной серной кислоты на контрольном блоке. При этом увеличения содержания урана практически не происходило. Возможность увеличения содержания урана в продуктивном растворе без подачи химических окислителей (перокисид водорода) позволяет получить ежегодно значительный экономический эффект. Эксплуатационные затраты (в основом электроэнергия на работу компрессоров) составляют около 0.5 млн долларов в год, при этом дополнительный доход от увеличения добычи урана составляет от 6 млн долларов до 18 млн долларов США.

Выводы

1. Разработаны и внедрения локальные установки бактериального окисления железа (БОЖ-1 и БОЖ-2).
2. Опытно-промышленные испытания показали увеличение содержание урана в продуктивном растворе на 20 % без добавления дополнительной серной кислоты и на 40 % с добавлением дополнительной серной кислоты.
3. Использование технологии бактериального окисления железа позволяет повысить извлекаемость урана за счет перевода слаборастворимого четырехвалентного урана в растворимую шестивалентную форму, что обеспечивает дополнительный долгосрочный экономический эффект от использования технологии
4. Технико-экономический расчет показывает получение дополнительного дохода от внедрения промышленной установки БОЖ производительностью 2000 м3/час на сумму от 6,3 млн до 18 млн долларов США при ежегодных затратах 0,54 млн долларов США. Окупаемость установки составляет от 2 до 4 месяцев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hamidian H., Rezai B., Milani S. et al. // Asian J. Chem. 2009. V. 21. P. 5808–5820
2. Beneditto J., de Almeida S., Gomes H., Vazoller R. // Miner. Eng. 2005. V. 18. P. 1341–1343
3. Каравайко Г. И., Седельникова Г. В., Аслануков Р. Я. и др. // Цв. металлы. 2000. № 8. С. 20–26.
4. Tuovinen O., Bhatti T. // Miner. Metall. Proc. 1999. V. 16. P. 51–60
5. Rawlings D. // Pure Appl. Chem. 2004. V. 76. P. 847–859
6. Rawlings D. http://www. microbialcellfactories.com (2005).
7. Kawatra S., Natarajan K. Mineral biotechnology. / SME. 2001. P. 101–119
8. Silverman M., Ehrlich H. // Adv. Appl. Microbiol. 1964. V. 6. P. 181–183.
9. Tributsch H. // Hydrometallurgy. 2001. V. 59. P. 177−185.
10. Zammit C., Brugger J. Southam G., Reith F. // Hydrometallurgy. 2014. V. 150. P. 236–244
11. Jianguo Z., Shaoqing C., Sun R., Jing Q. // IAEA-TECDOC-1419. Vienna. 2004. P. 95–105
12. Campbell K., Gallegos T., Landa E. // Appl. Geochem. 2015. V. 57. P. 206–235
13. Watling H. // Minerals. 2015. V. 5. N 1. P. 1–60
14. Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: инновации в химии и металлургии. – Алматы, НАО «КазНИТУ». – 630 с.
15. Бектай Е.К., Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектаев М.Е. Природные наночастицы и наноструктуры. – Алматы, НАО «КазНИТУ». – 600 с.
16. Бектай Е.К., Турысбекова Г.С., Алтынбек А.Д., Шидерин Б.Н. Геохимия урана. – Алматы, НАО «КазНИТУ». – 417 с.
17. Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Меретуков М.А., Бектаев М.Е. Гидрометаллургия урана. – Алматы, НАО «КазНИТУ». – 264 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМАГНИТНОГО КАТАЛИЗАТОРА РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

Тусупбаев Н. К[1]., Саменова Н.О[1]., Айдарова С.Б[2].
АО «Институт металлургии и обогащения»[1]
Казахский-Британский технический университет[2]

Аннотация. Проведены исследования по окислению Fe(II) до Fe(III) в кислой среде в присутствии окислителей – пероксида водорода и воздуха с использованием ферромагнитных катализаторов различной крупности. Порошкообразный ферромагнитный материал (ФМ) получен путем смешения растворов солей двух- и трехвалентного железа при температуре 70 ° С в присутствии 15 % раствора аммиака. Показано, что порошковые парамагнитные катализаторы размером 5-20 мкм в отсутствии стабилизатора не эффективны для окисления двухвалентного железа. Проведенными экспериментами показана эффективность использования стабилизированного ферромагнитного катализатора (СФК). Установлено, что при pH-1,5 и продолжительности процесса 2 часа при применении 0,5 мл пероксида водорода выход Fe (III) значительно ниже (18,1 %), чем при совместном присутствии СФК и пероксида водорода (38,2 %). Также показано, что скорость и степень окисления железа (II) зависит от изменения величин ОВП полуреакций восстановления кислорода и окисления железа. При изучении наноразмерного ферромагнитного катализатора (НФК) установлено, что при оптимальном количестве пероксида водорода окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} протекает в 6-10 раз быстрее в присутствии НФК. Кроме того, оптимальный расход катализатора НФК в 200 раз меньше, чем СФК. Показано, что в присутствии оптимального стехиометрического количества пероксида водорода и НФК можно получить эффективный сернокислотный выщелачивающий раствор для подземного выщелачивания урана (IV).

После проведения модельных опытов были отобраны парамагнитные катализаторы различной модификации и проведены опыты барботированием воздуха. В присутствии микроразмерного катализатора ПМ окисление двухвалентного железа существенно увеличивается, по истечении 90 минут выход трехвалентного железа составляет порядка 40%. При добавлении катализатора МПМ в раствор наблюдается интенсивное окисление двухвалентного железа, т.е. по истечении 5 минут выход железа (III) составляет больше 50%). Эти результаты практически были подтверждены при проведении лабораторных испытаний в руднике Семизбай-U с использованием катализатора МПМ разной массы в 10 л раствора, отобранного с зеркала СНК. При оптимальном содержании катализатора МПМ массой 50 г на 10 л раствора при 10 минут выход железа (III) достигает свыше 40%.

Полученные результаты показывают, что разработанный нами микроразмерный катализатор ПМ (магнитная активность свыше 60 %) можно многократно использовать после магнитной активации. Самым активным катализатором оказался МПМ (магнитная активность свыше 20%), но этот катализатор является частично расходным и активизируется термическим путем. Для использования в промышленности можно рекомендовать микроразмерный катализатор ПМ многократного использования.

Ключевые слова: железный купорос, пероксид водорода, окислительно-восстановительный потенциал, парамагнитные катализаторы различной дисперсности.

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF BOREHOLE URANIUM LEACHING USING A PARAMAGNETIC CATALYST OF VARIOUS DISPERSITIES

Tussupbayev N.K.[1], Samenova N.O.[1], Aidarova S.B.[2]
[1]JSC «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation»
Kazakh-British Technical University[2]

Abstract. Studies have been conducted on the oxidation of Fe (II) to Fe (III) in an acidic medium in the presence of oxidants – hydrogen peroxide and air using ferromagnetic catalysts of various sizes. Powdered ferromagnetic material (FM) was obtained by mixing solutions of ferrous and trivalent salts at a temperature of 70 °C in the presence of 15 % ammonia solution. It is shown that powdered paramagnetic catalysts with a size of 5-20 microns in the absence of a stabilizer are not effective for the oxidation of ferrous iron. The experiments have shown the effectiveness of using a stabilized ferromagnetic catalyst (SFC). It was found that at a pH of 1.5 and a process duration of 2 hours with the use of 0.5 ml of hydrogen peroxide, the yield of Fe (III) is significantly lower (18.1 %) than with the combined presence of SFC and hydrogen peroxide (38.2 %). It is also shown that the rate and degree of oxidation of iron (II) depends on changes in the values of the redox potential of the half-reactions of oxygen reduction and iron oxidation. When studying a nanoscale ferromagnetic catalyst (NFC), it was found

that with an optimal amount of hydrogen peroxide, the oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} proceeds 6-10 times faster in the presence of NFC. In addition, the optimal consumption of NFC catalyst is 200 times less than SFC. It is shown that in the presence of an optimal stoichiometric amount of hydrogen peroxide and NFC, an effective sulfuric acid leaching solution for underground leaching of uranium (IV) can be obtained.

After conducting model experiments, paramagnetic catalysts of various modifications were selected and experiments with bubbling air were conducted. In the presence of a micro-sized PM catalyst, the oxidation of divalent iron increases significantly, after 90 minutes, the yield of trivalent iron is about 40%. When the MPM catalyst is added to the solution, intensive oxidation of divalent iron is observed, after 5 minutes, the yield of iron (III) is more than 50%). These results were practically confirmed during laboratory tests at the Semizbay-U mine using an MPM catalyst of different weights in 10 liters of solution selected from productive solution. With an optimal content of the MPM catalyst weighing 50 g per 10 liters of solution, the yield of iron (III) reaches over 40 % at 10 minutes.

The results obtained show that the micro-sized PM catalyst developed by us (magnetic activity over 60 %) can be reused after magnetic activation. The most active catalyst turned out to be MPM (magnetic activity over 20 %), but this catalyst is partially consumable and is activated thermally. A micro-sized, reusable PM catalyst can be recommended for industrial use.

Key words: iron sulfate, hydrogen peroxide, redox potential, paramagnetic catalysts of various dispersities.

Введение

В процессе подземного скважинного выщелачивания урана создается подвижное равновесие между Fe (II) и Fe (III)**,** от соотношения которого зависит степень извлечения урана. Определяющую роль в данном процессе играет стабильное содержание Fe (III). Однако в процессе подземного выщелачивания равновесие быстро смещается в сторону Fe (II) и процесс выщелачивания урана замедляется. Окислительно-восстановительная реакция составная часть процесса выщелачивания и для стабильного и направленного протекания процесса окисления-восстановления необходимо дополнительное введение окислителя [1-4]. Такой стабильный процесс, формирующий оптимальное количество Fe (III), могут обеспечивать ферромагнитные материалы.

В связи с этим в настоящей работе для проверки каталитической активности ферромагнитного материала (ФМ) проведены исследования по окислению Fe (II) до Fe (III) в кислой среде. Для проверки каталитической активности ферромагнитного материала (ФМ) проведены исследования по окислению Fe (II) до Fe (III) в кислой среде.

Экспериментальная часть

Методика проведения экспериментов

Для синтеза порошкового ФМ были использованы: железный купорос – $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, хлорное железо (III) – $FeCI_3 \cdot 6H_2O$, аммиак водный – 25 % – ный. Порошкообразный ФМ получен путем смешения растворов солей двух-и трехвалентного железа, взятых в определенном соотношении, при температуре 70° С в присутствии 15 %-ного раствора аммиака. Для получения высокодисперсных частиц необходимо было ограничить рост частиц, что достигалось интенсивным перемешиванием растворов. Использование аммиака создает более мягкие условия соосаждения солей, что способствует образованию в ходе реакции однородных частиц ФМ. Несоблюдение определенных соотношений исходных компонентов ухудшает магнитные характеристики ФМ. Полученный в результате реакции ФМ имеет черный цвет. Содержание железа в нем по результатам химического анализа составило 85 %.

Опыты по изучению окисляемости двухвалентного железа до трехвалентного железа проводили в модельных растворах железного купороса, в присутствии пероксида водорода при различном его расходе и совместном присутствии пероксида водорода и ФМ в сернокислой среде под контролем ОВП раствора в зависимости от продолжения процесса.

Методы анализа. Для получения высокодисперсных частиц ФМ, применили метод химической конденсации.

Химический анализ общего содержания железа и ионов железа проведен методами перманганометрии и спектрофотометрии Evolution 60 S.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время вызывают большой интерес вопросы химической кинетики и катализа реакций окисления-восстановления урана [5,6]. Предварительные результаты исследований показали, что порошковые парамагнитные катализаторы размером 5-20 мкм в отсутствии стабилизатора являются не эффективными катализаторами для окисления двухвалентного железа до трехвалентного. Это может быть

связано с тем, что порошки этих катализаторов неустойчивы в водной среде и быстро седиментируют. С другой стороны, существенно уменьшается площадь соприкосновения отдельных частиц катализатора с реагирующими компонентами. Поэтому для увеличения удельной площади катализатора, нами проведены опыты по стабилизации частиц парамагнитных катализаторов поверхностно-активными веществами.

Результаты экспериментальных данных (таблицы 1–5) по изучению окисляемости двухвалентного железа до трехвалентного железа показали эффективность использования СФК. Показано, что при применении пероксида водорода при малом его расходе скорость протекания реакции окисления значительно ниже, чем в присутствии СФК, что подтверждает высокое значение выхода трехвалентного железа. Окисление ионов железа (II) в кислых растворах протекает по реакции: $2Fe^{2+} + 1/2O_2 + 2H^+ = 2Fe^{+3} + H_2O$. Скорость и степень окисления железа (II) зависит при прочих равных условиях от кислотности раствора или значения pH и от соотношения концентрации железа (III) и железа (II) в каждый момент протекания процесса окисления. Это является следствием изменения величин ОВП полуреакций восстановления кислорода и окисления железа, разность которых определяет электродвижущую силу (ЭДС) процесса.

Таблица 1 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) в присутствии 3 % раствора пероксида водорода при 283 К, pH 1,5

№	τ, сек.	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	386	3,21	0,23	6,6	3,44
2	1800	425	3,02	0,42	12,3	3,44
3	3600	432	2,91	0,53	15,3	3,44
4	5400	435	2,84	0,6	17,5	3,44
5	7200	438	2,82	0,62	18,1	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3 % раствора H_2O_2 – 0,5 мл						

Таблица 2 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) в присутствии 3 % пероксида водорода при 283 К, pH 1,5.

№	τ, сек.	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	394	3,17	0,27	7,9	3,44
2	1800	444	2,74	0,7	20,3	3,44
3	3600	448	2,54	0,9	26,3	3,44
4	5400	455	2,12	1,32	38,5	3,44
5	7200	459	2,08	1,36	39,4	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3 % раствора H_2O_2 – 1,5 мл						

Таблица 3 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) в присутствии 3 % пероксида водорода при 283 К, pH 1,5

№	τ, сек.	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	402	3,09	0,35	10,1	3,44
2	1800	470	2,50	0,94	27,3	3,44
3	3600	475	2,19	1,25	36,3	3,44
4	5400	478	2,02	1,42	41,2	3,44
5	7200	481	1,95	1,49	43,4	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3 % раствора H_2O_2 – 2,5 мл						

Таблица 4 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) при совместном присутствии СФК и 3 % пероксида водорода при 283 К, pH 1,5

№	τ, сек.	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	405	3,06	0,38	11,2	3,44
2	1800	468	2,81	0,63	18,3	3,44
3	3600	474	2,57	0,87	25,2	3,44
4	5400	476	2,18	1,26	36,5	3,44
5	7200	479	2,15	1,29	37,4	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3% раствора H_2O_2 – 0,5 мл Масса СФК -1 г						

Таблица 5 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) при совместном присутствии СФК и 3 % пероксида водорода при 283 К, pH 1,5

№	τ, сек.	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	410	3,02	0,42	12,1	3,44
2	1800	471	2,77	0,67	19,6	3,44
3	3600	476	2,52	0,92	26,8	3,44
4	5400	479	2,16	1,28	37,1	3,44
5	7200	482	2,13	1,31	38,2	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3 % раствора H_2O_2 – 0,5 мл Масса СФК -2 г						

Одновременно с процессом окисления железа (II) протекает гидролиз ионов железа (III) с образованием гидроксокомплексов по реакциям:

Fe3+ + H2O ↔ FeOH2+ + H+ , Fe3+ + 2H2O ↔ $Fe(OH)_2^+ + 2H^+$, $Fe^{3+} + 3H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+$.

Суммарная реакция окисления железа (II) с учетом гидролиза ионов железа (III) протекает по уравнению: $2Fe^{2+} + 1/2O_2 + 5H_2O = 2Fe(OH)_3 + 4H^+$.

Из последней реакции следует, что повышение кислотности или понижение значения pH раствора должно замедлять скорость окисления железа, что и подтверждается на эксперименте. При заданных значениях pH и соотношении концентраций ионов железа (III) и железа (II) в исходном растворе с максимальной скоростью процесс окисления железа (II) может протекать только в начале процесса, замедляясь затем тем в большей мере, чем в большей степени окислено железо (II). Это связано с ростом ОВП системы железо (III)/(II) и, как следствие, с уменьшением ЭДС общей окислительно-восстановительной реакции. Рост ОВП системы железо (III)/(II) определяется, с одной стороны, уменьшением концентрации железа (II) в растворе, с другой стороны, повышением концентрации железа (III), то есть в итоге увеличением соотношения концентраций железа (III)/(II) в растворе. Кроме того, как следует из приведенных реакций, с повышением степени окисления железа (II) увеличивается и кислотность, или уменьшается значение pH раствора. Уменьшение pH раствора приводит к повышению равновесной концентрации ионов железа (III), несвязанных в гидроксокомплексы. А так как ОВП системы железо (III)/(II) определяют именно несвязанные ионы, то понижение pH раствора в ходе окисления в еще большей мере повысит ОВП системы железо (III)/(II), уменьшит ЭДС реакции окисления и снизит скорость и степень окисления железа (II). Если же значение pH в растворе поддерживать постоянным, то в ходе окисления железа (II) равновесная концентрация ионов железа (III), несвязанных в гидроксокомплексы, уменьшится в каждый конкретный момент протекания процесса и ЭДС, а значит, скорость и степень окисления железа (II) увеличатся [7].

Для значительного увеличения удельной площади и резкого уменьшения расхода парамагнитного катализатора проведен синтез наноразмерных ферромагнитных катализаторов, стабилизированных поверхностно-активными веществами серии НФК.

Установлена каталитическая окислительная активность наноразмерных стабилизированных ферромагнитных катализаторов НФК на примере окисления двухвалентного железа до трехвалентного в сернокислой среде под контролем ОВП раствора в зависимости от продолжительности процесса. Полученные данные представлены в таблицах 6, 7.

Таблица 6 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) в присутствии 3 % раствора пероксида водорода при 283 К, pH 1,5

№	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	394	3,1	0,34	9,9	3,44
2	10	435	2,78	0,66	19,2	3,44
3	20	448	2,64	0,80	23,2	3,44
4	30	462	2,51	0,93	27,0	3,44
5	60	438	2,46	0,98	28,5	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3 % раствора H_2O_2 – 1 мл						

Таблица 7 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) при совместном присутствии НФК и 3 % пероксида водорода при 283 К, pH 1,5

№	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	415	3,0	0,44	12,8	3,44
2	1	475	2,32	1,12	32,6	3,44
3	3	488	2,01	1,43	41,6	3,44

4	5	494	1,93	1,51	43,8	3,44
5	10	496	1,89	1,55	45,05	3,44
Объем раствора – 50 мл Объем 3 % раствора H_2O_2 – 1 мл Масса НФК -5 г						

Результаты экспериментальных данных показали эффективность использования НФК в процессе окисления двухвалентного железа до трехвалентного. Показано, что при применением пероксида водорода при оптимальной дозе скорость протекания реакции окисления значительно ниже, чем в присутствии НФК, что подтверждается высоким выходом трехвалентного железа (сравни таблицы 6 и 7).

Также проведены экспериментальные работы по установлению каталитической окислительной активности наноразмерных стабилизированных ферромагнитных катализаторов НФК на примере окисления двухвалентного железа до трехвалентного в сернокислой среде под контролем ОВП раствора в зависимости от продолжительности в условиях барботирования воздуха. Результаты представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) в присутствии кислорода воздуха при 283 К, pH 1,5

№	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	335	3,32	0,12	3,5	3,44
2	10	385	3,18	0,26	7,6	3,44
3	20	410	3,16	0,28	8,2	3,44
4	30	425	3,13	0,31	9,1	3,44
5	60	431	3,08	0,36	10,4	3,44
Объем раствора – 50 мл Скорость подачи воздуха – 3 л/мин						

Показано, что в случае воздуха по сравнению с пероксидом водорода в присутствии НФК окисление двухвалентного железа до трехвалентного протекает более продолжительно, например, с оптимальным количеством пероксида водорода и НФК время окисления составляет – 3 мин., а воздухом – 30 мин.

Таблица 9 – Кинетика изменения соотношения железа (II) и железа (III) в присутствии кислорода воздуха и катализатора НФК при 283 К, pH 1,5

№	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, %	Суммарное содержание железа, г/л
1	0	390	3,27	0,165	4,8	3,44
2	10	425	3,11	0,33	9,6	3,44
3	20	436	3,01	0,43	12,6	3,44
4	30	452	2,62	0,82	23,8	3,44
5	60	455	2,61	0,83	24,1	3,44
Объем раствора – 50 мл Скорость подачи воздуха – 3 л/мин Масса НФК – 5 мг						

Проведены исследования по изучению влияния НФК на степень разложения пероксида водорода в сернокислой среде (рисунок 1).

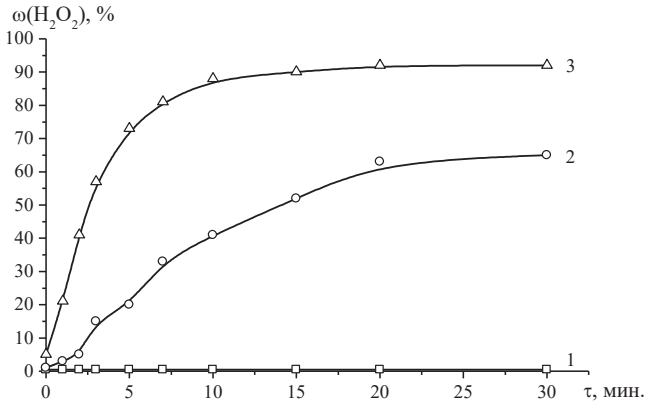


Рисунок 1 – Кинетические кривые разложения пероксида водорода в присутствии НФК. pH = 1,51 – в отсутствии катализатора, ОВП = 387 мВ; 2 – в присутствии 0,5 мг катализатора, ОВП = 410 мВ; 3 – в присутствии 5 мг катализатора, ОВП = 485 мВ

Показано, что наилучшее разложение пероксида водорода происходит при агитационном режиме обработки в присутствии НФК массой 5 мг, в течение 5-7 мин.

Далее проведены укрупненно-лабораторные испытания с целью окисления урана (IV) до урана (VI) на продуктивном растворе с использованием разработанных парамагнитных выщелачивающих растворов

В условиях отработки урана методом подземного выщелачивания иногда сокращение расхода серной кислоты на процесс связывают с поддержанием среды в продуктивных растворах (в откачных скважинах) на уровне pH = 3÷2,5 не рекомендуется.

Поддержание такого режима чаще всего вызывает гидролиз и осаждение Fe^{3+} по пути фильтрации раствора, сопровождаемое соосаждением урана, что, в свою очередь, удлиняет срок отработки участка и вызывает кольматацию откачных скважин гидроокисями по реакции:

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4 \qquad (1)$$

Механизм окисления урана (IV) трехвалентным железом в кислой среде следующий:

$$UO_2 + 2Fe^{3+} \longrightarrow UO_2^{2+} + 2Fe^{2+} \qquad (2)$$

В процессе подземного выщелачивания трехвалентное железо Fe^{3+}, окисляя четырехвалентный уран до шестивалентного, восстанавливается до двухвалентного Fe^{2+} по уравнению (2). Опыт эксплуатации предприятий подземного выщелачивания показывает, что использование окислителей увеличивает извлечение урана в раствор. В то же время однозначно подмечено, что присутствие ионов трехвалентного железа обеспечивает успешное растворение урана и без добавления окисляющего агента. Приемлемая скорость растворения двуокиси урана достигается при соотношении Fe^{3+}: Fe^{2+}=1:1, при общей концентрации трехвалентного железа 0,5-2 г/л.

В практике подземного выщелачивания соотношение Fe^{3+}: Fe^{2+}, как потенциалозадающей системы, контролируется величиной ОВП:

при ОВП=300 мВ практически все железо находится в двухвалентном состоянии; при ОВП=+430 мВ около половины железа находится в трехвалентном состоянии; при ОВП=+600 мВ и более все железо переходит в трехвалентное состояние.

Из множества экспериментальных данных и дополнительно проведенных опытов отобраны наиболее значимые результаты. Рассчитаны необходимые термодинамические параметры реакции окисления двухвалентного железа в отсутствии и присутствии предложенных катализаторов [2,3,7].

После проведения ряд модельных опытов нами были отобраны три парамагнитного катализатора (ПМ): 1) микроразмерный ПМ; 2) модифицированный парамагнитный катализатор (МПМ) – микро и – наноразмерный; 3) микроразмерный ПМ после магнитной активации. Во всех случаях эксперименты проведены барботированием воздуха в условиях температуры скважинного выщелачивания, Отобранные экспериментальные данные, приведены в таблицах 10-20.

Таблица 10 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в отсутствии катализатора при 8°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,54	0	365	3,05	0,20	6,1	3,25
2	1,57	30	366	2,94	0,31	9,5	3,25
3	1,61	60	369	2,88	0,37	11,4	3,25
4	1,60	90	371	2,81	0,44	13,5	3,25
5	1,59	120	374	2,77	0,48	14,7	3,25

Таблица 11 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в отсутствии катализатора при 14°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,54	0	354	3,09	0,16	4,9	3,25
2	1,58	30	356	3,01	0,24	7,4	3,25
3	1,61	60	359	2,92	0,33	10,1	3,25
4	1,63	90	363	2,89	0,36	11,1	3,25
5	1,65	120	367	2,83	0,42	12,9	3,25

Таблица 12 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в присутствии микроразмерного катализатора ПМ массой 1 г при 8°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,57	0	395	2,93	0,38	11,5	3,31
2	1,66	30	399	2,66	0,65	19,6	3,31
3	1,71	60	402	2,40	0,91	27,5	3,31
4	1,75	90	405	1,96	1,35	40,8	3,31
5	1,77	120	407	1,90	1,41	42,6	3,31

Таблица 13 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в присутствии микроразмерного катализатора ПМ массой 1 г при 14°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,64	0	388	2,81	0,33	10,5	3,14
2	1,68	30	392	2,56	0,58	18,5	3,14
3	1,72	60	395	2,31	0,83	26,4	3,14
4	1,74	90	397	1,88	1,26	40,1	3,14
5	1,76	120	401	1,81	1,33	42,3	3,14

Таблица 14 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в присутствии модифицированного катализатора МПМ массой 1 г при 8°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,44	0	396	3,32	0,4	11,9	3,36
2	1,48	5	450	1,58	1,78	52,9	3,36
3	1,55	10	454	1,55	1,81	53,8	3,36
4	1,57	20	455	1,50	1,86	55,3	3,36
5	1,61	60	459	1,48	1,88	55,9	3,36
6	1,63	120	461	1,47	1,89	56,2	3,36

Таблица 15 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в присутствии модифицированного катализатора МПМ массой 1 г при 14°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,51	0	390	3,01	0,44	12,7	3,45
2	1,56	5	441	1,70	1,75	50,7	3,45
3	1,61	10	443	1,68	1,77	51,3	3,45
4	1,63	20	445	1,64	1,81	52,4	3,45
5	1,65	60	447	1,62	1,83	53,0	3,45
6	1,67	120	449	1,60	1,85	53,6	3,45

Таблица 16 – Изменение количества железа, отобранного с зеркала СНК 101 месторождения Семизбай-U объемом 10 л барботированием воздуха в присутствии модифицированного катализатора МПМ массой 0,5 г при 20°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,6	0	301	3,45	0,08	2,26	3,53
2	1,55	5	300	3,40	0,13	3,7	3,53
3	1,54	10	302	3,39	0,14	4,0	3,53
4	1,53	20	303	3,38	0,15	4,2	3,53
5	1,53	60	305	3,37	0,16	4,5	3,53

Таблица 17 – Изменение количества железа, отобранного с зеркала СНК 101 месторождения Семизбай-U объемом 10 л барботированием воздуха в присутствии модифицированного катализатора МПМ массой 20 г при 20°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,73	0	296	3,37	0,08	2,3	3,45
2	1,76	5	290	3,28	0,17	4,9	3,45
3	1,83	10	302	3,14	0,31	9,0	3,45
4	1,85	20	303	3,01	0,44	12,75	3,45
5	1,86	60	305	2,89	0,56	16,2	3,45
6	1,88	90	287	2,70	0,75	21,7	3,45

Таблица 18 – Изменение количества железа, отобранного с зеркала СНК 101 месторождения Семизбай-U объемом 10 л барботированием воздуха в присутствии модифицированного катализатора МПМ массой 50 г при 20°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содержание железа, г/л
1	1,75	0	301	3,09	0,08	2,5	3,17
2	1,82	5	291	2,50	0,67	21,1	3,17
3	1,94	10	284	1,81	1,36	42,9	3,17
4	2,21	20	272	1,66	1,51	47,6	3,17
5	2,30	60	269	1,28	1,89	59,6	3,17

Порядок проведения эксперимента был следующий: отобрали 200 мл продуктивного раствора, путем титрования с трилоном Б определили сначала общее содержание железа, затем концентрацию двухвалентного железа. По разности находили содержание трехвалентного железа. Далее, 200 мл раствора барботировали воздухом без катализатора в течение времени, указанном в таблицах 10, 11 при температуре 8 и 14°С.

Таблица 19 – Изменение количества железа в продуктивном растворе объемом 200 мл барботированием воздуха в присутствии микроразмерного катализатора ПМ массой 1 г после магнитной активации в течение 3 минут при 8°С

№	pH	τ, мин	ОВП, мВ	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}, г/л	Выход, Fe^{3+}, в %	Суммарное содерж. железа, г/л
1	1,74	0	389	2,96	0,58	16,4	3,54
2	1,70	30	393	2,70	0,84	23,7	3,54
3	1,71	60	396	2,17	1,37	38,7	3,54
4	1,75	90	398	2,08	1,46	41,2	3,54
5	1,76	120	400	2,03	1,51	42,6	3,54

Затем определяли содержание двух- и трехвалентного железа в растворе и одновременно окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) раствора. Аналогичные опыты проводили в присутствии катализаторов ПМ (таблицы 12, 13), МПМ (таблицы 14, 15) и большим объемом 10 л раствора в присутствии МПМ различной массы (таблицы 16-18). Наконец проводили опыты с использованным микроразмерным катализатором ПМ после магнитной активации (таблица 19).

Как видно из таблиц 10, 11 в отсутствии катализатора в присутствии воздуха реакция окисления двухвалентного железа в кислой среде $2Fe^{2+} + O_2 + 4H^+ = 2Fe^{3+} + 2H_2O$ происходит медленно, т.е. при 8°С выход трехвалентного железа составляет от 6,1% до 14,7% (таблица 10), а при 14° С выход его несколько снижается из-за ухудшения растворимости воздуха в растворе (таблица 11). В присутствии катализатора ПМ окисление двухвалентного железа существенно увеличивается, по истечении 90 минут выход трехвалентного железа составляет порядка 40%. При увеличении температуры до 14° С выход железа (III) незначительно снижается (сравни таблицы 12 и 13).

При добавлении катализатора МПМ в раствор наблюдается интенсивное окисление двухвалентного железа, т.е. по истечении 5 минут выход железа (III) составляет больше 50% (таблицы 14, 15). Эти результаты практически были подтверждены при проведении лабораторных испытаний в руднике Семизбай-U с использованием катализатора МПМ разной массы в 10 л раствора, отобранного с зеркала СНК (таблицы 16-18). При оптимальном содержании катализатора МПМ массой 50 г на 10 л раствора при 10 минут выход железа (III) достигает свыше 40% (таблица 18).

Нами проведены также опыты по восстановлению магнитной активности использованного катализатора ПМ. Для этого данный катализатор в порошкообразном виде намагничивали постоянным магнитом в течение от 2 минут до 6 часов. Оказалось, магнитная активность использованного катализатора ПМ восстанавливается за короткое время (2-3 минуты). Результаты опытов приведены в таблице 19. Как видно из этой таблицы, активированный катализатор ПМ в течение 1,5-2 часов окисляет двухвалентное железо до трехвалентного свыше 40 %.

Таким образом, полученные результаты показывают, что разработанный нами катализатор ПМ (магнитная активность свыше 60 %) можно многократно использовать после магнитной активации. Самым активным катализатором оказался МПМ (магнитная активность свыше 20%), но этот катализатор является частично расходным и активизируется термическим путем. Для использования в промышленности можно рекомендовать катализатор ПМ многократного использования.

При оценке и анализе показателей экономической эффективности на стадии разработки расчеты носят прогнозный характер. Производственная мощность завода 18000 $м^3$. В таком объеме раствора содержится 63 тонны Fe^{2+}. Для его окисления до Fe^{3+} на 50 % требуется 27 тонн пероксида водорода. Общая стоимость его 27х1500S= 40 500 дол.

Для окисления 63 тонн Fe^{2+} до Fe^{3+} на 50 % требуется 625 кг катализатора многократного использования

в гранулах при стоимости 500 долларов за тонну. Приблизительная цена установки для загрузки катализатора стоит порядка 30 000 долларов. Ежесуточная экономическая эффективность 40 500-30 000 -500 = 10 000 дол.

Реальный экономический эффект будет определен после проведения опытно-промышленных испытаний.

Прогнозная ежесуточная экономическая эффективность процесса окисления железа в кислой среде с использованием гранулированного парамагнитного катализатора составила порядка 10 000 долларов США.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований определено, что катализатор НФК существенно улучшает процесс окисления двухвалентного железа до трехвалентного в присутствии оптимального количества пероксида водорода, а также кислорода воздуха.

Также установлено, что при оптимальном количестве пероксида водорода скорость окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} в 6-10 раз меньше, чем при совместном присутствии НФК и пероксида водорода. Кроме того, расход катализатора НФК в 200 раз меньше, чем катализатор СФК.

Найдено, что при минимальном расходе пероксида водорода, равном 0,5 мл, при pH 1,5 и продолжительности процесса 2 часа выход железа трехвалентного значительно ниже (18,1 %), чем при совместном присутствии СФК и пероксида водорода (38,2 %). Также показано, что скорость и степень окисления железа (II) зависит от изменения величин ОВП полуреакций восстановления кислорода и окисления железа.

Из множества экспериментальных данных и дополнительно проведенных опытов отобраны наиболее значимые результаты. Рассчитаны необходимые термодинамические параметры реакции окисления двухвалентного железа в отсутствии и присутствии предложенных катализаторов.

Таким образом, полученные результаты показывают, что разработанный нами катализатор ПМ (магнитная активность свыше 60 %) можно многократно использовать после магнитной активации. Самым активным катализатором оказался МПМ (магнитная активность свыше 20%), но этот катализатор является частично расходным и активизируется термическим путем. Для использования в промышленности можно рекомендовать катализатор ПМ многократного использования.

При оценке и анализе показателей экономической эффективности на стадии разработки расчеты носят прогнозный характер. Производственная мощность завода 18000 $м^3$. В таком объеме раствора содержится 63 тонны Fe^{2+}. Для его окисления до Fe^{3+} на 50 % требуется 27 тонн пероксида водорода. Общая стоимость его 27х1500S= 40 500 дол.

Для окисления 63 тонн Fe^{2+} до Fe^{3+} на 50 % требуется 625 кг катализатора многократного использования в гранулах при стоимости 500 долларов за тонну. Приблизительная цена установки для загрузки катализатора стоит порядка 30 000 долларов. Ежесуточная экономическая эффективность 40 500-30 000 -500 = 10 000 дол.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бровин К.Г., Грабовников В.А., Шумилин М.В., Язиков В.Г. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием. – Алматы: Гылым, 1997. – 384 с.

2. Веселов Л.Н., Садонин В.Г. Физико-химические основы и гидродинамика процесса подземного выщелачивания. – М.: ЦНИИ информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике.1981. – 85 с.

3. Аренс В.Ж. Геотехнология. – М.: МГГУ, 2002. – 726 с.

4. Забазнов В.Л. Особенности эксплуатации методом подземного выщелачивания глубокозалегающих эпигенетических месторождений урана «песчаникового типа». // Совещание Технического комитета МАГАТЭ: доклад на совещ. – Алматы, Казахстан, 1996.

5. Wang Li, Lu Shuxiang, Wang Yaquan, MiZhentao. Multistage extractive reaction for hydrogen peroxide production by anthraquinone process // Trans. Tianjin Univ-2005. – Vol.11, № 4. – P. 245–249.

6. Тарханов А. В., Шаталов В. В. Состояние мировой урановой промышленности и тенденции ее развития на рубеже веков. // Минеральное сырье. – 2002. – № 12. – 13 с.

7. Айбасов Е. Ж., Байгужин А. А., Тусупбаев Н. К., Кенжалиев Б. К. Химическая термодинамика неорганических соединений урана. – Алматы: СНИЦ ПБ и ГО МЧС РК, 2013. – 202 с.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА В УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УЗБЕКИСТАНА

Санакулов К.[1], Бабаев Ш.Р.[2], Аликулов Ш.Ш.[2]
[1]АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», г. Навои, Узбекистан,
[2]Навоийский горно-технологический университет, г. Навои, Узбекистан
sharofovich@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается извлечение золота подземным выщелачиванием из отработанных месторождений урана. Глубина поиска обосновывается тем, что тематика исследований является инновационной технологией, учитывая специфику темы исследований, относящейся к уранодобывающей отрасли. На основе проведенных исследования научных и патентных работ, были подобраны составы выщелачивающего раствора для проведения лабораторных работ по выщелачиванию золота. О проведении испытаний свидетельствуют результаты, которые позволяют продолжить работы по этой тематике на предмет исследования по выщелачиванию и выделению золота в полупромышленных масштабах с конкретными реагентами.

Ключевые слова: подземное выщелачивание, золота, соединения хлора, уран, гипохлорит натрия, режим «пуш–пул».

ABOUT THE POSSIBILITY OF APPLYING THE METHOD OF UNDERGROUND LEACHING OF GOLD IN URANIUM DEPOSITS OF UZBEKISTAN

Sanakulov K.[1], Babaev Sh.R.[2], Alikulov Sh.Sh.[2]
[1]JSC "Navoi Mining and Metallurgical Combine", Navoi, Uzbekistan,
[2]Navoi Mining and Technology University, Navoi, Uzbekistan
sharofovich@mail.ru

Abstract. This work examines the extraction of gold by underground leaching from waste uranium deposits. The depth of the search is justified by the fact that the research topic is innovative technology, taking into account the specifics of the research topic related to the uranium mining industry. Based on the research and patent work carried out, the compositions of the leaching solution were selected for laboratory work on gold leaching. The testing is evidenced that the results allow us to continue work on this topic for research on the leaching and sorption of gold on a semi-industrial scale with specific reagents and sorbents.

Key words: underground leaching, gold, chlorine compounds, uranium, sodium hypochlorite, push-pull mode.

В Узбекистане метод подземного выщелачивания (ПВ) применяется в промышленном масштабе только для добычи урана.

В последние годы, интерес специалистов горно-перерабатывающей отрасли к применению методов ПВ в геотехнологии усилился и в настоящее время он относится к числу перспективных инновационных технологий при извлечении цветных металлов.

Применение традиционных гидрометаллургических способов переработки минерального сырья с выщелачиванием металлов на определенной территории предотвращает экологическое загрязнение окружающей среды, т.к. отходы размещаются в специально созданные хвостохранилища.

Извлечение полезных ископаемых на месте их залегания, приводит к сильному сокращению трудозатрат за счёт исключения трудоёмких операций, применения дорогостоящего оборудования, процессов рудоподготовки, обогащения, извлечения и др. Естественно, отсутствие таких трудоемких и высокозатратных операций снижает себестоимость получения продукции в несколько раз и создает возможность для вовлечения в переработку бедных и забалансовых руд, а также разработку мелких и глубокозалегающих рудных тел. Применение метода ПВ с минимальным воздействием на окружающую среду привело к широкому внедрению этого способа в урановой промышленности.

В последние годы во многих странах мира, включающих Россию, Австралию, Канаду, США, ЮАР и др. интенсифицируется метод ПВ в производственных условиях по золоторудному сырью.

В 1986-1990 гг. под руководством к.г-м.н. Г.П. Подзноева и сотрудниками Навоийского филиала Ташкентского политехнического института (ныне Навоийский государственный горно-технологический

университет), а также со специалистами рудника «Марджанбулак», в Узбекистане выполнен комплекс работ (с предварительным проведением разрыхляющего подземного микровзрыва месторождения с параллельным закислением рудного тела). Организованы и проведены опытно-промышленные исследования процесса подземного выщелачивания золота и других ценных компонентов из руд с применением соединений хлора (хлор-хлоридными растворами (Cl_2+NaCl+HCl)) с осаждением золота из растворов на угольном ватине.

При этом наработан достаточный опыт в области ПВ золота, свидетельствующий о перспективности процесса и необходимости продолжения работ в данном направлении. Результаты опытных работ получили широкое применение во многих странах мира.

Применение растворителей золотосодержащих объектов на основе соединений хлора (гипохлорит натрий) состоит из солей (солей серной или соляной кислоты).

В настоящее время на рудниках ПВ Узбекистана в качестве окислителей применяются кислород воздуха, технический кислород и гипохлорит натрия. Ведутся опытно-промышленные испытания по применению метода окисления урана. Применение гипохлорита натрия определяется его доступностью, невысокой стоимостью, простотой подачи в пласт и сильным окислительным действием. Действие гипохлорита натрия основано на его растворении в воде, где он образует хлорноватистую кислоту, которая оказывает непосредственное окисляющее действие:

$$NaClO + H_2O = NaOH + HClO \quad (1)$$

где, HClO – одноосновная кислота с молекулярной массой 52,46. Она может существовать в водных растворах (макс. концентрация ~30%) и в газообразном состоянии. Свободная хлорноватистая кислота образует три различных типа соединений в растворе. Реакции растворения протекают независимо друг от друга и называются параллельными реакциями:

$$HOCl=HCl+O; \quad (2)$$

$$2HOCl=H_2O+Cl_2O; \quad (3)$$

$$3HOCl=2HCl+HClO_3. \quad (4)$$

Реакции преобразования гипохлорита натрия зависят от подземных условий пласта и их скорости превращений могут сильно меняться. Изменение состава пласта, можно предполагать изменение направления реакций, превращения гипохлорита натрия и возможно, что ход реакций может идти, лишь по какому-нибудь одному из направлений.

Измерение активности хлора в составе гипохлорита натрия показало, что при поступлении её концентрация составляла около 170 г/дм^3, а в ходе экспериментов постепенно уменьшилось до 121 г/дм^3. Для постоянного поддержания концентрации 4 г/л закачиваемого раствора в скважину, регулировалось донорской водой подаваемой насосом. Проводился регулярный отбор проб на химический анализ из растворов закачной скважины и пластовой воды для измерения активности хлора в составе гипохлорита натрия. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты анализов на содержание активного хлора в составе гипохлорита натрия

№ п/п	pH	ОВП, мВ	$Cl_{акт}$, г/дм^3
1	12,0	464	170,0
2	12,0	470	143,7
3	12.8	496	125,0
4	13,5	528	150,9
5	13,1	542	118,4
6	13,4	752	115,2
7	13,2	567	121,7

В работе представлены результаты опытно-промышленных работ на месторождении ПВ по разработке оптимальных технологических решений по извлечению золота из отработанных месторождений урана методом подземного выщелачивания.

Проведенные лабораторные исследования, в НГГТУ и ЦНИЛ АО «НГМК» позволили определить и подобрать оптимальную концентрацию гипохлорита натрия в рабочих растворах, количество которого было равно 4 у.е.

Опытный участок ПВ был представлен ячейкой, которая состояла из одной откачной и четырех закачных скважин, размещенных по классической прямоугольной схеме (рис. 1).

На месторождении ПВ работы были начаты на одной из опытных скважин в активном режиме «пуш–пул». В закачную скважину в течении 3 дней был закачан расчетный объём рабочего раствора с указанной концентрацией растворителя гипохлорита натрия.

Минералогический состав руд месторождения ПВ характерен сложными породообразующими, акцессорными и рудными минералами, свойственных специфическим гидрогеологическим и геотехнологическим условиям.

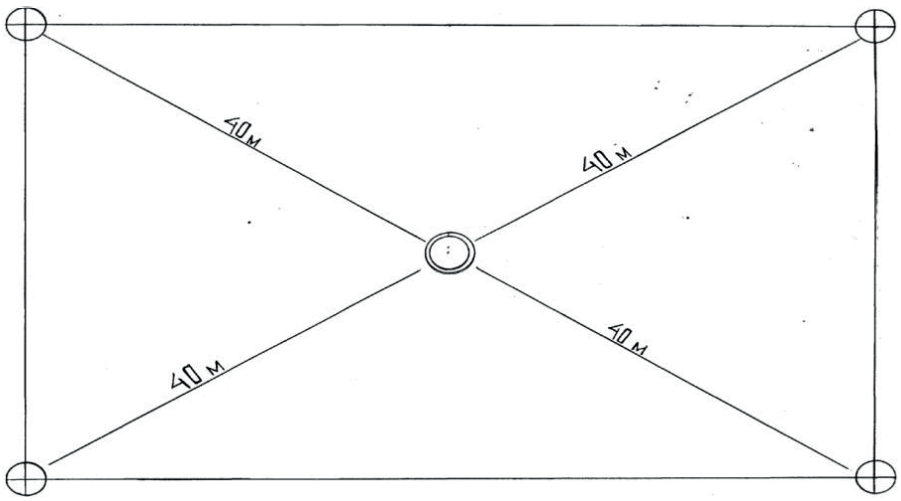


Рисунок 1 - Схема опытной ячейки

Рудные тела с полезными компонентами залегают на глубине от 480 до 500 м в сочетании с высоким напором пластовых вод, которые подступают к кровле продуктивного горизонта (400 м) и усложняют предварительное окисление этих руд атмосферным воздухом при нагнетании его в пласт. Повышенная карбонатность до 2-5% указывает на необходимость проведения предварительного закисления пласта безкислотным реагентом.

При закисления карбонатов на урановых месторождениях подбираются специальные технологии для максимального вскрытия полезных компонентов на всех стадиях отработки и, особенно, на стадиях закисления и подготовки к откачке продуктивных растворов.

Исследования по извлечению золота, которые присутствуют в ураноносных песчаниках показали, что оно не растворяется в различных концентрациях серной кислоты и не извлекается при добыче урана способом ПВ.

Поэтому предлагается применение других растворителей хлорсодержащими соединениями и тиомочевины для извлечения золота. Хотя технологии подземного выщелачивания урана и золота различаются по используемым реагентам-растворителям, но они принципиально схожи по способу добычи при подземном выщелачивании, которое возможно из-за наличия золота в месторождениях обводненных песчано-галечных пород, зажатых водоупорными слоями. Для извлечения золота был проведен комплекс гидрогеологических работ и разработана технологическая схема извлечения золота из отработанных урановых месторождений.

Месторождение Сугралы характеризуется глубоким залеганием (более 300 м), высоким давлением и напором грунтовых пластовых вод на кровлю продуктивного горизонта (статический уровень 15 м от поверхности), с высоким содержанием карбонатов в рудах и вмещающих породах.

Таблица 3 - Результаты определения химического состава жидких проб после проведения опытных работ с применением гипохлорита натрия NaClO

pH	Концентрация, у.е.									
	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Cr	Ag	U	Au	Re
4,9	0,4	0,27	0,4	0,53	0,49	<0,25	<0,3	0,65	0,52	<0,25

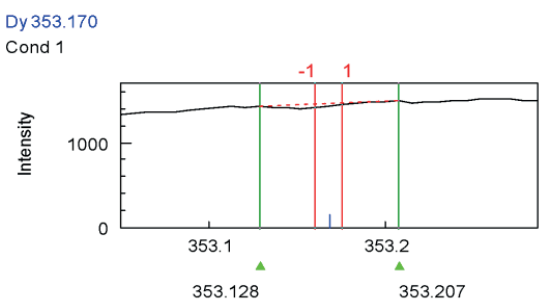
Результаты масс-спектрометрического анализа (рис. 2) позволили определить спектральные профили редкоземельных элементов, обнаруженных в жидких пробах.

Исследованиями установлено, присутствие золота в некоторых месторождениях урана. Для добычи золота способом ПВ из водоносных горизонтов и применение других сильных выщелачивающих реагентов является эффективным. Подача раствора тиомочевины в продуктивный пласт может создать благоприятное условие для растворения окисленного золота.

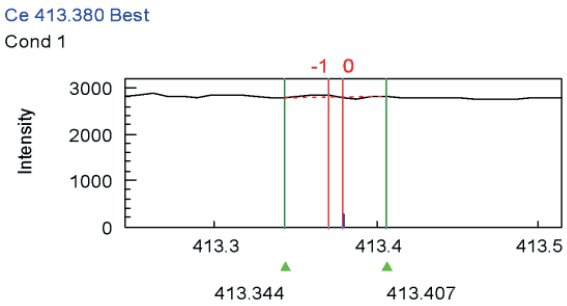
Растворение золота (перевод в жидкую фазу) в присутствии кислорода воздуха можно представить в виде реакции:

$$Au^{o} + 2CS(NH_2)_2 + O_2 = Au\,[CS(NH_2)_2]^{+} + 2O^{2-}. \qquad (6)$$

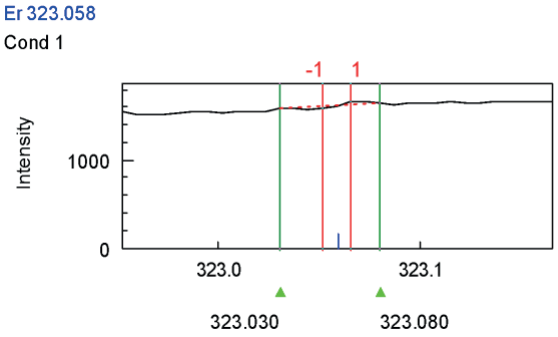
Исследования проводились с освоением скважины и предварительным окислением рудного пласта нагнетанием сжатого воздуха (НСВ). После НСВ определена открытость фильтра и в скважину был подан раствор тиомочевины в течении расчетного времени.



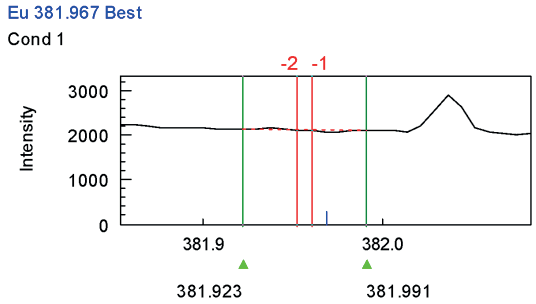
Спектральный профиль церия



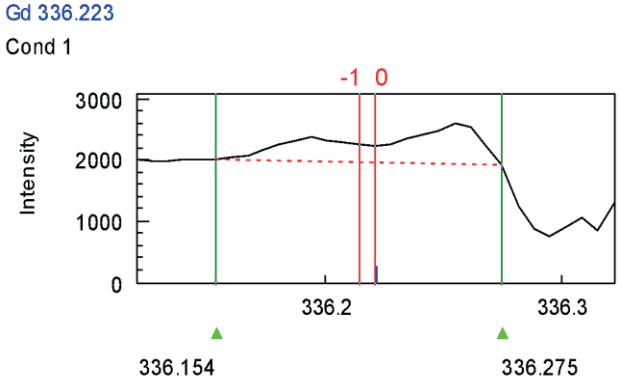
Спектральный профиль диспрозия



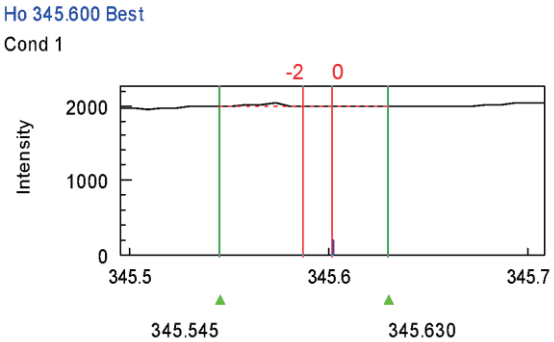
Спектральный профиль эрбия



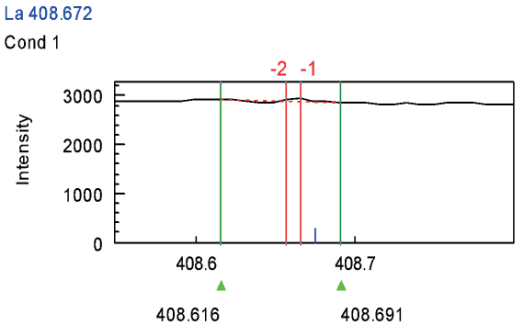
Спектральный профиль европия



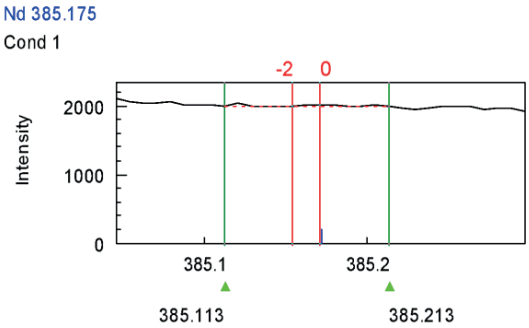
Спектральный профиль гадолиния



Спектральный профиль гольмия



Спектральный профиль лантана



Спектральный профиль неодима

Рисунок 2 - Результаты масс-спектрометрического анализа

Выводы

В результате проведенных исследований установлена возможность извлечения золота из обводненных песчанно-галечных порода и ураноносных песков, зажатых водоупорными слоями, с содержанием в откачиваемом растворе до 0,56 у.е.

1. Впервые разработана и опробована на полигоне ПВ технологическая схема закачки рабочего раствора в отработанную урановую скважину. Проведен комплекс гидрогеологических работ и разработана технологическая схема извлечения золота из отработанных урановых месторождений. При извлечении золота из отработанных месторождений урана попутно может извлекаться цинк и диспрозий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тимощенков С.Н. Обоснование и разработка эффективной технологии скважинного подземного выщелачивания золота из глубокозалегающих россыпных месторождений: на примере Южного Забайкалья // Дис… канд. техн. наук. – Чита, 2009 г. – 100 с.

2. Седов Н.П. Оптимизация технологических параметров скважинного подземного выщелачивания драгоценных металлов (на примере месторождения Долгий Мыс) // Дисс… канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2008 г. – 110 с.

3. Фазлуллин М.И., Авдонин Г.И., Смирнова Р.Н. К проблеме скважинного подземного выщелачивания золота // Горный информационный аналитический бюллетень. – Москва: Неделя горняка, 2009 г. – С. 207-217.

4. Аликулов Ш.Ш., Бабаев Ш.Р., Бабаев М.Ш. Лабораторные исследования процесса подземного выщелачивания из руд // Международная научно-практическая онлайн конференция “Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов». – Алмалык. 27 мая 2021 г. – С. 88-89.

5. Alikulov Sh.Sh., Babayev Sh.R., Substantiation of technologies of gold underground leaching from gravel deposits of Uzbekistan // Solid State Technology. Volume 63. Issue 4. Publication Year.: 2020. – pp.180-184

6. Yannopoulos J.C., The extractive metallurgy of gold. N.Y., Van Nostrand Reinhold.: 1991. – 114 p.О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА В УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УЗБЕКИСТАНА

7. Санакулов К.[1], Бабаев Ш.Р.[2], Аликулов Ш.Ш.

8. АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», г. Навои, Узбекистан,

9. Навоийский горно-технологический университет, г. Навои, Узбекистан

10. sharofovich@mail.ru

ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ УРАН ӨНДІРІСІНДЕГІ ТЕМІР (III) ИОНДАРЫН РЕГЕНЕРАЦИЯЛАУ

Баешов А.,
«Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы», Алматы, Қазақстан
***Турлыбекова М.Н.**
Абай атындағы Қазақ Ұлттық педогогикалық Университеті, Алматы, Қазақстан
Мырзабеков Б.Э.
Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан
Шарипов Р.Х.
Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан
m.t.89@mail.ru

Аңдатпа. Кен орындарындағы минералдардан уранды тиімді бөліп алу уран өндіру кәсіпорындарының актуалды мәселесі болып отыр. Жерасты шаймалау процесінде күкірт қышқылын үнемдеп, процесс тиімділігін арттыру үшін шаймалау ерітіндісін дайындау сатысында табиғи тотықтырғыш – темір (III) иондарын электрохимиялық әдіспен регенерациялау ұсынылады. Темір иондарын анодты тотықтыру процесіне ток тығыздығы мен ерітіндідегі темір (II) иондарының әсері зерттелді. Зерттеу нәтижелері Fe^{3+} иондарын уран тотықтырғышы ретінде қайта қалпына келтіру карапайым әрі экономикалық тиімді әдіс болатынын көрсетті.

Кілт сөздер: уран, темір иондары, тотықтырғыш, регенерация, ток бойынша шығым, түйіршік электродтар, электролиз.

REGENERATION OF IRON (III) IONS IN URANIUM PRODUCTION USING THE ELECTROCHEMICAL METHOD

Bayeshov A.
“National Center on Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan”, Almaty, Kazakhstan
***Turlybekova M.**
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
Myrzabekov B.
D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan
Sharipov R.
Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan
m.t.89@mail.ru

Abstract. An urgent problem of uranium mining enterprises is the effective separation of uranium from minerals in deposits. To save sulfuric acid in the process of underground leaching and increase the efficiency of the process, electrochemical regeneration of a natural oxidizer –ions of iron (III) at the stage of preparation of the leaching solution is recommended. The effect of current density and iron ions (II) in solution on the process of anodic oxidation of iron ions has been studied. The results of the study showed that the reduction of Fe^{3+} ions as an oxidizer of uranium would be a simple and cost-effective method.

Key words: Uranium, iron ions, oxidizer, regeneration, current output, lump electrodes, electrolysis

РЕГЕНЕРАЦИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III) В УРАНОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА

Баешов А.
Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, г. Алматы, Казахстан
***Турлыбекова М.Н.**
Казахский Национальный педогогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
Мырзабеков Б.Э.
Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, г. Алматы, Казахстан
Шарипов Р.Х.
Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан
m.t.89@mail.ru

Аннотация. Актуальной проблемой предприятий по добыче урана является эффективное выделение урана из минералов на месторождениях. Для экономии серной кислоты в процессе подземного выщелачивания и повышения эффективности процесса рекомендуется электрохимическая регенерация природного окислителя – ионов железа (III) на стадии приготовления выщелачивающего раствора. Исследовано влияние плотности тока и ионов железа в растворе на процесс анодного окисления ионов железа (II). Результаты исследования показали, что восстановление ионов Fe^{3+} в качестве окислителя урана будет простым и экономически эффективным методом.

Ключевые слова: уран, ионы железа, окислитель, регенерация, выход по току, кусковые электроды, электролиз

Заманауи уран өндірістерінде негізінен гидрометаллургиялық әдістер қолданылады. Жер қойнауындағы уран минералдарында бұл элементтің тотықсыздану дәрежесінің жоғары болуы оның күкіртқышқылды жерасты шаймалау кезінде бөліп алу дәрежесін төмендетеді, сәйкесінше, дайын өнімнің капиталды және эксплуатациялық шығындарының артуына себеп болады.

Жерасты шаймалау процесінің тиімділігі кеннің минералдық құрамына байланысты. Осы процеспен өңделетін кен орындарындағы негізгі уран минералдары уран тотықтары (настуран, уран қарасы) және уран силикаттары (коффинит) болып табылады. Бұл минералдарда уран көбіне төрт валентті (тотықсызданған) күйде болады, ал бұл өз кезегінде жерасты шаймалау процесінде тотықтырғыштарды қолданбай уранды ерітіндіге өткізуде қиындықтар туғызады [1–3].

Уранды жерасты шаймалау процесі кезінде қышқыл, бейтарап және әлсіз сілтілі орталарда өзінің тотықтырғыштық қасиетін сақтай алатын тотықтырғышты қолданған жөн, яғни, ерітіндінің pH өзгеруі қолданылатын тотықтырғыштың тотықтырғыштық қасиетіне әсер етпеуі тиіс. Кен концентраттарын шаймалау ерітіндісінің құрамына тотықтырғыш ретінде темір (III) тұздары, калий перманганаты, калий және аммоний персульфаттары, хлор, гипохлориттер мен хлораттар, натрий нитриті, азот қышқылы, сутегі пероксиді, техникалық оттегі қоса отырып өңдейді [4, 5]. Ерітіндіге өткен уранды ары қарай ионалмасу сорбциясынан өткізіп, концентрлейді, диуранатттарды сілтілі ерітіндімен немесе аммиакпен тұндырып, химиялық концентрат - U_3O_8 алады. Іс жүзінде, кез келген күшті тотықтырғышты қолдануға болады, дегенмен олар белгілі бір талаптарға жауап беруі тиіс: тотықтырғыштың қымбат болмауы, тиімді меншікті шығыны, экологиялық қауіпсіздігі.

Негізгі кен жыныстарының құрамында әрдайым темір иондары болатындықтан, күкірт қышқылды жерасты шаймалау кезінде Fe^{3+} ерітіндіге өтіп, табиғи тотықтырғыш рөлін атқарады. Кен құрамындағы темірді уран тотықтырғышы ретінде қолдану ең қарапайым, тиімді және арзан әдіс болып табылады. Бұл әдістің қарапайымдылығы шаймалау кезінде темірдің уранмен бірге еруі болып отыр. Шаймалаушы ерітінді құрамында тотықтырғыш ретінде Fe^{3+} иондарының болуы уранды өндіру дәрежесін көтеріп, күкірт қышқылының шығымын азайтуға, сонымен қатар, өңдеу мерзімінің қысқаруына мүмкіндік береді. Темір (III) иондары уранды тотықтыра отырып, өзі тотықсызданған күйде ерітіндіде қалады. Ерітіндіде жалпы темір иондары болған кезде уранның тотығу және еру схемасын келесідей:

$$U^{2+} + 2Fe^{3+} = U^{6+} + 2Fe^{2+} \qquad (1)$$

Осы орайда Fe^{2+} иондарын тотықтырып, қайта тотықтырғыш рөліне келтіру (Fe^{3+}) тиімді әдіс болар еді.

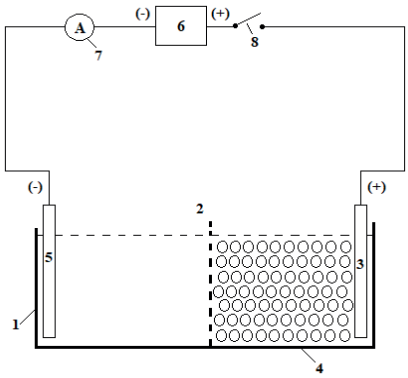
Сондықтан уран кендерін күкірт қышқылымен жерасты шаймалау процесінің тиімділігін арттыру үшін химиялық тотықтырғыштар мен басқа да әдістерді қолдана отырып екі валентті темір иондарын тотықтыру арқылы үш валентті темір иондарының регенерациясын жүргізу керек.

Жерасты шаймалау процесін интенсификациялаудың толыққанды зерттелген физика-химиялық әдістерінің бірі технологиялық ерітінділерді электрохимиялық жолмен өңдеу болып табылады [6, 7].

Осылайша, ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты жерасты шаймалау кезінде уран өндіру дәрежесін жоғарылату үшін шаймалаушы ерітінділерді дайындау сатысында Fe^{3+} иондарын регенерациялаудың электрохимиялық әдісін жасау болып табылады.

Fe^{3+} иондарының электрохимиялық регенерациясы процесінің жүру мүмкіндіктерін анықтау мақсатында моделді ерітінділерді қолдана отырып реакцияның жүруіне әсер ететін негізгі параметрлерді зерттелді.

Зерттеулер арнайы конструкциялы, кеңістіктері диафрагмамен бөлінген электролизерде беттік ауданы үлкейтілген графитен жасалған түйіршікті электродтарды қолдану арқылы принципиалды схемасы 1-суретте көрсетілген электролизерде жүргізілді. Бұл әдістің жұмыс істеу принципі келесідей: анионитті мембранамен (2) бөлінген электролизердің (1) анодты кеңістігіне пластиналы графит электродын (3) салып, оған графит түйіршікті электродтар (4) орналастырады. Түйіршікті графит электродтарды қолдану электролитпен электродтың жанасу ауданын көбейтіп, темір (II) иондары тотығуының ток бойынша шығымын арттырады деп күтіледі. Катод (5) ретінде графит немесе титан электроды қолданылды. Анодтық кеңістік құрамында темір (II) иондары бар күкірт қышқылды ерітінді, ал катод кеңістігі күкірт қышқылы ерітіндісімен толтырылады.



Сурет 2 – Екі валентті темір иондарын үш валентті күйге дейін тотықтыруға арналған қондырғының принципиалды схемасы: 1-электродтық кеңістіктері бөлінген электролизер, 2-диафрагма- МА-40 анионитті мембрана, 3-пластиналы графит электроды, 4- түйіршікті графит электродтар, 5-титан катоды, 6-В-24 ток көзі, 7-амперметр, 8-кілт.

Электролиз жүру кезінде графитті анодта темір иондары үш валентті күйге дейін тотығады:

$$Fe^{2+} - e \rightarrow Fe^{3+} \qquad (2)$$

Алғашқы эксперименттерде графит анодындағы ток тығыздығының темір (II) иондарының үш валентті күйге дейін тотығу процесінің ток бойынша шығымына әсері зерттелді. Анодты кеңістікке құрамында 20 г/л күкірт қышқылы мен 3 г/л екі валентті темір иондары бар моделді ерітінді құйылды. 1-кестеде түйіршікті графит электродтарын пайдаланбаған кездегі эксперименттер нәтижелері көрсетілген.

Кесте 1 –Пластиналы графит анодындағы ток тығыздығының темір (II) иондарының тотығу процесінің ток бойынша шығымына әсері: H_2SO_4 -20 г/л, Fe^{2+} -3 г/л, τ=30 мин, t=25°C

i, А/м^2	0	25	50	100	150	200	250
ТШ,%	0	98.1	81.3	69.7	49.8	33.9	29.4

Эксперимент нәтижелерінен темір (II) иондарының тотығуының ток бойынша шығымы тек ток тығыздығының мәні 25-50 А/м^2 болғанда ғана 80%-дан асатынын, ал одан жоғары ток тығыздықтарында бұл көрсеткіш төмен мәнге ие болғанын, 200 А/м^2 ток тығыздығында тіпті 40 %-дан да аспайтынын байқауға болады. Темір (II) иондарының тотығуының ток бойынша шығымын арттыру мақсатында эксперименттерде орташа өлшемдері 5-10 мм болатын түйіршіктелген графит электродтары қосымша қолданылып, зертеу нәтижелері 2-кестеде келтірілді.

Кесте 2 – Түйіршікті электродтар қатысында пластиналы графит электродтағы анодты ток тығыздығының темір (II) иондарының тотығуының ток бойынша шығымына әсері:H_2SO_4 -20 г/л, Fe^{2+}-3 г/л, τ=30 мин, t=25°C

i, А/м^2	0	50	100	150	200	250
ТШ,%	0	98.9	97.4	96.1	94.8	92.2

Зерттеу нәтижелері түйіршікті электродтарды қолданғанда тіпті 200 А/м^2-ден асқан ток тығыздықтарында темір (II) иондарының 90 %-дан асатын өте жоғары ток бойынша шығымымен тотығатынын көрсетті. Демек пластиналы электродтағы тотығу процесімен салыстырғанда темір (II) иондарының тотығуының тиімділігі іс жүзінде екі еседен аса артады.

Темір (II) иондарының бастапқы концентрациясы бойынша оның түйіршікті графит электродтардағы тотығуының ток бойынша шығымы анықталды.

Кесте 3 – Темір (II) иондарының тотығуының ток бойынша шығымына темір (II) иондарының бастапқы концентрациясының әсері: H_2SO_4-20 г/л, Fe^{2+}-3 г/л, τ=30 мин, t=25°C

C_{Fe2+}, г/л	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
ТШ,%	0	96	97.1	97.4	97.7	98

Ерітіндідегі темір (II) иондарының концентрациясының 1-3 г/л аралығында жүргізілген зерттеулер осы иондардың анодты кеңістікте тотығуының ток бойынша шығымы 98 %-ға дейін артатынын көрсетті (кесте 3). Бұл зерттеулердің нәтижелері екі валентті темір иондарының тотығуы жоғары ток тығыздықтарымен жүретінін көрсетеді.

Қорытынды

Кен орындарындағы уран минералдарын күкірт қышқылды ерітінділермен жерасты шаймалау әдісі арқылы уран иондарын ерітіндіге өткізу кезінде қолданылатын үш валентті темір иондарын электрохимиялық әдіспен регенерациялау мүмкіндіктері гальваностатикалық жағдайда электролиз жүргізу арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелері анод ретінде түйіршікті графит электродтарын қолдану қалыпты жағдайда екі валентті темір иондарының тотығуының ток бойынша шығымын 90%-дан аса жоғарылататынын көрсетті. Сондай-ақ, жер қыртысындағы уран минералдарын шаймалауға арналған ерітіндінің құрамындағы темір (II) иондарының бастапқы концентрациясының олардың тотығуының ток бойынша шығымына әсер ету фокторы зерттеліп, процестің жоғары ток тығыздықтарында жүретіні анықталды.

Жүргізілген зерттеу жұмыстары уран өндірісінде жерасты шаймалау процесінде кеңінен қолданылып жүрген үш валентті темір иондарын электрохимиялық әдістер арқылы іске асыруға болатындығын көрсетті.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Носков М.Д. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания. – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ. МФИ. – 2010. – 83 с.
2. Ергожин Е.Е., Мухитдинова Б.А., Шекеева Б.Ж. Подземное выщелачивание урана (обзор) // Хим. жур. Каз. – №2. – 2008. – С. 5–28
3. Филиппов А.П., Нестеров Ю.В., Носов В.Д. Опытно-промышленное использование подземного выщелачивания урана с использованием HNO_3 в качестве окислителя // Горный журнал. – 2004. – №10. – С. 5255.
4. Рычков В.Н., Пастухов А.М. Применение искусственных окислителей для интенсификации процесса подземного выщелачивания урана. Отч. о науч.-исслед. раб. УРФУ. 2013, 21. http://elar.urfu.ru/handle/10995/21454
5. Дуйсебаев Б.О., Мукушева А.С., Батыршаева Г.С., Полиновский К.Д. Перспективы применения пероксосерных кислот при ПСВ урана // Горн. инфор.-анал. бюлл. – 2008. – №8. – С. 312–314. Перспективы применения пероксосерных кислот при ПСВ урана (elibrary.ru)
6. Sharafutdinov U. Z. et al. Applying the Fe^{+3} oxidizer as an improvement in the efficiency of uranium extraction. Turkish Jour. of Comp. and Math. Edu. (TURCOMAT), 2021, 12(7), 384–386. DOI: https://doi.org/10.17762/TURCOMAT.V12I7.2592

A. Bayeshov, A. Bayeshova, M. Turlybekova, B. Myrzabekov. An electrochemical method for the regeneration of trivalent iron to increase the efficiency of in-situ leaching of uranium Chem. J. Kaz., 2024, 1(85), 142–153. DOI: https://doi.org/10.51580/2024-1.2710-1185.14

ЗАМКНУТЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ДЛЯ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА

Дуйсебаев Б.О., д.т.н.
Байтасов К.М., к.э.н.
Универсальное конструкторское технологическое бюро, г. Алматы
Полиновский К.Д., к.т.н.
АО «Московский завод по обработке специальных сплавов»
e-mail: bduisebayev@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы создания замкнутых химических циклов в урановой промышленности Казахстана. По аналогии с циклами кругооборота воды и замкнутого ЯТЦ предложены циклы на основе ПСВ урана и иных элементов, а также замкнутые химические циклы по сере и фосфору. Приведены преимущества замкнутых химических циклов и оценены перспективы их внедрения.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание (ПСВ), замкнутые химические циклы, синтез водорода

CLOSED CHEMICAL CYCLES FOR THE URANIUM INDUSTRY OF KAZAKHSTAN

Duisebayev B.O., D.Sc.
Baitasov K.M., PhD.
Universal Design Technology Bureau, Almaty
Polinovski K.D., PhD.
JSC “Moscow Special Alloys Processing Plant”
e-mail: bduisebayev@mail.ru

Abstract. The article discusses the issues of creating closed chemical cycles in the uranium industry of Kazakhstan. By analogy with the cycles of water circulation and a closed nuclear fuel cycle, cycles based on EPS of uranium and other elements, as well as closed chemical cycles for sulfur and phosphorus, have been proposed. The advantages of closed chemical cycles are presented and the prospects for their implementation are assessed.

Keywords: in-situ well leaching (ISL), closed chemical cycles, hydrogen synthesis

Введение

Основным свойством и характерной чертой биосферы является т.н. ***биогеохимический цикл*** (круговорот веществ) — система незамкнутых и необратимых круговоротов веществ в биотических (биосфера) и абиотических (литосфера, атмосфера и гидросфера) частях Земли. Наибольшее значение в биогенном цикле имеют круговороты воды, азота, углерода, кислорода, серы и фосфора.

Круговорот веществ и потоки космической энергии создают устойчивость биосферы. Этот процесс происходит при обязательном участии живых организмов и часто нарушается хозяйственной деятельностью человека, что представляет серьёзную угрозу для экологии. Поэтому на современном этапе развития человечества важной задачей является возвращение используемых им веществ в природные циклы. В качестве примера можно привести ***Замкнутый Ядерно-топливный цикл*** (ЯТЦ).

В замкнутом ЯТЦ на радиохимических предприятиях осуществляется переработка отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с целью возврата в цикл невыгоревшего урана-235, почти всей массы урана-238, а также изотопов энергетического плутония, образовавшихся при работе ядерного реактора. Из ядерного топлива выделяют ценные компоненты, которые используют для изготовления нового ядерного горючего. При этом радиоактивность отходов, подлежащих окончательному захоронению, минимизируется [1].

Перспективными замкнутыми химическими циклами по аналогии с вышеуказанными могут быть:

а) Технология подземного выщелачивания металлов,

б) Замкнутые химические циклы для серы и фосфора.

Рассмотрим данные направления более детально в ракурсе существования соответствующих природных циклов.

Круговорот азота в природе является основой жизненного цикла живых существ и происходит главным образом благодаря почвенным бактериям. Атмосферный азот связывается бактериями-*азотфиксаторами*

– симбионтами бобовых растений – с образованием белков. Далее растения поедаются травоядными животными, после чего азот выводится из их организма в форме мочевины и мочевой кислоты, которые бактериями-*аммонификаторами* преобразуются в соли аммония. Затем бактерии-*нитрификаторы* окисляют аммоний в нитраты, а на последнем этапе цикла бактерии-*денитрификаторы* окисляют органику нитратами, восстанавливая их в элементный азот, который возвращается в атмосферу [2].

Круговорот серы в природе также очень важен для жизненного цикла живых существ, т.к. сера входит в состав большинства белков. Он также протекает главным образом благодаря почвенным бактериям. **Все урановые месторождения Казахстана, отрабатываемые методом ПСВ, своим возникновением обязаны серному циклу**. Сульфидные минералы (прежде всего пирит и марказит) в присутствии аэробных бактерий-*сульфофикаторов* окисляются атмосферным кислородом с образованием водорастворимых сульфатов и серной кислоты, которая выщелачивает из горнорудной массы целый ряд элементов, в т.ч. уран, вольфрам, молибден, ванадий, селен и др.. При внедрении сульфатных вод в участки пласта, содержащие органику, под действием анаэробных бактерий-*десульфофикаторов* сульфаты опять восстанавливаются в сульфиды и сероводород, который затем либо окисляется кислородом воздуха до элементной серы и воды, либо связывается органикой в сероорганические соединения (чем и объясняется высокое содержание серы во многих углях и нефтях) [3, 4].

Круговорот фосфора в природе не менее важен для жизненного цикла живых существ, т.к. фосфор является обязательным компонентом АТФ, ДНК и РНК. Фосфорный цикл тесно связан с серным циклом: серная кислота, образующаяся в результате биохимического окисления сульфидов (см. выше), выщелачивает из апатитов и фосфоритов фосфор в форме растворимых фосфатов, которые усваиваются растениями. Растения поедаются травоядными животными, и фосфор частично включается в их ткани, а частично выводится из организма. После смерти животное разлагается, и фосфор из костного материала вновь преобразуется в апатиты и фосфориты, а фосфор из мягких тканей возвращается в почву в форме растворимых фосфатов, которые усваиваются растениями [5].

Применение технологии ПСВ для различных ценных элементов

Технология подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана имеет ряд важных преимуществ перед другими методами:

• Отработка месторождений методом ПСВ по сравнению с традиционными горными способами добычи (шахта или карьер) менее капиталоемка и более оперативна.

• Себестоимость на предприятиях ПСВ в 2÷3 раз ниже, чем на предприятиях с традиционным горным способом добычи.

• Отсутствуют оседания и нарушения земной поверхности, отвалы забалансовых руд и пустых пород, а также хвостохранилища.

• Скважинный вариант вскрытия и отработки месторождений полностью исключает какие-либо источники пылевыделения и в десятки раз уменьшает опасность радиоактивного загрязнения.

Экологическая безопасность метода ПСВ объясняется тем, что при сернокислотном ПСВ урана протекают те же процессы серного цикла, что и при формировании урановых месторождений. Это устраняет экологические риски, т.к. в рудоносном пласте всегда уже присутствуют штаммы бактерий, обеспечивающих биохимическую очистку отработанных растворов от сульфат-ионов. Следует заметить, что при ПСВ урана для интенсификации процесса весьма полезно добавление окислителей, но наиболее дешевый из них – азотная кислота – в настоящее время практически не используется из-за того, что ошибочно считается экологически опасной, поскольку практически все ее соли хорошо растворимы, и удалить их из отработанных растворов методами осаждения невозможно. Однако, с учётом специфики азотного цикла, нетрудно проводить очистку растворов от нитрат-ионов биохимическими методами, что позволяет рассматривать азотную кислоту в качестве весьма перспективного реагента для ПСВ [6].

В настоящее время Казахстане ежегодно добывается более 20 тыс. т урана с использованием технологии ПСВ. Она обеспечивает высокую рентабельность добычи – 20÷30% и выше, хотя содержание урана в рудах в среднем составляет всего 0,03÷0,05 % мас.. При этом на ряде месторождений совместно с ураном присутствуют и другие ценные элементы – ванадий, молибден, селен и др., поэтому весьма целесообразно их попутное извлечение. К примеру, в Узбекистане с использованием технологии ПСВ в год добывается всего 3 тыс. т урана, но попутно с ним извлекается до 70 т золота. Это стало возможным за счет эффективного трансферта урановых технологий для добычи золота.

В настоящее время исследования по ПСВ не-урановых месторождений проводятся в России и ряде других стран. При этом серьёзный шанс выйти в лидеры по данному направлению имеют Казахстан и Узбекистан, используя накопленный ими опыт по ПСВ урана.

Новыми объектами применения геотехнологий и других разработок атомного комплекса могут быть:

- редкометальные коры выветривания [7];
- окисленные медные и свинцово-цинковые руды;
- окисленные никелевые руды;
- подземные и шахтные воды, содержащие медь, хром и др.;
- упорные золотосодержащие руды;
- фосфориты, бораты и калийные соли;
- стоки и выбросы крупных металлургических, химических, энергетических предприятий;
- твердые отходы крупных предприятий, включая золоотвалы ТЭЦ и отвалы угольных разрезов, нефтегазовую серу [8].

На рисунке 1 представлены данные сопоставления потенциальной доходности урана и иных элементов на 1000 кубов исходя из усредненных цен за первое полугодие 2018 при добыче методом ПСВ.

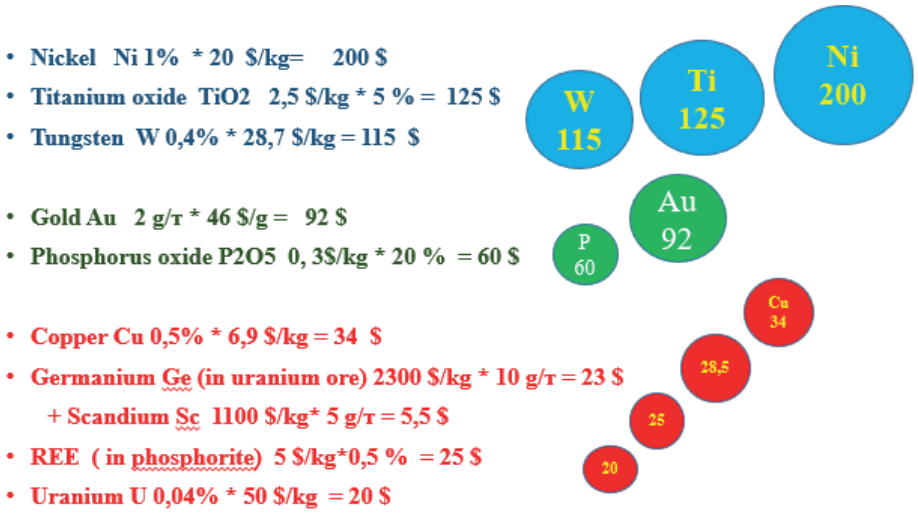


Рисунок 1 - Сравнение потенциальной эффективности применения ПСВ для различных руд (по данным [8])

Как видно из рисунка 1, многие из перечисленных элементов имеют большой потенциал ресурсов с высокой доходностью (в ряде случаев почти на порядок больше по сравнению с ураном). Эти данные показывают целесообразность разработки технологий ПСВ для других элементов.

Следует заметить, что окисленные медные, никелевые и свинцово-цинковые руды образуются в результате окисления сульфидных руд бактериями-*сульфофикаторами* в процессе того же серного цикла, поэтому сернокислотное выщелачивание данных руд является наиболее экологически безопасным. При этом в ряде случаев на начальном этапе процесса ПСВ более целесообразно использование не серной, а более токсичной сернистой кислоты [7] – однако это также не создаёт экологических рисков, поскольку бактерии-сульфофикаторы успешно окисляют до сульфатов практически все соединения серы низших валентностей [3].

Аналогичным образом, при отработке месторождений фосфоритов методом сернокислотного ПСВ протекают те же процессы, что и в природном фосфорном цикле, где выщелачивание фосфора из апатитов и фосфоритов осуществляется серной кислотой, образующейся в результате биохимического окисления сульфидов в рамках серного цикла. Кроме того, с учётом существования азотного цикла, вполне экологически безопасной будет и отработка методом азотнокислотного ПСВ.

Замкнутые химические циклы для серы и фосфора

Идею циклов можно осуществить в гораздо больших масштабах, создав химические циклы для серы и фосфора, которые являются сегодня самыми многотоннажными химическими индустриями в мире.

Основная технологическая идея – переход на прямую сульфидизацию фосфоритов (апатитов) вместо

обработки их серной кислотой. Эта идея дополняется сокращенным вариантом известного серно-йодного цикла получения водорода.

Классическая технология производства термической фосфорной кислоты предусматривает спекание фосфорита, кварцита и кокса с последующим сжиганием образующихся паров фосфора и гидратацией полученного оксида фосфора (5+). Отходом производства является фосфатшлак, который используется в качестве сырья для производства цемента. Однако в Казахстане и Узбекистане данный способ неприменим из-за экологической опасности, поскольку в этих республиках на крупнейшие фосфоритоносные бассейны наложены зоны позднейшего уранового оруденения: в РК Каратауский фосфоритоносный бассейн полностью находится на территории Сырдарьинской урановой провинции, а в РУз Джерой-Сардаринское месторождение фосфоритов – на территории Центрально-Кызылкумской урановой провинции. При этом фосфориты являются одним из наиболее эффективных природных концентраторов урана – содержание урана в них достигает 0,05% [9], что сопоставимо с содержанием его в месторождениях, отрабатываемых методом ПСВ. На Джерой-Сардаринском месторождении естественная радиоактивность руды настолько чётко коррелирует с содержанием фосфорного ангидрида, что этот фактор позволяет вести радиометрический контроль добычи разных сортов фосфоритовой руды [10].

Поскольку извлечение урана из фосфатшлака крайне затруднительно, а его утилизация невозможна из-за высокой радиоактивности, в Казахстане и Узбекистане вместо термического способа производства фосфорной кислоты применяется сернокислотная экстракция фосфоритов:

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 5\ H_2SO_4 = 5\ CaSO_4 + 3\ H_3PO_4 + HF \qquad (1)$$

В производстве экстракционной фосфорной кислоты в раствор обычно переходит 70÷80 % урана, который затем извлекают из фосфорной кислоты различными методами (экстракцией, сорбцией, восстановлением U^{6+} в U^{4+} с последующим осаждением в форме $U(H_2PO_4)_4$ и др.) [11]. Таким образом, задача извлечения урана из фосфоритов решается достаточно успешно, однако побочный продукт – фосфогипс – главным образом уходит в отвалы, поскольку содержание в нем урана – недостаточно для того, чтобы его извлечение урана было экономически целесообразно, но при этом и его утилизация затруднительна из-за высокой радиоактивности.

Авторами работы [12] предлагается новая перспективная технология – сульфатизирующий обжиг апатитов с получением сульфида фосфора (5+):

$$2\ Ca_5F(PO_4)_3 + 24\ S + 6\ O_2 = 9\ CaSO_4 + CaF_2 + 3\ P_2S_5\uparrow \qquad (2)$$

Сульфид фосфора используется достаточно ограниченно (в производстве флотореагентов, как антикоррозионная добавка к смазочным маслам и как инсектицид), поэтому основную его массу планируется перерабатывать на ортофосфорную кислоту путём гидролиза либо пирогидролиза. Побочным продуктом является сероводород, который затем подвергается неполному сжиганию с образованием элементной серы, которая возвращается в голову процесса, и водяного пара, который возвращается на стадию пирогидролиза сульфида фосфора:

$$P_2S_5 + 16\ H_2O = 2\ H_3PO_4 + 5\ H_2S\uparrow \qquad (3)$$
$$2\ H_2S + O_2 = 2S^0 + 2\ H_2O \qquad (4)$$

Таким образом, в данной схеме сразу получается высокочистая фосфорная кислота, а весь уран остается в фосфогипсе. При таком содержании в нём урана переработка фосфогипса становится рентабельной. Наиболее перспективным представляется разработанный в 2016 году в Великобритании способ производства высокочистого гипса, позволяющий перерабатывать любое сырьё, содержащее сульфат кальция. Способ заключается в растворении сырья в горячем (80…150 °C) концентрированном растворе сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$ с образованием двойного сульфата $(NH_4)_2Ca(SO_4)_2$ и отделением примесей путём декантации, фильтрации либо центрифугирования. Затем очищенный раствор охлаждается, в результате чего из него кристаллизуется коктаит $(NH_4)_2Ca(SO_4)_2{\cdot}H_2O$, который затем гидролизуется холодной водой на высокочистый гипс и раствор сульфата аммония, который после упаривания возвращается в голову процесса [13].

Существующий промышленный способ производства экстракционной фосфорной кислоты приведен на рисунке 2, а предлагаемая технология сульфатизирующего обжига – на рисунке 3.

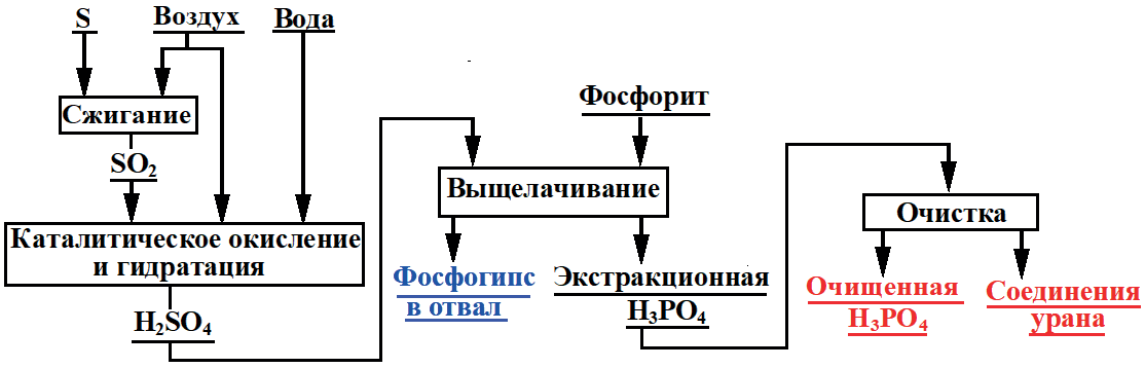


Рисунок 2 - Существующий промышленный способ производства экстракционной фосфорной кислоты (Фосагро, Казфосфат и др.)

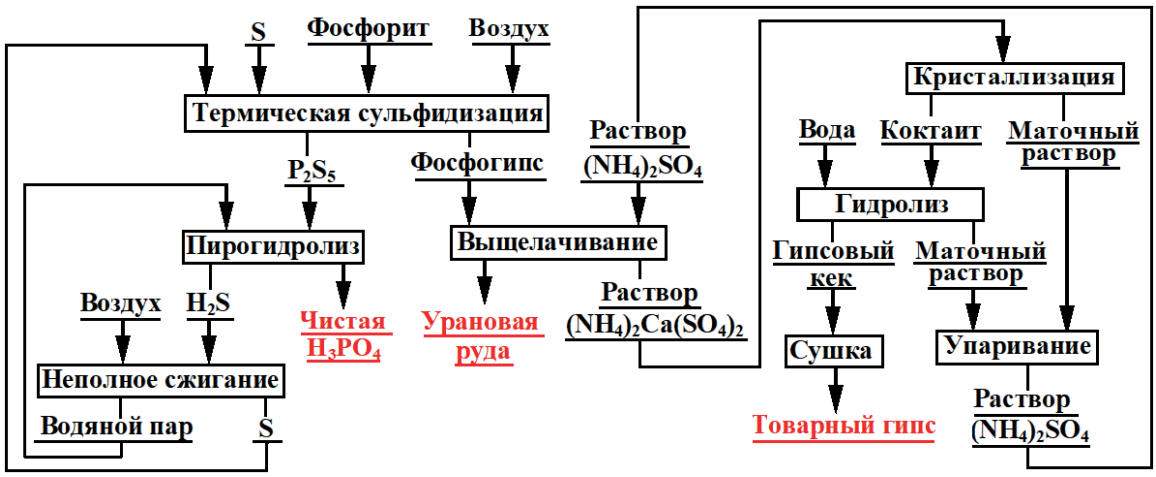


Рисунок - Технология сульфидизирующего обжига

Синтез водорода с использованием серных газов

Сегодня все развитые и многие развивающиеся страны ищут технологии для получения «зеленого» водорода, то есть без выбросов углекислого газа при его производстве. Проблема в том, что имеющиеся в мире традиционные технологии не позволяют получить водород с приемлемой для потребителя ценой. Одной из перспективных технологий является разложение сероводорода на серу и водород по т.н. сокращенному серно-йодному циклу. Данная технология позволит получать из сероводорода «зеленый» водород с низкой себестоимостью.

В вышеприведённой схеме основным побочным продуктом производства фосфорной кислоты является сероводород, который предполагается перерабатывать путём неполного сжигания с образованием элементной серы, которая возвращается в голову процесса, и водяного пара, который возвращается на стадию пирогидролиза сульфида фосфора. Однако возможно, что более перспективной окажется технология разложения сероводорода на серу и водород по сокращенному серно-йодному циклу.

Данная технология предусматривает окисление сероводорода элементным йодом с образованием элементной серы и йодоводорода, который затем подвергается термическому разложению при температуре 450 °C на водород и йод, который возвращается на окисление сероводорода:

$$H_2S + I_2 \rightarrow 2\ HI + S^0 \quad (5)$$

$$2\ HI \rightarrow H_2 + I_2 \quad (6)$$

Суммируя реакции (5) и (6), получим:

$$H_2S \rightarrow H_2 + S^0 \quad (7)$$

Преимущества предлагаемой технологии по сравнению с существующими способами являются:

- нулевые отходы;
- замкнутость по химреагентам;
- высокая экономическая отдача;
- стандартизованные и освоенные в промышленности технические решения;

Возможными пользователями данной технологии являются действующие нефтегазовые компании, нефтеперерабатывающие заводы, химические комбинаты, инновационные агентства и другие компании, заявившие о своем вхождении в водородную тематику – Росатом, Газпром и др. Предполагается, что в ближайшие десятилетия всеми развитыми странами на технологии «зеленого» водорода будут выделяться крупные инвестиции (десятки и сотни миллиардов долларов) с нарастанием по годам.

Предварительные экономические оценки:

- На каждые 98 т кислоты на металлургическом комбинате (стоимостью менее 5 000 $) попутно получается 2 т водорода (стоимостью около 10 000 $). Кроме того, использование этого водорода вместо кокса в процессах восстановления металлов позволяет существенно уменьшить углеродный след предприятия (в идеале до нуля), что скажется на величине будущего углеродного налога.
- Для нефтяных компаний прирост экономической отдачи от добычи нефти за счет попутного получения водорода из сероводорода составляет около 10 % от общего дохода от добычи нефти.

ВЫВОДЫ

Основным свойством и характерной чертой биосферы является т.н. биогеохимический цикл (круговорот веществ). Он происходит при обязательном участии живых организмов и часто нарушается хозяйственной деятельностью человека, что представляет серьёзную угрозу для экологии. Поэтому на современном этапе развития человечества важной задачей является возвращение используемых им веществ в природные циклы. Перспективными замкнутыми химическими циклами ПСВ и замкнутые химические циклы для серы и фосфора.

Экологическая безопасность метода ПСВ объясняется тем, что при сернокислотном ПСВ урана протекают те же процессы серного цикла, что и при формировании урановых месторождений. Это устраняет экологические риски, т.к. в рудоносном пласте всегда уже присутствуют штаммы бактерий, обеспечивающих биохимическую очистку отработанных растворов.

В РК и РУз на крупнейшие фосфоритоносные бассейны наложены зоны позднейшего уранового оруденения, поэтому содержание урана в фосфоритах них достигает 0,05% сопоставимо с содержанием в классических урановых рудах. Предлагаемая технология сульфидизирующего обжига фосфоритов позволяет в одну стадию получить высокочистую фосфорную кислоту, причем весь уран остается в фосфогипсе. Далее, предлагаемая технология растворения фосфогипса в аммонийсульфатных растворах позволяет получить из него высокочистый товарный гипс и сконцентрировать уран в нерастворимом остатке.

Следует заметить, что фосфориты, кроме урана, в существенном количестве содержат РЗЭ (до 0,5 %, что на порядок выше, чем в урановых и редкометальных рудах), которые также концентрируются в нерастворимом остатке. Таким образом, нерастворимый остаток является ценным комплексным сырьём.

Далее, побочный продукт сульфидизирующего обжига фосфоритов – сероводород – может быть источником получения «зеленого» водорода, что является одной из насущнейших задач человечества.

Специфика ролловых урановых месторождений такова, что для каждой урановой провинции требуется индивидуальная оптимальная технология. Поэтому трансфер технологий в данной сфере проблематичен. Предлагаемые технологии переработки фосфорного сырья намного более универсальны и могут успешно продаваться по всему миру за большие деньги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маргулова Т.Х., Кабанов Л.П., Плютинский В.И., Байбаков В.Д. Атомная энергетика сегодня и завтра /Под ред. Т.Х. Маргуловой. – М.: Высшая школа, 1989. – 168 с.

2. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. – М.: ГЕОС, 2007. – 137 с.

3. Каравайко Г.И., Кузнецов С.И., Голомзик А.И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд / Институт микробиологии АН СССР. – М.: Наука, 1972. – 248 с.

4. Phamn M., Müller J.-F., Brasseur G.P., Granier C., Megie G., 1996, A 3D study of the global sulphur cycle: contributions of anthropogenic and biogenic sources: Atmospheric Environment, vol. 30, n. 10/11, p. 1815–1822

5. Filippelli G.M. The Global Phosphorus Cycle: Past, Present, and Future / Elements, 2008, vol. 4, pp. 89–95 (электронный ресурс https://www.academia.edu/21319583/The_Global_Phosphorus_Cycle_Past_Present_and_Future)

6. Полиновский К.Д. Бактериальное окисление органики в рудном пласте азотной кислотой при ПСВ урана на стадии закисления / Сб. докладов IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, 2019. – Часть 1. – С. 135–144.

7. Гражданова Я.В., Исламова Э.К., Исламов К.К., Дуйсебаев Б.О., Пирматов Э.А., Полиновский К.Д., Адилов Р.М., Тимаков А.С., Фролов А.А., Кузнецов В.П. Опыт отработки вольфрамсодержащих руд месторождения Коктенколь методом ПСВ / Сб. докладов IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, 2019. – Часть 2. – С. 121–124.

8. Baurzhan Duisebayev PERSPECTIVE: Take a Cue from Kazakhs and Leap Forward in Security-Minded Metals Extraction Homeland Security Today, August, 2019 (электронный ресурс https://www.hstoday.us/industry/emerging-innovation/perspective-take-a-cue-from-kazakhs-and-leap-forward-in-security-minded-metals-extraction/)

9. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Фосфатные руды. – М., ФГУ ГКЗ, 2007. – 41 с.

10. Иноземцев С.Б., Потапов В.А., Федянин С.Н. Радиометрическая сортировка фосфоритовых руд в автосамосвалах // Горный вестник Узбекистана. – 2001. – №1. – С. 26–31.

11. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот). – Ч.2. – Л.: Химия, 1974. – 768 с.

12. Baurzhan Duisebayev, Konstantin Polinovsky, Thomas A. Cellucci. Phosphorus Shortage Exacerbates Global Food Crisis in the 21st Century. Homeland Security Today, November, 2022. (электронный ресурс https://www.hstoday.us/industry/industry-news/phosphorus-shortage-exacerbates-global-food-crisis-in-the-21st-century/)

13. Патент Великобритании № 2557605A (2016-12-09) Method of producing high purity gypsum (электронный ресурс https://patents.google.com/patent/GB2557605A/en)

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МОЛИБДЕНА ИЗ КАРБОНАТНЫХ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВОГО ХИМКОНЦЕНТРАТА

Санакулов К., Курбанов М.А., , Утаев С.М.
АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», г. Навои, Узбекистан,
Аликулов Ш.Ш.
Навоийский горно-технологический университет, г. Навои, Узбекистан
ka.kurbanov@ngmk.uz

Аннотация. В работе представлены результаты извлечения молибдена методом экстракции из карбонатных растворов, образующихся при производстве урана. Изучалась возможность выделения молибдена из растворов в процессе экстракции. Определены основные режимы (изотермы) процесса экстракции, соотношение органики к жидкой фазе и теоретическое число стадий экстракции, кинетика реэкстракции. Приведена технологическая схема выделения молибдена (парамолибдата аммония) из растворов карбоната урана.

Ключевые слова: карбонатный раствор, уран, молибден, серная кислота, экстракция, изотерма экстракции, рафинат, реэкстракция, парамолибдат аммония.

EXTRACTION OF MOLYBDENUM FROM CARBONATE SOLUTIONS PROCESSING URANIUM CHEMICAL CONCENTRATE

Sanakulov K., Kurbanov M.A., Utaev S.M.
JSC “Navoi Mining and Metallurgical Combine”, Navoi, Uzbekistan,
Alikulov Sh.Sh.
Navoi Mining and Technology University, Navoi, Uzbekistan
ka.kurbanov@ngmk.uz

Abstract. The paper presents the results of the extraction of molybdenum by extraction from carbonate solutions released during uranium production. The possibility of separating uranium and molybdenum from solutions during the extraction process was studied. The main modes (isotherms) of the extraction process, the ratio of organics and solutions and the theoretical number of extraction stages, and re-extraction modes were determined. A technological scheme for the separation of molybdenum (ammonium paramolybdate) from uranium carbonate solutions is presented.

Key words: carbonate solution, uranium, molybdenum, sulfuric acid, extraction, extraction isotherm, raffinate, stripback, ammonium paramolybdate.

Одним из важнейших направлений в области добычи урана является комплексная переработка минерального сырья с попутным извлечением из него ценных компонентов, таких как редкоземельные элементы, ванадий, молибден.

Известно, что в процессе подземного выщелачивания кроме урана в продуктивных растворах отмечается присутствие молибдена в незначительных количествах (1,2-0,4 мг/л). Это связано с тем, что месторождения урана в большинстве случаев являются полиэлиментными, в том числе и гидрогенные песчанникового типа в которых так же распространены молибден, рений, иттрий и лантаноиды.

Множеством исследований и практическими результатами определено, что на стадиях гидрометаллургического производства урана молибден накапливается в технологических растворах. Апробирование растворов на всех технологических стадиях показало, что наибольшее накопление молибдена происходит в карбонатных растворах экстракционной переработки химического концентрата урана. Данное обстоятельство может негативно влиять на качество конечного готового продукта закиси-окиси урана.

Наряду с обеспечением требуемого качества товарной продукции практический интерес представляет извлечение молибдена из карбонатных растворов. Одним из наиболее распространенных в мировой практике способов гидрометаллургического извлечения молибдена из водных растворов является жидкофазная экстракция.

Классическим примером экстракционных систем является применение в качестве экстрагентов трибутилфосфата (ТБФ), триалкиламина (ТАА) и ди-2-этилгексилфосфорной кислоты (Д2ЭГФК).

В литературе отмечается [2], что из слабокислых растворов (pH=1-4) молибден в зависимости от формы нахождения можно экстрагировать либо анионообменными экстрагентами типа аминов, или катионообменным экстрагентом – Ди-2-этилгексилфосфорной кислотой (Д2ЭГФК). Эту кислоту более выгодно использовать для экстракции молибдена из маточных растворов, так как присутствующий в них рений (анион ReO_4^-) не экстрагируется Д2ЭГФК.

В слабокислых средах экстрагент Д2ЭГФК является катионообменным, способным обменивать H^+ -ионы на катионы металлов. Обычно Д2ЭГФК используют в виде раствора в керосине, где он находится в димеризованной форме $(HR_2PO_4)_2$ [2].

Способность Д2ЭГФК экстрагировать катионы MoO_2^{2+} приводит к сдвигу равновесия и извлечению всего молибдена в органическую фазу. Экстракция молибдена в присутствии Д2ЭГФК описывается реакцией:

$$MoO^{2+}{}_2+2(HR_2PO_4)_2 \rightarrow MoO_2(R_2PO_4)_2\times 2HR_2PO_4+2H^+$$

Реэкстракция молибдена из насыщенных растворов экстрагентов может быть осуществлена щелочью, гипохлоритом натрия, содой и водным аммиаком.

Важным обстоятельством является то, что при подготовке карбонатных растворов к экстракции их необходимо подвергать контрольному отстаиванию и при необходимости раскислять до pH<1,0. В этих условиях соединения урана и молибдена переходит в кислую форму без образования осадков и посторонних фаз (эмульсий).

Стадия реэкстракции осуществлялась с применением разбавленного раствора аммиачной воды (NH_4OH). Выбранный способ отличается от других подобных процессов тем, что к органической фазе при перемешивании добавляли раствор аммиачной воды до pH= ,6,0. На данной стадии очень важно не допускать образование эмульсии, которая снижает эффективность реэкстракции молибдена.

Таким образом, исследование реэкстракции Мо из насыщенной органики показало, что его можно селективно извлечь в водную фазу путём обработки экстракта разбавленным раствором аммиачной воды.

Известно, что в результате подкисления соляной кислотой растворов молибдата аммония в зависимости от конечного значения pH раствора и температуры выделяются полимолибдаты различного состава [2].

В процессе исследований, при подкислении соляной кислотой (до pH=1,5-2) раствора реэкстракта, с нагреванием и интенсивным перемешиванием образовался осадок, в который извлеклось до 94-95% молибдена.

Выпавший кристаллический осадок был быстро отфильтрован, так как при продолжительном контакте с маточным раствором двухводная соль переходит в безводный тетрамолибдат. В результате этого образуется дисперсный труднофильтруемый осадок.

Для отделения ионов хлора проведена перекристаллизация осадка полимолибдата. с этой целью осадок растворили в 3-5%-ном растворе аммиака при нагревании. После охлаждения до комнатной температуры из раствора выделилось до 60% Мо в форме кристаллического осадка парамолибдата аммония $(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$. Принципиальная технологическая схема извлечения молибдена из карбонатных растворов экстракционной переработки уранового химконцентрата приведена на рисунке 1.

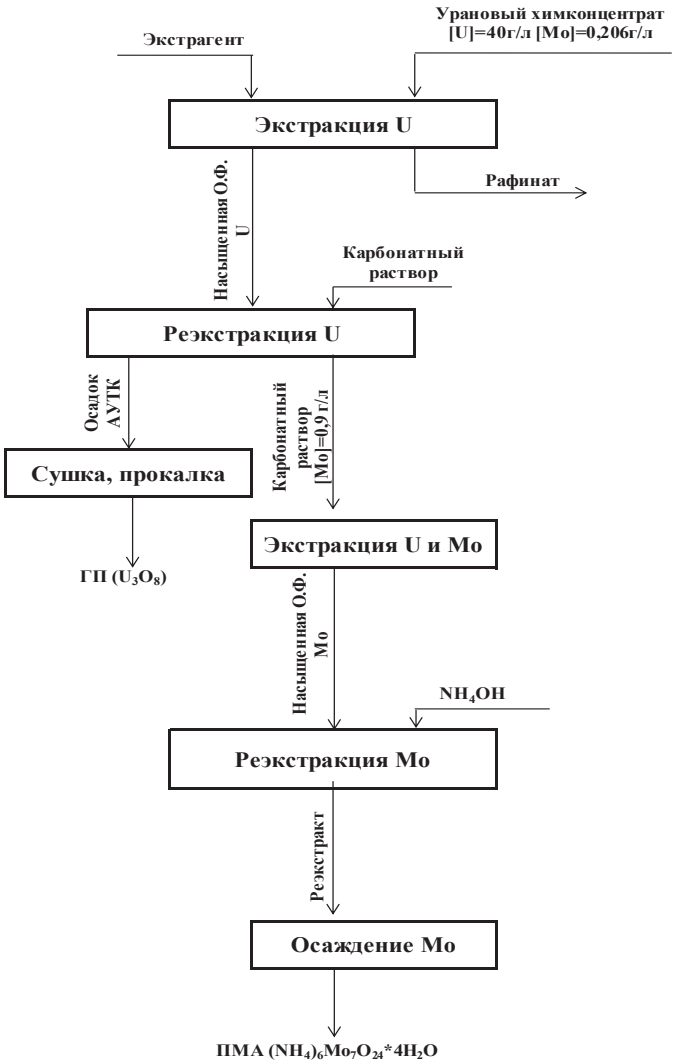


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема извлечения молибдена из карбонатных растворов экстракционной переработки уранового химконцентрата

Заключение

В данных исследованиях отмечено присутствие молибдена в урановых месторождениях, а также показан способ извлечения молибдена, накопленного в карбонатных растворах при гидрометаллургической переработке урана методом экстракции. Описаны типы органических веществ, применяемых при извлечении молибдена из карбонатных растворов методом экстракции.

Таким образом, выделение молибдена из карбонатных растворов при переработке урановых хим. концентратов имеет не только практический интерес, но и позволяет снизить вероятность загрязнения примесями готовой продукции закиси-окиси урана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – № 7– М., 1962. – С. 555–571.

2. Зеликман А.Н. Молибден. – М.: Металлургия, 1970. – 10 с.

3. Зеликман А.Н., Меерсон Г.А. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1973. – 141 с.

ЗНАЧЕНИЕ СПОСОБА НАГНЕТАНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Санакулов К., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З.
АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», г. Навои, Узбекистан
ka.kurbanov@ngmk.uz

Аннотация. Разработаны безреагентная (окисление кислородом воздуха) и минреагентная технологии выщелачивания урана, что позволяет сократить удельные затраты серной кислоты на площадях с высокой (более 2%) карбонатностью руд. В работе приведены результаты исследований по улучшению технико-экономических показателей, преимущества полного перехода на минреагентную технологию.

Ключевые слова: подземное выщелачивание, минреагентная технология, кислород, воздух, уран, карбонатность руд, пакер.

IMPORTANCE OF THE COMPRESSED AIR INJECTION METHOD FOR INTENSIFICATION OF THE UNDERGROUND LEACHING PROCESS

Sanakulov K., Kurbanov M.A., Sharafutdinov U.Z.
JSC "Navoi Mining and Metallurgical Combine", Navoi, Uzbekistan
ka.kurbanov@ngmk.uz

Abstract. Reagent-free (oxidation with atmospheric oxygen) and mini-reagent technologies for uranium leaching have been developed, which makes it possible to reduce the specific costs of sulfuric acid in areas with high (more than 2%) carbonate content of ores.The paper presents the results of a study to improve technical and economic indicators, the advantages of a complete transition to mini-reagent technology.

Key words: underground leaching, mini-reagent technology, oxygen, air, uranium, ore carbonate content, packer.

В течение последних лет внедрение способа скважинного подземного выщелачивания на вновь вводимых месторождениях урана по традиционной сернокислотной технологии сталкивается со значительными осложнениями. Это связано с рядом причин, вызванных осложнением горно-геологических условий, повышенной карбонатностью рудных залежей, ухудшением фильтрационных свойств водоносных горизонтов и т.п. Рассматривая метод подземного выщелачивания для гидрогенных месторождений проницаемых руд, хотелось бы выделить некоторые важные аспекты, которые оказывают весьма существенное положительное влияние на экономические, социальные и экологические условия разработки месторождений урана. Выполненные исследования позволили выявить особенности и закономерности процессов подземного выщелачивания, определить оптимальные границы применения данного метода, позволяющие повысить эффективность добычных работ.

Переход на прогрессивную минреагентную технологию позволяет интенсифицировать извлечение урана и увеличить добычу ценного для атомной энергетики элемента. При этом удаётся также сократить удельный расход серной кислоты для отработки карбонатных рудных залежей**.**

Многие из гидрогенных месторождений приурочены к рыхлым песчаным породам, залегающим на значительных глубинах в условиях сильной обводнённости и характеризуются убогими рудами.

По классической схеме, в технологическом процессе через скважины в пласт подают выщелачивающий раствор и отбирают из горизонта продуктивные металлосодержащие растворы, контролируют движение технологических растворов в продуктивном горизонте и полноту извлечения полезного ископаемого.

Улучшение технико-экономических показателей раствороприёмной части скважин, обеспечение их высокопроизводительной эксплуатации в течение всего периода отработки месторождения являются важнейшими задачами проектирования добычного комплекса ПВ.

Целью работы являлась разработка безреагентной (окисление кислородом воздуха) и минреагентной (слабокислотной) технологии выщелачивания урана, что позволит сократить удельные затраты серной кислоты на площадях с высокой (более 2%) карбонатностью руд.

В работе приведены результаты исследования по улучшению технико-экономических показателей, преимущества полного перехода на минреагентную технологию.

Методы исследований:

– заключается в том, что минреагентный способ выщелачивания является наименее реагентоёмким, удельный расход серной кислоты составляет 45-85 кг на 1 кг добытого урана, продуктивные растворы

имеют минерализацию 4,0-5,0 г/л, что почти соответствует минерализации пластовых вод.

– при сернокислотном выщелачивании удельный расход кислоты составляет 150-220 кг на 1 кг добытого урана, минерализация продуктивных растворов составляет 18,0-20,0 г/л.

Основные результаты исследований используются при разработке добычи полезных ископаемых методом ПВ на месторождениях ГП «Навоийуран».

Использование кислорода воздуха в качестве окислителя

Применение кислорода и кислорода воздуха в качестве окислителя при выщелачивании урана определяется их доступностью, сравнительной дешевизной и относительно достаточным окислительным действием.

Мерой окислительной активности кислорода в водных растворах служит окислительно-восстановительный потенциал:

$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$, $E^0 = 0{,}401$В;

При использовании в качестве окислителя кислорода можно предположить следующий механизм выщелачивания UO_2:

а) растворение газообразного кислорода в кислом растворе $O_{2[газ]} = O_{2[водн.]}$ (быстро)

б) адсорбция O_2 (раст.) на поверхности UO_2:

$2UO_2 + O_2 = 2UO_2[O_2]_{адс.}$ (быстро)

в) диссоциация адсорбированного O_2, когда атомы переходят со своих адсорбированных мест на реакционные места, что сопровождается окислением UO_2 до UO_3

$2UO_2 \cdot [O_2]_{адс} = 2UO_3$ медленно

г) выщелачивание UO_3 в растворе кислоты

$2UO_3 + 4H^+ = 2UO_2^{2+}$ быстро

В целом реакцию окисление- восстановление можно представить так:

$UO_2 + 0{,}5O_2 + H_2SO_4 = UO_2SO_4 + H_2O$

На практике, при осуществлении реакции в нормальных условиях (давление кислорода 1 атм.) растворение UO_2 идет очень медленно. Объяснение этому факту состоит в том, что при нормальных условиях концентрация растворенного кислорода очень мала.

Как видно, при выщелачивании урана под давлением кислорода значительно улучшаются технологические показатели процесса: значительно снижается расход серной кислоты, сокращается время выщелачивания, получаются более чистые продуктивные урансодержащие растворы.

При кислородном выщелачивании урана, за счет расщепления карбонатных минералов пластовые воды насыщаются карбонатами, которые в дальнейшем выполняют роль комплексообразователя. Механизм выщелачивания двуокиси урана аналогичен описанному выше, и состоит из следующих стадий:

$UO_3 + 3CO_3^{2-} + H_2O = [UO_2(CO_3)_3]^{-4}$ (быстро)

$OH^- + HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-} + H_2O$ (быстро)

Суммарное уравнение окислительно-восстановительной реакции растворения двуокиси урана карбонатами в присутствии окислителя кислорода выглядит как:

$UO_2 + 0{,}5O_2 + 3CO_3^- + H_2O = [UO_2(CO_3)_3]^{4-} + 2NaOH$

Как и при сернокислотном, так и при карбонатном выщелачивании скорость растворения UO_2 зависит от насыщения растворов реагентом–окислителем H_2SO_4 или O_2.

Одним из важных достоинств кислородного выщелачивания под давлением является простота решения аппаратурного оформления процесса, т.к. в этом случае отсутствуют коррозионные среды, а в качестве материала для аппаратов используют обычную сталь.

Практика скважинного подземного выщелачивания подтверждает, что эффективность процесса добычи урана взаимосвязана с количеством кислорода воздуха, растворенного в подаваемых (рабочих) растворах. Количество растворенного воздуха, в свою очередь, определяется величинами гидравлических напоров, формируемых при взаимодействии нагнетательных и дренажных (разгрузочных, откачных) технологических скважин.

В работах получены данные на участке ПВ-110. Концентрация урана в этих растворах при pH=3÷4 достигала соответственно, 7, 20 и 50 мг/л. Исследователи констатируют, на участке продуктивные растворы не достигли расчетного уровня по содержанию металла из-за низкой величины окислительного потенциала.

В истории развития этой технологии изучался процесс нагнетания в пласт сжатого воздуха эжектированием, а также предварительная аэрация воздухом рабочих растворов.

Так, в опытный блок 3 участка ПВ-12 воздух нагнетали под давлением 15-16 кг/см^2, до насыщения продуктивного пласта кислородом – 270 мг/л, что соответствовало величине порового объема. Через 32 дня после запуска откачных скважин, содержание урана в продуктивных растворах достигло среднего значения – 55 мг/л, при содержании HCO_3 – 420 мг/л. Для сравнения, в блоках сернокислотного режима выщелачивания (без подачи кислорода воздуха) содержание урана в продуктивных растворах достигало максимально 10 *мг/л*.

Одновременно на ряде месторождений ГП «Навоийуран» проводили эксперименты по нагнетанию сжатого воздуха в интервал фильтровой части скважин при различном гидростатическом давлении жидкости от 14 до 35 кг/см^2. При этом исходили из предпосылок, что концентрация растворенного газа возрастает при увеличении гидростатического напора (давления), согласно зависимости:

$$C = \frac{0{,}21H}{33{,}5+t} = 1{,}071 + 0{,}07 lgP,$$

где: С – концентрация растворенного газа, г/л; Н – гидростатический напор, мм.вод.ст.; t – температура, ^{0}C.

Периодическая подача в скважины сжатого воздуха в течении различной продолжительности с первых суток и в последующих периодах откачки продуктивных растворов позволила достичь концентраций урана в них до 120-150 мг/л. В отдельных экспериментальных скважинах содержание урана за короткие временные отрезки достигало 850 мг/л при pH=6,5÷7,0.

Технология насыщения воздухом выщелачивающих растворов

На участках подземного выщелачивания АО «НГМК» опробованы различные технологические решения по насыщению кислородом воздуха рабочих (выщелачивающих) растворов. В основном опробовались три технологические схемы подачи воздуха:

– нагнетание сжатого воздуха и насыщение пластовых вод продуктивного горизонта атмосферным кислородом;

– избыточное давление нагнетаемого воздуха для повышения степени насыщения выщелачивающих растворов;

– нагнетание воздуха через специально разработанный эжектор, позволяющий снизить образование в водоносном горизонте диспергированных нерастворимых воздушных пузырьков, приводящих к газовой кольматации порового объема рудного пласта.

По мнению авторов исследований, такой гидродинамический режим позволяет исключить прорыв фронта сжатого воздуха по более проницаемым рудным интервалом и добиться равномерного распределения фронта вытеснения подземных вод как в разрезе, так и по площади рудной залежи.

Опробование разработанной технологической схемы на месторождении Сугралы, где пластовое давление достигало 15 кг/см^2, потребовало применение более мощного компрессорного оборудования. В откачных скважинах расположенных на расстоянии 40 м от нагнетательных также была осуществлена дегазация избытка нерастворенного воздуха (скорее всего это азот) в атмосферу и установлено повышение пьезометрического уровня подземных вод. Применение «пушпульного» (нагнетание – откачка) режима выщелачивания позволило сформировать продуктивные растворы с содержанием урана на уровне 120 мг/л.

Второе направление исследований связано с эжектированием кислорода воздуха непосредственно в подаваемый выщелачивающий раствор.

Оголовки нагнетательных скважин были оборудованы специально разработанными в РУ «Зафарабод» эжекторами. В эжектора подавался под атмосферным давлением воздух. За счёт разряжения между нагнетательным воздухом и жидкостью, происходило насыщение жидкой фазы воздухом. Содержания кислорода воздуха поднималось в пластовых водах с 80 до 120 *мг/л*, соответственно, увеличивался и окислительный потенциал жидкой фазы.

В процессе проведенных в ГП «Навоийуран» исследований, выявлено, что по отдельным

месторождениям технология насыщения растворов воздухом способом эжекции малоэффективна при низкой производительности нагнетательных скважин (менее 1,0 м^3/час). Анализ результатов экспериментальных работ по ряду месторождений позволил исследователям выявить зависимость степени эжектирования воздуха от гидрогеологических параметров рудного пласта. Наибольший эффект достигается при производительности нагнетательных скважин более 4 м^3/час и динамическом уровне растворов более 130 м при расходе воздуха 1-2 м^3/час, содержание кислорода в выщелачивающих растворах достигало до 120 мг/л.

Высокая реагентоёмкость пород и интенсивная кольматация ранее затрудняли эффективную отработку запасов с традиционным сернокислотным способом. Положительные примеры отработки месторождения Суграли и компан-маастрихских руд Южного Букиная создали предпосылки для проведения опытно-промышленных работ на месторождениях подобного типа, с применением методики нагнетания сжатого воздуха (НСВ). РУ «Зафарабод» с недавнего времени приступило к освоению карбонатных месторождений, отнесённых к сугралинскому типу и характеризующегося сложными и своеобразными горно-геологическими условиями и вещественным составом руд.

Распределение карбонатности по разрезу неравномерное от 0,6 до 10% среднее значение 3,1%. Максимальная карбонатность, в основном, приурочена к гороховидным стяжениям в подошве горизонта. Карбонатные минералы доломит, сидерит, кальцит.

В течение 2011-2014 гг. опробовались ранее успешно показавшие себя на аналогичных месторождениях методы нагнетания сжатого воздуха компрессором XRVS-557 фирмы «ATLAS–COPCO», с щадящим давлением превышающим пластовое на 3-5 атм. Рабочие растворы подкислялись серной кислотой до концентрации 0,3 г/л.

Далее решено провести нагнетание сжатого воздуха (НСВ) в рудный горизонт с целью окисления урана кислородом воздуха, без применения дополнительных реагентов и окислителей. Для решения этой задачи необходимо было решить ряд вопросов, позволивших провести работы по нагнетанию сжатого воздуха на должном техническом уровне и главное обеспечить безопасность работ, учитывая высокое давление нагнетания. Специальные технические средства, а именно непосредственно для этих целей разработанного и изготовленного пакера, который позволяет проводить нагнетание воздуха в фильтр без риска нарушения обсадной колонны (рис. 2). Нагнетание проводилось в одну откачную скважину непрерывно в течение расчётного времени с давлением, незначительно превышающим пластовое. В нагнетательные скважины подавались рабочие растворы с максимальной приемистостью.

С увеличением степени отработки, интенсивность последней плавно снижалась. Если в первый год интенсивность составляла в среднем 2,7% в месяц, то во второй уже 1,6%, а в третий снизилась до 0,5% в месяц. Даже при проведении нагнетаний 2-3 раза в год на каждую скважину содержание урана в продуктивных растворах постоянно снижалось. В 2015 г. проводились НСВ с увеличением времени нагнетания в 1,5-2 раза больше расчетного, однако значительного роста содержаний урана в продуктивных растворах не отмечалось.

Таким образом, отработка опытно-промышленного участка по безреагентной технологии с начала 2013 по конец 2015 года составила 47%, но вести дальнейшую промышленную отработку на низких содержаниях урана, возможно только путём увеличения производительности участка, за счёт вовлечения новых площадей. Это ведёт к нагрузке на перерабатывающий комплекс и как следствие, увеличению затрат в том числе на электроэнергию. На основании этого, для обеспечения проектного извлечения, было принято решение об интенсификации добычи за счёт увеличения содержания урана в продуктивных растворах с применением в качестве реагента серной кислоты с концентрацией до 3,0 г/л в рабочем растворе.

С конца 2015 года участок был переведен на режим кислотного выщелачивания с постепенным увеличением концентрации серной кислоты с 1 до 3 г/л, во избежание активной кольматации и снижения производительности откачных скважин. На рис. 1. приведена зависимость изменения концентраций урана от времени выщелачивания. Из рис. 1 видно, что в течение 11 месяцев с 2015-2016 гг. по участку происходит рост содержания как бикарбоната иона, так и урана в продуктивных растворах.

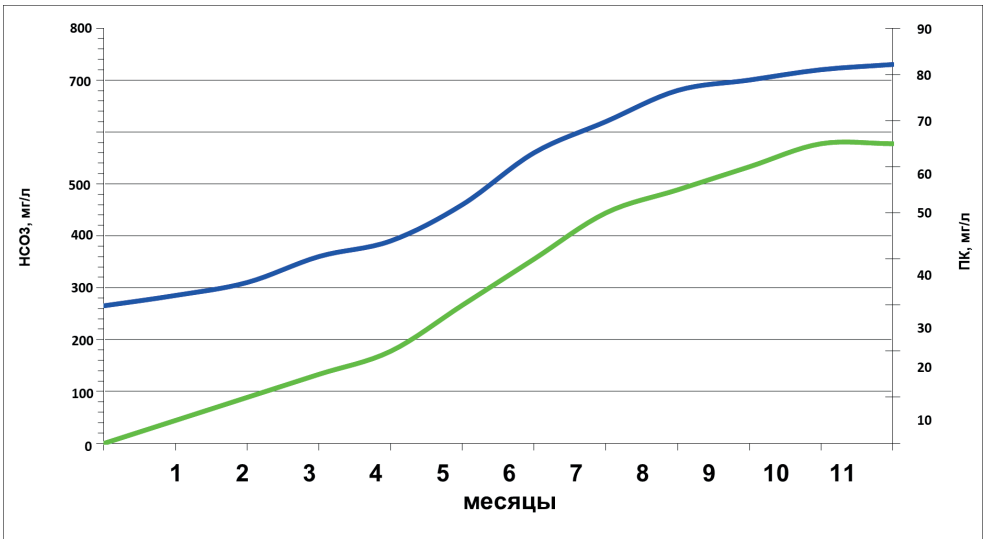


Рисунок 1 - Изменение содержания бикарбоната иона и урана (ПК), мг/л.

Данная зависимость концентраций имеет схожий характер, т.к. в данном случае вынос урана происходит при помощи образованного в недрах бикарбонат иона.

Фактические удельные затраты на окисление в 2015-2017 гг., доказывают преимущество и экономическую целесообразность применения безреагентного способа окисления на начальной стадии отработки. Доля затрат на серную кислоту в общей себестоимости готовой продукции по руднику в целом в 2015 г. составляла 14%. В 2016 г., с увеличением доли добычи минереагентным способом – 11,7%. В 2017 г., когда доля минереагентного выщелачивания дошла до максимума – 67% от общей добычи – 9,6%. Технологические расчёты показывают, что себестоимость урана при комбинированном безреагентно-слабокислотном способе на 12% ниже, чем при сернокислотном способе, и на 8% чем при минереагентном способе.

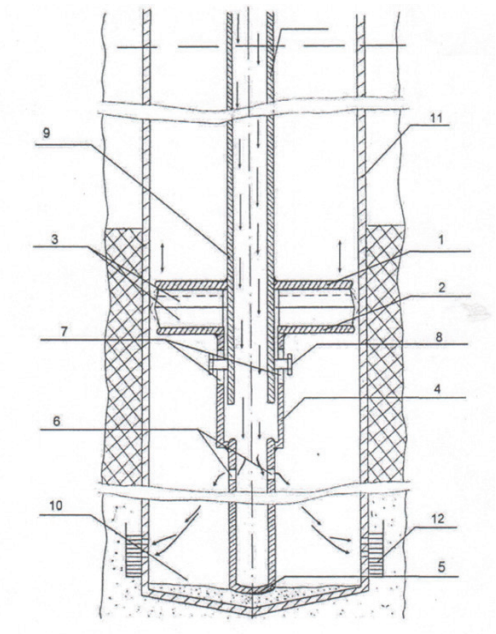


Рисунок 2 -. Установка пакера для нагнетания сжатым воздухом откачной и закачной скважины

На рисунке 2. представлен способ установки специально разработанного пакера для предварительного окисления рудоносного горизонта методом нагнетания сжатого воздуха от автономного компрессора. Принцип установки пакера состоит в том, что за счёт герметичного уплотнения резиновых манжет на уровне цементного моста скважины исключается поступление нагнетаемого сжатого воздуха в верхнюю часть колонны. Воздух вынужденно поступает сквозь щели фильтра скважины в продуктивный горизонт и происходит интенсивное окисление урана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абдульманов И.Г., Фазлуллин М.И., Мосев А.Ф. и др. // Под ред. Кедровского О.Л. Комплексы подземного выщелачивания. – М.: Недра, 1992.
2. Абрамов С.К., Бабушкин В.Д. Методы расчета притока воды к буровым скважинам. – М.: Госстройиздат, 1955.
3. Абрамов С.К., Алексеев В.С. Забор воды из подземного источника. – М.: Колос, 1980.
4. Алексеев В.С., Гаврилко В.М., Гребенников В.Т. Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами. – М.: Изд. ВНИИВОДОГЕО, 1975.
5. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. – М.: Агропромиздат, 1987.
6. Алексеев В.С., Ткаченко В.П. Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения и освоения // Труды ВНИИИ ВОДГЕО, 1972. – Вып. 3. – С. 90–92.
7. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1982.
8. Амиян В.А., Амиян А.В. Повышение производительности скважин. – М.: Недра, 1986.
9. Амиян В.А., Уголев В.С. Физико-механические методы повышения производительности скважин. – М.: Недра, 1970.
10. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформированных пористых средах. – М.: Гострехтеориздат, 1953.
11. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2001.
12. Аренс В.Ж. Скважинная добыча полезных ископаемых. – М.: Недра,
13. Патент № 04950 Устройство для закисления рудоносного пласта // Санакулов К.С., Курбанов М.А. и др.15.03.2012. UZ.

ПЕРЕРАБОТКА ОКИСЛЕННЫХ РУД КУЧНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ МЕТОДОМ ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ С ПОСЛЕДУЩИМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ (SX-EW) С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОГО МЕТАЛЛА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА

Аширбекова С.Д, к.т.н, независимый консультант
г. Алматы, Казахстан

Технология выщелачивания окисленных медных руд с переработкой растворов по технологии SX-EW (жидкостная экстракция – электролитическое осаждение) широко применяется в мире и также достаточно успешно внедрена на ряде месторождений Казахстана : Актогай, Коунрад, Алмалы, Беркара Производительность предприятий Казахстана, работающих по технологии SX-EW, по количеству получаемой катодной меди сравнительно невысока – от 2,5 до 25 тыс. тонн в год при суммарной производительности в 2023 г. около 50 тыс. тонн в год, что составляет примерно 10–12% от общего количества производимой в Казахстане меди.

Применяемый способ переработки руды – выщелачивание дробленой руды в одно- или многоярусном штабеле с переработкой растворов методом жидкостной экстракции SX-EW.

Руда добывается в карьере, подвергается стадийному дроблению с контрольным грохочением после первой и второй стадии и отсыпается в рудный штабель на специально подготовленную площадку. Процесс выщелачивания состоит из орошения рудных штабелей и сбора раствора.

Выщелачивающие растворы протекают под действием силы тяжести через руду. Кислотный раствор растворяет окисленные медьсодержащие минералы в штабеле, в результате чего получается насыщенный медьсодержащий выщелоченный раствор, который поступает в сборные канавы и пруды-сборники продуктивного раствора.

Продуктивный раствор подается на переработку на экстракционный завод. Переработка раствора состоит из экстракции, реэкстракции и электролиза.

В качестве реагента для экстракции могут применяться экстрагенты фирмы

BASF (марка LIX), фирмы Solvay (марка Acorga), а также экстрагенты марки Mextral (КНР). Экстрагент перед использованием растворяют в органическом растворителе – керосине специальных марок (с высокой температурой вспышки).

Обедненный после переработки раствор (рафинат) подкисляется кислотой до необходимого pH и снова подается на поверхность штабеля.

Скорость и полнота растворения меди в растворе зависит от соотношения форм рудных минералов и их доступности для растворов выщелачивания.

Необходимая для электролиза концентрация меди в растворе богатого электролита составляет 45–50 г/см^3.

В процессе электролиза медь из медного электролита под действием постоянного тока осаждается на катодах.

Отработанный электролит возвращается в процесс реэкстракции.

Конечным продуктом технологии является катодная медь марок М00к или М0к.

Наличие наработанного научного и производственного опыта, квалифицированного персонала, обладающего специальными знаниями – могут успешно способствовать изучению возможного применения описанного способа переработки окисленных руд и при переработке руд других металлов, с проведением соответствующих НИОКР и опытно-промышленных испытаний.

PROCESS DEVELOPMENT FOR URANIUM EXTRACTION AND PURIFICATION FROM CENTRAL JORDAN ORE DEPOSITS

Dr. Mohammad Alnaief
Manager of Uranium Pilot Plant/Jordan
Uranium Mining Company

Intensive exploration works in Jordan have revealed a significant uranium resource with 41000 tons of U_3O_8 in the central region alone. These low-grade uranium carbonate deposits, located within the surficial layer (first 25 m), offer a cost-effective mining opportunity. The uranium oxide deposits (U_3O_8) are found along the defect zone of travertine, varicolored marble, and regolith, with an average concentration of about 135 ppm. The Jordan Uranium Mining Company (JUMCO) has been at the forefront of developing a cost-effective and environmental friendly uranium leaching and purification process. After rigorous lab-scale dynamic and column experiments, the alkaline heap leaching process was selected as the most viable process. This process, comprising several major steps, leads to the production of concentrated yellowcake that meets the ASTM standards and has a purity of over 97%.

JUMCO process begins with the collection of ore from the mining zone with a particle size of less than 5 cm. The ore is further agglomerated to enhance its permeability during the heap test. Once the heap is built, irrigation with a carbonate/bicarbonate solution commences and continues until a certain Uranium recovery is achieved. The resulting pregnant liquor solution undergoes classification and conditioning and is introduced to the ionic exchange process, where it is concentrated to 3000-6000 ppm. Finally, the concentrated uranium solution is transferred to the final stage, where Sodium Diuranate (SDU) or Uranyl Peroxide (UP) is precipitated as the final product.

Key parameters of the process were rigorously examined and fine-tuned to ensure a sustainable and economically viable uranium leaching operation. The work highlights the significant advancements and milestones of the Central Jordan Uranium Project, specifically focusing on the technical aspects of its metallurgical activities. Furthermore, the potential economic benefits of valorizing vanadium as a by-product are highlighted, proposing an additional revenue stream that could substantially enhance the overall project's profitability.

Секция 3

Технологии и актуальные проблемы дореакторного ядерно-топливного цикла

Section 3

Technologies and current problems of pre-reactor nuclear fuel cycle

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КЕРАМИК В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРСНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Козловский А.Л.[1,2], Азамбаев С.Б.[1,3]

[1] НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан

[2]Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

[3]Национальный центр государственной научно-технической экспертизы, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Интерес к керамическим материалам на основе оксидных и нитридных соединений применимых в качестве инертных матриц дисперсного ядерного топлива обусловлен высокими показателями их прочностных и теплофизических параметров. Однако, не смотря на большое количество различных исследований, поиск новых типов композитов для данного направления все еще актуален в виду большого количества различных вариаций составов керамик. В ходе проведенных исследований было установлено, что формирование в составе xAl_2O_3-$(1-x)Si_3N_4$ керамик включений в виде фазы Si_3N_4, наличие которой обусловлено вытеснением фазы SiO_2, а также способствующей формированию фазы замещения (Al_2O_3)(SiO_2), приводит не только к упрочнению керамик в исходном состоянии, но и повышению стабильности к высокотемпературной деградации. Так, в результате моделирования процессов термошоков, путем быстрого нагрева образцов до определенной температуры и последующего извлечения на воздух при определенном времени выдержки в печи, было определено, что керамики с фазовым составом $0.4Si_3N_4$ – $0.2Al_2(SiO_4)O$ – $0.4SiO_2$ обладают наибольшей устойчивостью к термическому воздействию, а также сохранению прочностных характеристик, изменение которых после серии испытаний составляет менее 5 % от начальных значений.

Ключевые слова: композитные керамики, радиационно-стойкие керамики, термоустойчивость, радиационная стойкость

RESEARCH OF THE PROSPECTS FOR USING COMPOSITE CERAMICS AS DISPERSE NUCLEAR FUEL

Kozlovskiy A.L.[1,2], Azambayev S.B.[1,3]

[1]Eurasian National University named after. L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan

[2]Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

[3] National Center for State Scientific and Technical Expertise, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Interest in ceramic materials based on oxide and nitride compounds used as inert matrices of dispersed nuclear fuel is due to their high strength and thermophysical parameters. However, despite the large number of different studies, the search for new types of composites for this area is still relevant due to the large number of different variations in ceramic compositions. In the course of the studies, it was found that the formation of inclusions in the composition of xAl_2O_3-$(1-x)Si_3N_4$ ceramics in the form of the Si_3N_4 phase, the presence of which is due to the displacement of the SiO_2 phase, as well as promoting the formation of the substitution phase

$(Al_2O_3)(SiO_2)$, leads not only to strengthening of ceramics in the initial state, but also increasing stability to high-temperature degradation. Thus, as a result of modeling thermal shock processes, by quickly heating samples to a certain temperature and then removing them to air at a certain holding time in the oven, it was determined that ceramics with the phase composition $0.4Si_3N_4 – 0.2Al_2(SiO_4)O – 0.4SiO_2$ have the greatest stability to thermal effects, as well as maintaining strength characteristics, the change of which after a series of tests is less than 5% of the initial values.

Key words: composite ceramics, radiation-resistant ceramics, thermal stability, radiation resistance

ДИСПЕРТТІ ЯДРОЛЫҚ ОТЫН РЕТІНДЕ ҚҰРАМАЛЫ КЕРАМИКАНЫ ПАЙДАЛАНУ ПЕРЕКТИВАСЫН ЗЕРТТЕУ.

Козловский А.Л.[1,2], Азамбаев С.Б.[1,3]
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КеАҚ, Астана, Қазақстан
[2]Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан
[3]Мемлекеттік ғылыми-техникалық сараптаманың ұлттық орталығы, Алматы, Қазақстан
artem88sddt@mail.ru

Аңдатпа. Дисперсті ядролық отынның инертті матрицалары ретінде қолданылатын оксидтік және нитридті қосылыстар негізіндегі керамикалық материалдарға қызығушылық олардың жоғары беріктігі мен термофизикалық параметрлеріне байланысты. Дегенмен, әртүрлі зерттеулердің көптігіне қарамастан, керамикалық композициялардағы әртүрлі вариациялардың көп болуына байланысты осы сала үшін композиттердің жаңа түрлерін іздеу өзекті болып табылады. Зерттеулер барысында xAl2O3-(1-x)Si3N4 керамикасының құрамында Si3N4 фазасы түріндегі қосындылардың түзілуі, олардың болуы SiO2 фазасының ығысуымен байланысты екені анықталды. сондай-ақ алмастыру фазасының (Al2O3) (SiO2) түзілуіне ықпал ете отырып, керамиканың бастапқы күйінде ныгаюына ғана емес, сонымен қатар жоғары температуралық деградацияға тұрақтылықтың жоғарылауына әкеледі. Осылайша, термиялық соққы процестерін модельдеу нәтижесінде үлгілерді белгілі бір температураға дейін жылдам қыздырып, содан кейін оларды пеште белгілі бір ұстау уақытында ауаға шығару арқылы фазалық құрамы 0,4Si3N4 – 0,2Al2(SiO4) керамика екені анықталды.)O – 0,4SiO2 термиялық әсерлерге ең үлкен тұрақтылыққа ие, сондай-ақ беріктік сипаттамаларын сақтайды, олардың бірқатар сынақтардан кейін өзгеруі бастапқы мәндердің 5% -нан аз.

Тірек сөздер: композиттік керамика, радиацияға төзімді керамика, термиялық тұрақтылық, радиацияға төзімділік

Одним из наиболее перспективных решений в области энергетики, в частности, ядерной энергетике является создание новых видов атомных реакторов, способных работать при высоких температурах, а также обладающих повышенным ресурсом выгорания ядерного топлива [1,2]. Наиболее эффективным способом увеличения ресурсного времени работоспособности является использование новых видов ядерного топлива, в основе которого лежат технологии переработки оружейного плутония или увеличения степени выгорания делящегося материала. Для достижения данных целей ранее была предложена концепция использования дисперсного ядерного топлива [3]. Данное топливо состоит из делящегося ядерного материала на основе плутония или диоксида урана, размещенного в инертной матрице, которая служит не только для поглощения и отвода тепла, но и защиты делящегося материала от радиационного распухания [4].

В качестве объектов исследования были выбраны композитные керамики следующего фазового состава: 1) $0.15\ Si_3N_4 – 0.25Al_2(SiO_4)O – 0.6\ SiO_2$; 2) $0.2\ Si_3N_4 – 0.25Al_2(SiO_4)O – 0.55\ SiO_2$; 3) $0.25\ Si_3N_4 – 0.25Al_2(SiO_4)O – 0.5\ SiO_2$; 4) $0.4Si_3N_4 – 0.2Al_2(SiO_4)O – 0.4SiO_2$ по типу твердого раствора внедрения. Данные образцы были получены с применением метода механохимического твердофазного синтеза с последующим термическим отжигом при температуре отжига 1500ºС. Полученные образцы представляли собой высокопрочные керамики, параметры твердости для исследуемых образцов варьировались от 540 – 550 HV до 660 – 680 HV в зависимости от фазового состава (т.е. соотношения фаз в составе керамик). При этом эффект упрочнения и повышения устойчивости к растрескиванию согласно полученным данным обусловлен эффектом вытеснения фазы $Al_2(SiO_4)O$ путем замещения ее фазой Si_3N_4, которая обладает

более высокими показателями стабильности к внешним воздействиям и прочностными параметрами, которые обуславливают использование ее в качестве одного из наиболее перспективных материалов в ядерной энергетике при создании инертных матриц дисперсного ядерного топлива.

Эксперименты по определению устойчивости композитных xAl_2O_3-$(1-x)Si_3N_4$ керамик к внешним воздействиям, в частности, к процессам, связанным с высокотемпературным старением и деградации прочностных характеристик в случае термических воздействий, связанных с быстрым нагревом и охлаждением (термоустойчивость к охрупчиванию) были выполнены на всех исследуемых образцах, а основная цель экспериментов заключалась в определении влияния вариации фазового состава керамик на устойчивость к разупрочнению. Для проведения экспериментов по определению термоустойчивости исследуемые образцы были подвергнуты быстрому нагреванию до температуры 1000ºС (скорость нагрева 50 ºС/мин) выдержкой образцов в течение часа при данной температуре с последующим резким остыванием, путем извлечения образцов на воздух из термической камеры. Подобные эксперименты позволяют смоделировать процессы резкого перепада температур, тем самым моделируя нештатные ситуации эксплуатации конструкционных материалов в ядерных реакторах. Определение устойчивости композитных керамик к термическим воздействиям (перепадам температур) было выполнено путем определения факторов разупрочнения (изменений твердости и устойчивости к растрескиванию) исследуемых образцов при изменении количества циклов испытаний. Путем сравнительного анализа изменений прочностных параметров в зависимости от количества циклов испытаний (общее количество циклов составило 10) было определено влияние фазового состава, связанное с изменением соотношения фаз при увеличении вклада Si_3N_4, на устойчивость к деградации, а также определены основные механизмы охрупчивания в результате термического воздействия.

Определение устойчивости прочностных характеристик в результате высокотемпературного старения керамик было выполнено путем моделирования процессов старения (термического расширения) при длительной выдержке исследуемых образцов композитных керамик в муфельных печах при температуре 700 и 1000ºС. Выдержка осуществлялась путем размещения образцов керамик в муфельные печи и последующего термического воздействия в течение 500 часов, в ходе которых (после каждых 100 часов) производилось извлечение контрольных образцов для измерения Δm (изменение массы образца, связанное с процессами окисления при высоких температурах), а также измерения прочностных и структурных параметров. На основе данных изменения объема кристаллической решетки были определены факторы температурного уширения в результате длительного термического отжига образцов, а также определена кинетика распухания в зависимости от температуры термического воздействия и времени. Изменение прочностных параметров (твердости и устойчивости к растрескиванию) было выполнено на контрольных образцах, выдержанных при различных температурах, что в свою очередь позволило определить кинетику высокотемпературного старения при различных условиях воздействия.

В ходе проведенных исследований было установлено, что формирование в составе xAl_2O_3-$(1-x)Si_3N_4$ керамик включений в виде фазы Si_3N_4, наличие которой обусловлено вытеснением фазы SiO_2, а также способствующей формированию фазы замещения $(Al_2O_3)(SiO_2)$, приводит не только к упрочнению керамик в исходном состоянии, но и повышению стабильности к высокотемпературной деградации. Так, в результате моделирования процессов термошоков, путем быстрого нагрева образцов до определенной температуры и последующего извлечения на воздух при определенном времени выдержки в печи, было определено, что керамики с фазовым составом $0.4Si_3N_4 - 0.2Al_2(SiO_4)O - 0.4SiO_2$ обладают наибольшей устойчивостью к термическому воздействию, а также сохранению прочностных характеристик, изменение которых после серии испытаний составляет менее 5 % от начальных значений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Konings R., Stoller R. E. Comprehensive nuclear materials. – Elsevier, 2020.

2. Rowcliffe A. F. et al. Materials challenges for the fusion nuclear science facility //Fusion Engineering and Design. – 2018. – Vol. 135. – P. 290-301.

3. Chen Q. et al. Microstructure response and lead-bismuth eutectic corrosion behavior of 11Cr1Si ferritic/martensitic steel after Au-ion irradiation //Corrosion Science. – 2022. – Vol. 198. – P. 110101.

4. Badkoobeh F. et al. Microstructural characteristics and strengthening mechanisms of ferritic–martensitic dual-phase steels: a review //Metals. – 2022. – Vol. 12, №. 1. – P. 101.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕАКТОРЕ ВВР-К

М. Айткулов[1], Ш. Гизатулин[1], А. Шаймерденов[1], А. Аханов[1]., П. Сильнягин[1], Д. Сайранбаев[1], А. Диков[1], С. Кислицин[1], S. Ueta[2], N. Sakaba[2]
[1]Институт ядерной физики, ул. Ибрагимова 1, г. Алматы, Казахстан
[2]Japan Atomic Energy Agency, Tokyo, Japan
maitkulov@inp.kz

В Институте ядерной физики совместно с Агентством по атомной энергии Японии на протяжении многих лет ведутся работы по развитию технологий ВТГР. В высокотемпературном реакторе HTGR используется так называемое трехструктурное изотропное топливо (топливо с TRISO-оболочкой). Выполнена серия исследований топливных элементов (компактов) и материалов, используемых в их конструкции (графит, карбид кремния) с целью получения данных о состоянии топлива, облученного до глубокого выгорания и материала матрицы, облученного до большого флюенса нейтронов. Экспериментальные образцы облучались в активной зоне реактора ВВР-К.

В данной работе описаны два облучательных устройства, использованные для исследований топлива и топливных компактов ВТГР.

Так в процессе облучения топливных компактов с матрицей из графита облучательное устройство обеспечило температуру (1250±100) °С. Компакты облучались в этом устройстве до достижения глубины выгорания 90 ГВт д/т. В процессе облучения контролировалось выделение газообразных продуктов деления урана.

Другое облучательное устройство обеспечило одновременное облучение двух наборов образцов топливного компакта с SiC-матрицей при различных температурах, 500 °С и 900 °С.

STUDIES OF FUEL ELEMENT PERFORMANCE CHARACTERISTICS IN THE WWR-K REACTOR

M. Aitkulov[1], Sh. Gizatulin[1], A. Akhanov[1], P. Silnyagin[1], D. Sairanbayev[1], A. Dikov[1], S. Kislitcin[1], S. Ueta[2], N. Sakaba[2]
[1]The Institute of Nuclear Physics, 1 Ibragimov st., 050032, Almaty, Kazakhstan
[2]Japan Atomic Energy Agency, Tokyo, Japan
maitkulov@inp.kz

The Institute of Nuclear Physics, in cooperation with the Japan Atomic Energy Agency, has been working on the development of HTGR technologies for many years. The HTGR high-temperature reactor utilizes so-called TRi-structured ISOtropic particle fuel (TRISO-coated particle fuel). A series of studies of fuel elements (compacts) and materials used in their construction (graphite, silicon carbide) were performed to obtain data on the state of fuel irradiated to deep burnup and matrix material irradiated to high neutron fluence. Experimental samples were irradiated in the core of the WWR-K reactor.

This paper describes two irradiation devices used for studies of HTGR fuels and fuel compacts.

Thus, in the process of irradiation of fuel compacts with graphite matrix, the irradiation device provided the temperature (1250±100)°С. The compacts were irradiated in this device until the burnup depth of 90 GW d/t was reached. During irradiation the release of gaseous uranium fission products was controlled.

Another irradiation device provided simultaneous irradiation of two sets of SiC-matrix fuel compact samples at different temperatures, 500 °С and 900 °С.

ТЕОРИЯ СПЕКАНИЯ КЕРАМИКИ НА ПРИМЕРЕ СОЕДИНЕНИЙ УРАНА

Гузеев В.В.
Национальный исследовательский ядерный университ МИФИ.
Северский технологический институт, СТИ НИЯУ МИФИ,
636013 г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65.
Тел. раб. 8-3823 780 202, моб. +7 913 105 75 48
uranilf@yandex.ru.

Аннотация. Приведены результаты анализа теоретических моделей спекания керамических материалов. Рассмотрены представления о структуре и энергетике атомов и молекул в керамических соединениях урана. Предложена теоретическая модель на основе, которой предложены уравнения, описывающие спекание керамических соединений урана. Уравнения содержат управляющие параметры процессом спекания керамического ядерного топлива.

Работа выполнена для формирования более полного представления о спекании материалов с необычными свойствами исходных веществ. Мононитрид урана соединение с высокой теплопроводностью. Диоксид урана нестехиометрическое соединение нестабильного состава. Оба соединения пирофорны, способные самопроизвольно возгораться на воздухе. Уточнённые теоретические расчеты и практические результаты позволят оптимизировать практические и расчетные результаты и уменьшить количество брака.

Ключевые слова: потенциальная энергия, нитрид урана, диоксид урана, координационное число.

УРАН ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ МЫСАЛЫ БОЙЫНША КЕРАМИКАЛЫҚ БАСТАУ ТЕОРИЯСЫ

Гузеев В.В.
Ұлттық зерттеу ядролық университеті. MEPhI.
Северск технологиялық институты, STI NRNU MEPhI,
636013 Северск, Томск облысы, Коммунистический даңғылы, 65.

Керамикалық материалдарды агломерациялаудың теориялық үлгілерін талдау нәтижелері берілген. Керамикалық уран қосылыстарындағы атомдар мен молекулалардың құрылымы мен энергиясы туралы идеялар қарастырылады. Керамикалық уран қосылыстарын агломерациялауды сипаттайтын теңдеулер ұсынылатын теориялық модель ұсынылады. Теңдеулерде керамикалық ядролық отынды агломерациялау процесінің бақылау параметрлері бар.

Бастапқы заттардың әдеттен тыс қасиеттері бар материалдарды агломерациялау туралы толық түсінікті қалыптастыру жұмыстары жүргізілді. Уран мононитриді – жылу өткізгіштігі жоғары қосылыс. Уран диоксиді – тұрақсыз құрамы бар стехиометриялық емес қосылыс. Екі қосылыс да пирофорлы және ауада өздігінен тұтануы мүмкін. Нақтыланған теориялық есептеулер мен практикалық нәтижелер практикалық және есептелген нәтижелерді оңтайландыруға және ақаулар санын азайтуға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: потенциалдық энергия, уран нитриді, уран диоксиді, координациялық сан.

THE OPTIMIZATION OF SINTERING CERAMICS ON THE EXAMPLE OF URANIUM COMPOUNDS

Guzeev V.V.
National Research Nuclear University. MEPHI.
Seversky Technological Institute, STI NRU MEPhI,
636013 Seversk, Tomsk region, 65 Kommunisticheskiy ave., Tel. rab. 8-3823 780 202 tel. mob. +7 913 105 75 48 e-mail: uranilf@yandex.ru.

Abstract. The results of the analysis of theoretical models of sintering of ceramic materials are presented. The concepts of the structure and energy of atoms and molecules in ceramic compounds of uranium are considered. A theoretical model is proposed based on which equations describing the sintering of ceramic compounds of

uranium are proposed. The equations contain the control parameters of the sintering process of ceramic nuclear fuel.

The work was carried out to form a more complete picture of the sintering of materials with unusual properties of the starting materials. Uranium mononitride is a compound with high thermal conductivity. Uranium dioxide is a non-stoichiometric compound of unstable composition. Both compounds are pyrophoric, capable of spontaneously igniting in air. Refined theoretical calculations and practical results will optimize practical and calculated results and reduce the number of defects.

Keywords: potential energy, uranium nitride, uranium dioxide, coordination number.

Введение

Спекание керамических порошков осуществляется из прессованной заготовки. Спекание заканчивается при увеличении плотности близкой к теоретической 98-99%. Время спекания зависит от природы порошка, его дисперсности, удельной поверхности. При спекании керамических материалов оксидов, нитридов и карбидов урана жидкая фаза отсутствует.[1] Единой теории спекания не существует и в теории основной движущей силой принимается диффузия.

Предложено большое количество уравнений для спекания. Наиболее подходящей моделью при спекании соединений урана является модель поверхностной диффузии. Уравнения Гегузина Я.Е. [2], содержит коэффициент диффузии и шесть констант, определяемые экспериментально.

Уравнение объемной диффузии [2] и уравнение спекания В.А. Ивенсена [3] так же содержит набор констант определяемых экспериментально и так же не имеет предсказательной силы.

Для практических расчетов требуется уравнение содержащее параметры, такие как температура спекания, теплота необходимая на спекание, время спекания, параметры исходного порошка.

Постановка задачи

Соединения урана имеют особенности, отличающие их привычных керамических материалов. Диоксид урана и нитрид урана которые используют для спекания керамического ядерного топлива пирофорен, горит на воздухе. Стехиометрическое соединение состава UO_2 получить практически невозможно потому для спекания используют соединение примерного состава от $UO_{2,06}$ до $UO_{2,17}$. При смешивании этих двух фаз при спекании получается рыхлая масса, которая уходит в брак. После этого следует сложная дорогостоящая процедура переработки брака и возвращение урана для получения керамики. Для уменьшения брака желательно совместить теоретические расчеты с практической технологией получения керамического ядерного топлива.

Основная часть

Следует отметить, что процесс спекания содержит в себе несколько стадий: предварительный нагрев, удаление связующего материала, высокотемпературная стадия спекания и охлаждение. Данная модель относится к высокотемпературной стадии превращения и изменения кристаллической структуры до температуры плавления.

В пористом материале под действием температуры происходит движение атомов, таким образом, что пустоты между частицами порошка исчезают и появляются разнонаправленные кристаллы, которые составляют структуру керамики.

Что же является и можно ли определить энергетику процесса спекания и ее продолжительность, не используя коэффициент диффузии? Для определения движущей силы процесса необходимо построить модель процесса спекания без использования диффузии.

При спекании частицы порошка объединяются с уменьшением границ раздела. На это затрачивается энергия в виде тепла подводимого к спекаемому порошку. Атомы или группы атомов передвигаясь, заполняют пустоты, и образуется сплошной материал, состоящий из разнонаправленных кристаллов.

Поверхностная запасенная энергия двух частиц изменилась в результате внешнего воздействия. По закону сохранения энергии двух частиц справедливо равенство:

$$(Q = \quad _1(F_1 + F_2) - \quad _3F_3) \qquad (1)$$

σ_1 - удельная поверхностная энергия у исходных частиц;

F_1 и F_2 - площадь поверхности у исходных частиц;

σ_2 - удельная поверхностная энергия у объединённой спеченной частицы поликристалла F_3 - площадь поверхности у исходных частиц у объединённой спеченной частицы.

Для большого количества частиц справедливо равенство:

$$Q = {}_1\sum_{i=0}^{n} F_i - {}_2\sum_{i=0}^{n} F_к \quad (2)$$

Где, *Q*- количество тепла, поступающее для спекания;

$\sum F_{кр}$ – удельная площадь спеченных поликристаллов;

$\sum F_i$ – удельная площадь поверхности исходных порошков.

Если спекание происходит без изменения химического состава и кристаллической структуры можно предположить, что $\sigma_1 = \sigma_2$, тогда количество тепла для спекания равно разности поверхности спеченного поликристалла и поверхности порошка:

$$Q = {}_1(\sum_{i=0}^{n} F_i - \sum_{i=0}^{n} F_к) \quad (3)$$

Если учесть, что поверхность частиц порошка много больше поверхности спеченного изделия можно предположить что,

$$Q = {}_1\sum_{i=0}^{n} F_i \quad (4)$$

Если принять, за вероятность спекания керамического порошка, отношение тепла поступающего в момент времени τ к теплу необходимого количества для полного спекания тогда эта вероятность будет равна вероятности изменения энтальпии системы по сравнению с начальным теплосодержанием системы.

$$W = \frac{{}_1\sum F_i}{Q_0} = \frac{dH}{H_0} \quad (5)$$

Q_0-тепло от внешнего источника необходимое до полного спекания.

Внутренняя энергия системы атомов и молекул содержит кинетическую и потенциальную энергию. Кинетическая энергия — это движение атомов, с определенной скоростью, поэтому в уравнение время входит как параметр. Потенциальная энергия — это энергия положения, атомов и молекул, в кристаллической структуре керамики. При взаимном изменении положения атомов выделяется или поглощается энергия, которая приведет к изменению кинетической энергии атомов. Для описания этой энергии следует предположить, что при образовании связи между атомами энергия выделяется, а при разрушении поглощается.

Закон сохранения энергии представим как сумму кинетической и потенциальной энергии.

$$\text{Н} = Z + \text{К} \quad (6)$$

Где, *Z* - потенциальная энергия атомов; *К* - кинетическая энергия атомов.

Для практических расчетов кинетическую энергию можно рассчитать по формуле, которая определяет кинетическую энергии через температуру системы $\text{Е} = \frac{3kT}{2}$. Потенциальную энергию можно определить двумя способами. 1. Через термодинамические параметры. 2 –Определить как энергию связи между атомами.

Закон сохранения энергии в термодинамике записывается как теплосодержание системы:[4,5]

$$H = ST + G \quad (7)$$

Где, *H*-теплосодержание системы; *S*-энтропия; *T*-температура; *G*-энергия Гиббса (изобарно изотермический потенциал).

$$\text{Н} = Z + \text{К} = ST + G \quad (8)$$

$$(ST + G) - \text{К} = Z \quad (9)$$

Уравнение кинетической энергии содержит скорость движения атомов, а значит и время. В термодинамическом написании уравнения неизвестно какой член отвечает за кинетическую, а какой за потенциальную. Атомы передвигаются, поры исчезают, а процесс протекает во времени.

Важный момент, когда кинетическая энергия станет больше потенциальной атом станет активным и сможет свободно перемещаться.

Отношение

$$\frac{KN_0}{Z} = n \quad (10)$$

показывает, вероятность образования, какого то количества атомов в активном состоянии способных перемещаться в другую позицию.

Процесс спекания на примере нитрида урана представляется следующим образом. Вероятность движения свободных атомов урана и азота есть отношение их кинетической энергии к потенциальной. Так как спекание происходит при нагревании до определенной температуры, атомы урана и азота в нитриде урана заполняют пустоты и можно утверждать, что вероятность этого события близко к единице. Внешний источник увеличивает кинетическую энергию и подвижность атомов урана и азота. Вероятность образования активных атомов азота и урана представлены формулами (11) и (12):

$$W_N = \left(\frac{M_N v^2}{2Z_N}\right) \qquad (11)$$

$$W_U = \left(\frac{M_U v^2}{2Z_U}\right) \qquad (12)$$

Уравнение (11) и (12) есть отношение кинетической энергии атомов урана и азота к их потенциальной энергии. Это отношение выражает вероятность существование этих частиц в свободном не связанном виде.

Из теории вероятности известно, что сумма вероятностей, когда происходит и то и другое явление, составляет сумму событий [6]. Сумма событий равно произведению вероятностей. Кроме этого атомы урана, перемещаясь со скоростью v_v и азота v_N за время спекания τ проходят свободный путь L в пустотах между частицами порошка. Отношение пути пройденного атомами со скоростью v_v и v_N за время τ к свободному пути L в открытой поре, есть вероятность того что спекание закончилось. На спекание порошка затрачивается тепло Q_0 в единицу времени τ, которое идет на увеличение кинетической энергии. Кроме определения вероятности образования активных атомов азота и урана необходимо определить вероятность движения этих же атомов по пути L от начальной точки до конечной точки спекания со скоростью - ν.

$$W_N = \frac{v_N \tau}{L_N} \qquad (13)$$

$$W_U = \frac{v_U \tau}{L_U} \qquad (14)$$

Таким образом полное уравнение спекания равно произведению вероятностей образования активных атомов азота и урана и вероятности прохождения пути этих атомов от начальной точки до конечной точки закрытия поры спеченного нитрида урана. С другой стороны левая часть уравнения будет равна вероятности изменения поверхностной энергии спрессованного порошка нитрида урана до спеченного состояния плотного керамического материала, состоящего из поликристаллов.

Полученное уравнение (15) выражает отношение энергии запасенной в порошке к энергии поликристаллической структуры спеченной керамики.

$$W = \frac{{}_1\sum F_i}{Q_0} = \frac{dH}{H_0} \qquad (15)$$

В целом уравнение для процесса спекания нитрида урана представлено формулой (16).

$$\frac{{}_1\sum F_i}{Q_0} = \frac{v_N \tau}{L_N}\left(\frac{M_N v^2}{2Z_N}\right)\frac{v_U \tau}{L_U}\left(\frac{M_U v^2}{2Z_U}\right) = \frac{dH}{H_0} \qquad (16)$$

Можно представить потенциальную энергию как энергию связи между атомами. Но в кристаллическом теле энергия связи определяется координационным числом. Так в нитриде урана кристаллическая структура типа *NaCl.* Две кубические гранецентрированные подрешетки вставленные друг в друга. Координационное число атомов урана и азота равно 12. В диоксиде урана кристаллическая структура типа флюорита CaF_2. Две кубические подрешетки, гранецентрированная урана и кубическая примитивная вставленная в подрешетку урана. Координационное число равно 8.

Потенциальную энергию можно представить как произведение координационного числа кристаллической решетки нитрида урана и энергии связи между атомами.

$$Z = M_k \mathrm{E}_{\text{связи}} \qquad (17)$$

Где, M_k –координационное число кристаллической решетки нитрида урана; $E_{\text{связи}}$ -энергия связи; M_k= 12 координационное число для нитрида урана.

Уравнение спекания для диоксида урана запишется аналогичным образом. В чем будет заключаться различие? Различие будет в значении потенциальной энергии атомов урана и кислорода. [7]

Для спекания диоксида урана уравнение спекания:

$$\frac{{}_1\sum F_i}{Q_0} = \frac{v_O\tau}{L_O}\left(\frac{M_O v^2}{2Z_{ON}}\right)\frac{v_U\tau}{L_U}\left(\frac{M_U v^2}{2Z_U}\right) = \frac{dH}{H_0} \qquad (18)$$

$$Z = M_k \mathrm{E}_{\text{связи}} \qquad (19)$$

Z_k= 8 координационное число для диоксида урана. Если предположить что атом становиться подвижным, когда кинетическая больше или равна потенциальной энергии, можно вычислить температуру, которая будет близка к температуре спекания.

$$Z = \mathrm{E} = \frac{3kT}{2} = M_k \mathrm{E}_{\text{связи}} \qquad (20)$$

Можно считать процесс спекания завершился если, удельная поверхность порошка сравнялась с поверхностью спеченного материала и поэтому можно определить количество затраченного тепла.

В литературных источниках указывают интервал температуры спекания диоксида и нитрида урана 1620-1800 ^{0}C [1,8]. Продолжительность и температура спекания зависит от дисперсности и морфологии частиц порошка. С развитием техники вычислений, стало возможным провести расчеты, которые могут значительно уменьшить количество экспериментов и тем самым снизить затраты на реальное производство. Материалы ядерного топлива это смешанные оксиды и нитриды и оптимизация параметров спекания МОХ топлива является важнейшей задачей, снижающей количество материала направляемого на переработку.

Предлагаемый подход позволяет рассмотреть и написать уравнения спекания для любых веществ и различных порошков в смешанном состоянии. Уравнения учитывают характеристики конкретных веществ в виде энергии связи атомов составляющих химическое соединение керамического материала. Композиционные керамические материалы могут быть оценены на предмет возможности спекаемости разнородных веществ. Уравнение содержат время спекания, количество теплоты необходимое для спекания.

Заключение

1. Полученные уравнения позволяют связать процессы, происходящие в кристаллической структуре нитрида и оксида урана, с морфологией порошков спекаемых соединений урана.
2. Уравнение позволяет определить необходимое для спекания количество тепла.
3. Уравнение позволяет определить продолжительность спекания при сравнении удельной поверхности порошка и удельной поверхности границ кристаллов спеченной керамики.
4. Координационное число как показатель энергии связи между атомами позволит определить оптимальную температуру спекания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гузеев В.В., Жиганов А.Н., Андреев Г.Г. Технология диоксида урана для керамического ядерного топлива: Учеб. Пособие. По специальности « Химическая технология материалов современной энергетики». – Томск: STT, 2002. – 328 с.:ISBN 5-93629-127-8.
2. Гегузин Я.Е. Физика спекания. – 2 изд. – М.: Наука, 1984. – 312 с.
3. Ивенсен В.А. Феноменология спекания. – М.: Металлургия, 1985. – 247 с.
4. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов/Под ред. А.Г. Стромберга. – 4-е изд. испр. – М.: Высш.шк., 2001. – 527 с. ил. ISBN 5-06-003627-8.
5. Семиохин И.А. С 30 Физическая химия: Учебник. – Изд-во МГУ, 2001. – 272 с. ISBN 5-211-03516-X
6. Вентцель Е.С. В 29 Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 10-е изд. стер. – М.: Высш, шк., 2006. – 575 с.: ил. ISBN 5-06-005688-0.
7. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография: Учеб. для вузов. – 5-е изд. испр. – М.: Высш, шк., 1972. – 392 с.
8. Алексеев С.В. Зайцев В.А. Нитридное топливо для ядерной энергетики. Техносфера. – М., 2013. – 240 с. ISBN 978-5-94836-374-5.

TRENDS AND CHALLENGES ON URANIUM SUPPLY AND DEMAND IN A CHANGING TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT

JOR-SHAN CHOI
Lawrence Livermore National Laboratory, a retired scientist

Abstract. The world is increasingly interested in a reliable and clean nuclear energy, which can provide for the climate, energy-security, and economic benefits. The inclusion of nuclear energy in the Global Stock-take of COP28 for the first time since the Kyoto Protocol in 1997, and the pledge of 20+ countries to triple nuclear power capacity by 2050 signify the growing support for its deployment.

Although nuclear power can generate vast amount of low-carbon electricity, is evolving with the goal of making the technologies safer and less costly, and becomes an important bridge between energy security and climate change for the existing and emerging nuclear-power markets, it is not without its challenges. First and foremost, it would be the divergent trends in nuclear-power development, coupling with the migration of technological skill from the west to the east, which could result in new and emerging trends of supply and demand for uranium production. This paper addresses the trends and challenges on uranium supply and demand in a changing technological environment.

Key words: uranium supply and demand, emerging nuclear-power market, migration of nuclear technologies, climate change, and energy security

1 Introduction

Nuclear Power Today

Global nuclear power generated 9.2% of civilian gross electricity in 2022, a decrease of 0.6% from previous year[1]. At year-end 2023, there were 414 nuclear power reactors in operation in 31 countries and Taiwan, with a combined capacity of about 370 gigawatts (GW)[2]. As of December 2023, there were 58 reactors under construction in 17 countries, including 9 reactors in three newcomer countries, e.g., Bangladesh (2), Egypt (3), and Turkey (4).

Technological Evolution of Nuclear Reactors

The nuclear technologies evolved from the Generation I early-prototype water-cooled reactors (WRs) in the early 50s, as shown in Figure 1. Over the span of seventy years, pressurized water reactors (PWRs) and boiling water reactors (BWRs), collectively called light water reactors (LWRs), provide >80% of today's nuclear power. These include the Generation II (GEN-II) commercial reactors built from 1970 to 1990; the Generation III (GEN-III) advanced WRs built before 2010, and the GEN-III+ evolutionary improvements currently being built and promoted for sale by nuclear reactor vendors.

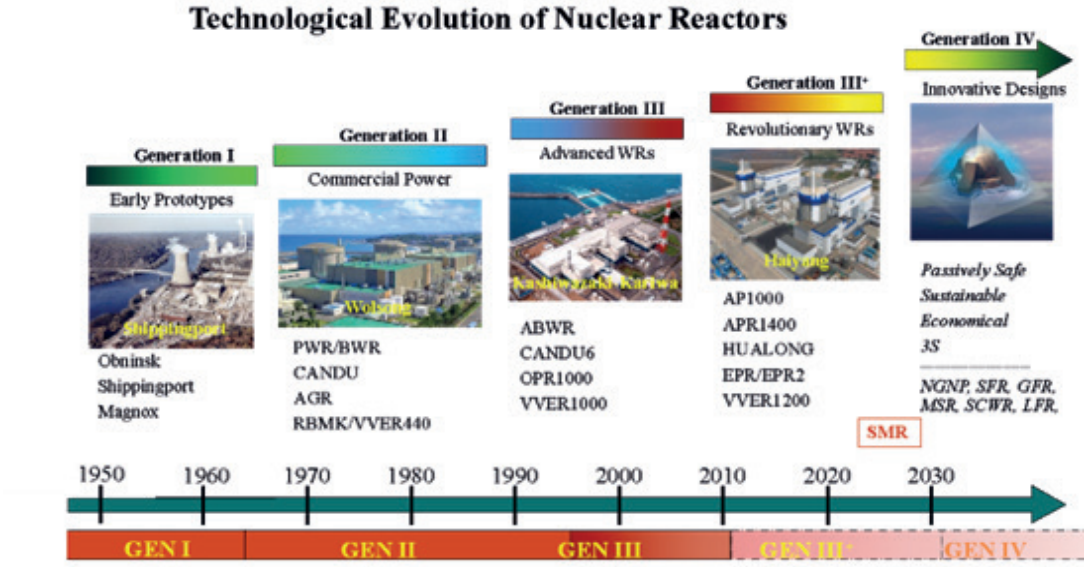


Figure 1 Technological Evolution of Nuclear Reactors

[1] Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, IAEA, Reference Data Series No.1, 2023 Edition.
[2] IAEA Power Reactor Information System (PRIS), Data updated on 23 December 2023.

Figure 1 shows that the logical technological trend for the nuclear-power enterprise is to continue the development of the innovative GEN-IV designs. However, due to various factors, including the urgent needs of green technologies to tackle the worsening climate emergency; the serious concerns for energy security because of military and/or geo-political conflicts; the market preferences toward small(er)-size and more versatile reactors; and not least, the strategic re-orientation of US nuclear power policy attempting to restore America's competitiveness in nuclear reactor export; there is a great effort in many nuclear-power countries developing water-cooled and non-water-cooled small modular reactors (SMR).

The Status of Global Civilian Nuclear Power

In a span of seventy years from Atom-for-Peace to COP28[3], there were 36 countries operating civilian NPPs. Figure 2 shows the status of global nuclear power countries since the Atom-for-Peace Initiative in December 1953. It shows:

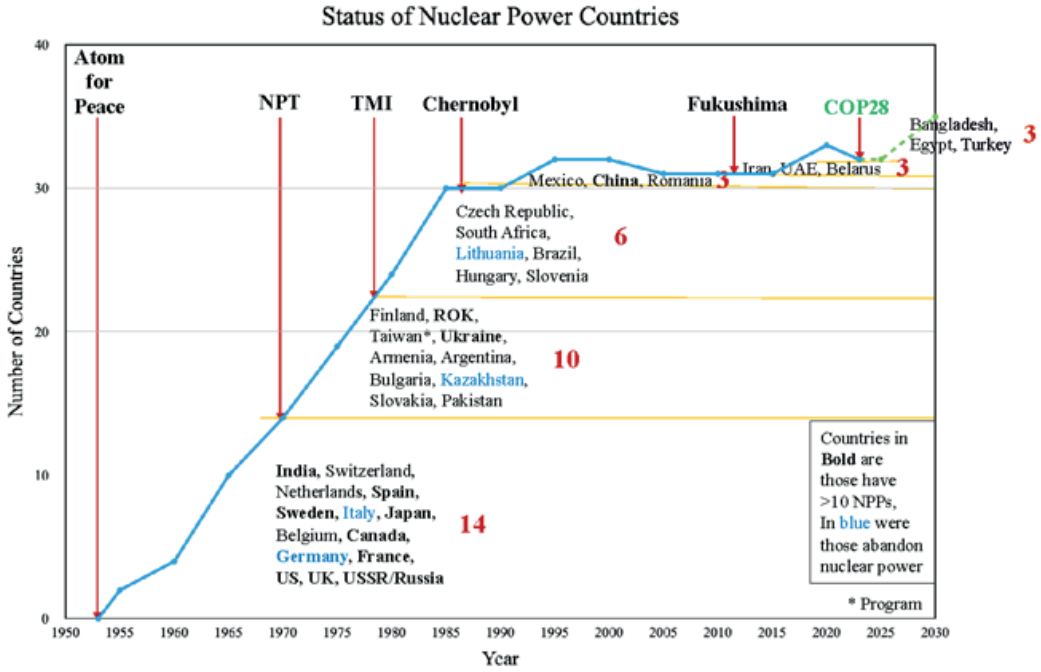


Figure 2 Status of Civilian Nuclear Power from Atom-for-Peace to COP28

- 14 countries operated civilian NPPs when the Non-Proliferation Treaty entered into force in 1970,
- 10 additional countries operated NPPs before the TMI-2 accident in 1979,
- 6 more countries operated NPPs before the Chernobyl accident in 1986,
- Since Chernobyl, only 3 countries operated NPPs before the Fukushima accident in 2011,
- 3 additional countries operated NPPs after Fukushima and before COP28 concluded in December 2023,
- A total of 35 countries and Taiwan had operated civilian NPPs over the span of 70 years. Among the 36, only about 1/3 had operated more than 10 NPPs, and 4 had terminated their nuclear power operations, e.g., Italy (in 1987), Kazakhstan (in 1998), Lithuania (in 2009), and Germany (in 2023). However, Kazakhstan and Lithuania may have revived their interest in nuclear power for reasons of energy security and climate change.
- NPPs are currently under construction in 3 emerging nuclear-power countries (Bangladesh, Egypt, and Turkey).

2. THE TRENDS FOR NUCLEAR POWER DEVELOPMENT

Large Reactors

For the past half century, over 2/3 of the world's nuclear power generation capacity were based in the US, France, and Japan. A majority of these NPPs was of the GEN-II type, constructed in the 1970s to 1990s. Many of these plants are currently operating well beyond their intended lifespans and require ongoing and expensive maintenance and/or equipment replacement. Plus, many of these nuclear installations face potential closure as

[3] The 28th Conference of Parties to the UN Framework Convention on Climate Change was held in UAE from November 30 to December 13, 2023.

they encounter opposition to their continued operation in communities intended on rapid deployment of renewable energy supplies (e.g., across Europe and North America), or due to safety concern (e.g., Japan).

Going forward, 85% of prospective new capacities lie outside the US, France, and Japan, with China, Russia and India set to take up the leadership roles in nuclear growth in the coming years[4]. Also, most of China's nuclear capacity were of the GEN-III and III$^+$ types, built since 2010, and so were considered more modern and efficient than its counterparts in the US, France, or Japan.

Small Modular Reactors (SMRs)

The International Atomic Energy Agency (IAEA) Advanced Reactor Information System listed >70 types of SMRs being conceptualized, developed, or deployed in 14 countries[5]. These SMRs are small reactors generally defined as nuclear reactors with electric-power outputs between 10 and 300 MWe. SMRs feature simplified, compact designs with smaller fuel inventory and passive safety systems. They advocate lesser capital investment and financial risk, more suitable for smaller-grid and remote areas, more adaptable for load following demands and hybrid nuclear/renewable synergies, and more applicable for off-grid applications, such as process heat, desalination, oil and gas exploration, and hydrogen production, etc.

SMRs are also being considered by many countries as a potential viable nuclear option to contribute to the mitigation of climate change. The technological development of SMRs, especially the marine-based SMR, including the floating nuclear power plant (FNPP) for immediate and near-term deployment has enthusiastically generated great interest to the global maritime shipping industry.

3. EMERGING NUCLEAR POWER MARKETS & NUCLEAR EXPORT POTENTIALS

Emerging Nuclear Power Markets

With a global push to reduce the dependence on fossil fuels, nuclear power is expected to play an increasingly important role in combating climate change, assuring energy security, and providing transitional energy for transportation and industry, as well as improving the standards-of-living. Many countries are considering nuclear power as a clean, proven, reliable and alternative dispatchable power supply, including those that are not currently operating any commercial NPPs. These are emerging nuclear power countries (or referred to by IAEA as "Embarking nuclear power countries") that have civilian[6] NPPs currently under construction, or have interest to build them in the future.

Emerging nuclear-power markets consist of several specific characteristics. Beside the market which has already committed to nuclear power, e.g., in Bangladesh, Egypt, and Turkey where each emerging nuclear power country has VVER1200 NPPs currently under construction, others include, market that nuclear power: can help replace the dependency on coal; can help meet substantial power needs; is an important energy-security asset; and is of strategically significant. Table 1 lists twelve emerging nuclear-power countries segregated into these five emerging markets.

Table 1 Emerging Nuclear Power Markets and Countries

Emerging Market where Nuclear Power	Country	Location
Is already committed;	Bangladesh Egypt Turkey	South Asia North Africa Middle East
Can help reduce coal dependency;	Indonesia Poland	Southeast Asia Eastern Europe
Can help meet substantial power needs;	Uzbekistan Thailand	Central Asia Southeast Asia
Is an important energy-security asset;	Estonia/Lithuania	Baltic
Is of strategically significant.	Kazakhstan Philippines Saudi Arabia	Central Asia Southeast Asia Middle East

Potentials for Nuclear Export

Exporting nuclear power plants is an important component of global nuclear supplies and reactor vendors. Table 2 lists the nuclear reactor vendor-countries and their export market.

[4] Data from Global Energy Monitor (GEM).

[5] Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, IAEA 2020 Edition. http://aris.iaea.org

[6] Civilian NPP means not military, include commercial uses.

Table 2 - Nuclear Reactor Vendor-Countries and Export Markets

Country	Large Reactor		SMR*	
	Type	Export Market (# unit sale**)	Land-based	FNPP, Nuclear-powered civilian ship
China	HUALONG CAP1400	Pakistan (4)	HTR-TM[1], ACP100 (LINGLONG),	ACPR50S, ACPR25S, China shipyard builds nuclear container ship[2]
France	EPR	China (2), Finland (1), UK (1)	NUWARD	
ROK	APR1400	UAE (4)	I-SMR	ROK shipyards build barges for FNPP vendors
Russia	VVER1200	Bangladesh (2), Belarus (1), China (4), Egypt (3), Turkey (4)	RITM-200N	KLT-40S[3], RITM-200M
US **US/J**	AP1000 ABWR	China (4)	NUSCALE BWRX300	

* Included only the major SMR designs

** Included only those built or under construction

Despite enthusiastic interests and many signed memoranda of understanding (MOUs), there is not a SMR exported yet. However, the deployments of the FNPP and HTR-PM, as indicated in Table 1, initiated a niche market for SMR. The FNPP tailored for island countries with long coast line, and an extension to producing nuclear-powered container ships for the global shipping industry may open up a huge opportunity for reducing CO_2 emission in maritime commerce. The non-water-cooled HTR-PM can be tapped into its high temperature heat for other non-electric applications, including the production of hydrogen, ammonia, and other chemical commodities. In addition, SMRs are suitable and adaptable for smaller-grid and remote regions.

4. NEW TRENDS IN URANIUM SUPPLY AND DEMAND

Migration of Nuclear-Power Technological Skills

The global industry of large-size NPPs has experienced divergent trend in recent years. In Western Europe, the US, and Japan, NPPs were scaled back due to aging, safety concerns, or public opinion. Existing plants in the US are closing because either they have reached the end of their operating licenses, or it is too costly to maintain and replace parts/equipment, or not competitive against renewables. There were no new replacements for shutdown plants either due to high construction costs, regulatory hurdles, and the persistent debate on disposal of spent nuclear fuel and radioactive wastes.

In contrast, China and other developing economies have been adopting or pursuing nuclear power as a low-carbon solution to meet their electricity needs. China, beside its expanding domestic NPP market, now has an exportable GEN-III$^+$ PWR, HUALONG and becomes a competitive vendor. Similarly, ROK has a sizable domestic NPP program, and has successfully exported its APR1400s to UAE. This divergent trend indicated a phenomenon that the technological skill base has been steadily migrated from the west to the east.

Changing Landscape in Uranium Supply and Demand

The demand for uranium to fuel large-size NPPs will shift from the west to the east. As indicated in Fig. 3, many of the GEN-II plants in the US, France, and Japan are currently operating well beyond their intended lifespans and many are facing potential closure. Going forward, 85% of prospective new capacities lie outside the US, France, and Japan, with China, Russia and India set to take up the leadership roles in nuclear growth in the coming years[7].

The Ukraine War has unexpectedly resulted in a change of uranium demand to fuel VVER reactors. Several European countries (Bulgaria, Czech Republic, Finland, Sweden, and Ukraine) decided to switch supply for their VVER reactors from Rosatom to Westinghouse and FRAMETOME, requiring URENCO to supply the LEU and CAMECO to provide U_3O_8 and UF_6[8]. This new demand disrupted the uranium supply and brought additional stresses upon the already-tight Western fuel-cycle capacities.

The USDOE has an urgent need for high assay low enriched uranium (HALEU) fuel, which is a fuel enriched up to 20% of U^{235}, to support its research and demonstration projects on SMRs. The only company currently selling commercial shipments of HALEU is TENEX, part of Rosatom. To diversify from Russian HALEU and to restore the US indigenous enrichment capacity, the USDOE has contracted CENTRUS Energy, the only U.S. company with a license to produce HALEU at its US plant. The demand for natural uranium to produce HALEU fuel will increase in the next decades for a growing market of emerging SMR technologies.

[7]Data from Global Energy Monitor (GEM).

[8] URENCO, Cameco Sign Supply Deals for Bulgaria's Kozloduy, world-nuclear-news.org, April 2023.

5. CONCLUSION

- With a global push to reduce the dependence on fossil fuels, nuclear power is expected to play an increasingly important role in combating climate change, assuring energy security, and providing transitional energy for transportation and industry, as well as improving the standards-of-living.
- Going forward, 85% of prospective new nuclear-power capacities lie outside the US, France, and Japan, with China, Russia and India set to take up the leadership roles in nuclear growth in the coming years. The demand for uranium to fuel large-size NPPs will shift from the west to the east.
- The technological development of SMRs, especially the marine-based SMR, including the floating nuclear power plant (FNPP) for immediate and near-term deployment has enthusiastically generated great interest to the global maritime shipping industry. The demand for natural uranium to produce HALEU fuel will increase in the next decades for a growing market of emerging SMR technologies.

(Footnotes)

1 "China's demonstration HTR-PM enters commercial operation, WNN, 06 December 2023

2 Plans for Nuclear-Powered 24,000 TEU Containership Unveiled in China, gccaptain.com, December 5, 2023.

3 "ROSATOM: World's only floating nuclear power plant enters full commercial exploitation," 22 May 2020, www.rosatom.ru

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОКСИДНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Кадыржанов Д.Б.[1,2], Козловский А.Л.[2,3]
[1]ТОО «СП «Инкай», г. Шымкент, Казахстан
[2]НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[3]Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Аннотация. Работа посвящена изучению устойчивости оксидных керамических материалов к накоплению радиационных повреждений, сравнимых с воздействием осколков деления ядерного топлива, а также изменению теплофизических параметров керамик при высокодозном облучении. Интерес к данного рода исследованиям обусловлен возможностью оценки перспектив использования оксидных керамик MgO, WO_3 и ZrO_2 в качестве основы для создания материалов с целью длительного хранения отработанного ядерного топлива. В ходе проведенных исследований было установлено, что на снижение теплофизических параметров исследуемых оксидных керамик оказывает влияние величина накопленных структурных искажений, связанных с образованием локально – изолированных дефектных включений в поврежденном слое, накопление которых при увеличении флюенса облучения приводит к частичной аморфизации и разупорядочению поврежденного слоя.

Ключевые слова: оксидные керамики, тугоплавкие материалы, радиационные дефекты, теплопроводность, повреждения.

STUDYING THE PROSPECTS OF USING OXIDE CERAMIC MATERIALS AS ALTERNATIVE MATERIALS FOR STORING SPENT NUCLEAR FUEL

Kadyrzhanov D.[1,2], Kozlovskiy A.[2,3]
[1]JV Inkai LLP, Shymkent, Kazakhstan
[2]NJSC Eurasian National University named after. L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan
[3]Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: kadyrzhanov.d@gmail.com

Abstract. The work is devoted to studying the resistance of oxide ceramic materials to the accumulation of radiation damage comparable to the effects of fission fragments of nuclear fuel, as well as changes in the thermophysical parameters of ceramics under high-dose irradiation. Interest in this type of research is due to the possibility of assessing the prospects for using oxide ceramics MgO, WO_3 and ZrO_2 as a basis for creating materials for long-term storage of spent nuclear fuel. In the course of the studies, it was found that the reduction in the thermophysical parameters of the studied oxide ceramics is influenced by the amount of accumulated structural distortions associated with the formation of locally isolated defective inclusions in the damaged layer, the accumulation of which, with increasing irradiation fluence, leads to partial amorphization and disordering of the damaged layer.

Key words: oxide ceramics, refractory materials, radiation defects, thermal conductivity, damage.

Целью данного исследования является изучение влияния накопления радиационных повреждений на изменение теплофизических параметров в поврежденном слое оксидных тугоплавких керамик на основе MgO, WO_3, ZrO_2, рассматриваемых в качестве перспективных материалов для создания инертных матриц дисперсного ядерного топлива. При этом выбор ионов Kr^{15+} и Xe^{23+} для облучения обусловлен возможностями моделирования процессов радиационных повреждений, сравнимых в воздействием продуктов деления ядерного топлива, что в свою очередь позволит установить не только механизмы структурных изменений, вызванных облучением, но и установить наиболее перспективные керамики, обладающие наибольшей устойчивостью к радиационно-индуцированному снижению теплофизических параметров, изменение которых играет весьма важную роль в определении условий эксплуатации керамик в качестве инертных матриц дисперсного ядерного топлива. В данном случае, снижение теплопроводности керамик при накоплении в них радиационных повреждений в области соприкосновения приповерхностного

слоя изолирующей инертной матрицы с делящимся ядерным топливом может привести не только к деструктивному изменению материала, но и возникновению эффекта локального теплового перегрева поврежденного материала, за счет увеличения тепловых потерь в поврежденном слое. Подобные эффекты в случае их возникновения в совокупности с деструктивным изменением приповерхностного слоя, связанного с разупрочнением (снижением прочностных параметров) может привести к дестабилизации ядерного топлива за счет перегрева, что в последствие может инициировать неконтролируемые процессы деления. Интерес к изучению теплофизических параметров оксидных керамик, рассматривающихся в качестве кандидатных материалов при разработке инертных матриц дисперсного ядерного топлива, обусловлен в первую очередь необходимостью контроля изменений механизмов теплопереноса и теплообмена, связанных с внешними воздействиями, включая радиационное воздействие [1, 2]. При этом, в отличие от классических конструкционных материалов, в частности, сталей и сплавов, обладающих достаточно высокими показателями теплофизических параметров, для оксидных тугоплавких керамик данные параметры на несколько порядков ниже, что в свою очередь накладывает определенные ограничения на повсеместное использование данных керамик, а также требует детального изучения влияния внешних факторов на их изменение [3, 4]. При начальных низких значениях теплопроводности, любое уменьшение, связанное с возникновением структурных искажений или деформационных напряжений, может негативно сказаться на скорости фононной передачи тепла, за счет возникновения дополнительных рассеивающих центров, что в свою очередь приведет к снижению общей теплопроводности керамики [5].

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования были выбраны три типа наноструктурированных керамик оксидов магния (MgO), висмута (WO_3) и циркония (ZrO_2), полученные методом механохимического синтеза с целью получения зерен нанометровых размеров (порядка 150 – 200 нм).

Облучение образцов было выполнено на ускорителе ДЦ-60 в Астанинском филиале Института ядерной физики (ИЯФ, Астана, Казахстан). В качестве ионов были выбраны ионы Kr^{15+} с энергией 150 МэВ и ионы Xe^{23+} с энергией 230 МэВ и флюенсами облучения 10^{10} - 10^{16} ион/см^2.

Измерение теплофизических параметров были проведены путем измерения предельного теплового потока с использованием прибора КИТ – 800 (Теплофон, Россия). В основе данного метода лежит измерение изменений значений теплопроводности материала с обоих сторон образца при помощи термопар, позволяющих оценить механизмы теплопередачи, и как следствие определить кинетику изменения теплофизических параметров исследуемых керамик подверженных облучению. При этом полученные зависимости изменения коэффициента теплопроводности были сравнены с результатами накопления дефектной фракции в образцах керамик при их облучении в случае увеличения флюенса облучения.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1а представлены результаты исследований изменения величин теплофизических параметров оксидных керамик в зависимости от флюенса облучения тяжелыми ионами Kr^{15+} отражающие дозовые зависимости изменения теплофизических параметров керамик, подвергнутых облучению. Общий вид представленных зависимостей характеризует изменение коэффициента теплопроводности керамик при увеличении флюенса облучения, которое связано с эффектами накопления структурных изменений, вызванных облучением.

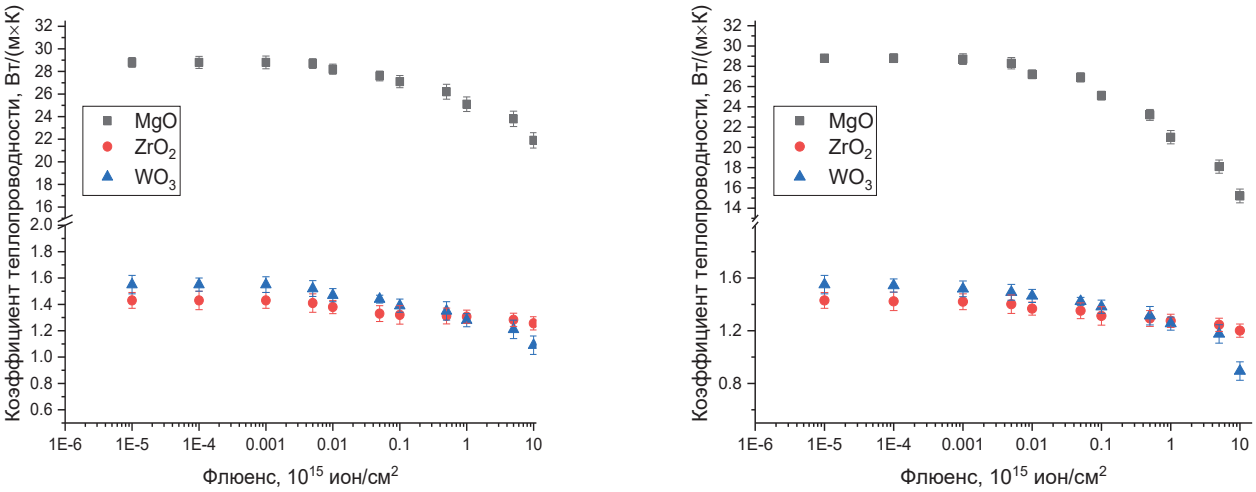


Рисунок 1 – Результаты оценки изменения величины коэффициента теплопроводности исследуемых оксидных керамик в зависимости от флюенса облучения: а) при облучении тяжелыми ионами Kr^{15+}; б) при облучении тяжелыми ионами Xe^{23+}

Как видно из представленных данных изменения теплопроводности, основные изменения имеют ряд характерных участков, связанных с накоплением радиационно-радиационных повреждений, вызванных облучением тяжелыми ионами. Общий вид представленных данных изменения коэффициента теплопроводности свидетельствует о том, что основной вклад в изменение теплопроводящих свойств керамик оказывают структурные изменения, вызванные накоплением радиационных повреждений в случае доминирования эффекта перекрытия дефектных областей. При этом как известно, на снижение теплопроводности при накоплении радиационных повреждений могут оказывать влияние такие процессы как образование точечных дефектов, аморфизация или гавое распухание [6, 7]. В случае радиационных повреждений, связанных с образованием точечных дефектов таких как вакансии, междоузельные атомы, дислокации, данные дефекты являются препятсвием для передачи фононов – квазичастиц, являющихся основными носителями тепла в твердых веществах. При этом первый этап изменений теплофизических параметров характерен для флюенсов облучения 10^{10} – 10^{12} ион/см^2 и характеризуется отсутствием изменений коэффициента теплопроводности. Отсутствие изменений теплофизических свойств керамик при данных условиях облучения свидетельствует о высокой устойчивости к деструктивному изменению структурных характеристик в результате накопления радиационных повреждений в приповерхностном слое керамик. При этом стоит отметить, что с учетом расчетных данных размеров диаметров структурно-измененных областей, возникающих вдоль траектории движения ионов в материале, а также их взаимодействии с кристаллической структурой, для флюенсов облучения 10^{10} – 10^{12} ион/см^2, данные области имеют изолированный характер [8,9]. Таким образом, отсутствие эффекта перекрытия дефектных областей приводит к отсутствию влияния радиационных повреждений и изолированных структурно-измененных областей на снижение теплопроводящих свойств. Из чего следует сделать вывод о том, что радиационно-индуцированные повреждения, вызванные ионизационными потерями и связанными с изменением электронной плотности в поврежденном слое, в случае малых флюенсов облучения не оказывают большого влияния на изменение теплофизических свойств. В этом случае следует отметить, что изменение электронной плотности в случае изолированности структурно – измененных областей, возникающих вдоль траектории движения ионов в материале, не оказывают влияние на механизмы фононного теплопереноса в керамиках.

При малых флюенсах облучения 10^{10} – 10^{12} ион/см^2, в силу изолированности структурно-измененных областей, возникающих вдоль траектории движения заряженных частиц в материале, размер которых составляет порядка 3 – 5 нм, время жизни образующихся дефектов составляет менее 10^{-13} – 10^{-11} с, причем большая часть образующихся точечных и вакансионных дефектов аннигилирует в результате релаксационных процессов при взаимодействии друг с другом или с дефектами кристаллической структуры. В результате чего структурные изменения, возникающие в данных областях при малых

флюенсах, представляют собой малые деформированные включения, не оказывающие существенное влияние на массивный материал при процессах теплообмена.

Как видно из представленных данных, основные изменения коэффициента теплопроводности наблюдаются при достижении величины флюенса 10^{13} ион/см^2 и выше, а наблюдаемые изменения теплопроводности связаны с ее уменьшением, что как следствие, обусловлено ухудшением процессов теплопереноса в поврежденном слое. В этом случае ухудшение теплопроводящих свойств может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, при увеличении флюенса облучения до 10^{13} ион/см^2 и выше, наблюдается образование эффекта перекрытия изолированных структурно-измененных областей (радиус которых составляет 3 – 5 нм), что приводит к образованию не только точечных дефектов, и и комплексных дефектов, способных оказать существенно влияние на изменение устойчивости керамик к накоплению радиационных повреждений. В этом случае накопление точечных дефектов, вакансий или интерстициальных дефектов в структуре поврежденного слоя может привести к нарушению периодичности кристаллической решетки, а также возникновению деформационных включений, снижающих скорость теплообмена. Во-вторых, в случае высокодозного облучения, накопление радиационных повреждений и структурно-измененных областей может привести к формированию в структуре областей разупорядочения или аморфноподобных включений, а высокая концентрация вакансионных дефектов может привести к отклонению от стехиометрии, связанной с перераспределением элементов и изменением электронной плотности [10, 11]. В-третьих, при высокодозном облучении накопление остаточных механических напряжений в поврежденном слое может привести к возникновению эффектов микроструктурных эффектов, сваязанных с процессами рекристаллизации, дроблении зерен, а также изменением их ориентации, что в свою очередь приводит к увеличению количества межзеренных границ, создающих дополнительное сопротивление фононному механизму передачи тепла. В этом случае большая концентрация деформированно-искаженных включений в составе поврежденного слоя создает препятствия, приводящие к увеличению рассеяния фононов при теплопереносе, тем самым увеличивая тепловые потери в материале. Созданные степени свободы при рассеянии фононов на деформированно-искаженных включениях, а также образование фононных локальных мод в случае локализации фононов при взаимодействии с дефектами, приводит к потере эффективности теплообмена, что в свою очередь может привести к образованию в структуре поврежденного слоя областей перегрева. В свою очередь, образование локальных мод, а также изменение спектра фононов может привести к снижению групповой скорости передачи тепла за счет увеличения среднего свободного пробега фононов в поврежденном материале, что увеличивает тепловые потери, а также уменьшает теплопроводность. При этом анализируя представленные данные на рисунке 1а можно сделать вывод о том, что наиболее подверженным к снижению теплопроводности являются керамики MgO и WO_3, для которых снижение коэффициента теплопроводности при флюенсах выше 10^{13} ион/см^2 составляет более 25–30 % при максимальном флюенсе облучения, в то время как для образцов ZrO_2 керамик максимальное снижение коэффициента теплопроводности составляет не более 12 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Sadiq I., Asim Ali S., Ahmad T. Advanced Hybrid Ceramics for Nuclear and Hydrogen Energy Applications //ChemistrySelect. – 2023. – Vol. 8. – №. 27. – P. e202300837.

2 Castro L. et al. Thermal analysis of ceramic nuclear fuels for the HPLWR //Annals of Nuclear Energy. – 2019. – Vol. 127. – P. 227–236.

3 Lee W. E. et al. Opportunities for advanced ceramics and composites in the nuclear sector //Journal of the American Ceramic Society. – 2013. – Vol. 96, №. 7. – P. 2005–2030.

4 Lu C. et al. Fully ceramic microencapsulated fuel in prismatic high temperature gas-cooled reactors: analysis of reactor performance and safety characteristics //Annals of Nuclear Energy. – 2018. – Vol. 114. – P. 277–287.

5 Peiman W. et al. Thermal aspects of conventional and alternative fuels //Handbook of generation IV nuclear reactors. – Woodhead Publishing, 2016. – P. 583–635.

6 Snead L. L., Zinkle S. J., White D. P. Thermal conductivity degradation of ceramic materials due to low temperature, low dose neutron irradiation //Journal of nuclear materials. – 2005. – Vol. 340, №. 2–3. – P. 187–202.

7 Zhu J. et al. Dual-phase rare-earth-zirconate high-entropy ceramics with glass-like thermal conductivity //Journal of the European Ceramic Society. – 2021. – Vol. 41, №. 4. – P. 2861–2869.

8 van Vuuren A. J. et al. Latent ion tracks in amorphous and radiation amorphized silicon nitride //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2020. – Vol. 473. – P. 16–23.

9 Kluth P. et al. Measurement of latent tracks in amorphous SiO2 using small angle X-ray scattering //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2008. – Vol. 266, №. 12–13. – P. 2994-2997.

10 Van Vuuren A. J. et al. Latent tracks of swift Bi ions in Si3N4 //Materials Research Express. – 2020. – Vol. 7, №. 2. – P. 025512.

11 Vlasukova L. et al. Etching of latent tracks in amorphous SiO2 and Si3N4: Simulation and experiment //Vacuum. – 2016. – Vol. 129. – P. 137–141.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Лебедев Н.М.[1], Грот А.Н.[1], Пастухова И.А.[1], Акатов А.А.[2], Борсук А.Н.[3], Кылышканов М.К.[3]
[1]ООО «Александра-Плюс», Вологда, Россия,
[2]СПб ГТИТУ, Санкт-Петербург, Россия
[3]АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

Введение

Производительность и эффективность традиционных химических, физических и физико-химических технологий, используемых в дореакторном ядерном топливном цикле, может быть значительно повышена за счет использования ультразвуковых (УЗ) колебаний и эффектов, возникающих под их воздействием, таких как кавитация и акустические течения.

На сегодняшний день накоплен значительный опыт разработки и применения ультразвуковых технологий в ядерной энергетике. В рамках сотрудничества ООО «Александра-Плюс» с российскими и казахскими предприятиями атомной отрасли было продемонстрировано, что ультразвуковые технологии могут успешно применяться для решения широкого спектра задач, в том числе:

– при добыче и обогащении – интенсификация процессов подземного выщелачивания урана и десорбции ионообменных смол;

– при производстве ядерного топлива – повышение стойкости циркониевых сплавов к межкристаллитной коррозии; повышение плотности и прочности прессуемых топливных таблеток; очистку поверхностей от смазки и оксидных отложений при изготовлении ТВС (в особенности перед сварочными операциями); снижение трения при сборке ТВС и многие другие.

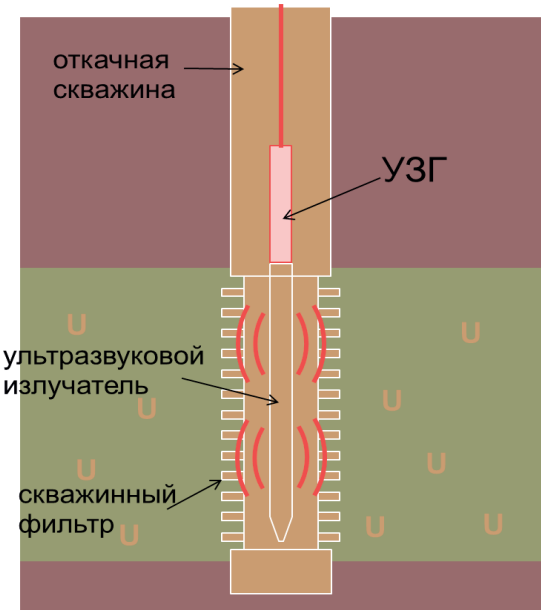


Рисунок 1

Был проведен ряд опытных работ на скважинах России и Казахстана, доказавших эффективность данного метода. Устройство и способ очистки фильтров скважин с помощью ультразвука был запатентован совместно с НАК «Казатомпром».

Важной особенностью ультразвука является интенсификация различных химических процессов, что позволяет в разы ускорить протекание процесса, снизить концентрацию используемых химических реагентов и понизить температуру рабочего раствора.

Данная особенность позволяет интенсифицировать процесс десорбции ионообменных смол.

Проведенные в УППР рудника «Семизбай» (рис. 2) и «Уванас» (рис. 3) промышленные испытания технологии ультразвукового воздействия на десорбцию урана показали, что под действием ультразвука происходит интенсификация процесса десорбции урана с ионообменных смол, увеличивается извлечение урана в десорбат и снижается расход кислоты.

Рисунок 2

Рисунок 3

– На многих предприятиях существует проблема зарастания трубопроводов линий транспортировки технологических растворов. Например, на урановом производстве АО «УМЗ» интенсивность зарастания внутренней поверхности настолько высокая, что менее чем за полгода приходится ставить производство на технологическую паузу для проведения очистки. Проведенные нами совместные опытно-промышленные работы продемонстрировали эффективность применения ультразвуковых колебаний для решения этой задачи. На протяжении трех месяцев испытаний участок трубопровода, оснащенный ультразвуковыми излучателями оставался чистым, в то время как без ультразвука sувеличить пропускную способность сита (просеивание ведется до 20 мкм);

– повысить производительность сита;

– уменьшить засорение/замыливание ситовой ткани;

– эффективно измельчать агломераты и сокращать количество отсева.

Также ультразвук может быть успешно применен при прессовании топливных таблеток. Опытные работы, проведенные в том числе, на ЧМЗ, во ВНИИНМ и для ПО «Маяк», показывают, что наложение УЗ колебаний на пресс-форму (Рис. 4) в процессе прессования позволяет достичь равномерного распределения плотности порошка в пресс-формах любой сложности, и тем самым повысить качество прессованных изделий. Повышение плотности и прочности позволяет рекомендовать метод ультразвуковой обработки при изготовлении твэлов из труднопрессуемых материалов, например при изготовлении таблеток из МОХ-топлива. Кроме того, наложение ультразвуковых колебаний на твэльные трубки целесообразно при изготовлении твэлов с полным заполнением и – особенно – с кольцевым заполнением порошковым топливом.

На базе ООО «Александра-Плюс» с АО «НИИФИ» (Научно-исследовательский институт физических измерений) проводились опытные работы по применению ультразвуковых колебаний в процессе прессования пьезокерамического материала, предназначенного для изготовления пьезокерамических колец. Полученные результаты показали увеличение расчетной плотности при применении ультразвука на 7-8%.

Совместно с ООО «Элекон», г. Кинешма проводились опытные работы по засыпке пресс-порошка в матрицу роторного пресса по изготовлению графитовых щеток. Проблема заключалась в подвисании порошка при засыпке (особенно в случае хранения порошка при повышенной влажности), что влияло на размер готовых изделий, и соответственно, приводило к их отбраковке.

При засыпке порошка в пресс-форму при производстве таблеток, а также при транспортировании сыпучих материалов, ультразвук позволяет интенсифицировать процесс загрузки и исключить зависание порошка за счет снижения трения между частицами порошка и плоскостью, по которой он движется.

Снижение трения с помощью ультразвука при сборке ТВС позволяет уменьшить в несколько раз усилие при снаряжении каркасов, уйти от стружки и механических повреждений, а так же полностью отказаться от лака, которым предварительно покрывают твэлы и канальные трубки перед сборкой.

Так как при сборке ТВС все еще широко используется технология с применением лакового покрытия

или водорастворимой смазки, остается актуальной задача удаления остатков этих покрытий с элементов, а так же стружки, образовавшейся при сборке. Нами предложена технология отмывки ТВС с ультразвуком, которая в настоящее время отрабатывается на НЗХК.

При изготовлении тепловыделяющих сборок большое значение имеет чистота поверхности. Особую важность это требование приобретает перед сварочными операциями. И здесь ультразвуку нет равных. Он очень эффективно очищает изделия от различных загрязнений: от простейших СОЖ после механической обработки, до нагаров после эксплуатации.

Варианты исполнения оборудования так же могут быть различные: от обычных ультразвуковых ванн до сложнейших полностью автоматизированных линий очистки (рис.4).

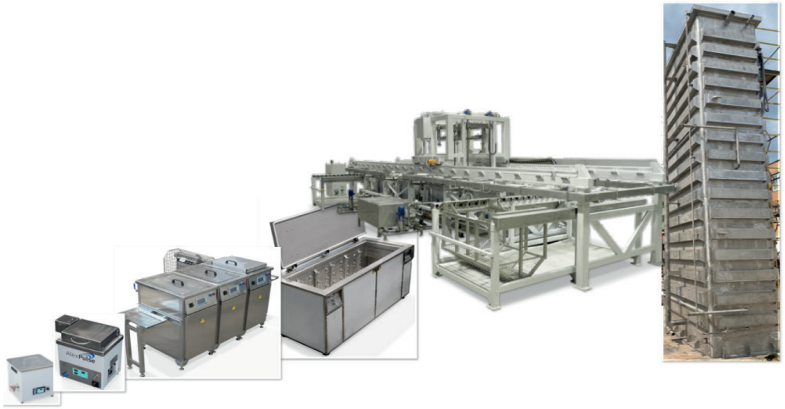


Рисунок 4 – Примеры оборудования для ультразвуковой очистки

Ультразвук может эффективно очищать не только детали в УЗ ваннах, но и ленту, проволоку, трубу. Они проходят через ультразвуковую камеру, где за счет сфокусированного ультразвукового воздействия и использования резонансных колебаний самого объекта (проволоки, ленты, трубы) происходит интенсивная очистка со скоростью до 400 м/мин.

На рис. 5 представлен пример оборудования для ультразвуковой очистки проволоки. Пять нитей одновременно проходят через ультразвуковую камеру, где за счет сфокусированного ультразвукового воздействия и использования резонансных колебаний самой проволоки происходит интенсивная очистка со скоростью 400 м/мин. Подобная установка для ультразвуковой очистки сварочной проволоки из титана и специальных сплавов была поставлена в НИКИЭТ в 2006 году и успешно эксплуатировалась до конца сентября 2019 года, когда была заменена на такую же, но более современную.

Рисунок 5 – Установка для ультразвуковой очистки проволоки

На сегодняшний день абсолютно инновационной является технология бесконтактной ультразвуковой очистки внутренней поверхности труб, разработанная нашим предприятием. За счет применения запатентованных фокусирующих УЗ излучателей очищаемая труба вводится в резонанс и загрязнения начинают интенсивно удаляются как снаружи, так и внутри). В 2018 г. была поставлена первая такая установка на ТМК-ИНОКС. На ней отмывались трубы длиной до 42 метров для парогенераторов проекта «Прорыв». В 2023 году на ТМК-ИНОКС была поставлена уже полностью автоматическая линия ультразвукового обезжиривания (рис.6) в водном растворе ТМС труб длиной до 20 м, диаметром от 12 до 32 мм. Данная установка обеспечивает производительность отмывки 36 труб в час. Для ЧМЗ изготовлена промышленная установка для очистки труб с увеличенной производительностью 120 труб в час. На ней выполняется межоперационная отмывка от прокатных смазок труб диаметром от 8 до 90 мм в процессе производства твэлов из циркониевых сплавов. В настоящее время проходят заводские испытания, после которых установка будет поставлена заказчику.

Рисунок 6 – Установка ультразвукового обезжиривания труб

Для ФГУП «ГХК» решена сложная задача дезактивации поверхности твэлов в процессе изготовления от радиоактивных загрязнений с применением электрохимического и ультразвукового воздействия без участия оператора в зоне высокой радиации. Аналогичная установка эксплуатируется на ПО «МАЯК» с 2013 года.

Актуальной на сегодняшний день является и проблема межкристаллитной коррозии твэлов. Применение ультразвуковой обработки расплава позволяет значительно повысить стойкость сплавов циркония к межкристаллитной коррозии.

Ультразвуковые колебания, вводимые в расплав, интенсифицируют процесс дегазации, способствуют дополнительному перемешиванию, препятствуют возникновению дендритной ликвации и концентрации неметаллических включений на границах зерен, что положительно влияет на формирование однородной структуры металла в процессе кристаллизации. Данный вывод подтверждается сравнением результатов фрактографических исследований структуры металла в изломах для случаев применения ультразвуковой обработки при кристаллизации (рис. 7).

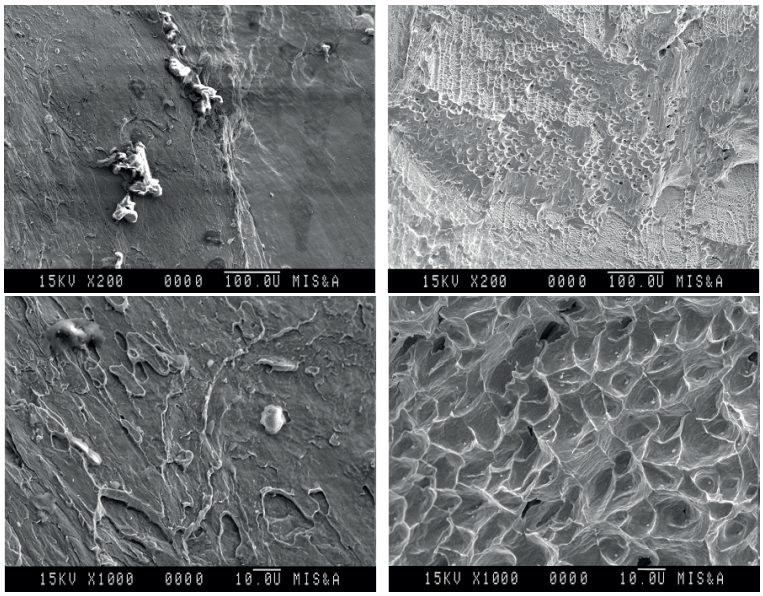


Рисунок 7 – Ультразвуковая обработка (справа) обеспечивает дробление оксидных включений

Основной проблемой при внедрении данного метода может стать обеспечение передачи ультразвуковых колебаний в расплав через стенки медной водоохлаждаемой изложницы (при вакуумно-дуговом переплаве), но эта задача успешно решается использованием резонансных эффектов: в ряде случаев удается ввести в резонанс кристаллизаторы весом несколько тонн.

Заключение

Разработки «Александры-Плюс» защищены патентами на изобретения, авторами которых являются более 50 ведущих специалистов как в области ультразвуковых технологий, так и в отраслях, где они внедряются. Специалистами компании разработано более сотни ультразвуковых излучателей различной конструкции, на основе применения которых создано более 1000 моделей оборудования. Оборудование поставлено в 15 стран мира.

За последние годы ультразвуковое оборудование компании доказало свои преимущества в сравнении с лучшими мировыми аналогами и широко применяется на предприятиях объединений «Казахмыс», «Казцинк» и «Казхром», а также предприятиях «Казатомпрома».

Отличительной особенностью наших разработок является широкое использование резонансных эффектов посредством ультразвуковых колебаний (особенно для массивных деталей), что позволяет значительно повысить эффективность создаваемого оборудования при существенном снижении энергопотребления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сайт Росатома. https://rosatom.ru/production/production/
2. Сайт МАГАТЭ. https://www.atomic-energy.ru/list/books
3. Лебедев Н.М.. Технологии дезактивации различных поверхностей с помощью ультразвука. Доклад на международном совещании ОАО «Концерн Росэнергоатом» и НАЭК «Энергоатом» «Современные методы и средства дезактивации оборудования и помещений АЭС». Белоярская АЭС, г. Заречный, 14–18 ноября 2011 г.
4. Опыт разработки и применения ультразвуковых технологий при химических эксплуатационных отмывках и изготовлении тепловыделяющих сборок атомных энергетических установок / Лебедев Н.М., Васильев А.П., Пышнограев М. П. и др. Сборник трудов V Международной конференции «Атомэко-2011». Москва, 31 октября – 1 ноября 2011 г.
5. Ультразвуковые технологии и оборудование для интенсификации технологических процессов при обращении с ядерным топливом и дезактивации ТРО. / Н.М. Лебедев, А.П. Васильев, А.Н. Грот, Д.А. Красильников. Сборник докладов VI Международного общественного форума-диалога «Атомная энергия, общество, безопасность», Санкт-Петербург, 19–20 апреля 2011 г.
6. Тепловыделяющая сборка ТВСА ВВЭР-1000: направления развития и результаты эксплуатации / В.Б. Кайдалов [и др.] // Атомная энергия. – 2007. – Т. 102. – С. 43–48.
7. Росатом: история и современность. / А.А. Акатов, Ю.С Коряковский, н.к. Н.Е. Кухаркин. – Энциклопедия атомной отрасли. – М., 2015 г.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК ДЛЯ КАЗАХСТАНСКО-ФРАНЦУЗСКОГО РЕАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SAIGA

Алдажаров Т.М.[1], Кириллов Е.В.[1], Кылышканов М.К.[1], Подойников М.А.[1], Батырбеков Э.Г.[2], Бакланов В.В.[2], Вурим А.Д.[2]

[1]АО «УМЗ» г. Усть-Каменогорск, Казахстан

[2] РГП НЯЦ РК г. Курчатов, Казахстан

Развитие ядерной энергетики неизменно сопровождается повышением требований к теплотехнической надежности и работоспособности твэлов и ТВС в номинальных, переходных и аварийных режимах работы реакторов АЭС. Во многом эксплуатационные параметры ядерного топлива наиболее распространенных современных энергетических реакторов определяются характеристиками топливных таблеток, изготовленных из диоксида урана UO_2. При этом, как правило, к числу основных нормируемых относятся их следующие исходные параметры:

- плотность;
- химический состав;
- микроструктура (размер и форма зерна, количество и размер пор);
- форма и размеры таблеток;
- качество наружной поверхности.

Количественные значения этих параметров для каждого типа реактора являются индивидуальными и выбираются исходя из целей обеспечения необходимой надежности и работоспособности твэлов и имеющихся технологий массового производства топливных таблеток.

Топливные таблетки UO_2 в их наиболее распространенных вариантах представляют собой цилиндры с центральным отверстием, лунками и фасками. Высота таблеток энергетических реакторов, как правило, составляет 10-18 мм, диаметр от 7,5 мм до 14,3 мм. Наличие осевого отверстия позволяет в процессе эксплуатации существенно уменьшить температуру топлива, снизить тенденцию к растрескиванию и распуханию и при высоких выгораниях уменьшить нагрузку на оболочку твэла. Наличие фаски на торцах таблеток упрощает снаряжение твэлов, уменьшает вероятность появления сколов таблеток, что, в свою очередь, снижает риск разрушения оболочек твэлов по «храповиковому» механизму. Формы таблеток для некоторых реакторов приведены на рисунке 1.

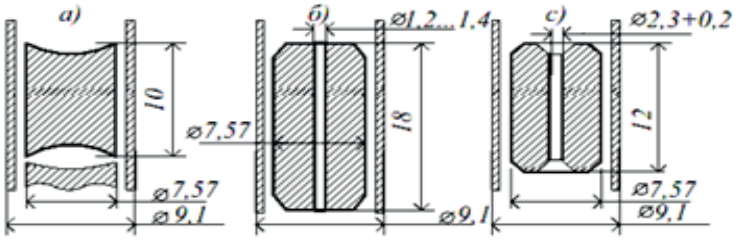


Рисунок 1 – Основные формы топливных таблеток

Процессы производства таблеток из порошков оксидов урана, полученных по различным технологическим схемам, идентичны. Основная технологическая схема изготовления таблеток приведена на рисунке 2.

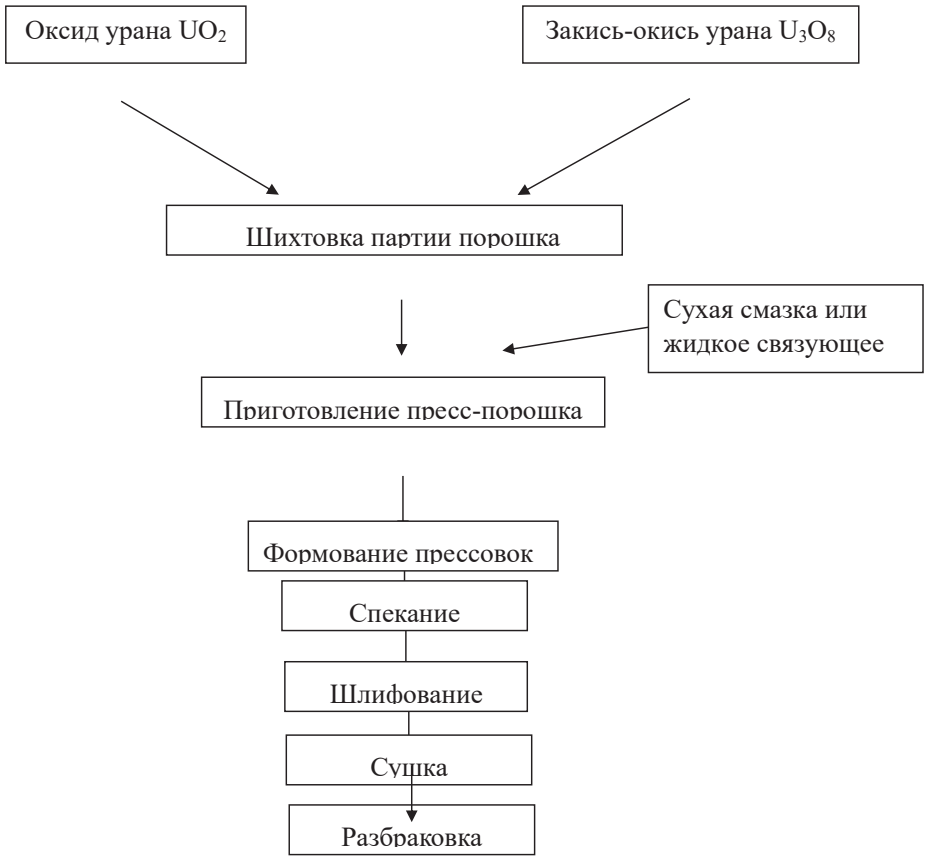


Рисунок 2 – Основная технологическая схема изготовления таблеток

При этом изготовление топливных таблеток – один из наиболее важных и сложных этапов производства твэлов, включающий большое количество технологических стадий.

В настоящее время Национальный ядерный центр РК (г. Курчатов) совместно с французским Комиссариатом по атомной энергии (CEA) выполняет исследовательский проект в обоснование возможности создания активной зоны реактора на быстрых нейтронах с использованием технологии ASTRID [1, 2], в рамках которого в РГП НЯЦ РК реализуется экспериментальная программа SAIGA.

Программа SAIGA направлена на подготовку и проведение эксперимента на реакторе ИГР [3], целью которого является исследование поведения ТВС перспективного реактора на быстрых нейтронах французского дизайна в условиях моделирования аварии с незащищенной потерей расхода теплоносителя.

Так как ИГР относится к реакторам с тепловым спектром нейтронов, для обеспечения равномерного по сечению ТВС энерговыделения, характерного для ТВС реакторов на быстрых нейтронах, потребовалось предпринять шаги по радиальному профилированию обогащения топлива в твэлах.

Нейтронно-физические расчеты, выполненные в РГП НЯЦ РК, показали, что задача обеспечения равномерного энерговыделения по сечению ТВС может быть решена при использовании топлива с содержанием U-235 от 0,27 до 17 % по массе.

Задача изготовления такого топлива была поставлена перед АО «УМЗ» с учетом несомненного наличия у специалистов предприятия необходимых компетенций в области технологий изготовления реакторного топлива и многолетнего опыта решения самых сложных технологических задач уранового производства. При этом сложность работы заключалась в изготовлении топливных таблеток нестандартных для АО «УМЗ» типоразмеров и обогащений по изотопу U-235.

Поскольку обогащение по U-235 в таблетках для эксперимента SAIGA не соответствует штатному технологическому процессу АО «УМЗ», то разработанная схема предусматривала исключение смешения материалов со штатными на всех технологических переделах. Кроме этого, была исключена операция шлифования топливных таблеток. В связи с исключением операции шлифования, расчет и изготовление пресс-инструмента для формования данных таблеток производились с повышенной точностью, обеспечивающей получение их геометрических размеров в результате спекания в соответствии с требованиями спецификации.

Другим немаловажным моментом являлось получение порошков диоксида урана с массовой долей изотопа U-235, значение которой должно иметь минимальное отклонение от заданной величины.

Корректировка данного параметра проводилась в лабораторных условиях на химическом переделе посредством смешения растворов уранилнитрата с различной массовой долей изотопа U-235. Далее из полученных растворов в лабораторных условиях получали порошки оксидов урана путем осаждения полиуранатa аммония (ПУА), прокалки и восстановления, которые были использованы для изготовления нестандартных топливных таблеток.

Принципиальная схема изготовления таблеток приведена на рисунке 3.

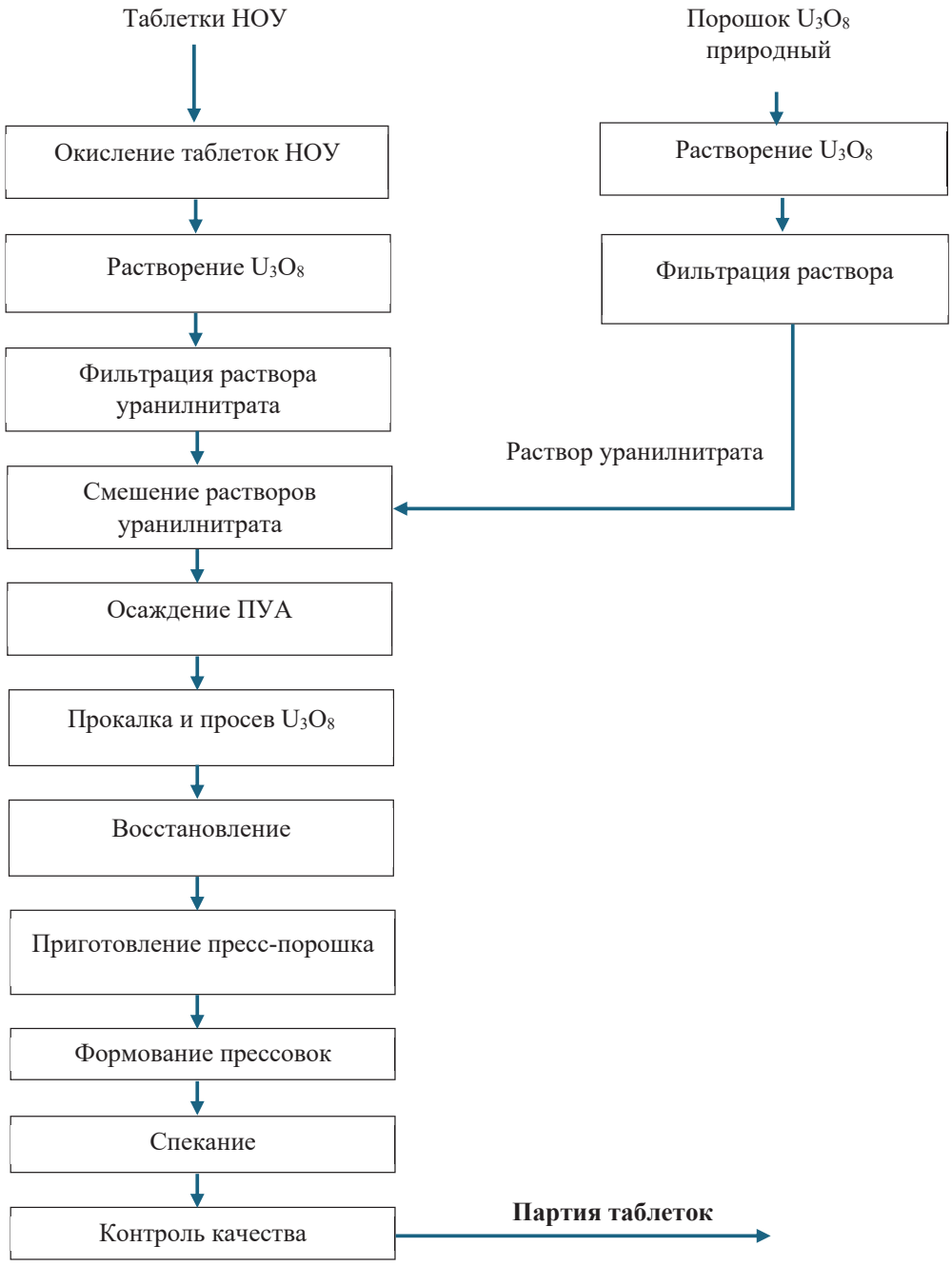


Рисунок 3 – Принципиальная схема изготовления топливных таблеток

Итогом данной работы было изготовление по указанной схеме 7 партий топливных таблеток с различным обогащением по U-235 от 3,0 до 17,0 %. Был проведен контроль всех партий таблеток по параметрам:

- плотность спеченных таблеток;
- геометрические размеры;
- внешний вид;
- химический состав;
- микроструктура.

Вид изготовленных топливных таблеток приведен на рисунке 4.

Рисунок 4 – Топливные таблетки для реактора ИГР

Характерные фрагменты пористой и зёренной микроструктуры таблеток приведены на рисунке 5.

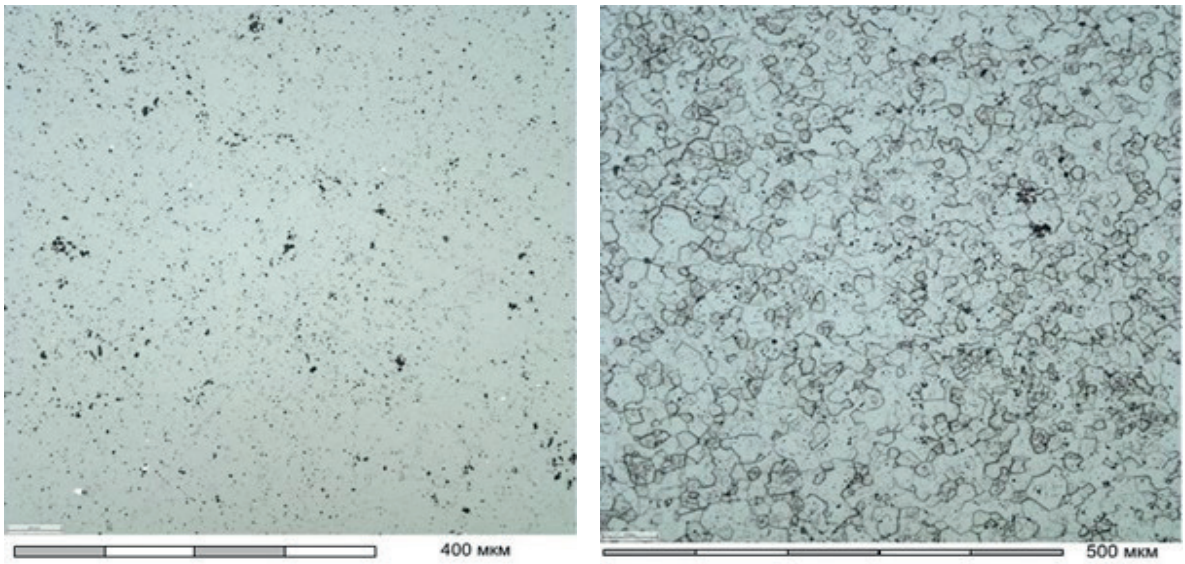


Рисунок 5 – Пористая и зёренная микроструктура топливных таблеток для реактора ИГР

По всем контролируемым параметрам топливные таблетки всех партий соответствовали требованиям спецификации, сформулированным РГП НЯЦ РК.

Топливные таблетки, изготовленные по описанной выше технологии, были использованы для оснащения твэлов ТВС физического макета экспериментального устройства SAIGA, который был облучен в реакторе ИГР с целью экспериментального определения распределения энерговыделения по высоте и радиальному сечению ТВС.

Результаты спектрометрических измерений показали, что применение топливных таблеток нестандартного обогащения, изготовленных АО «УМЗ», позволило решить задачу создания ТВС с равномерным профилем энерговыделения в радиальном сечении. При этом результаты измерений практически совпали с результатами нейтронно-физических расчетов, что явилось свидетельством высокого качества технологических решений, предложенных специалистами АО «УМЗ» при изготовлении топливных таблеток, и одновременно точности расчетной оценки параметров экспериментального устройства SAIGA, выполненной специалистами РГП НЯЦ РК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ
(Endnotes)

1 F. Serre, 1) F. Payot, C. Suteau, L. Trotignon, E.G. Batyrbekov, A.D. Vurim, A.V. Pakhnits, V.A. Vityuk, S. Kubo, A. Katoh, Y. Tobita, K. Kamiyama, K. Matsuba, J. Toyooka. R&D and Experimental Programs for Mitigating Severe Accidents Consequences in GENIV SFRs and in the ASTRID Technology Demonstrator // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан. – 2016. – Вып. 1 (65). – С. 25-30.

2 F. Serre, F. Payot, C. Suteau, L. Trotignon, E. Batyrbekov, A. Vurim, A. Pakhnits, V. Vityuk. R&D and Experimental Programs to support the ASTRID Core Assessment in Severe Accidents Conditions // Proceedings of ICAPP 2016. – April 17-20, 2016 – San Francisco (CA, USA). – Paper 16394.

3 Batyrbekov Erlan, Vityuk Vladimir, Vurim Alexander and Vityuk Galina, Experimental Opportunities and Main Results of the Impulse Graphite Reactor Use for Research in Safety Area // Annals of Nuclear Energy. – March 2023. – Volume 182, 109582.

ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Лепсибаев Ч.К., магистр государственного администрования
Eurasian Expert Council Foundation, г. Астана, Казахстан

В 1973 году в городе Шевченко (Актау) начала работать первая в мире АЭС с реактором на быстрых нейтронах БН-350. Эквивалентная мощность этой АЭС составляла 350 МВт, из которых 100 МВт шло на отопление, и 100 МВт - на опреснение морской воды. С 1999 года этот реактор остановлен, в связи с выделением США средств на новое опреснительное и отопительное оборудование, а также утилизацией оставшегося топлива.

В Казахстане действует Национальный ядерный центр, созданный по Указу Президента от 15 мая 1992 года. Институт ядерной физики Академии наук Казахской ССР был создан еще в июле 1957 года.

С учетом высокого энергодефицита и дисбаланса в распределении генерации электроэнергии, выработки ресурсов мощностей ТЭЦ, а также обязательств по снижению углеродных выбросов, возникла необходимость строительства АЭС.

При этом тема строительства АЭС в Казахстане очень болезненная, имея под собой исторические предпосылки: практически 45 лет функционирования крупнейшего в мире Семипалатинского ядерного полигона, с площадью более 18 тыс. км^2 используемой территории, более 450 атомных взрывов в т.ч. атмосферных. В регионе крайне высокая смертность и патологии; участие десятков тысяч казахстанцев в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС. Крайне низкое доверие к отечественным стандартам в сфере безопасности, компетенциям специалистов, в т.ч. из-за общего уровня коррупции.

В работе по формированию общественного мнения по необходимости атомной энергетики в РК, необходимо учитывать местные факторы и опыт государств, которые перешли к атомной энергетики в период после 1986 года (авария на Чернобыльской АЭС). Также для РК особенно репрезентативен опыт стран с общей информационной повесткой и восприятием, касательно использования атомной энергии.

Большой проблемой здесь является диссонанс и конфликт интересов между разными ведомствами, отсутствие единых подходов, понимание как необходимо работать с разными целевыми группами и не желание имплементировать международный опыт борьбы с радиофобией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B8%D1%81%D0%BF%D1%8B%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D0%BD

https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30978490

https://inbusiness.kz/ru/news/strah-na-gennom-urovne-glavnaya-prichina-boyazni-stroitelstva-aes

https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000731

https://uba.edu.kz/storage/app/media/IMP/IMP_2021-2022_rus.pdf

РАЗВИТИЕ НЕЙТРОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ВВР-К

Назаров Куаныш
Лаборатория нейтронной физики,
РГП Институт ядерной физики МЭ РК, Казахстан. г. Алматы

Реактор ВВР-К (ИЯФ МЭ РК) является водо-водяным реактором бассейного типа, который был введен в эксплуатацию в 1967 году. Номинальный мощность 6 МВт. Реактор имеет 10 горизонтальных каналов для проведения нейтронных исследований в области конденсированных сред и ядерной физики.

В данном докладе будет представлен обзор текущего состояния комплекса спектрометров на выведенных пучках нейтронов на реакторе ВВР-К, который в настоящее время включает в себя 3 установки: АРМАН – установка нейтронной рефлектометрии с вертикальной геометрией образца, ТИТАН – установка нейтронной радиографии и томографии для исследования внутренней структуры образца, АГАВА – установка нейтронной радиографии для радиоактивных материалов, НАА – установка нейтрон-активационного анализа. В данное время ведутся работы по созданию новой установки нейтронной порошковой дифракции. Также будет рассмотрены важнейшие методические результаты развития комплекса спектрометров последние годы и планы дальнейшей модернизации установок.

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ НЕЙТРОННОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ВВР-К

Нурулин Р.И.[1,2],Мухаметулы Б.[1,2], Иоффе А.И.[3] Назаров К.М.[1,]
[1]Институт ядерной физики МЭ РК, г. Алматы, Казахстан
[2]Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[3]Юлихский центр нейтронной науки, Юлих, Германия

В данный момент во всех лидирующих международных нейтронных институтах ведутся работы над темой по созданию и продвежению экспериментальных методов для проведения экспериментов по нейтронной рефлектометрии. Нейтронная рефлектометрия позволить исследовать поверхностей, тонких (магнитных) плёнок и многослойных структур в наноструктурном уровне[1]. Преимуществом этого метода является получение информации о состоянии границ жидкой фазы с твердым, а также информации слоистых структур независимо от химического состава. Метод востребован в связи с большим интересом к наномасштабным структурам и явлениям при решении фундаментальных и технологических задач физики, химии и биологии и т.д..

Нейтронная рефлектометрия позволяет проводить исследования с использованием большего количества материалов, используемых при создании ММН (Многослойные Магнитные Наноструктуры). По сравнению с рентгеновской рефлектометрией, где величина контраста зависит от разности порядковых номеров элементов. Поляризационная нейтронная рефлектометрия позволяет характеризовать послойное распределение не только ядерной плотности, но и вектора намагниченности, включая сложные случаи неколлинеарных распределений этого вектора в магнитных ММН [2].

На сегодняшний день в Казахстане имеется 2 ведущих института, работающих в направлении ядерных исследований. Но ни в одном из них нет установки данного типа.

Создание и развитие новой установки нейтронной рефлектометрии с горизонтальной плоскостью рассеяния для исследований в области фундаментальной и прикладной физики, и развитие нейтронных исследований конденсированных сред на реакторе ВВР-К, открывает много перспектив для Казахстана, и даст возможность ИЯФ МЭ РК стать приоритетным центром нейтронных исследований конденсированных сред на международном уровне.

В докладе основное внимание будет уделяться основным шагам, предпринятым в ходе проектирования и постройки установки. Будут рассмотрены проблемы, возникшие при сборке и решения, принятые для устранения этих проблем. Будут представлены первые результаты и будущие изменения, которые планируется внести в установку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Neutron reflectometry. A probe for Materials surfaces //Результаты технической встречи, МАГАТЭ, Австрия, Вена, 2006
2. В. Л. Аксенов, А. М. Балагуров Основы нейтронографии // Издательство МГУ, 2023, 583с.

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Ниханова Д., Боковая Н.
АО «НАК «Казатомпром», г. Астана, Казахстан

Аннотация. Развитие ядерной криминалистики в последние десятилетия стало необходимой реальностью в условиях участившихся случаев незаконного оборота ядерных и радиоактивных материалов с учетом совершенствования методов изъятия данных материалов в преступных целях. Ядерная криминалистика позволяет проводить исследования ядерных и других радиоактивных материалов, либо других вещественных доказательств, загрязненных радионуклидами, в рамках проведения судебных разбирательств в соответствии с международным или национальным законодательством в области физической ядерной безопасности. Создание национальной библиотеки ядерных и радиоактивных материалов в государстве является глобальным шагом на пути укрепления международной ядерной криминалистики и обеспечения мировой безопасности. Национальная библиотека ядерной криминалистики – это национальная система экспертизы, информации и коммуникации, которая может использоваться для выявления ядерных и радиоактивных материалов, находящихся вне регуляторного контроля.

Ключевые слова: ядерная криминалистика, ядерные материалы, радиоактивные вещества, Национальная библиотека, незаконный оборот.

DEVELOPMENT OF NUCLEAR FORENSICS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Nikhanova D., Bokovaya N.
Kazakhstan, Astana, NAC Kazatomprom JSC
nbokovaya@kazatomprom.kz, dnikhanova@kazatomprom.kz

Abstract. The development of nuclear forensics in recent decades has become a necessary reality in the context of increasing cases of illicit trafficking in nuclear and radioactive materials, taking into account the improvement of methods for seizing these materials for criminal purposes. Nuclear forensics allows the examination of nuclear and other radioactive materials, or other physical evidence contaminated with radionuclides, as part of legal proceedings in accordance with international or national nuclear security legislation. The creation of a national library of nuclear and radioactive materials in the state is a global step towards strengthening international nuclear forensics and ensuring global security. The National Nuclear Forensics Library is a national forensics, information and communications system that can be used to identify nuclear and radioactive materials outside of regulatory control.

Keywords: nuclear forensics, nuclear materials, radioactive materials, national Library, illegal trafficking.

Статья. Действие режима нераспространения ядерного оружия является одним из важных аспектов международной безопасности. Поддержание мира и благополучия на планете возможно только при обеспечении твердой уверенности в том, что ядерные материалы не могут быть переключены на производство ядерного оружия. Такое заверение должны поддерживать международное сообщество в целом и каждое государство в частности, независимо от уровня развития ядерной энергетики в стране.

Создание и действие эффективных национальных систем учета и контроля за ядерным материалом и ядерной деятельностью в целом является ключевым и первым этапом в борьбе с незаконным оборотом ядерных материалов в интересах государства и обеспечении исполнения международных обязательств по ядерному нераспространению.

Однако, специфика атомной отрасли не всегда позволяет установить жесткие ограничения и осуществлять строгий надзор за деятельностью по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами, тем самым создавая предпосылки использования их в преступных целях. Основная проблема заключается в том, что природа радиоактивных веществ дает возможность использования их как в мирных, так и в военных целях, существенно усложняя задачу выявления недобросовестных намерений отдельных преступных группировок или лиц.

Рост незаконного оборота ядерных материалов и радиоактивных веществ приходится на 1990е годы, когда все чаще начали выявляться случаи ядерной контрабанды и развитие ядерной криминалистики стало необходимым ответом на участившиеся случаи незаконой продажи ядерных материалов. Одним из первых ярких примеров стал инцидент, произошедший в августе 1994 года, когда представители правоохранительных органов Германии задержали в аэропорту троих контрабандистов. У двух представителей Испании и одного колумбийца, прибывших из России, обнаружили 500 граммов изотопа

плутония. По итогам проведенного расследования было установлено, что как минимум часть обнаруженного ядерного материала произвели в России. Спустя два года данный факт подтвердили компетентные органы Российской Федерации.

После нескольких установленных фактов провоза или попыток передачи ядерных материалов на территории Европы, в 1996 году появилась Международная техническая рабочая группа по ядерной контрабанде, в компетенцию которой было отнесено рассмотрение случаев незаконного оборота ядерных материалов.

Однако надо понимать, что оборот ядерных материалов достаточно сложная процедура, так как предмет обмена или продажи не находится в свободном доступе и достаточно опасен для участников данного оборота, а также требует значительных знаний в способах защиты от воздействия радиологического облучения. Поэтому, несмотря, на участившиеся случаи выявления ядерной контрабанды, незаконный оборот ядерных материалов фиксируется достаточно редко, в период с 1993 по 2018 год зафиксировано всего 18 случаев контрабанды высокообогащенного урана и плутония.

Вместе с тем незаконный оборот зараженных материалов и радиоактивных источников носит более распространенный характер - по оценкам Международного агентства по атомной энергии, за тот же период было зафиксировано более 3 тысяч случаев. Такая значительная разница в количествах выявленных инцидентов говорит о том, что радиоактивные материалы более доступны на рынке ядерной контрабанды. Однако, также, значительное количество установленных фактов указывает на эффективность проводимых мероприятий со стороны таможенных и пограничных органов в выявлении незаконного оборота радиоактивных веществ и ядерных материалов.

Одним из удачных примеров расследования инцидента ядерной контрабанды был случай, произошедший в июле 2018 года в Бухаресте. С разницей в 2 недели в аэропорту были задержаны 2 пассажира – во время процедуры досмотра сработали радиационные порталы. Во время изучения их багажа были обнаружены 5 и 4 колоды загрязненных игральных карт, в которых было определено наличие радиоактивного изотопа – йода-125 с помощью мобильного устройства идентификации радионуклидов. Оба пассажира прибыли из Вьетнама. При этом один пассажир был гражданином Румынии, второй – Вьетнама, прибывший в Румынию на работу, и оба отказывались признавать факт того, что они умышленно пытались провести радиоактивные материалы. Также оба утверждали, что лишь исполнили просьбы вьетнамских коллег о передачи посылок.

После проведения процедур заинтересованных органов в соответствии с законодательством Румынии, а также основываясь на имеющихся сведениях в области ядерной судебной экспертизы при обнаружении загрязненных игральных карт в других странах Европы, было принято решение о возбуждении уголовного дела. Главными вопросами стали - определение получателей данных материалов, установление происхождения загрязненных карт, их предназначение, а также возможности пресечения иных подобных случаев.

При этом, вместе с игральными картами перевозилось небольшое портативное устройство, как в последующем оказалось, необходимое для проведения вьетнамской азартной игры. Данным устройством оказался счетчик Гейгера-Мюллера, специально настроенным на обнаружение изотопов I-125.

Суть данной игры заключалась в определении различных комбинаций цветов и количеств жетонов, вырезанных из данных карт, которые приземлятся лицевой стороной вверх. При этом радиоактивное вещество наносилось на определённую сторону карты, например, лицевую, и счетчик помогал определить на какую сторону упал жетон.

В ходе расследования была установлена сложная схема по изготовлению, передаче, проведению самих игр, более того, значительную долю бизнеса взяли на себя ставки, которые делали игроки и зрители. В конечном счете доход в зависимости от положения и роли соответствующих членов группировок варьировался от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч евро.

Как показывает наработанный опыт в установленных случаях ядерной контрабанды, назначение радиоактивных веществ носит настолько разнообразных характер применения, что установить границы использования незаконного материала достаточно сложно.

Установленные факты ядерной контрабанды со сложным процессом расследования «радиоактивного» преступления ввиду наличия факта возможного риска радиологического воздействия, а также специфика проведения анализов и чувствительность результатов, требующие более тщательного и глубокого подхода, выявили потребность в появлении нового большого направления в криминалистике. Так родилась область научного исследования – ядерная криминалистика.

Ядерная криминалистика — это анализ изъятых из незаконного оборота ядерных материалов и других

радиоактивных материалов с целью установления происхождения и истории получения этих материалов. В ходе анализа определяются «ядерные отпечатки» изъятых материалов с помощью установления его элементного и изотопного составов, изотопных и масс-соотношений, возраста, содержания примесей, химической формы и физических параметров.

В настоящий момент выявляются 3 основных этапа ядерной криминалистики:

1. Характеризация. Эксперты выявляют характеристики ядерного материала при помощи различных аналитических методов и технических средств.

2. Интерпретация. Характеристики сопоставляют с информацией о способах и местах производства ядерных материалов.

3. Атрибуция. Устанавливают источник, способ производства, пункты отправления и назначения ядерного материала, а также участок, на котором был потерян контроль. На данном этапе также предпринимаются попытки определения возможности существования других ядерных материалов, украденных из того же источника.

Далее путем сопоставления полученных данных с имеющимися данными о характеристиках ядерных материалов, таких как предприятие, место производства, географическое места добычи (например, характеризующегося различным примесным составом) представляется возможным определить потенциального производителя и «историю производства» изъятого ядерного материала.

Ключевую роль в эффективном существовании ядерной криминалистики на международном уровне играет наличие баз данных ядерных материалов и радиоактивных веществ в государствах, открытых и готовых к сотрудничеству для укрепления и повышения статуса ядерной экспертизы наряду с уже устоявшимися и исторически сформировавшимися нормами международного права в расследованиях «традиционных» преступлений.

В настоящий момент растет признание важности ядерной экспертизы в укреплении инфраструктуры ядерной безопасности государства и его способность определить соответствуют ли конкретные ядерные или радиоактивные материалы имеющимся в производстве (в настоящий момент или в прошлом) материалам.

Государственная база данных ядерных или радиоактивных материалов — это система идентификации материалов, обнаруженных вне регулирующего контроля. База данных может состоять из результатов экспертизы и справочной информации по ядерным или радиоактивным материалам, произведенным, используемым или хранящимся в государстве.

Информация о ядерных и радиоактивных материалах включает в себя данные по физическим свойствам, химическому и элементному составу, изотопным отношениям и другим аналитическим сигнатурам материала, позволяющим установить происхождение и способах производства данного вещества.

Наличие расширенной и подробной базы данных по ядерным и радиоактивным материалам в государстве позволит сократить время проведения расследования, а также повысить уверенность достоверности решений в определении возможного происхождения и целях использования предполагаемого материала, а также предупреждении возникновения инцидентов незаконного оборота ядерных и радиоактивных материалов в будущем.

Вместе с тем, ядерная экспертиза подразумевает не только проведение стандартных мероприятий на месте преступления, но и набор конкретных мероприятий по взаимодействию следователей правоохранительных органов, судебными экспертами в том числе в области ядерной криминалистики и другими соответствующими организациями, а также представителями государственной организации, отвечающей за контроль радиологической обстановки в государстве.

В Республике Казахстан в последние годы ядерная судебная экспертиза набирает значительные обороты, так как имеется большой научный опыт, лабораторное оснащение и значительные запасы урана.

Необходимость создания библиотеки данных урановых концентратов в Казахстане оправдана значительными запасами урана (второе месте в мире по запасам урана), статусом мирового лидера по добыче урана с 2009 года и широкой географией реализации урановых концентратом по всему миру. При этом создания библиотеки подразумевает не только набор данных по урановым концентратам, но и саму экспертизу материалов.

Создание расширенной базы данных урановых продуктов в виде библиотеки должно основываться на потенциале, которым располагает Республика Казахстан.

Более того, есть возможность создать библиотеку данных урановых концентратов по месту промышленной добычи с отражением микроэлементных и радионуклидных сигнатур материалов для идентификации при незаконном обороте, а также с указанием примесных портретов, присущих конкретному месту добычи.

В настоящий момент АО «НАК «Казатомпром» осуществляются научные разработки по созданию подобной платформы по сбору, обработке и хранению данных по урановым концентратам с определением необходимых и достаточных характеристик, а также методах проведения анализов, для эффективного функционирования и обеспечения прикладного назначения в реализации судебной экспертизы.

Важно понимать, что ядерная криминалистика является одним из компонентов комплексной национальной программы физической ядерной безопасности, которая обеспечивает предотвращение и реагирование на случаи незаконного оборота ядерных материалов. Эффективность построения инфраструктуры ядерной безопасности крайне важна для предотвращения попадания ядерных и радиоактивных веществ в руки злоумышленников, а значит поддержания режима нераспространения ядерного оружия в динамично меняющихся обстоятельствах настоящего и будущего, где необходимы самые надежные гарантии. И здесь у каждого есть своя роль: от государств с ограниченным количеством ядерного материала до государств, обладающих усовершенствованным ядерным топливным циклом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ITWG: НОВОСТИ ПО ТЕМЕ ЯДЕРНОЙ СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ, выпуск 27, июнь 2023 года.
2. Основные проблемы и тенденции развития ядерной криминалистики, Том 9, № 2 (2022).
3. Сдерживающий эффект ядерной криминалистики на примере Венгрии, Бюллетень МАГАТЭ, декабрь 2016 года.

Секция 4

Ресурсы и эффективные технологии производства редких, редкоземельных металлов и высокотехнологичной продукции на их основе

Section 4

Resources and effective technologies of production of rare and rare-earth metals and high-technology products based on them

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ОТРАБОТАННЫХ БЛОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Буленова К.Ж.[1], Токсанбаев Б.Ж.[1], Копбаева М.П.[1], Сукуров Б.М.[1]
[1]ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Казахстан.
k.bulenova@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Знание минерального состава исследуемой руды лежит в основе разработки технологии извлечения полезных компонентов. Проведен комплекс исследований минерального состава кернового материала отработанных блоков трех уранодобывающих предприятий. Установлен качественный состав руды, представленный благородными, редкометалльными и редкоземельными минералами.

Ключевые слова/словосочетания: исследование, минеральный состав, золото, полезные компоненты, уранодобывающие предприятия, отработанный блок.

COMPREHENSIVE STUDY OF MINERAL COMPOSITION CORE MATERIAL OF SPENT BLOCKS ENTERPRISES JSC NAC KAZATOMPROM

Bulenova K.Zh.[1], Toksanbayev B.Zh.[1], Kopbayeva M.P.[1], Sukurov B.M.[1]
[1]Institute of High Technologies LLP, Almaty, Kazakhstan
k.bulenova@iht.kazatomprom.kz

Abstract. Knowledge of the mineral composition of the researchable ore is the basis development of technology for extracting useful components. A set of studies of the mineral composition of core material from spent blocks of 3 uranium mining enterprises was carried out. The qualitative composition of the ore, represented by noble, rare metal and rare earth minerals, has been established.

Key words/phrases: research, mineral composition, gold, useful components, uranium mining enterprises, spent block.

Урановые месторождения АО «НАК «Казатомпром» (Компания, Холдинг) весьма разнообразны по минералогическому, физико-химическому составу и наряду с ураном содержат благородные (золото, серебро), редкие и редкоземельные металлы (РЗМ) [1].

При подземном скважинном выщелачивании (ПСВ) урановых руд помимо урана (основного целевого

компонента) в продуктивный раствор (ПР) могут переходить ценные металлы, которые присутствуют в горнорудных породах как в виде индивидуальных (торит – $ThSiO_4$, рутил – TiO_2, циркон – $ZrSiO_4$ и др.), так и в виде комплексных минералов (титаниоботанталаты урана, тория, редкоземельных элементов и др.), а также фиксирующихся совместно с ураном в гидротермальных породах урановых месторождений молибдена и золота.

Относительно молодая и перспективная с точки зрения меньшей нагрузки на экологию технология ПСВ обладает рядом некоторых преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми технологиями. Например, при добыче золота такие негативные параметры россыпи как обводненность и погребенность при открытом способе являются положительными для способа ПСВ. Таким образом, способ ПСВ является альтернативным открытому способу и позволяет вовлечь в отработку россыпи благородных металлов, которые ранее считались экономически и технологически неэффективными.

В связи с этим отраслевой научно-исследовательский институт Холдинга ТОО «Институт высоких технологий» (ТОО «ИВТ», Институт) считает одной из важных составляющих своей основной деятельности такое направление как попутное извлечение редких, редкоземельных и благородных металлов. «Первой ласточкой» была выполненная в 2014 году НИОКР на тему «Исследование и разработка технологии извлечения редких и благородных металлов из отработанных скважин урана методом ПСВ» [2]. Начиная с 2020 года в ТОО «ИВТ» активизировалась научно-исследовательская деятельность, направленная на изучение возможности комплексного извлечения золота и полезных ценных компонентов (ЗиПЦК) на отработанных технологических блоках урановых месторождений (далее – НИР по ЗиПЦК), что обусловлено также и тем, что на месторождениях АО «НАК «Казатомпром» запасы целевого компонента иссякают и, соответственно, наблюдается тенденция к росту отработанных технологических блоков.

В 2022 году была утверждена «Программа научно-технологического развития и совершенствования технологий попутного извлечения полезных ценных компонентов на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» для организации наукоемких производств на 2022-2025 гг.», что явилось дополнительным мощным импульсом для развития НИР по ЗиПЦК в Компании.

В рамках реализации НИР по ЗиПЦК Институтом были выполнены исследования для определения технологического подхода к извлечению ЗиПЦК из отработанных блоков месторождений уранодобывающих предприятий. Одним из таких ключевых и новых исследований является анализ минерального состава кернового материала, отобранного из отработанных технологических блоков ДЗО АО «НАК «Казатомпром».

Пилотные минералогические исследования на предмет определения золота и других ПЦК в пробах кернового материала трех уранодобывающих предприятий были проведены в 2020 году.

В рамках осуществления комплекса исследований минерального состава кернового материала было выполнено следующее:

- литологическое описание керновых проб;
- локальный элементный состав керновых проб;
- фазовый анализ кернового материала, минералов РЗЭ и РМ;
- гранулометрический анализ руды с определением распределения элементов золота, РЗЭ и РМ по различным классам крупности.
- минералогический анализ (оптические и электронно-сканирующие методы спектрометрии);
- минераграфический анализ.

В настоящей статье представлены результаты исследования минерального состава 6-ти проб, отобранных с отработанных технологических блоков уранодобывающих предприятий А, В, С.

Перед проведением исследования минерального состава кернового материала было выполнено литологическое описание 6-ти проб кернового материала, данные по которому представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Номера и описание обогащенного кернового материала

№№ п/п	Номера проб	Литология
1	Проба №1 (А)	Рыхлые, сыпучие алевро-глинистые слабопесчанистые породы стально-серого цвета (суглинки)
2	Проба №2 (В)	Сухие, рыхлые алевро-глинистые материалы светло-землистого цвета (суглинки)
3	Проба №3 (С)	Светло-землистый сероватый рыхлый материал (суглинки)
4	Проба №4 (А*)	Стально-серые комковатые алевро-глинисто-песчанистые породы (суглинки)
5	Проба №5 (С*)	Светло-серовато-землистые алевро-глинисто-слабопесчанистые породы (суглинки)
6	Проба №6 (В*)	Стально-серый алевро-глинисто-песчанистый материал (суглинки)

Предварительно, до проведения комплекса исследований минерального состава керновых проб, каждая керновая проба подвергалась обработке в следующем порядке:

1) замер пробы на радиоактивность;
2) взвешивание пробы;
3) перемешивание пробы;
4) квартование и отбор пробы для истирания (100–150 г) на вибрационных истирателях типа (ИВ). Измельченные пробы были направлены на исследование их локального элементного состава и на рентгенодифракционный анализ.
5) просеивание с использованием набора сит от 10 мм до 0,10 мм;
6) взвешивание полученных фракций по классам крупности;
7) отмучивание фракции (0,5–0,25мм) для минералогического анализа;
8) ручное промывание материала;
9) получение шлиха (концентрата), хвоста и шлама;
10) высушивание и взвешивание шлиха (концентрата);
11) сепарация простым магнитом шлиха;
12) разделение в тяжелой жидкости (в бромоформе, уд. вес 2,9) шлиха;
13) получение легкой и тяжелой фракции и промывание их в спирте;
14) высушивание, взвешивание и упаковка обеих фракций;
15) магнитная сепарация тяжелой фракции;
16) разделение тяжелой фракции на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции;
17) взвешивание и упаковка полученных фракций.

Подготовленные соответствующим образом фракционированные керновые пробы далее исследовались на предмет определения минерального и элементного состава.

Исследование минерального состава керновых проб выполнено посредством применения гранулометрического, рентгенофазового (РФ), минералогического, минераграфического и микрозондового методов анализа.

Изучение локального элементного состава керновых проб проведено с использованием сканирующего микроскопа с ЭДА. Образцы керновых проб были подвергнуты анализу посредством растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием сканирующего электронного микроскопа TM4000Plus при ускоряющем напряжении 15 кВ.

Замеры по энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) были выполнены с помощью системы микроанализа Quantex Q75 D. Набор спектра проведен кремний-дрейфовым детектором (Silicon drift detector) Xflash 630H с рабочей площадью 30 мм^2, гарантированное разрешение по энергии составляло 137 эВ. Съемка энергетического спектра с большой площади осуществлена методом растрового сканирования (картирование) и в отдельных точках (локальные спектры).

При исследовании локального элементного состава проб кернового материала было выполнено картирование (распределение элементов по пробе) и представлен спектр с идентификацией определённых элементов для каждой пробы керна, в результате чего выявлено, что основными составляющими элементами всех проб являются элементы кислород (O) и кремний (Si). Исключение составляет проба № 1, основным элементом в которой наряду с O и Si является также алюминий Al. Содержание кислорода (O) в исследуемых пробах варьируется от 50 ат % до 65 ат %, кремния (Si) – от 21 ат % до 38 ат %. Согласно полученным спектрам образцов проб №№ 2, 4, 5 установлено присутствие в этих пробах керна наряду с основными элементами таких элементов как Al, K, Fe.

Определено, что в локальных точках образцов всех проб керна концентрация основных элементов O и Si практически одинакова. В локальных точках пробы № 4 установлено также присутствие титана и определена его концентрация – 22 ат %. В локальных точках образцов проб керна №№ 4 и 5 обнаружено железо, концентрация которого соответственно составляет 8 ат % и 8,7 ат %. Установлено, что железо сконцентрировано на отдельных частицах в пробах №№ 1–3. В качестве примесей следует отметить элементы Fe (пробы №№ 2–5), Al и K (пробы №№ 2, 3, 5), C (проба № 2), F (проба № 4).

Определение фазового состава керновых проб проведено методом рентгено-структурного анализа на дифрактометре Bruker D8 Advance. Рентгенодифрактометрическое исследование проведено с использованием излучения рентгеновской трубки с Cu-анодом. Режим работы трубки: 40 кВ, 40 мА.

Дифрактограммы записывались в диапазоне углов 20 – 90˚ 2θ, шаг 0,02˚ 2θ с временем измерения 1с.

Выполнена съемка рентгеновских дифрактограмм и проведен анализ фазового состава проб кернового материала. Фазовый анализ проводился посредством аналитического пакета DIFFRAC.EVA с использованием открытой кристаллографической базы данных Crystallography Open Database (Rev 173445) и базы данных Bruker PCPDFWIN.

В результате исследования фазового состава методом рентгенодифрак-ционного анализа керновых проб было установлено, что во всех пробах основной преобладающей (не менее 80 %) кристаллической структурой является фаза SiO_2 (кварц), имеющая гексагональную структуру кристаллической решетки согласно карте COD1532512 открытой кристаллографической базы данных. Также во всех пробах, за исключением пробы № 3, были обнаружены:

- Андалузит (Andalusite) с формулой $\mathbf{Al_2SiO_5}$;
- минеральное соединение $\mathbf{K_{0.93}Fe_{0.27}Al_{0.75}Si_{3.01}O_8}$;
- фаза диоксида углерода $\mathbf{CO_2}$;
- соединение $\mathbf{KAlSi_3O_8}$.

В пробе № 3 были выявлены все вышеперечисленные соединения, кроме $\mathbf{KAlSi_3O_8}$.

Характер распределения обломочных пород, а также характер распределения полезных компонентов в предоставленных и фракционированных ситовым методом пробах изучались с применением гранулометрического анализа. Гранулоанализ проводился по пяти классам крупности.

Состав полученных от расситовки классов крупности +10,0 мм, +5,0 мм, +2,0 мм определялся на предмет определения золота с применением магнитной сепарации простым магнитом, визуально. Классы крупности зерен +1,0 мм, +0,5 мм изучены под бинокуляром марки МБС-9 с применением иммерсионного, капельно-микрохимического и микрозондового метода.

Согласно данным гранулометрического анализа следует, что обломочная порода состоит в небольших количествах из гравий класса, с заметным содержанием разнозернистого песка, основную массу которого составляет алевритовый песок и глина (хвост). В исследованных классах обломочных пород присутствие золота в виде отдельных зерен не обнаружено. В составе мелкозернистых и алевритовых классов в виде отдельных зерен в незначительных количествах присутствуют минералы: сульфиды железа (пирит-марказит), гидроокислы Fe, турмалин, реже ставролит, гранат и ильменит. Последний встречается также в виде мелких тонких вкраплений в составе агрегатных стяжений.

Полученные при фракционировании в тяжелой жидкости (Бромоформ $CHBr_3$, уд. вес 2,90), и разделенные по магнитности (многополюсный электромагнит А.Я. Сочнева) минералы шлиховых проб изучались минералогическими и минераграфическими (аншлиф) методами.

Минералогический анализ легкой и тяжелой (магнитной, электромагнитной и немагнитной) фракций шлихов кернового материала на содержание РМ, РЗМ и золота состоял в изучении физико-химических свойств (твердость, спайность, угол излома, цвет, свечение и др.), также количественного подсчета зерен минералов под бинокуляром МБС-9.

В Таблице 2 представлено описание состава тяжелой и легкой фракций минералов шлихового материала по результатам количественного минералогического, иммерсионного, микрохимического, катодно-люминесцентного анализов.

Таблица 2 – Содержание минералов в тяжелой и легкой фракции шлихов

Тяжелая фракция			Легкая фракция
магнитная	электромагнитная	немагнитная	
Магнетит Мартит	Ильменит Гематит Гидроокислы Fe Хромшпинелиды Ta-Nb Гранат Турмалин Ставролит Эпидот-цоизит Амфибол Сфен	Пирит-марказит Циркон Рутил Лейкоксен Дистен-кианит Апатит Шпинель Корунд Золото	Кварц ПШ Мусковит Хлорит Серицит Кварцит Глины

Согласно приведенным данным видно, что по минеральному составу продуктивной является тяжелая часть шлиха, которая состоит из минералов магнитной, электромагнитной и немагнитной фракций (табл.№ 2).

Магнетит – основной минерал магнитной фракции шлиха, в пробе минерал не окатанный, частично мартитизированный (табл. № 2).

Электромагнитную фракцию представляют гематит, ильменит, частично – лейкоксенизированный, гранат, турмалин, ставролит, эпидот-цоизит, реже сфен, амфибол, гидроокислы железа и хромшпинелиды. Из полезных минералов встречены редкие знаки танталита-колумбита (шлифы №№ 1, 4).

Минеральный состав немагнитной части тяжелой фракции однообразен. В его составе основным минералом является пирит-марказит в количестве 90-95 %, который был изучен в полированном брикете под микроскопом в отраженном свете. В небольших количествах присутствуют циркон, рутил, лейкоксен реже апатит, корунд (шлиф № 2), шпинель (шлифы №№ 3, 5).

Из рудных минералов в немагнитных тяжелых частях фракции шлиха установлено по одному знаку самородного золота – в шлихах № №1, 3, 4, 5, а в шлихе № 2 – 9 знаков. На рисунках 1-5 представлены снимки выявленных знаков золота.

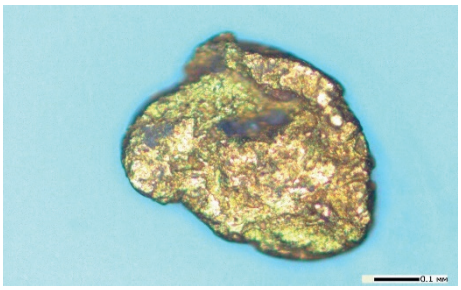


Рисунок 1 – Золото самородное.
Отраженный свет, увел. 100.

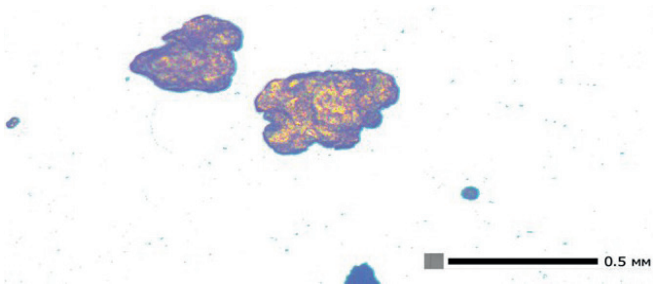


Рисунок 2 – Золото. Проба 2 (В). Проба 1 (А).
Отраженный свет, увел. 100.

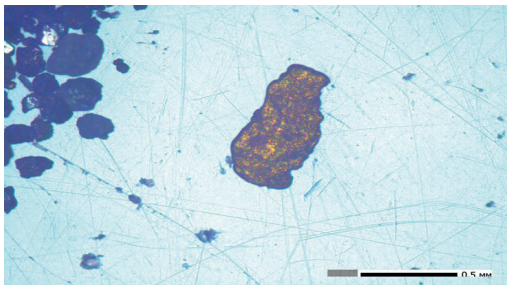


Рисунок 3 – Золото самородное.
Проба 3 (С). Отраженный свет.
Увел.40

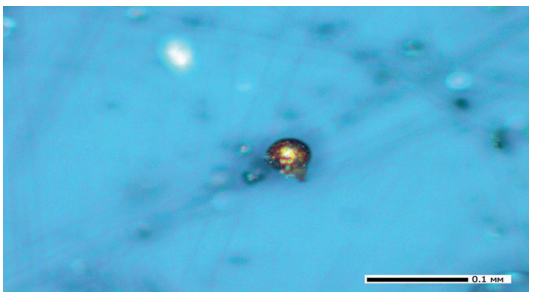


Рисунок 4 – Золото (королек).
Проба 4 (А*). Отраженный свет.
Увел. 200.

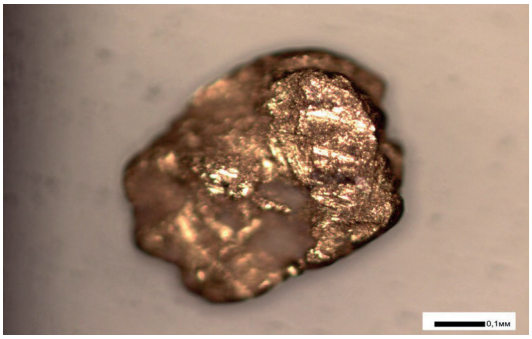


Рисунок 5 – Золото самородное. Проба 5 (С*).
Отраженный свет, увеличение 100.

Для поиска и диагностики минералов из тяжелой фракции пробы 2 был изготовлен полированный брикет, по которому проведено сканирование методом электронно-зондового анализа. Выполнен анализ на приборе JEOL JXA 8230 Electron Probe Microanalyses. Изучение проводилось в следующих режимах:

1. COMPO – изображение минералов в обратно-рассеянных электронах;

2. WDS и EDS – волнодиссперсионная спектроскопия с определением состава минеральных фаз.

Для всех участков образцов, выбранных для растрового электронно-микроскопического (РЭМ) исследования, применялся режим обратно-рассеянных электронов (COMPO), который дает более информативные изображения объектов по сравнению с режимом наблюдений и съемки во вторичных электронах (SEI). Основной особенностью РЭМ-контраста в режиме обратно-рассеянных электронов является известный факт более яркого контраста частиц с бóльшим атомным номером по сравнению с частицами, составляющими общий фон [3, 4].

Выполнены снимки минералов в двух режимах с указанием их размеров. В результате сканирования всей плоскости брикета обнаружены следующие минералы: золото, электрум, монацит, уранинит, вольфрамит, касситерит. Выполнены снимки по несколько зерен каждого из минералов. На рисунке 6 показаны результаты ЭДС-микроанализа с выбранного участка частицы золота. Результаты показывают, что частица состоит из высокопробного золота.

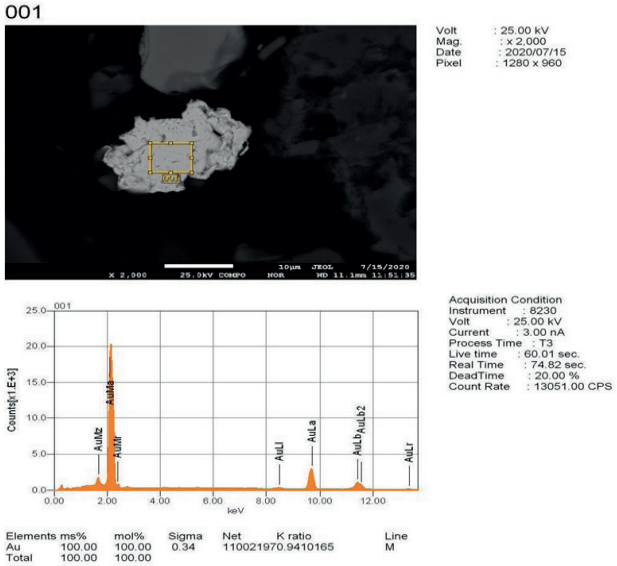


Рисунок 6 – Золото, размер 22.656x17.62µm. Проба 2-4.
Тяжелая фракция, электромагнитная и немагнитная фракции.

На рисунке 7 показаны результаты ЭДС-микроанализа с выбранного участка монацита.

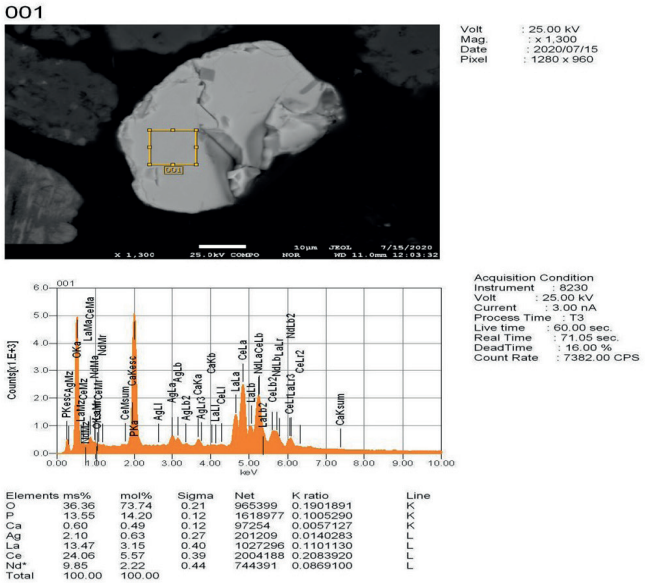


Рисунок 7– Монацит с включениями бадделеита (ZrO_2 - серый).
Размер 47.38x52.71 µm. Проба 2(B).

Согласно рис. 7 видно, что частица монацита помимо лантана и церия, которые являются наиболее часто встречающимися элементами, содержит и неодим.

По данным минералогического анализа продуктов шлиха кернового материала к основным, собственно, редкометальным минералам отнесены: тантал-колумбит, касситерит, вольфрамит, к редкоземельным минералам относится монацит, к радиоактивным – уранинит, к благородным рудным –золото, серебро и электрум. Остальные присутствующие минералы отнесены к другим рудным и акцессорным минералам.

Изучение минерального состава всех выделенных фракций шлиха сопровождалось открытием элементов посредством проведения капельно- микрохимического анализа с подбором соответствующих реактивов.

Таким образом, при выполнении данной работы были получены следующие основные результаты:

1. Выполнен комплекс исследований минерального состава кернового проб 3- х уранодобывающих предприятий, в том числе:

- литологическое описание керновых проб;
- локальный элементный состав керновых проб;
- фазовый анализ кернового материала, минералов РЗЭ и РМ;
- гранулометрический анализ руды с определением распределения элементов золота, РЗЭ и РМ по различным классам крупности.
- минералогический анализ (оптические и электронно-сканирующие методы спектрометрии);
- минераграфический анализ.

2. Минеральный состав кернового материала отработанных участков уранодобывающих предприятий весьма разнообразен и представлен широким спектром полезных ценных металлов. В результате проведения минералогического анализа продуктов шлиха кернового материала были выявлены редкометальные минералы (тантал-колумбит, касситерит, вольфрамит), редкоземельные минералы (монацит), радиоактивные (уранинит), благородные рудные (золото, серебро и электрум). Остальные присутствующие минералы отнесены к другим рудным и акцессорным минералам.

Полученные результаты работ являются посылом для проведения дальнейших исследований, направленных на разработку технологии ПСВ ЗиПЦК на отработанных блоках месторождений АО «НАК «Казатомпром».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дуйсебаев Б.О., Мукушева А.С., Суркова Т.Ю. О возможности извлечения благородных и редких металлов из урановых руд // Материалы Семинара № 20 «Перспективы развития физико-химических способов добычи полезных ископаемых» «Неделя горняка 2012», Россия, Москва, 2012.

2. Исследование и разработка технологии извлечения редких и благородных металлов из отработанных скважин урана методом ПСВ: Отчет о НИР №139/НАК-13 от 16.05.13. 2014. – 114 с.

3. Рид С. Лж. Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии – М.: Техносфера, 2008. – 232 с.

4. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Э. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2-х книгах. – М.: Мир, 1984.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТАНТАЛА МЕТОДОМ ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ИЗ РАСТВОРОВ ВСКРЫТИЯ ЖЕЛЕЗО-ТИТАНОВОГО КЕКА

Поветкин К.А.[1], Смирнов А.В.[1], Новиков М.Л.[2], Иванов С.В.[1], Нечаев А.В.[1]
[1]АО «ГК «Русредмет», г. Санкт-Петербург, Россия
[2]«ПКФ «Гефест», г. Кировград, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследования по жидкостной экстракции тантала из растворов после сульфатно-фторидного вскрытия железо-титанового кека. Эксперименты по экстракционному извлечению тантала проводились в статическом и динамическом режимах. Представлены результаты химического анализа полученных образцов оксида тантала.

Ключевые слова: железо-титановый кек, жидкостная экстракция, октанол-1, фтористоводородная кислота, серная кислота, оксид тантала.

RECOVERY OF TANTALUM FROM PREGNANT LIQUOR SOLUTIONS OF FE-TI CAKE BY SOLVENT EXTRACTION

Povetkin K.A.[1], Smirnov A.V.[1], Novikov M.L.[2], Ivanov S.V. [1], Nechaev A.V.[1]
[1]Group of companies “Rusredmet”, Saint Petersburg, Russia
[2]LLC “PKF “Gefest”

Abstract. The mixture of sulphuric and hydrofluoric acids was used for the Fe-Ti cake leaching. Results of recovery of tantalum from the pregnant liquor solutions by solvent extraction are presented. Experiments were carried out both in static and dynamic modes. Chemical analysis of the tantalum oxide obtained demonstrates high quality of samples.

Keywords: iron-titanium cake, hydrofluoric acid, sulfuric acid, solvent extraction, octanol-1, tantalum oxide.

Введение

В мире наблюдается устойчивый спрос на танталсодержащую продукцию. Благодаря уникальным электрофизическим свойствам, термостойкости, коррозионной устойчивости тантал применяется в электронике и электротехнике, металлургии, химическом машиностроении и других направлениях научно-технического прогресса. В связи с этим поиск источников сырья и их вовлечение в переработку для получения танталсодержащей продукции является весьма актуальной задачей.

Основными месторождениями этого вида редкометалльного сырья являются колумбит-танталитовые, пирохлоровые и микролитовые концентраты. Однако с учетом времени, необходимого на разработку новых месторождений и освоение технологических процессов переработки редкометалльных руд с получением готовой продукции, создания необходимой инфраструктуры и организационно-технических мероприятий, перспективным методом является вовлечение в переработку нетрадиционных источников редкометального сырья (остатков, отходов, кеков и т.д.). Для тантала таким сырьем могут быть различного рода танталсодержащие кеки, образующиеся при переработке танталсодержащего сырья.

Цель настоящей работы – провести исследования по селективному извлечению тантала методом жидкостной экстракции в статическом режиме и отработкой режимов в динамических условиях из сульфатно-фторидных растворов вскрытия железо-титанового кека для получения оксида тантала, удовлетворяющего требованиям твердосплавной промышленности.

Исходное сырье

В качестве исходного сырья для последующих исследований является раствор, полученный после сульфатно-фторидного вскрытия железо-титанового кека. Результаты химического анализа железо-титанового кека представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты химического анализа железо-титанового кека, масс.%

Содержание компонента, % на воздушно-сухую массу												
Nb_2O_5	Ta_2O_5	Fe	Mn	W	Ti	Zn	Al	Co	Cu	Ni	Cr	Si
4,20	7,31	13,5	<0,05	3,14	22,3	<0,05	1,23	0,90	0,43	<0,05	2,77	2,60

Результаты табл. 1 показывают, что соотношение Nb_2O_5/Ta_2O_5 (один из важнейших параметров, влияющий на параметры экстракционного разделения) составляет 0,6, а суммарное содержание ($Nb_2O_5+Ta_2O_5$) = 11,5%. По данному соотношению исходное сырье можно отнести к низкокачественному сырью с преобладающей долей оксида тантала в объеме выручки готовой продукции.

Также можно отметить значительное содержание титана, составляющее 22,3%. С учетом описанного, можно сделать вывод, что данный железо-титановый кек сопоставим с природными титано-ниобатами. Это позволяет применить для его переработки методы, используемые при вскрытии танталит-колумбитов.

Вскрытие исходного сырья

Для вскрытия и переработки редкометалльного сырья используется ограниченное количество методов, которые подразделяют на три группы: сплавление, хлорирование и разложение минеральными кислотами [1].

Для удобства дальнейшей переработки по экстракционной технологии вскрытие исходного железо-титанового кека проводилось в смеси серной и фтористоводородной кислот. На основании предварительно проведенных исследований были выбраны следующие условия:

- количество HF (в пересчете на 100 % HF) на 1 кг сухого кека – не более 1,05 кг/кг;
- количество H_2SO_4 (в пересчете на 100 % H_2SO_4) на 1 кг сухого кека – не более 0,45 кг/кг;
- соотношение твердой и жидкой фаз при вскрытии (расчетное) – 1:2;
- концентрация HF в исходной смеси при вскрытии – не более 400–450 г/л;
- концентрация H_2SO_4 в исходной смеси при вскрытии – 100–150 г/л;
- избыток HF от стехиометрически необходимого количества – 1,0–1,1 ед.;
- температура – не более 85–90 °С;
- продолжительность процесса – не более 3 часов.

Экстракционная очистка фтортанталовой кислоты

Для извлечения и разделения тантала и ниобия из фторидных сред было изучено значительное количество экстрагентов. По литературным данным с этой целью возможно использование более 60 экстрагентов: простых и сложных эфиров, аминов и других азотсодержащих веществ, фосфорсодержащих соединений, кетонов, альдегидов, спиртов, сульфоксидов и др. [2–4]. За рубежом промышленными экстрагентами для тантала и ниобия из фторидных сред являются метилизобутилкетон (МИБК), в России (и бывшем СССР) – трибутилфосфат (ТБФ) и циклогексанон (ЦГН). Общим недостатком данных экстрагентов является их высокая растворимость в воде и воды в них. Также метилизобутилкетон обладает высокой летучестью и, соответственно, относительно велики его потери на стадии экстракционного передела. Трибутилфосфат значительно разлагается в сульфатно-фторидных растворах, что приводит к загрязнению товарной ниобий- и танталсодержащей продукции фосфором. Пары циклогексанона могут образовывать с воздухом взрывоопасную смесь и соответственно, обладают повышенной взрывопожароопасностью. В последнее время большой интерес для практического использования в качестве экстрагентов для тантала представляет октиловые спирты, отличающиеся низкой растворимостью, высокой стабильностью в рабочих растворах, а также относительно низкой пожароопасностью.

Возможность применения спиртов (фракции C_6–C_{18}) в качестве экстрагентов ниобия и тантала из фторидных растворов, не содержащих другие минеральные кислоты, обсуждалась ещё в 60-х годах XX столетия. Данный экстрагент целесообразно использовать для извлечения тантала из слабокислых фторидных растворов. Например, из раствора, содержащего 5–20 г/л HF, тантал извлекается с коэффициентами распределения ~49,0. Ниобий спиртами в этих условиях практически не извлекается.

Важной характеристикой октанола-1 (далее ОКЛ) является его устойчивость при длительном контакте с технологическими растворами. Авторами [2] установлено, что с увеличением времени контакта ОКЛ с растворами 4 М HF, 5 М H_2SO_4 (V_o:$V_в$ = 1:1) до 280 суток, извлечение указанных кислот равномерно снижается с 36 до 26 и с 15 до 10% соответственно, причем ОКЛ остается пригодным для повторного использования. ОКЛ в отличие от ТБФ не разрушается при длительном контакте с сильнокислыми растворами серной, азотной, соляной и фтористоводородной кислот и их смесей.

На основании литературных данных и экспериментов по вскрытию железо-титанового кека наиболее целесообразной выглядит схема с селективной экстракцией тантала (т.е. переводом ниобия в рафинат) и последующей промывкой экстракта от присутствия ниобия и реэкстракциией тантала в чистый реэкстракт.

Для расчета процесса очистки фтортанталовой кислоты, выделения ее в индивидуальный реэкстракт, а

также очистка от примесей, т.е. определения количества ступеней (n) на каждом участке экстракционного каскада, соотношений объемных расходов органической и водной фаз, для определения состава растворов, подаваемых на каскад, необходимо определить экспериментально коэффициенты распределения D для тантала в экстракционной системе «октанол-1 – фторидно-сульфатный раствор, содержащий Ta_2O_5 и Nb_2O_5 » с использованием серной кислоты в качестве высаливателя тантала.

Экстракция в статическом режиме

Для определения коэффициента распределения (D), и последующего расчета экстракционного каскада, проводится несколько серий экстракций в статическом режиме. Исходными растворами являются растворы после вскрытия железо-титанового кека, полученные в различных условиях вскрытия (количество фтористоводородной кислоты на вскрытие).

Октанол-1 (экстрагент) предварительно отмывался сначала 2 раза раствором серной кислоты (~300 г/л), затем дважды промывался деионизированной водой, затем 1 раз – раствором фтористоводородной кислоты (реэкстрагирующий раствор HF = 3–5 г/л) при О:В = 1:1.

Эксперименты проводились следующим образом: в делительную воронку заливали требуемый объем водной и органической фаз. Затем включалась мешалка на оптимальных оборотах (без образования очень тонких нерасслаивающихся эмульсий) и проводился процесс экстракции (промывки, реэкстракции). По истечении 3-х минут мешалка выключалась, и измерялось по секундомеру время расслаивания фаз.

В ходе исследований достигается высокий коэффициент распределения тантала (5,6–11,0 ед.) и фактор разделения $\beta_{Ta2O5/Nb2O5}$, составляющий 54–187 (ед.), что позволяет осуществить процесс селективной экстракции тантала из продуктивного раствора после вскрытия за малое число ступеней экстракции (не более 5–6 шт.); при этом степень извлечения Ta_2O_5 за 1-й контакт достигает величин 79,2–91,4%.

Полученные коэффициенты распределения используются для проведения расчета числа ступеней экстракционного каскада.

Динамические испытания экстракционного выделения тантала

Экстракционный каскад для очистки фтортанталовой кислоты организован следующим образом.

В экстракционном каскаде задействовано 24 рабочих ступеней.

Для осуществления процесса экстракционной очистки фтортанталовой кислоты используется каскад цилиндрических смесительно-отстойных экстракторов марки ЛЭСОЦ-РПП-0,003-0,0003, оригинальной конструкции компании «Русредмет».

В качестве реагентов и вспомогательных материалов применяются следующие материалы:

- исходный продуктивный танталсодержащий раствор (состав в зависимости от условий вскрытия);
- спирт октиловый;
- кислота фтористоводородная техническая;
- кислота серная техническая;
- вода химически подготовленная.

Состав экстракционного каскада представлен в табл. 2, состав рабочих растворов на экстракционное выделение тантала – в табл. 3, результаты работы экстракционного каскада – в табл. 4.

Таблица 2 – Состав экстракционного каскада

Наименование контура	Количество камер	Соотношение О:В
Экстракция	6	1,0:1,0
Промывка №1	7	6,25:1,0
Промывка №2	5	12,5:1,0
Реэкстракция	6	3,1:1,0
Камеры отстоя для органической и водной фаз	5	-
Общее количество	**24**	-

Таблица 3 – Состав рабочих растворов на экстракционный каскад

Наименование раствора	Состав раствора, г/л
Экстрагент	Оборотный октанол-1 (ρ = 0,825 г/л).
Исходный раствор (получен после сульфатно-фторидного вскрытия железо-титанового кека)	Усредненный состав, г/л: Nb_2O_5 –12 -15; Ta_2O_5 – 33-45; Fe – 21-27; Mn – <0,01; Ti – 64,2; W – 5,6 – 8,2; Cr – 7,5 – 8; Al – 0,6 – 1,6; Si – 2,5 – 3; $F^-_{общ}$ – 190 – 200; $HF_{Своб}$ – 25 – 30; SO_4^{2-} – 120-125.

Промывной раствор №1	Раствор серной кислоты, H_2SO_4 ~ 150 г/л
Промывной раствор №2	Реэкстракт тантала (образующий при работе каскада)
Реэкстрагирующий тантал раствор	Раствор фтористоводородной кислоты, HF ~ 5 г/л

Таблица 4 – Результаты работы экстракционного каскада

Характеристика раствора	Время работы, ч	Концентрация элемента в растворе, г/л							ρ, г/см^3
		Nb_2O_5	Ta_2O_5	Fe	Mn	W	Ti	F	
Рафинат	12-24	12,4	<0,05	17,6	<0,1	6,6	53,5	185,2	1,272
Реэкстр. тантала		<0,05	159,6	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	102	1,168
Об. экстрагент		<0,05	0,75	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	1,88	0,835
Рафинат	24-36	13,2	<0,05	19,2	<0,1	7,2	57,7	193,2	1,281
Реэкстр. тантала		<0,05	140,7	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	100	1,162
Об. экстрагент		<0,05	0,94	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	2,01	0,837
Рафинат	36-48	12,9	<0,05	18,7	<0,1	7,05	56,9	187	1,277
Реэкстр. тантала		<0,05	168,8	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	102,5	1,167
Об. экстрагент		<0,05	1,2	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	2,1	0,838
Рафинат	48–60	13,4	<0,05	19,1	<0,1	7,02	57,9	186,2	1,278
Реэкстр. тантала		<0,05	170,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	102,9	1,172
Об. экстрагент		<0,05	1,28	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	2,2	0,833
Рафинат	60–72	11,2	<0,05	15,7	<0,1	6	48,3	183,9	1,237
Реэкстр. тантала		<0,05	173,7	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	102,5	1,175
Об. экстрагент		<0,05	1,45	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	2,3	0,811
Рафинат (усредн.)		11,8	0,10	17,5	<0,1	5,47	53,4	184,7	1,287
Реэкстр. тантала (усредн.)		<0,05	157,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	100,4	1,159
Об. экстрагент (усредн.)		<0,05	0,85	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	2,21	0,837

Из таблице 4 видно, что остаточная концентрация Ta_2O_5 в усредненном рафинате находится на уровне 0,1 г/л. При этом в «потоковых» пробах содержание составляет <0,05 г/л, что может быть признано удовлетворительным результатом. При данных условиях работы прямое извлечение Ta_2O_5 из исходного раствора в продуктивный реэкстракт составляет более 99,5%. Содержание Ta_2O_5 в реэкстракте на уровне ~140–170 г/л, при этом в реэкстракте отсутствует ниобий (содержание Nb_2O_5 <0,05 г/л). Концентрации железа, марганца, титана в рафинате находятся примерно на одном уровне, и заметного количества их в реэкстракте тантала не отмечается. Содержание тантала (Ta_2O_5) в оборотном экстрагенте, в основном, составляет в среднем 0,08 г/л; органическая фаза очищена от тантала и фтора и готова к повторному использованию в циклах экстракция-промывка-реэкстракция.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что содержания контролируемых компонентов, непосредственно влияющих на качественные показатели работы экстракционного каскада (а именно – H_2SO_4, $HF_{своб}$) являются достаточными для осуществления селективной экстракции тантала. По итогам динамических испытаний проводилось снятие т.н. «разреза» экстракционного каскада, результаты его представлены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Анализ «разреза» экстракционного каскада

Как видно из данных рисунка 1, содержание Ta_2O_5 в органической фазе на стадии экстракции увеличивается с 0,16 г/л (камера 2) до ~66,9 г/л (камера 7), что указывает на состояние, близкое к насыщению (которое составляет ~70–73 г/л). При этом видно, что Ta_2O_5 вытесняет Nb_2O_5 из фазы экстрагента, т.к. последний имеет большую селективность по Ta_2O_5 в данных условиях (т.е. фактически осуществляется селективная экстракция тантала относительно ниобия). На стадии промывки «снимается» значительное количество» Ta_2O_5 (содержание достигает 257–303 г/л в промывных водах), поступающее обратно на стадию экстракции и повышающее содержание Ta_2O_5 в водных фазах камер 2–7. В промывном контуре концентрация Ta_2O_5 в органической фазе уменьшается до 56,3 г/л, также снижается до <0,05 г/л содержание Nb_2O_5 в промытом экстракте (камера 15), что также коррелирует с данными по водной фазе.

По окончании динамических исследований реэкстракт тантала отправляли на осаждение гидроксида аммиачной водой, с последующей прокалкой его до оксида тантала. Химический состав полученных проб оксида тантала в сравнении с марками 1 и 2 (производство ОАО «Соликамский магниевый завод» по ТУ 1764-348-00545484-95) представлен в табл. 5.

Таблица 5 – Химический состав полученных проб оксида тантала в сравнении с марками 1 и 2

Элементы	Содержание по маркам в соответствии с ТЗ, ppm		Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Соответствие содержания примеси (+/-)	
	Марка 1	Марка 2					Марке 1	Марке 2
Ta_2O_5, min	99,9	99,8	Примеси (факт), ppm					
Примеси (max)								
W	40	40	40	40	40	40	+/+/+/+	+/+/+/+
Ti	60	90	5	50	10	10	+/+/+/+	+/+/+/+
Si	60	90	50	50	50	50	+/+/+/+	+/+/+/+
Fe	50	60	50	50	50	50	+/+/+/+	+/+/+/+
Co	10	20	3	3	3	3	+/+/+/+	+/+/+/+
Sn	10	10	3	3	3	3	+/+/+/+	+/+/+/+
Ca	50	50	10	10	10	10	+/+/+/+	+/+/+/+
Al	10	10	5	5	5	5	+/+/+/+	+/+/+/+
Mn	10	10	3	3	3	3	+/++/+	+/+/+/+
Mg	10	20	5	10	5	5	+/+/+/+	+/+/+/+
Mo	10	20	6	6	6	6	+/+/+/+	+/+/+/+
Ni	10	20	10	10	10	10	+/+/+/+	+/+/+/+
Cr	10	20	7	7	7	6	+/+/+/+	+/+/+/+
Nb	300	400	300	300	260	200	+/+/+/+	+/+/+/+
Zn	40	50	3	3	3	3	+/+/+/+	+/+/+/+
Na+K	120	160	100	100	100	100	+/+/+/+	+/+/+/+
Потери при прокаливании, %	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	+/+/+/+	+/+/+/+
d (ср), мкм			1,05	1,22	1,25	1,16		

Опытно-промышленные испытания

По результатам цикла физико-химических исследований и лабораторных испытаний разработана технология переработки танталсодержащих остатков, включающая в себя сульфатно-фторидное вскрытие железо-титанового кека и экстракционную очистку фтортанталовой кислоты с последующим получением пентаоксида тантала в качестве готовой продукции.

Выполнен комплекс необходимых работ с выбором эффективного селективного к танталу экстрагента, разработкой аппаратурно-технологической схемы, подготовкой исходных данных для проектирования опытно-промышленной установки (производительностью 2,0 т/год по пентаоксиду тантала), проведение расчетов и разработкой конструкторской документации на основное технологическое оборудование. Изготовлено, укомплектовано и поставлено более 100 единиц оборудования, большая часть из которого, такого как экстракционное, реакторное, емкостное, фильтрационное оборудования, изготовлено на производственной площадке АО «ГК «Русредмет»;

По окончании проектирования проведены монтажные и пуско-наладочные работы на нейтральных средах с выявлением и устранением неполадок технологического оборудования, а также на рабочих средах с последующим проведением балансовых испытаний с подтверждением требуемых показателей процесса и качества готовой продукции;

Опытно-промышленная установка была размещена в одном из технологических корпусов предприятия по получению твердых сплавов в Свердловской области. Изображения экстракционного каскада (производительность – 60 л/час по сумме фаз) представлены на рис. 2.

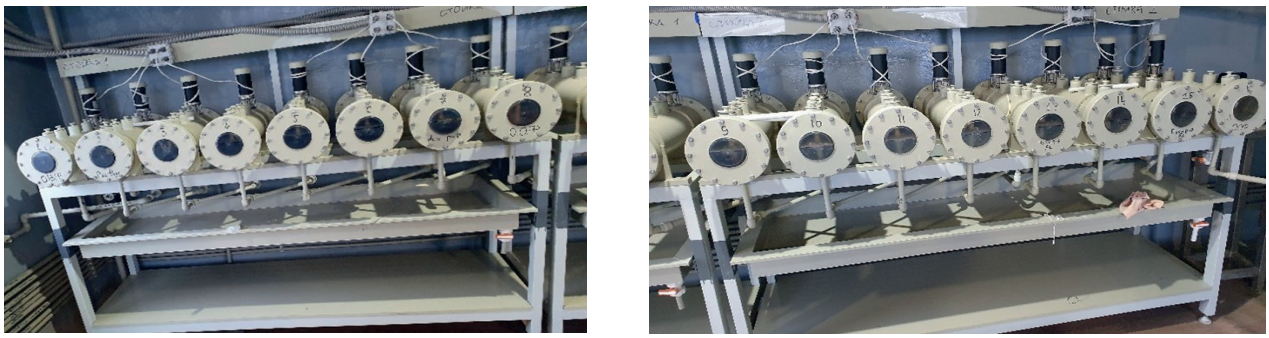


Рисунок 2 – Экстракционный каскад извлечения и очистки фтортанталовой кислоты

ВЫВОДЫ ПО ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ

1. В результате испытаний по вскрытию исходного железо-титанового кека установлено, что использование растворов фтористоводородной и серной кислот приводит к получению продуктивных танталсодержащих растворов при достаточно высоких степенях извлечения (более 90%). Способ сульфатно-фторидного вскрытия исходного сырья является приемлемым с точки зрения извлечения тантала из отходов производства твердых сплавов и последующего экстракционного извлечения тантала;

2. В ходе исследований по экстракционному выделению тантала в статическом режиме определены условия, при которых достигается наиболее полное селективное извлечение его в танталсодержащий реэкстракт, а именно: H_2SO_4 – не менее 100–150 г/л, $HF_{своб}$ – 25–30 г/л, Ta_2O_5 – фактическое количество (30–50 г/л);

3. Экспериментальным и расчетным путем определено количество камер в экстракционном каскаде (24 ед.), предназначенном для очистки фтортанталовой кислоты из растворов после вскрытия железо-титанового кека;

4. В рамках комплекса работ проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания технологии экстракционного извлечения тантала из железо-титанового кека. Преимущества данной технологии:

- высокая степень извлечения компонентов в продуктивный раствор на стадии вскрытия исходного сырья;
- использование коммерчески доступных реагентов;
- чистота полученного оксида тантала соответствует требованиям ТУ 1764-348-00545484-95.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зеликман А.Н. Ниобий и тантал / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов, А.В. Елютин, А.М. Захаров. – М.: Металлургия, 1990. – 296 с.

2. Экстракция ниобия и тантала октанолом в технологии редкометального сырья: Дисс... канд. техн. наук / В.В. Бакланова. – Апатиты, 2004. – 155 с.

3. Калинников В.Т. Гидрометаллургическая комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометального и алюмосиликатного сырья / В.Т. Калинников. А.И. Николаев, В.И. Захаров. – Апатиты: Кольский научный центр РАН. – 1999. – 225 с.

4. Бабкин А.Г. Экстракция ниобия, тантала и других элементов из фторидных растворов / Бабкин А.Г., Майоров В.Г., Николаев А.И. – Л.: Наука, 1988. – 223 с.

РЗМ-СОДЕРЖАЩИЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА

Бочевская Е.Г.[1], Шарипова А.С.[1], Килибаева С.К.[1], Саргелова Э.А.[1]
[1]АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского»,
г. Алматы, Республика Казахстан
elena_bochevskaya@mail.ru

Аннотация. Рост мирового спроса на редкие земли непосредственным образом оказывает влияние на развитие редкоземельной отрасли с привлечением минерального и техногенного сырья сложного состава. В докладе рассматривается вопрос привлечения в качестве сырьевых источников как урановых руд, так и техногенных отходов, в частности, шлаков фосфорного производства для извлечения из них востребованных в высокотехнологичных отраслях редкоземельных металлов (далее РЗМ). Дана количественная оценка содержания РЗМ в пробах из месторождений Шу-Сарысуйской урановой провинции: Аппак, Инкай и Хорасан. Приводятся концентрации редкоземельных металлов в технологических растворах от переработки урановых руд подземным скважинным выщелачиванием. Выданы рекомендации по извлечению РЗМ из растворов. Представлена технологическая схема переработки фосфорного шлака с получением объединенного концентрата РЗМ и осажденного диоксида кремния.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, месторождения, урановые руды, отходы, шлак, извлечение, концентрат

REMs-CONTAINING RESOURCES OF KAZAKHSTAN

Bochevskaya Ye.G.[1], Sharipova A.S.[1], Kilibaeva S.K.[1], Sargelova E.A.[1]
[1]JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry», Almaty, Republic of Kazakhstan.

Abstract. The growth in global demand for rare earths directly affects the development of the rare earth industry with the involvement of mineral and technogenic raw materials of complex composition. The report examines the issue of using both uranium ores and technogenic wastes, in particular, slags from phosphorus production, as raw material sources to extract from them rare earth metals (hereinafter referred to as REMs) that are in demand in high-tech industries. A quantitative assessment of the REM content in samples from deposits of the Shu-Sarysu uranium province: Appak, Inkai and Khorasan is given. The concentrations of rare earth metals in process solutions from the processing of uranium ores by underground borehole leaching are given. Recommendations were issued for the extraction of rare earth metals from solutions. A technological scheme for processing phosphorus slag with the production of a combined rare earth metal concentrate and precipitated silicon dioxide is presented.

К редкоземельным металлам относится группа из 17 элементов, куда входят скандий, иттрий, лантан и лантаноиды (гадолиний, гольмий, диспрозий, европий, иттербий, лютеций, неодим, празеодим, прометий, самарий, тербий, тулий, церий, эрбий).

По оценкам и расчетам группы MetalResearch [1], мировой рынок редкоземельных металлов в 2022 г. показал значимое увеличение объема продаж во 2-м квартале 2022 г. Если в 1 квартале 2020 г. объем продаж на рынке редкоземельных металлов оценивался в $322 022 тыс., то уже в 2 квартале 2022 г. – в $820 385 тыс. Однако более иллюстрирующая динамика наблюдается именно в денежном выражении (рисунок 1), поскольку этот показатель оценивает количество денежных средств, оборачивающихся на данным рынке.

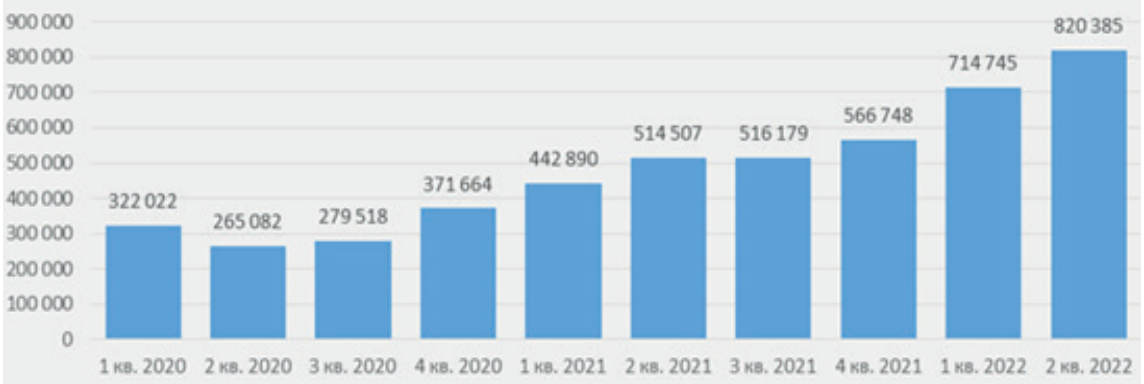


Рисунок 1 – Динамика продаж на мировом рынке редкоземельных металлов (РЗМ) в 2020–2022 гг. [1]

По оценкам работы [2] суммарное потребление РЗМ в мире составило около 200 тыс. т в 2019 г., что соответствует примерно 8-10 млрд долл. США. К 2025 г. рынок РЗМ может вырасти до уровня 14–15 млрд долл. США со среднегодовым темпом роста 8,6%. При этом объем глобального рынка высокотехнологичных продуктов, для производства которых необходимы РЗМ, может составлять порядка 2,5 трлн долл. США, что соответствует 13% от мировой торговли.

Среди стран поставщиков на мировом рынке редкоземельных металлов, которых оценили MetalResearch [1] во 2-м квартале 2022 г. на первые места, не считая России вышли: Китай с долей 28,53%, Малайзия с долей 26,03%, США – 20,67% (рисунок 2). По результатам анализа, среди заметных стран-поставщиков: Япония, Таиланд, Франция, Эстония, Нидерланды, Норвегия, Гонконг (Китай) и другие страны.

Эти металлы востребованы в высокотехнологичных отраслях. Их используют при производстве высокоэнергетических постоянных магнитов, современных конструкционных материалов, оптики и стекла, а также в радиоэлектронике, атомной технике, машиностроении, химической, нефтехимической и стекольной промышленностях. Автомобилестроение потребляет тысячи тонн РЗМ каждый год, без них не могут обойтись современные военные технологии. Многие «зеленые» инновации также зависят от этих элементов, включая ветровые турбины, энергосберегающие лампочки и гибридные двигатели автомобилей.

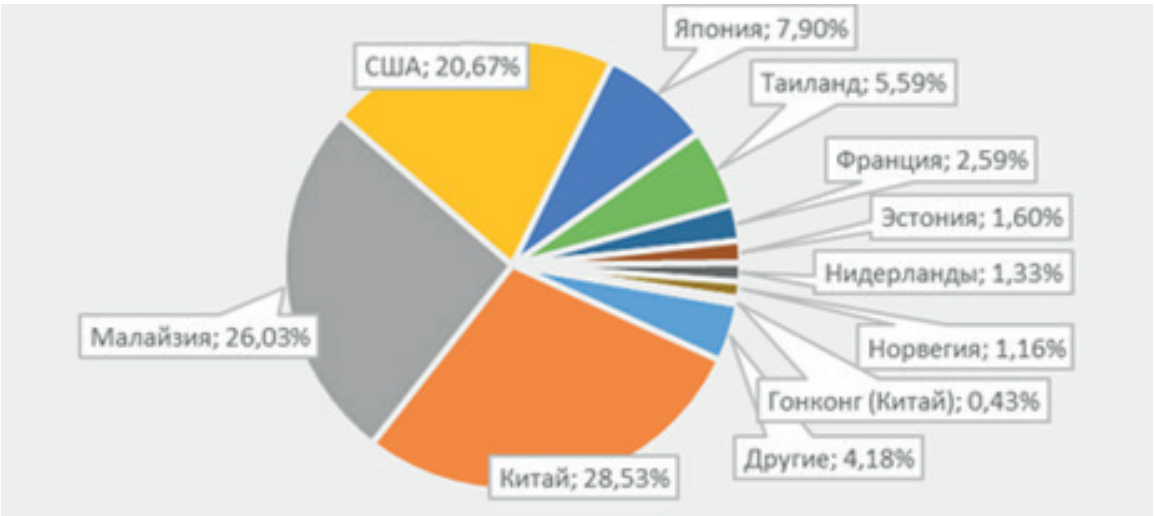


Рисунок 2 – Доли стран мира в продажах на мировом рынке редкоземельных металлов (РЗМ) в 2 кв. 2022 [1]

В Казахстане редкоземельные элементы содержатся в титано-редкоземельном месторождении Кундыбай, в редкометалльных месторождениях Жанет, Южный Жаур, Коктенколь, Верхнее Эспе, Карасу, а также в фосфоритовом массиве Каратау. Кроме этого, значительные объемы РЗМ содержат урановые месторождения.

В настоящее время на предприятиях нашей страны, где редкие металлы являются сопутствующей продукцией, их выпуск заметно снизился, некоторые производства остановлены. Так как, Иртышский химико-металлургический завод ранее выпускал более 45 наименований редкометалльной и редкоземельной продукции. Сейчас он не работает из-за отсутствия сырья.

Президент Касым-Жомарт Токаев в Послании народу Казахстана (от 31.08.2023 г.) заявил, что одной из приоритетных задач должно стать освоение залежей редких и редкоземельных металлов, по сути превратившихся в «новую нефть». Страны, которые смогут реализовать свой потенциал в этой сфере, будут определять вектор технологического прогресса всего мира.

Рост мирового спроса на РЗМ непосредственным образом оказывает влияние на развитие редкоземельной отрасли с привлечением минерального сырья сложного состава.

Высокие содержания редкоземельных металлов являются характерной особенностью только для некоторых урановых месторождений Казахстана.

Анализ проб из месторождений Шу-Сарысуйской урановой провинции: Аппак, Инкай и Хорасан показал (таблица 1), что они обеднены РЗМ в сравнении с кларковыми содержаниями. Рентгенофлуоресцентный анализ выполнен на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном приборе с полупроводниковым детектором РЛП-21 в Институте ядерной физики.

В связи с этим актуальным представляется разработка селективных методов извлечения и концентрирования РЗМ для выделения их из разбавленных сернокислых растворов, образующихся после сорбции урана при переработке руд подземным скважинным выщелачиванием.

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб

Элементы	Проба 2		Проба 7		Проба 16	
	сод-ние, %	погрешность, ±	сод-ние, %	погрешность, ±	сод-ние, %	погрешность, ±
La	0,001336	0,000034	0,002477	0,000043	0,001694	0,000031
Ce	0,003195	0,00004	0,005227	0,000051	0,00411	0,000037
Pr	0,000418	0,000054	0,000679	0,000065	0,000469	0,000048
Nd	0,001417	0,000063	0,00239	0,000079	0,001674	0,000057
Sm	<0.0001	-	0,00062	0,00017	0,00028	0,00012
Eu	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-
Gd	0,00025	0,00018	0,00057	0,00022	0,00035	0,00016
Tb	0,00012	0,00019	0,00032	0,00024	<0.0001	-
Dy	0,0002	0,00025	0,0004	0,00031	0,0001	0,00023
Ho	<0.0001	-	<0.0001	-	0,00011	0,00037
Er	0,00068	0,00044	<0.0001	-	0,00033	0,00041
Tm	0,00049	0,00067	<0.0001	-	<0.0001	-
Yb	<0.0001	-	0,0002	0,0012	<0.0001	-
Lu	0,0004	0,0015	0,0002	0,0019	0,0013	0,0014
Y	0,001933	0,000054	0,003278	0,000071	0,002834	0,000046

В работе [3] представлены концентрации попутных компонентов в технологических растворах по 8-ми рудникам АО «НАК «Казатомпром» (таблица 2).

В связи с тем, что редкоземельные металлы в сернокислых растворах присутствуют в катионной форме, они не могут быть извлечены из продуктивного раствора с помощью анионитов, например, как уран. Поэтому их концентрации практически остаются на одном уровне, как в продуктивном растворе (ПР), так и маточнике сорбции урана (МСУ) (таблица 2).

После проведения операции сорбции урана обедненный раствор возвращается через закачные скважины в рудоносный горизонт. За счет большого объема циркуляционного раствора извлечение РЗМ может представлять промышленный интерес.

Редкоземельные металлы довольно распространены в земной коре и встречаются в природе совместно, однако капитальные затраты на их добычу относительно высоки (порядка $ 40 тыс. на тонну – по данным Roskill Information Services [4]).

Другим весьма перспективным сырьевым источником редкоземельных металлов являются фосфорные шлаки от переработки фосфоритов Каратау [5].

Предложена технология переработки шлаков фосфорного производства с получением концентрата редкоземельных металлов и попутным извлечением осажденного диоксида кремния (рисунок 3) [5, 6].

Таблица 2 – Средняя концентрация РЗМ в технологических растворах [3]

Элемент	Содержание РЗМ, мкг/дм^3															
	Рудник 1		Рудник 2		Рудник 3		Рудник 4		Рудник 5		Рудник 6		Рудник 7		Рудник 8	
	ПР	МСУ	ПР	МСУ	ПР	МСУ	ПР	МСУ	ПР	МСУ	ПР	МСУ	ПР	МСУ	ПР	МСУ
Re	378,9	362,89	71,9	68,5	458	443	2,60	1,90	73,3	72,8	**74,58**	**73,4**	17,2	16,6	77,82	72,5
Sc	277,63	287,53	189,6	182,4	220,4	214,2	120,5	123,0	190,0	192,9	**321,54**	**324,75**	87,32	89,34	97,06	91,36
La	3751,74	3751,74	2886	2939	5619	5950	1778	1631	1197	1158	**6627,45**	**6961,54**	1054	972	2226	2428
Ce	9 784,62	9 713,62	6599	6661	13186	13647	3615	3065	2638	2535	**15142,0**	**15252,64**	2036	1919	5123	5492
Pr	745,47	745,47	723,1	736,1	1509	1583	364,3	296,4	318,1	306,0	**1740,89**	**1643,98**	223,2	231,8	666,1	691,2
Nd	3 125,98	3 125,98	3156	3168	6162	6338	2012	1963	1364	1308	**6237,49**	**5971,13**	967,1	812,0	2915	3057
Sm	804,02	798,13	695,2	692,1	1352	1428	403,0	352,2	328,7	316,3	**1658,62**	**1592,78**	242,7	231,2	486,0	507,1
Eu	204,11	202,11	151,1	150,2	299,2	312,0	87,8	82,4	75,5	72,7	**324,93**	**351,01**	50,2	47,4	158,1	160,0
Gd	1 403,69	1 409,54	884,1	890,2	1638	1731	494,1	468,0	468,9	446,0	**1788,99**	**1673,22**	251,1	210,1	785,4	743,2
Tb	187,05	187,09	109	110	194	205	91,2	94,3	64,2	61,0	**127,68**	**119,78**	26,6	24,2	98.2	101,0
Dy	1 156,57	1 146,97	543,0	540,0	932,0	987,0	339,0	394,0	343,0	330,0	**905,616**	**899,65**	182,0	170,0	469,0	526,1
Ho	-	-	96,2	96,7	166	173	84,2	81,3	64,8	61,1	-	-	31,2	30,10	89,2	93,2
Er	472,46	468,45	252,1	247,2	415,4	436,5	214,3	221,4	161,6	156,5	**261,77**	**297,28**	75,3	69,4	210,0	229,8
Tm	45,82	45,71	30	30,2	50,1	53,1	44,90	43,60	44,10	44,30	**88,69**	**77,87**	8,2	8,10	24,9	26,6
Yb	296,51	294,12	169	171	286	296	169,00	183,00	110,00	102,00	**285,27**	**268,3**	59,1	52,8	194,2	207,0
Lu	76,07	76,0	23,00	23,00	38,1	39,9	43,40	44,60	43,50	43,60	**0,06**	**0,05**	6,5	6,1	26,8	28,5
Сумма РЗМ	22054,11	21964,93	16316,8	16454,7	31846,8	33179,5	9740,2	8920,2	7221,4	6040,5	**35189,46**	**35109,23**	5213,2	4784,2	13373,7	14290,7

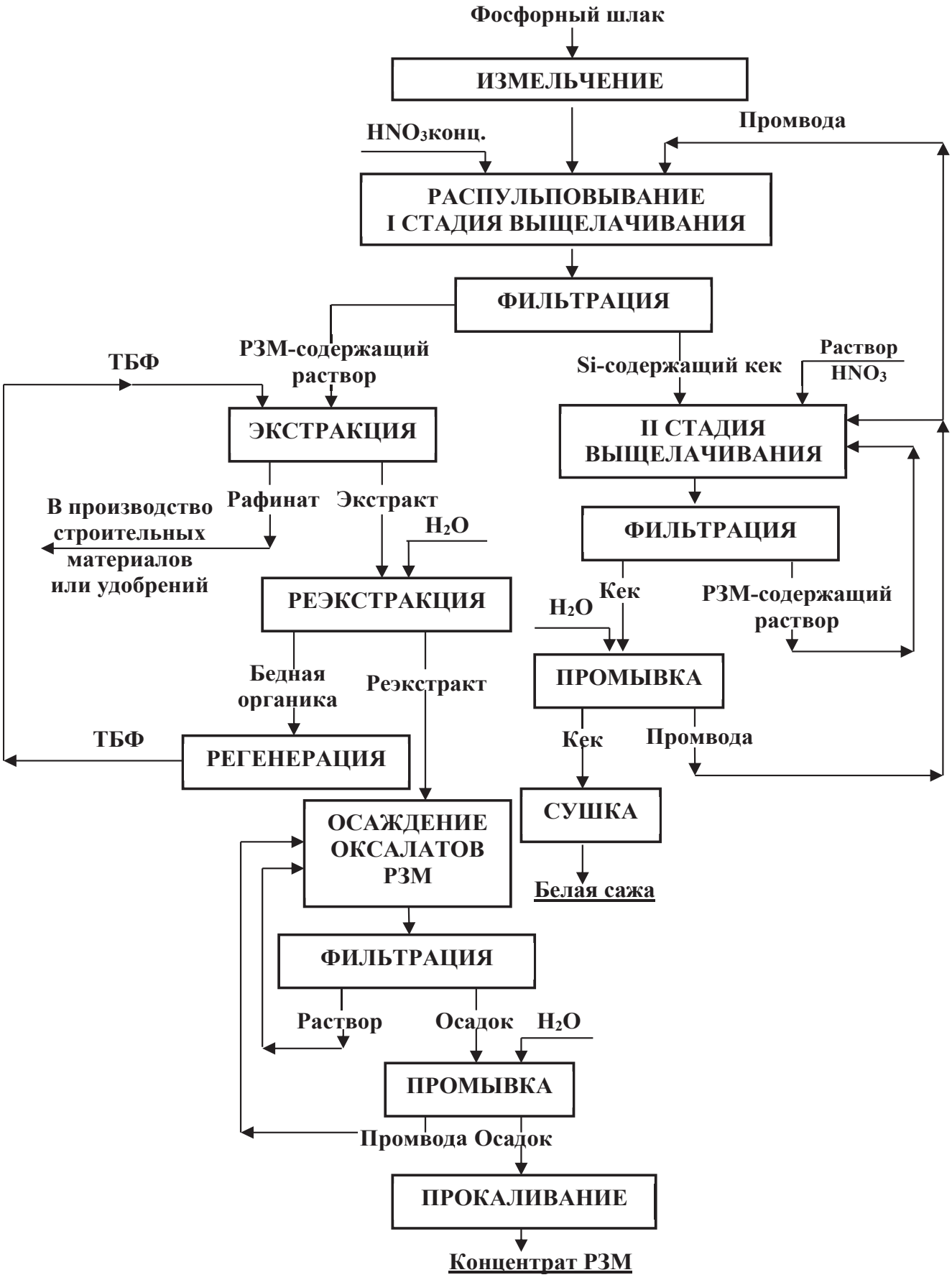


Рисунок 3 – Технологическая схема переработки шлаков фосфорного производства с получением концентрата редкоземельных металлов и попутным извлечением осажденного диоксида кремния

При переработке фосфорного шлака, содержащего около 0,05-0,06 % ∑РЗМ, с проведением процессов азотнокислого выщелачивания, экстракции 3,66 моль/дм3 ТБФ, реэкстракции водой, осаждением оксалатного осадка и его прокаливанием можно получить концентрат с содержанием ~ от 15,0 до 17,0 % ∑ оксидов РЗМ.

Маточный раствор, полученный после отделения осадка оксалатов РЗЭ фильтрацией и содержащий остаточное количество редкоземельных металлов, можно возвращать с целью доизвлечения ценных компонентов либо на стадию осаждения оксалатов РЗМ либо на стадию реэкстракции.

Из присутствующих в фосфорном шлаке редкоземельных элементов к группе легких лантаноидов относятся лантан, церий, празеодим, неодим, европий и гадолиний, к группе тяжелых – иттербий и лютеций.

Следует отметить [5], что в коллективном концентрате от скандия до лютеция и иттрия, т.е. от легких РЗМ к тяжелым, концентрирование возрастает, увеличиваясь в ~2 раза (рисунок 4). Это обстоятельство является важным, если учесть, что металлы группы тяжелых РЗМ присутствуют в природном сырье в значительно меньшем количестве и имеют большую ценность.

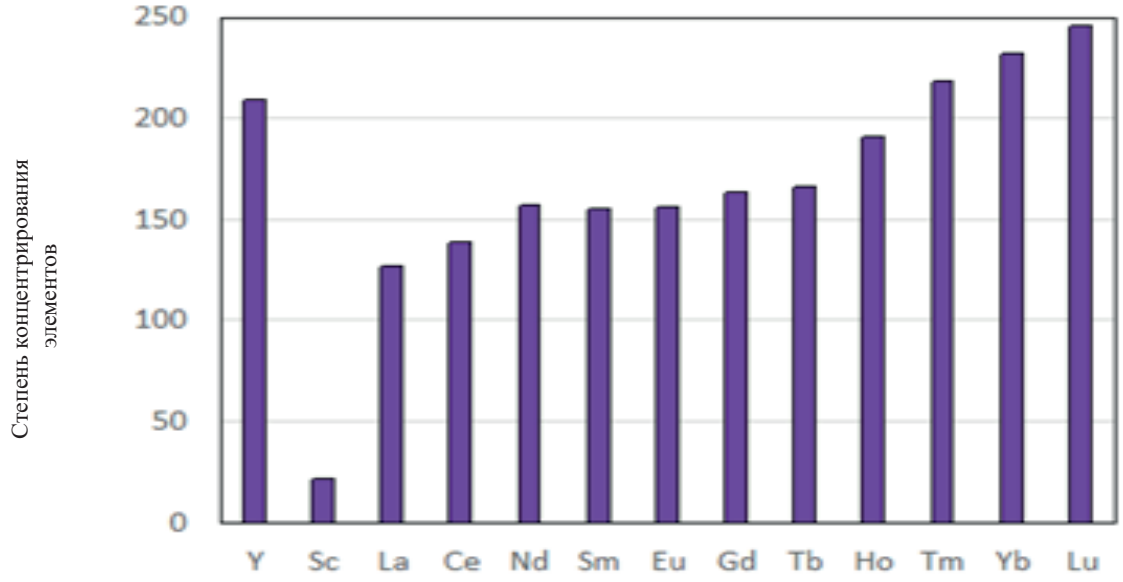


Рисунок 4 – Степень концентрирования индивидуальных РЗМ в концентрате

Это обстоятельство является важным, если учесть, что металлы группы тяжелых РЗМ присутствуют в природном сырье в значительно меньшем количестве и имеют большую ценность.

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод о необходимости переработки не только минеральных руд с извлечением редкоземельных металлов, но обратить внимание и на техногенные РЗМ-содержащие отходы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рынок редкоземельных металлов (РЗМ) 2023 – Анализ рынка [Электронный ресурс] – https:metalresearch.ru>rare_earth, дата обращения: 08.04.2024 г.

2. Goodenough K. M., Wall F., Merriman D. The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. Natural Resources Research //https://mining-media.ru/ru/article/newtech/16121-redkozemel-naya-promyshlennost-realizovat-imeyushchiesya-vozmozhnosti. – 2018. –V. 27(2). – P. 201–216. DOI: 10.1007/s11053-017-9336-5.

3. Есимканова У.М. Разработка технологии извлечения сопутствующих редкоземельных металлов при подземном выщелачивании урана: дис. … PhD: 6D072000 / Есимканова Умит Мусабековна. – Алматы, 2022. – 149 с. – Библиогр.: С. 136–143.

4. Roskill Information Services Ltd – Company Profile and News Bloomberg [Электронный ресурс] https://www.bloomberg.com *› profile › company*

5. Abisheva Z. S, Karshigina Z. B., Bochevskaya Ye. G., Ata Akcil, Sargelova E. A., Kvyatkovskaya M. N., Silachyov I. Yu. Recovery of rare earth metals as critical materials from phosphorus slag of long-term storage // J. Hydrometallurgy. – 2017. – Vol. 173. – P. 271–282.

6. Bochevskaya Ye., Sharipova A., Sargelova E. Recovery of rare-earth metals from nitrate solutions by extraction method // Proceeding of the 2022 ISEC, Gothenburg, Sweden, 26 – 30 September, 2022, 5. Hydrometallurgy and Recycling, Report 5.3, P. 56–61.

РАЗДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ СРЕДНЕТЯЖЕЛОЙ ГРУППЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СМЕШАННОГО ЭКСТРАГЕНТА ТАБАН-ТБФ-ИЗООКТАНОЛ-ПАРАФИН

Жуков С.В.[1], Мигаенко Е.С.[1], Зайцева Т.Н.[1], Нечаев А.В.[1]
[1]АО «ГК «Русредмет», г. Санкт-Петербург, Россия
emigaenko@rusredmet.ru

Аннотация. Исследована возможность разделения концентрата среднетяжелой группы РЗЭ, выделенного из лопаритового концентрата, смешанным экстрагентом ТАБАН-ТБФ-изооктанол-парафин. Предложены параметры проведения стадий экстракции, насыщения и промывки органической фазы, реэкстракции. Рассчитаны коэффициенты распределения Sm, Eu, Gd и факторы разделения пар Sm/Eu, Eu/Gd и Gd/Tb, построены их графические зависимости от концентрации ΣРЗО в исходном растворе. Построены графические зависимости концентрации лантанидов в органической фазе от номера контакта при насыщении и промывке органической фазы. Получены экспериментальные образцы карбоната самария, карбоната европия и карбоната гадолиния.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, самарий, европий, гадолиний, экстракция, трибутилфосфат, нитрат триалкилбензиламмония, смешанный экстрагент, нитратные растворы

THE SEPARATION OF MEDIUM-HEAVY RARE EARTH ELEMENTS USING A MIXED EXTRACTANT TABAN-TBP-ISOOCTANOL-PARAFFIN

Zhukov S.V.[1], Migaenko E.S.[1], Zaitseva T.N.[1], Nechaev A.V.[1]
[1]Group of companies “Rusredmet”, Saint Petersburg, Russia
emigaenko@rusredmet.ru

Abstract. The possibility of separating the concentrate of the medium-heavy rare earth elements from loparite concentrate using a mixed extractant TABAN-TBP-isooctanol-paraffin was investigated. The parameters of the stages of extraction, saturation and washing of the organic phase, and stripping are proposed. The distribution coefficients for Sm, Eu, Gd and the separation factors for the pairs Sm/Eu, Eu/Gd and Gd/Tb are calculated. The distribution ratio curves and the separation factor curves are plotted. Graphical representations of the concentration of lanthanides in the organic solution as a function of contact number during saturation and washing processes of the organic phase are plotted. Experimental samples of samarium carbonate, europium carbonate and gadolinium carbonate were obtained.

Keywords: rare earth elements, samarium, europium, gadolinium, extraction, tributylphosphate, trialkylbenzylammonium nitrare, mixed extractant, nitrate solutions

Введение

Развитие высокотехнологичных отраслей промышленности требует применения редкоземельных элементов (РЗЭ). Они являются основой для таких сфер, как атомная промышленность, производство керамики, электронной техники, постоянных магнитов, люминофоров.

Устойчиво растет спрос на металлические индивидуальные лантаноиды и иттрий, а также на их чистые соединения. В связи с этим разработка технологических схем разделения РЗЭ с получением данных продуктов является актуальной задачей.

Для разделения нитратов РЗЭ среднетяжелой группы широкое применение нашли синергетные смеси экстрагентов, состоящие из солей четвертичных аммониевых оснований (ЧАС) и нейтральных фосфорорганических соединений (НФОС) [1].

В частности, синергетная смесь нитрата триалкилметиламмония (ТАМАН) и трибутилфосфата (ТБФ) наиболее селективна для извлечения РЗЭ средней группы – самария, европия и гадолиния [2–3]. Особое преимущество смеси данного состава заключается в возможности извлечения РЗЭ из низкокислотных нитратных растворов. Другими возможными компонентами синергетных смесей являются нитрат триалкилбензиламмония (ТАБАН), диизооктилметилфосфонат (ДИОМФ), триоктилфосфиноксид (ТОФО).

Целью работы является изучение возможности экстракции редкоземельных элементов среднетяжелой группы из слабокислого нитратного раствора смешанным экстрагентом ТАБАН-ТБФ-изооктанол-парафин.

При экстракции смесями экстрагентов увеличиваются коэффициенты распределения извлекаемых компонентов за счет возникновения синергетического эффекта, который обуславливает, что два экстрагента, взятые вместе, экстрагируют различные ионы металлов с большей эффективностью, чем экстрагенты той же концентрации, взятые в отдельности.

В работах [4–5] показано, что при экстракции синергетными смесями ЧАС и НФОС при увеличении концентрации РЗЭ в исходном растворе снижаются факторы разделения РЗЭ среднетяжелой группы. Также установлено, что коэффициенты распределения элементов и факторы разделения РЗЭ средней группы возрастают при объемном содержании НФОС 10-20% в смеси.

Экстракция РЗЭ смесью ЧАС и НФОС протекает по сольватному механизму с образованием смешанных комплексов:

$$Ln^{3+}_{водн} + 3NO_3^-{}_{водн} + nR_4NNO_{3орг} + mS_{орг} = (R_4N)_n[Ln(NO_3)_{3+n}\cdot mS]_{орг,} \quad (1)$$

где R_4NNO_3 – молекула ЧАС в нитратной форме; Ln – лантанид; S – молекула НФОС; n = 1-3; m = 1-4.

Согласно исследованиям [6-8], РЗЭ легкой группы образуют однозарядный нитратный комплекс с одной молекулой НФОС или двухзарядный комплекс с 1–2 молекулами НФОС. РЗЭ среднетяжелой группы образуют однозарядный нитратный комплекс с 2–4 молекулами НФОС и двухзарядный комплекс с 1–2 молекулами НФОС.

Материалы и методы

В качестве исходных реагентов для приготовления экстракционной смеси использовались экстрагенты ТАБАХ (хлорид триалкилбензиламмония) производства РФ с содержанием основного вещества 50 % масс. в пропил-бутиловом растворителе и ТБФ (Китай), изооктиловый спирт (РФ) в качестве модификатора и парафин фракции С13 (РФ) в качестве разбавителя. Состав экстракционной смеси представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав экстракционной смеси

Компонент	Содержание компонента, % об.
ТАБАХ	40
ТБФ	15
Изооктанол	15
Парафин С13	30

Для конверсии приготовленной экстракционной смеси в нитратную форму (ТАБАН) использовались следующие реактивы: NH_4NO_3 квалификации «ч.», HNO_3 57%, высший сорт. Органическая фаза контактировала с раствором NH_4NO_3 с концентрацией 500 г/л и pH ≈ 3 в течение 30 минут. Затем органическая фаза четырехкратно промывалась свежими порциями дистиллированной воды для отмывки от хлорид-иона. Контакты фаз при конверсии и промывке осуществлялись в делительных воронках при помощи мешалок [9].

Концентрация ТАБАН в приготовленном экстрагенте определялась потенциометрическим титрованием йодидной формы ЧАС. Титрование проводилось 0,1 М раствором $AgNO_3$ в среде изопропилового спирта в присутствии йодид-селективного электрода ЭЛИТ-281 [10].

Исходным сырьем для приготовления водных растворов РЗЭ служил концентрат среднетяжелой группы (СТГ) РЗЭ, выделенный из лопаритового концентрата. Химический состав концентрата приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав концентрата среднетяжелой группы РЗЭ

Состав, % масс. (на абс. сухое вещество)							
Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Tb_2O_3	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3	Y_2O_3
63,5	10,47	13,64	1,00	2,77	0,27	0,31	2,79

Экстракционное разделение по линии Sm/Eu

Для изучения экстракционного разделения РЗЭ по всем линиям исходные растворы готовились в диапазоне концентраций 150-380 г/л.

Для исследования экстракционного деления по линии Sm/Eu исходные растворы РЗЭ готовились растворением точной навески концентрата СТГ РЗЭ в расчетном количестве HNO_3 57 %. Кислотность растворов РЗЭ составляла 0,25 М HNO_3. Состав исходных растворов приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Состав исходных растворов для экстракционного разделения по линии Sm/Eu

Концентрация компонента, г/л								
Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Tb_2O_3	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3	Y_2O_3	∑РЗО
115,1	18,40	25,12	1,98	4,75	0,44	0,49	6,16	172,4
146,7	22,99	31,94	2,40	5,88	0,55	0,62	7,50	218,6
165,0	26,55	36,36	2,44	6,71	0,62	0,69	8,38	246,8
183,0	28,07	38,80	2,83	6,79	0,60	0,66	8,82	269,6
244,5	38,61	54,32	3,79	9,79	0,84	0,93	11,49	364,3

Экстракционное разделение по линии Eu/Gd

Для исследования экстракции по линии Eu/Gd готовились модельные растворы из оксидов РЗЭ с учетом практически полного извлечения Sm на предыдущей стадии экстракционного разделения. Растворы готовились растворением точных навесок оксидов индивидуальных РЗЭ чистотой >99,9% в HNO_3 57%. Состав исходных растворов приведен в табл. 4.

Таблица 4 – Состав исходных растворов для экстракционного разделения по линии Eu/Gd

Концентрация компонента, г/л								
Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Tb_2O_3	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3	Y_2O_3	∑РЗО
0,45	49,62	64,04	4,44	13,38	1,21	1,39	13,50	148,0
0,59	66,20	85,14	5,88	17,58	1,63	2,05	17,76	196,8
0,70	81,35	107,8	7,34	22,00	2,20	2,53	22,32	246,2
0,81	98,91	127,3	8,85	26,33	2,63	3,11	26,57	294,5
0,65	126,5	165,1	11,36	33,64	2,96	3,66	34,04	377,9

Экстракционное разделение по линии Gd/Tb

Для исследования экстракции по линии Gd/Tb готовились модельные растворы из оксидов РЗЭ с учетом практически полного извлечения Sm и Eu на предыдущих стадиях экстракционного разделения. Растворы готовились растворением точных навесок оксидов индивидуальных РЗЭ в HNO_3 57 %. Состав исходных растворов приведен в табл. 5.

Таблица 5 – Состав исходных растворов для экстракционного разделения по линии Gd/Tb

Концентрация компонента, г/л								
Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Tb_2O_3	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3	Y_2O_3	∑РЗО
0,50	0,76	111,3	4,28	22,30	1,77	2,06	19,24	162,2
0,64	0,97	141,0	5,47	28,88	2,31	2,64	28,16	210,1
1,12	1,20	172,5	7,50	35,09	2,98	3,42	36,13	259,9
0,87	1,39	210,9	7,84	42,93	3,35	3,91	42,87	314,1
1,60	1,84	227,4	9,67	46,22	4,08	5,00	46,92	342,7

Экспериментальная часть

Экстракционное разделение РЗЭ проводилось в делительных воронках объемом 250 мл. Соотношение органической и водной фаз (О:В) составляло 1:1. Данные и все последующие опыты проводились при температуре 20±1 С°, время контакта фаз составляло 15 минут. Перемешивание проводили при помощи турбинной мешалки.

Емкость экстракционной смеси по ∑РЗО определялась методом насыщения органической фазы. Было проведено 4 контакта, в каждом из которых органическая фаза перемешивалась совместно со свежей порцией исходного раствора РЗЭ. Концентрация ∑РЗО в исходном растворе составляла 350 г/л. Соотношение О:В составляло 3:1.

Промывка насыщенной органической фазы проводилась при соотношении О:В = 2:1. В качестве промывных растворов служили растворы $Sm(NO_3)_3$, $Eu(NO_3)_3$ и $Gd(NO_3)_3$ с концентрацией по соответствующим оксидам 200 г/л и кислотностью 0,25 М HNO_3. Растворы готовились растворением Sm_2O_3, Eu_2O_3 и Gd_2O_3 в HNO_3 57%. Насыщенная органическая фаза последовательно четырехкратно промывалась свежими порциями промывного раствора. Контакты проводились в делительной воронке объемом 1 л.

Реэкстракция РЗЭ проводилась из промытого экстракта за 1 контакт. В качестве реэкстрагирующего раствора применялся раствор HNO_3 15 г/л. Реэкстракция осуществлялась в делительной воронке при О:В=2:1.

Осаждение карбонатов индивидуальных РЗЭ из реэкстрактов осуществлялось сухим $(NH_4)_2CO_3$ квалификации «ч». Для проверки полноты осаждения проводилась тест-проба взаимодействия маточного раствора с водным раствором NH_3 25% квалификации «хч». Полнота отмывки осадка карбоната РЗЭ от аммоний-иона контролировалась с помощью реакции промывной воды и реактива Несслера квалификации «чда».

Концентрацию РЗО в водных и органических растворах и твердых пробах определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Analytic Jena PlasmaQuant 9100 Elite. Органическую фазу и твердые пробы предварительно разлагали в микроволновой системе Milestone UltraWAVE.

Коэффициенты распределения D_{Ln} рассчитывались по формуле (2):

$$D_{Ln} = \frac{C_{Ln\ \text{орг}}}{C_{Ln\ \text{водн}}}, \quad (2)$$

где $C_{Ln\ \text{орг}}$ – равновесная концентрация лантанида в органической фазе, г/л; $C_{Ln\ \text{водн}}$ – равновесная концентрация лантанида в водной фазе, г/л.

Факторы разделения пар РЗЭ $\beta_{Ln1/Ln2}$ рассчитывались по формуле (3):

$$\beta_{Ln1/Ln2} = \frac{D_{Ln1}}{D_{Ln2}}, \quad (3)$$

где D_{Ln1} и D_{Ln2} – коэффициенты распределения лантанидов, $D_{Ln1} > D_{Ln2}$.

Обсуждение результатов

Экстракция при разных концентрациях исходного раствора

На рис. 1 изображены зависимости коэффициентов распределения Sm, Eu и Gd при экстракционном делении по линиям Sm/Eu, Eu/Gd и Gd/Tb соответственно от суммарной концентрации РЗО в исходном растворе. На рис. 2 изображены зависимости факторов разделения вышеобозначенных пар РЗЭ.

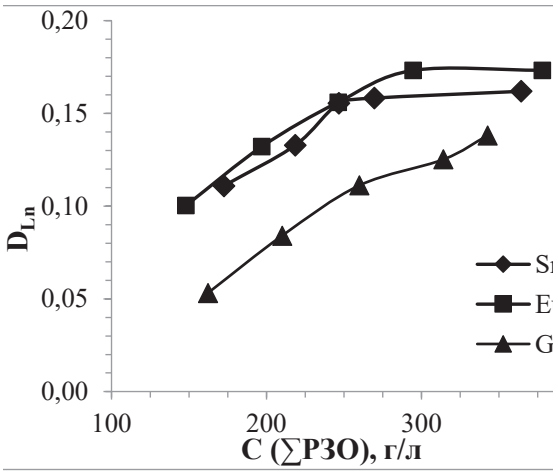


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов распределения лантанидов D_{Ln} от концентрации ΣРЗО в исходном растворе

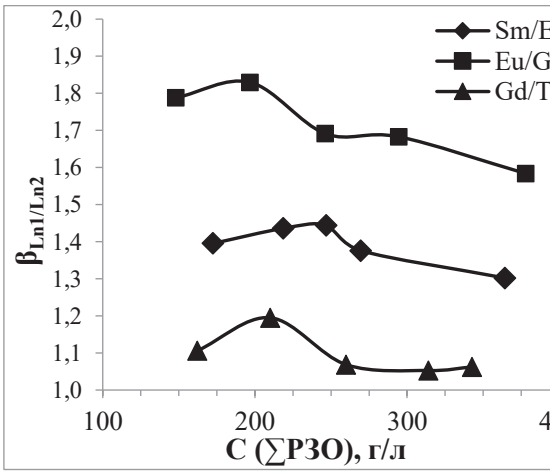


Рисунок 2 – Зависимость факторов разделения смежных пар лантанидов $\beta_{Ln1/Ln2}$ от концентрации ΣРЗО в исходном растворе

Зависимости коэффициентов распределения носят возрастающий характер. Для Eu и Gd они выходят на плато при концентрации ΣРЗО от 300 г/л.

Насыщение и промывка органической фазы

На рис. 3 изображены зависимости суммарной концентрации РЗО при экстракционном разделении по линиям Sm/Eu, Eu/Gd и Gd/Tb от номера контакта.

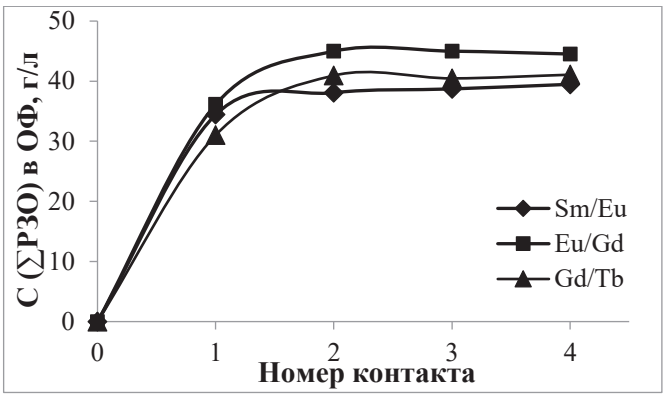


Рисунок 3 – Зависимость суммарной концентрации РЗО в органической фазе от номера контакта при насыщении органической фазы

Из рисунка 3 видно, что во всех опытах органическая фаза достигает своего максимального насыщения и концентрация ΣРЗО выходит на плато после второго контакта.

На рисунке 4–6 изображены зависимости концентрации оксидов индивидуальных лантанидов (ключевого компонента и примесных элементов) в органической фазе от номера контакта при промывке насыщенной органической фазы при экстракционном разделении по линиям Sm/Eu, Eu/Gd и Gd/Tb.

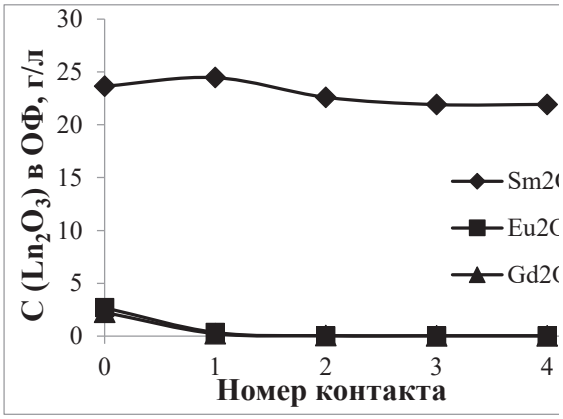


Рисунок 4 – Зависимость концентраций Ln_2O_3 в органической фазе от номера контакта промывки при разделении РЗЭ по линии Sm/Eu

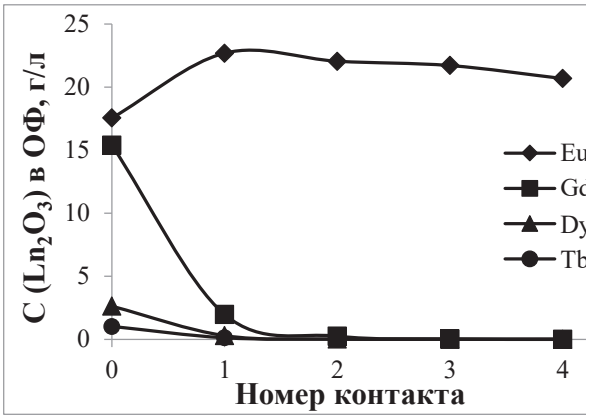


Рисунок 5 – Зависимость концентраций Ln_2O_3 в органической фазе от номера контакта промывки при разделении РЗЭ по линии Eu/Gd

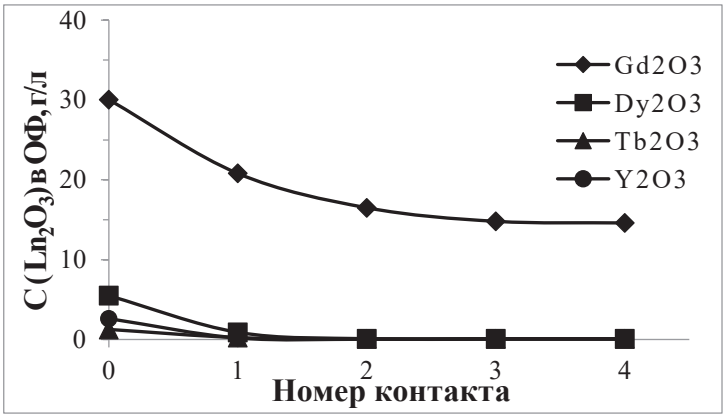


Рисунок 6 – Зависимость концентраций Ln_2O_3 в органической фазе от номера контакта промывки при разделении РЗЭ по линии Gd/Tb

Рисунки 4–6 показывают, что уже на первом контакте промывки происходит значительная смывка примесей из насыщенного экстракта. При отмывке Gd наблюдается снижение его концентрации в органической фазе, что требует дальнейшей корректировки режима на этой стадии.

Реэкстракция и осаждение карбонатов РЗЭ

Степени реэкстракции лантанидов за 1 контакт приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Степень реэкстракции лантанидов

Степень реэкстракции, %		
Sm	Eu	Gd
96,20	96,80	98,63

Таблица 6 показывает, что для всех выделяемых лантанидов степень реэкстракции за 1 контакт составляет >96 % и обеспечивается высокая степень перехода лантанидов из органической фазы в водную фазу.

Из очищенных реэкстрактов были получены образцы карбонатов самария, европия и гадолиния. Состав полученных экспериментальных образцов карбонатов индивидуальных РЗЭ приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Состав экспериментальных образцов карбонатов РЗЭ

Образец	Содержание компонента, % отн.							
	Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Tb_2O_3	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3	Y_2O_3
Карбонат Sm	**99,80**	0,08	0,09	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01
Карбонат Eu	0,20	**99,51**	0,03	0,02	0,05	0,04	0,10	0,05
Карбонат Gd	0,09	0,06	**99,72**	0,02	0,09	0,01	0,02	<0,01

Выбранные параметры опытов позволили получить образцы карбонатов самария, европия и гадолиния с чистотой более 99,5% по ΣРЗО.

На основании проведенных экспериментов предложена принципиальная технологическая схема разделения РЗЭ из концентрата СТГ, выделенного из лопаритового сырья (рис. 7) с получением следующих продуктов: карбоната самария, карбоната европия, карбоната гадолиния и концентрата тяжелой группы РЗЭ и иттрия.

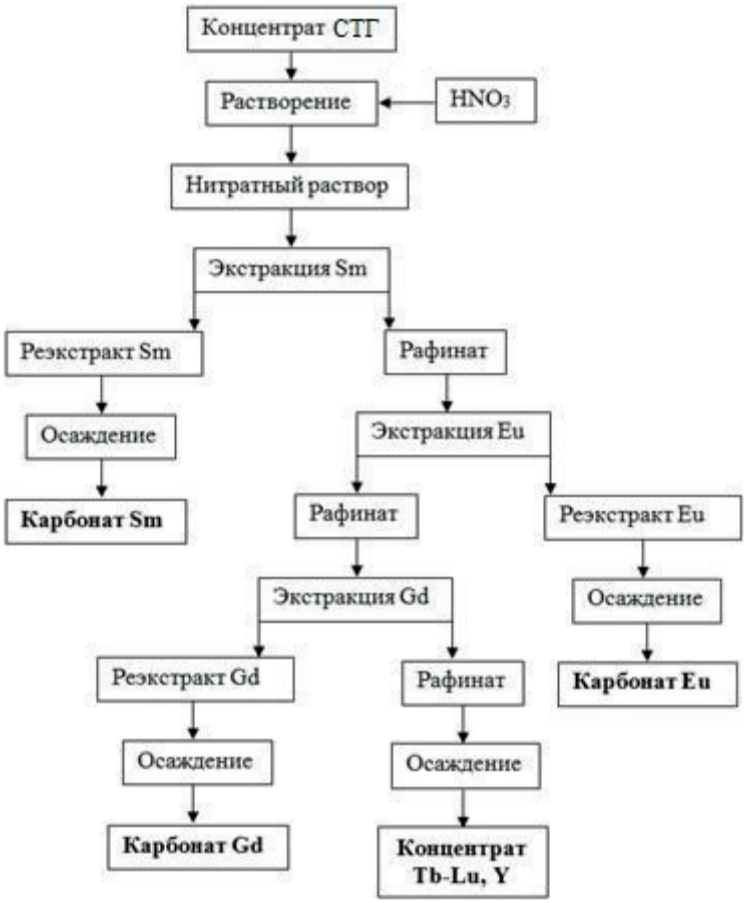


Рисунок 7 – Принципиальная технологическая схема разделения РЗЭ из концентрата среднетяжелой группы

Выводы

На основании проведенных экспериментов установлена возможность разделения среднетяжелой группы РЗЭ смешанным экстрагентом ТАБАН-ТБФ-изооктанол-парафин. Получены значения коэффициентов распределения Sm, Eu и Gd и их графическая зависимость от различных концентраций ΣРЗО в исходном растворе. Также рассчитаны факторы разделения пар РЗЭ: $\beta_{Sm/Eu}$ = 1,3–1,4; $\beta_{Eu/Gd}$ = 1,5–1,8; $\beta_{Gd/Tb}$ = 1,1–1,2. Полученные значения факторов разделения позволяют осуществлять разделение РЗЭ из концентрата СТГ двумя способами. В первом способе возможно последовательное отделение из концентрата Sm, Eu и Gd. В другом способе на первом этапе можно осуществлять деление по линии Eu/Gd с получением концентрата Eu и Sm в реэкстракте и концентрата Gd-Lu, Y в рафинате с дальнейшим разделением этих концентратов на индивидуальные продукты.

Показано, что четырехкратная промывка органической фазы растворами $Sm(NO_3)_3$, $Eu(NO_3)_3$ и $Gd(NO_3)_3$ концентрацией 200 г/л по соответствующему оксиду позволяет достичь высокой очистки от примесных РЗЭ. Установлено, что при реэкстракции раствором HNO_3 15 г/л за один контакт в водную фазу извлекается до 98,63% целевого лантанида.

Получены экспериментальные образцы карбонатов Sm, Eu и Gd с чистотой более 99,5% по ΣРЗО. Предложена принципиальная технологическая схема разделения РЗЭ из концентрата СТГ, полученного из лопаритового сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов А.М., Галиева Ж.Н., Соболь Ю.Б., Шулин С.С., Кулагин Б.Р. Исследования по экстракционному разделению концентратов редкоземельных элементов среднетяжелой группы различными экстрагентами // Цветная металлургия. – № 4. – 2015. – С. 61–66.
2. Вальков А.В., Сергиевский В.В. Смеси фосфорорганических экстрагентов с нитратом метилтриалкиламмония в технологии самария, гадолиния, тербия и эрбия / Тезисы и доклады 1-й Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы добычи, производства и применения РЗМ»; 26–27 сентября 2011 г. – М.: ВНИИХТ, 2011. – С. 1–7.
3. Вальков А.В., Хмелевская Н.Д. Экстракция редкоземельных элементов смесями изомеров трибутилфосфата с нитратом триалкилметиламмония // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – *№ 7.* – 2018. – Т. 61. – С. 55–61.
4. Пяртман А.К., Копырин А.А., Пузиков Е.А., Богатов К.Б. Экстракция нитратов лантанидов (III) и иттрия (III) нитратом триалкилметиламмония из многокомпонентных растворов // Радиохимия. – *№ 6.* – 1994. – Т. 36. – С. 485–489.
5. Пяртман А.К., Копырин А.А., Пузиков Е.А., Богатов К.Б. Экстракция нитратов празеодима(III), неодима(III), самария(III), европия(III) и гадолиния(III) смесями ди-изооктилметилфосфоната и нитрата триалкилметиламмония из водно-солевых растворов // Радиохимия. – *№ 6.* –1994. – Т. 36. – С. 490–493.
6. Горячева Е.Г., Вдовина Л.В., Миускова Н.М. Экстракция редкоземельных металлов смесями нитрата триалкилметиламмония и диизооктилметилфосфоната из нитратных растворов // Исследования в области получения редкоземельных металлов для электроники и специальной оптики: Научн. труд. ГИРЕДМЕТ. – М., 1984. – Т.125. – С.17–22.
7. Копырин А.А., Пузиков Е.А., Пяртман А.К. Закономерности экстракции нитратов лантанидов и иттрия смесями экстрагентов на основе нитрата триалкилметиламмония и нейтральных фосфорорганических соединений // 1 Росс. конф. по радиохимии: Тез. докл. – Дубна, 1994. – С. 169.
8. Пяртман А.К., Копырин А.А., Ковалев С.В., Кескинов В.А. Влияние разбавителей на процессы экстракции нитратов лантанидов (III) и иттрия (III) нитратами четвертичных аммониевых оснований и три-н-бутилфосфатом // Проблемы комплексного использования руд: Тез. докл. 2-го Межд. симп. –СПб., 1996. – С. 244.
9. Pyartman A. K., Zhikharev D. A., Keskinov V. A. Extraction of Lanthanide (III) and Y (III) Nitrates with Trialkylbenzylammonium Nitrate in Toluene // Radiochemistry. – 2003. – T. 45. – C. 573–576.
10. Федянина Л.Б., Степанов С.И., Сергиевский В.В., Фролов Ю.Г. Анализ солей четвертичных аммониевых оснований // Труды МХТИ. Химия и технология органических веществ и высокомолекулярных соединений. М., МХТИ им. Д.И. Менделеева. – № 80. – 1974. – С.15–16.

РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ: АНАЛИЗ ЗАПАСОВ, ДОБЫЧИ И ПЕРСПЕКТИВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Сейтжанов А.К.[1], Зайцева О.А.[1], Хасанов У.М.[1]
[1]АО «НАК «Казатомпром», г. Астана, Казахстан

Аннотация. Целью настоящего исследования является анализ современного состояния минерально-сырьевой базы РМ и РЗМ в мире на основе открытых источников, отчетов международных агентств и научных публикаций. В рамках исследования также проведена оценка перспектив развития отрасли РМ и РЗМ в Центральной Азии с точки зрения выявления перспективных территорий. Актуальность работы обуславливается отсутствием единого источника информации о текущем состоянии запасов, добычи и перспективах развития редких и редкоземельных металлов (РМ и РЗМ) в Центральной Азии. Данная статья призвана систематизировать данные и осуществить комплексную оценку по данной теме.
Ключевые слова: редкие и редкоземельные металлы, РМ и РЗМ, добыча, запасы, Центральная Азия.

RARE AND RARE EARTH METALS: ANALYSIS OF RESERVES, PRODUCTION, AND PROSPECTS OF CENTRAL ASIA

Seitzhanov A.K.[1], Zaitseva O.A.[1], Khassanov U.M.[1]
[1]JSC «NAC «Kazatomprom», Astana, Kazakhstan
a.k.seitzhanov@kazatomprom.kz

Annotation. The aim of this study is to analyze the current state of the global mineral resource base of rare and rare earth metals (RMs and REEs) based on open sources, reports of international agencies, and scientific publications. The study also assesses the development prospects of the RM and REE industry in Central Asia in terms of identifying promising areas. Relevance of the study is due to the lack of single source of information on the current state of reserves, production, and development prospects of RMs and REEs in Central Asia. This article aims to systematize data and conduct comprehensive assessment of this topic.
Keywords: rare and rare earth metals, RMs and REEs, production, reserves, Central Asia.

Общее описание

36 элементов из таблицы Менделеева стали считаться редкими и редкоземельными металлами (далее – РМ и РЗМ, РЗМ) только во второй половине XX века. До этого, хотя некоторые из них уже были известны, их применение было ограниченным. Открытие многих редких металлов произошло в конце XVIII века. А такие металлы, как рений, галлий, гафний, германий и скандий, были предсказаны Менделеевым и обнаружены уже после создания Периодической системы. В отличие от черных, цветных и благородных металлов, которые люди знали уже давно, редкие металлы и их месторождения были изучены только в XX веке [1].

С целью практического удобства РМ и РЗМ разделяют на 2 группы: легкую и тяжелую. Многим из них до сих пор не найдены субституты. РЗМ в повседневной жизни являются частью высоких технологий и оборудования. При этом сами РЗМ не так уж и редки.

Соотношение концентраций отдельных РЗМ в различных рудах может в значительной степени варьироваться, причем оно не соответствует соотношению уровней коммерческого спроса на них. Это приводит к тому, что для получения требуемого количества более редких, но важных элементов приходится выпускать значительные объемы других более распространенных металлов.

Месторождения РМ и РЗМ делятся на два типа:

1. Месторождения, где редкие металлы (Li, Cs, Be, Nb, Ta, TR, Zr, Sr) находятся в своих собственных минералах. Существует много видов редкометальных минералов, но только несколько из них образуют промышленные скопления. В одном месторождении обычно встречаются несколько редкометальных минералов вместе.

2. Месторождения, где редкие металлы присутствуют в качестве примесей в других минералах.

Таблица 1 – Типы месторождений РМ и РЗМ

Тип	**Редкие и редкоземельные металлы являются основным полезным ископаемым**	**Редкие и редкоземельные металлы находятся в качестве примесей в других рудах**
РМ и РЗМ	литий, цезий, бериллий, ниобий, тантал, иттрий, цирконий, стронций.	висмут, германий, галлий, индий, рений, селен, теллур, таллий, кадмий. (*при добыче таких металлов как: медь, молибден, свинец, цинк, олово, алюминий*).

Сложность добычи	Более простая.	Более сложная. Попутная, при переработке основных руд.
Дороговизна добычи	Более дешевая по сравнению со вторым типом.	Более затратная. (*Попутная добыча редких и редкоземельных металлов может быть экономически выгодной, если содержание этих металлов в руде достаточно высокое*).

Для каждого редкоземельного элемента существует несколько промышленных минералов. Это говорит о том, что элементы не встречаются в природе в виде чистых элементов, а всегда связаны с другими элементами в различных минералах. Содержание в различных минералах сильно различается. Например, содержание Li_2O в сподумене составляет 5,8–7,6%, а в лепидолите – 3,4–4,1%. Это необходимо учитывать при выборе метода добычи и переработки. Многие промышленные минералы содержат не только РМ и РЗМ, но и другие ценные элементы. Например, лопарит содержит Ta_2O_5 (до 10%) и Nb_2O_5 (6–8%). Это может сделать добычу более экономически выгодной [1].

Анализ запасов и добычи

На сегодняшний день, Китай обладает крупнейшими запасами редких металлов в мире (35,2%), Вьетнам (17,6%) и Бразилия (16,8%) занимают второе и третье места соответственно (рисунок 1).

Доминирование Китая в запасах редких металлов дает ему геополитическое преимущество. Учитывая специфику применения РЗМ в военной промышленности (противоракетные установки, реактивные двигатели, ракетные навигационные системы и т.д.), монополизм Китая может быть под риском угрозы национальной безопасности государств. Страны, которые зависят от импорта редких металлов из Китая, могут быть уязвимы. Запасы РМ и РЗМ распределены неравномерно, что может привести к конкуренции и ценовой нестабильности на рынке. Чтобы стремиться уменьшить зависимость от китайских поставщиков, объединение проектов, связанных с добычей и первичной переработкой редкоземельного сырья, на последующих этапах производственной цепочки (например, на этапе разделения редкоземельных элементов), может быть эффективным шагом для разрозненных проектов в условиях конкуренции с китайскими производителями. Так сделал и сам Китай, мировые лидеры отраслей применения РЗМ, такие как французская Rhodia и японская Showa Denko построили производственные мощности по сборке в Китае, увеличив, таким образом добавленную стоимость РЗМ продукции Китая, и передав часть своего опыта и технологий китайской промышленности. Многочисленные компании, занятые в добыче и производстве РЗМ в Китае являются высоко конкурентными, так как «китайский фактор» позволяет удерживать самую низкую себестоимость производства в мире, как и в других отраслях промышленности Китая.

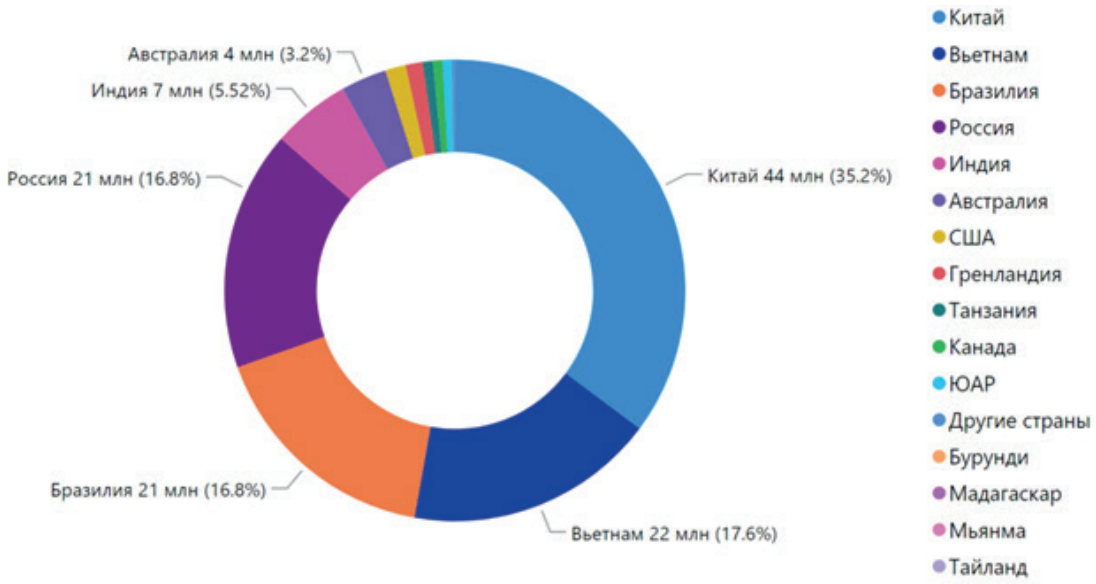


Рисунок 1 – Мировые запасы РМ и РЗМ [3]

Доминирование Китая, ранее контролировавшего 92% производства в 2010 году, постепенно ослабевает. С ростом добычи в других странах его доля снизилась до 58% к 2020 году. Несмотря на снижение доли, Китай сохраняет лидерство в переработке. В 2020 году на его долю приходилось 85% очищенных

редкоземельных элементов. Это говорит о том, что, помимо добычи, другим странам необходимо развивать и перерабатывающие мощности.

Китайское правительство годами сокращало экспортные объемы РЗМ через квоты и пошлины, а также проводило мероприятия по слиянию и поглощению для увеличения масштабов и квалификации. Значительный прогресс был достигнут путем объединения 3 основных игроков на китайском рынке – РЗМ подразделения компании Baotou Steel, Minmetals и Jiangxi Copper, которые получили государственную поддержку и были определены в качестве лидеров отрасли на пути к консолидации. Дополнительно, Baotou Steel заявила о создании СП с China Investment Corporation, что подразумевает дополнительную финансовую и политическую поддержку.

На текущий день Китай выдает квоты на производство только шести государственным компаниям: China Minmetals Rare Earth Co, Chinalco Rare Earth & Metals Co, Guangdong Rising Nonferrous, China Northern Rare Earth Group, China Southern Rare Earth Group, Xiamen Tungsten.

В 1985 году Китайская Республика инициировала ряд мер, направленных на стимулирование развития отечественной редкоземельной промышленности. Среди них было частичное возмещение налогов для горнодобывающих компаний, что позволило им снизить расходы. В совокупности с менее строгими экологическими нормами и доступной рабочей силой, эти меры сделали производство РМ и РЗМ в КНР чрезвычайно конкурентоспособным. Как следствие, за период с 1985 по 1995 годы объемы производства в стране выросли на 464%.

В то же время, рудник Маунтин-Пасс в Калифорнии столкнулся с серьезными трудностями. Конкуренция со стороны китайских производителей, а также жесткие экологические нормы в США сделали его положение шатким. Как следствие, доля США в мировом производстве РМ и РЗМ неуклонно снижалась: с 34% в 1985 году до 6% в 2000 году.

По состоянию на 2008-2009 гг. Китай владел 50% мировых запасов РЗМ и за последние 10 лет заменил США в качестве крупнейшего мирового потребителя РЗМ. 2010 год стал переломным моментом на рынке. Китай, доминирующий экспортер, внезапно сократил квоты на экспорт на 37%. Это спровоцировало резкий скачок цен, которые достигли рекордных значений. Данный шаг Китая подтолкнул к активизации добычи РМ и РЗМ в других странах. Инвестиции в эту сферу выросли, и производство возобновилось в ряде регионов мира.

Австралия за последнее десятилетие продемонстрировала бурный рост добычи РМ и РЗМ. К числу добывающих стран недавно присоединилась Мьянма, выпустив в 2020 году 30 000 тонн. В США рудник Маунтин-Пасс переживает возрождение после инвестиций от MP Materials в 2018 году. Все эти факторы обуславливают рост доли США в мировом производстве РМ и РЗМ.

Несмотря на диверсификацию добычи РМ и РЗМ, Китай доминирует в их очистке, занимая 80% рынка. Китай усиливает контроль для обеспечения собственной экономики стабильными и доступными поставками, и для повышения добавленной стоимости РЗМ продукции из Китая. С прогнозируемым удвоением спроса к 2030 году, наращивание зарубежных мощностей по добыче и переработке может стать ключом к снижению зависимости от Китая. [4]

Большая часть добычи РМ и РЗМ (73,59%) сосредоточена в Азии. Африка (17,46%) и Северная Америка (8,95%) также являются важными регионами добычи. Мьянма, на долю которой приходится 10,84% добычи, играет важную роль на рынке (см. рисунок 2).

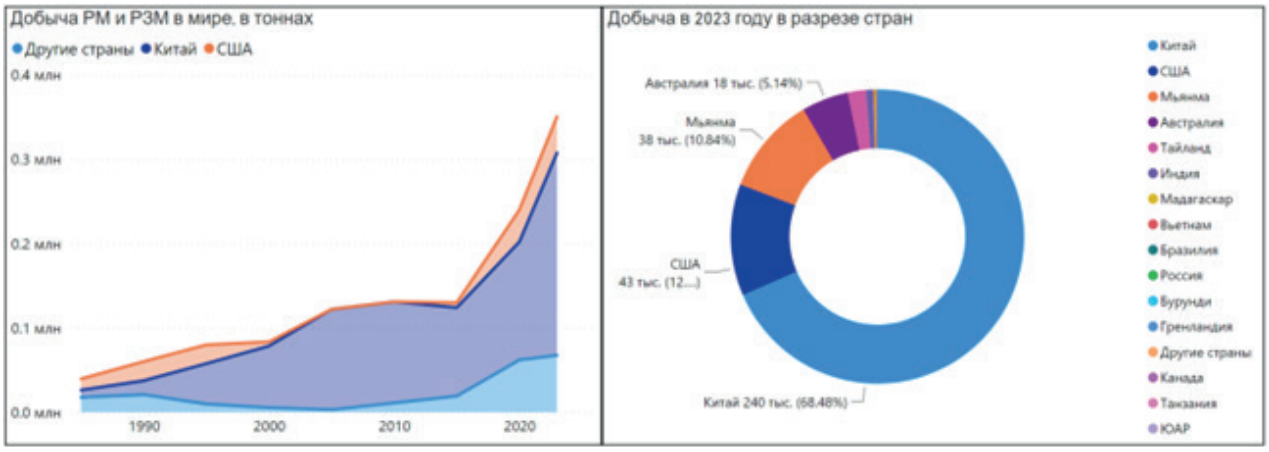


Рисунок 2 – Добыча РМ и РЗМ в мире [5]

Также соотношение породы к металлу является важным фактором, который необходимо учитывать при анализе производства РМ и РЗМ. Низкое соотношение породы к металлу может привести к проблемам с рентабельностью, экологическим катастрофам и поставками реагентов. Среднее мировое соотношение породы к металлу для РЗМ составляет 98,2 х 10^2. Это означает, что для добычи 1 тонны РЗМ требуется 9820 тонн породы. В некоторых случаях оно может быть 1:1, а в других – 1000:1. Низкое соотношение породы к металлу означает, что требуется больше породы для добычи того же количества РЗМ. Это увеличивает расходы на добычу и переработку, а также негативно влияет на окружающую среду. На рисунке 3 показано соотношение горной породы к РМ и РЗМ по известным странам в мире по добыче РМ и РЗМ. Согласно источнику, есть ряд стран, которые еще не начали либо только начинают развивать направление по освоению месторождений редких и редкоземельных металлов.

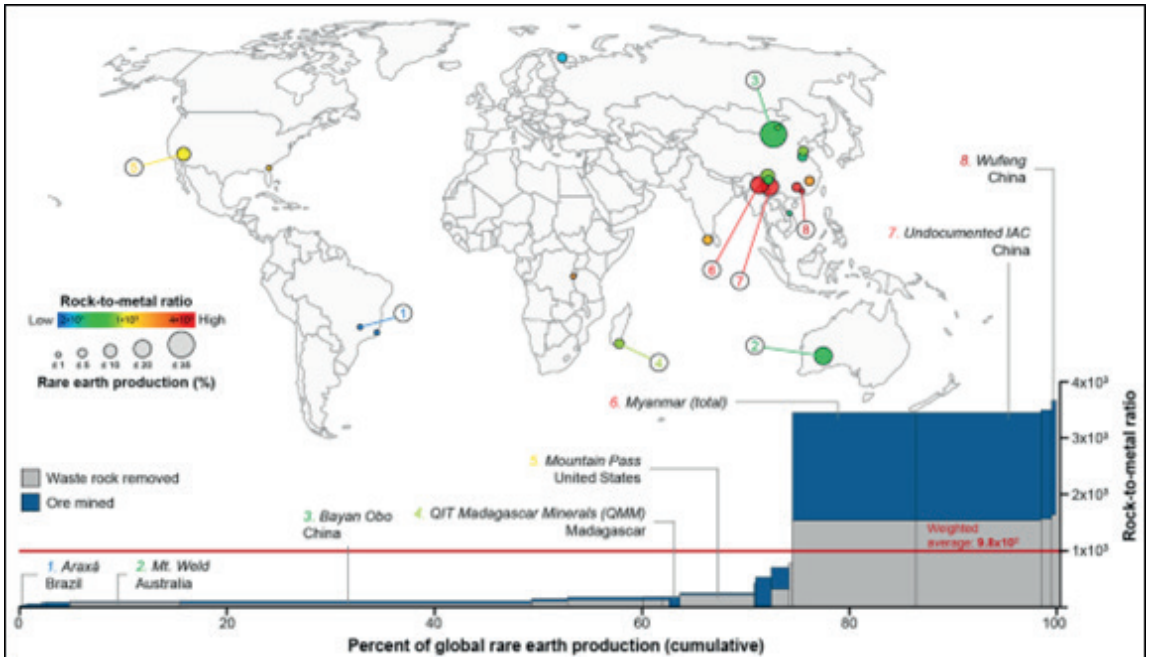


Рисунок 3 – Соотношение горной породы к РМ и РЗМ [6]

Производство индивидуальных оксидов редкоземельных металлов и собственно металлов является достаточно сложным и дорогостоящим процессом ввиду высокого химического родства РЗМ, всегда присутствующих в сырье и первичных продуктах переработки в виде единой группы (например, коллективные карбонаты РЗМ), которые затем уже поступают на переработку с получением индивидуальных соединений. Обычно для этого используются мульти ступенчатые экстракционные процессы.

Большинство месторождений РЗМ вне Китая являются рисковыми с точки зрения инвестирования из-за того, что их необходимо разрабатывать как отдельные минералы, а не попутно, из-за высоких затрат на технологии и экологию и нехватки масштабных, эффективных перерабатывающих мощностей и капитала. Без значительной правительственной или корпоративной РЗМ депозиты вне Китая могут быть и не разработаны вовремя, чтобы удовлетворить растущий мировой спрос, что ставит под удар развивающиеся высокотехнологичные отрасли в США, ЕС и Японии.

Перспективы Центральной Азии

В последнее время Центральная Азия, а именно в странах Казахстана, Кыргызстана и Таджикистана наблюдается всплеск интереса к РМ и РЗМ.

Центральная Азия представляет собой значительный интерес для геологоразведки по следующим причинам:

- Наличие ранее открытых месторождений РМ и РЗМ;
- Предполагаемые значительные неразведанные ресурсы.

Для оценки минерального потенциала региона Геологическая служба США (USGS) составила инвентаризацию 384 объектов, расположенных в Казахстане (160 объектов), Кыргызстане (75 объектов), Таджикистане (60 объектов), Узбекистане (87 объектов) и Туркменистане (2 объекта). Эти объекты варьируются от небольших проявлений минерализации до ранее разрабатываемых месторождений. Месторождения, связанные с карбонатитами и щелочными магматическими породами, как правило,

характеризуются более высоким содержанием редкоземельных элементов. Наиболее распространенными минералами, содержащими РМ и РЗМ, являются монацит, циркон, апатит, ксенотим, пирохлор, алланит и колумбит.

Было выделено шесть металлогенических поясов РМ и РЗМ, содержащих перспективные территории и месторождения: Пояс Уралид; Пояс Казахской степи; Пояс Казахского поднятия; Пояс Северного Тянь-Шаня; Пояс Южного Тянь-Шаня; Пояс Памира. (см.рисунок 4) [7]

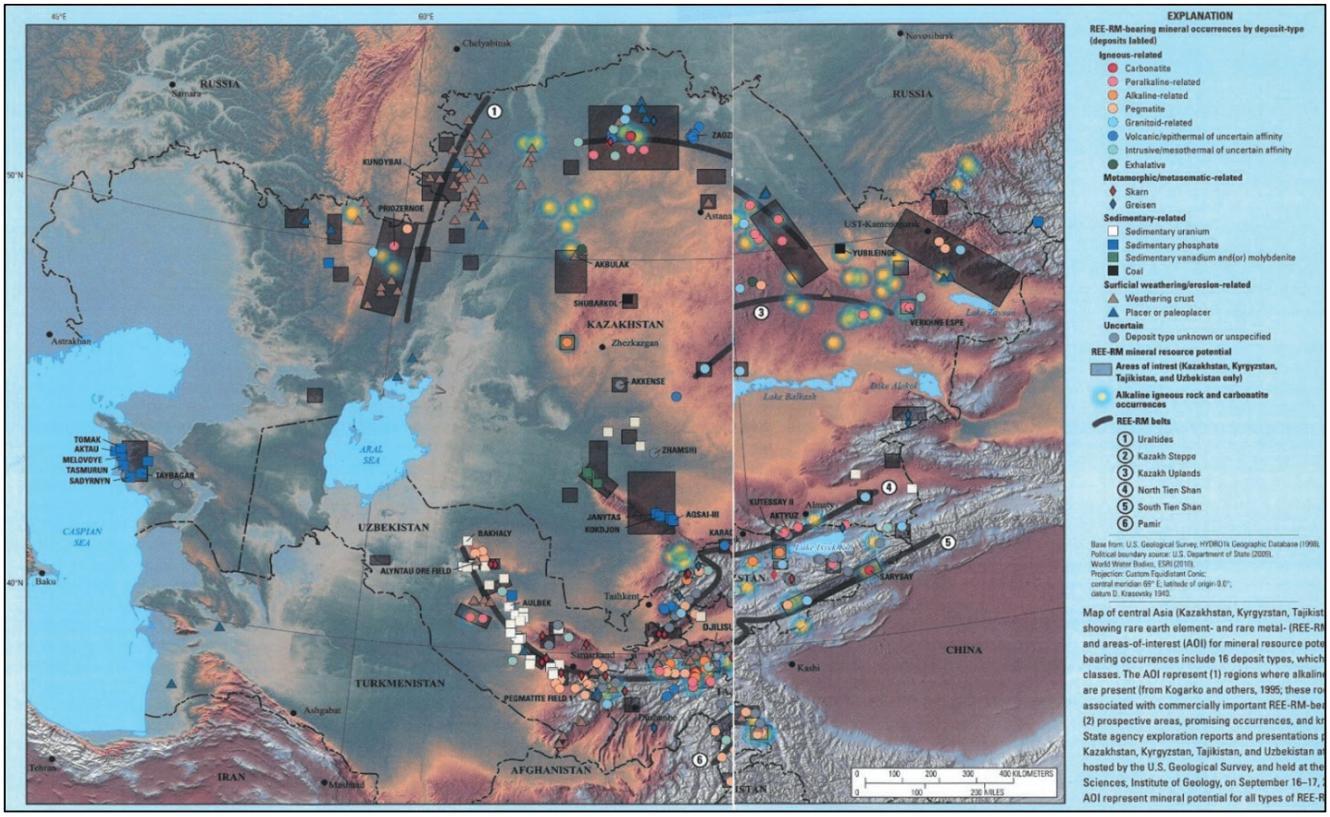


Рисунок 4 – Карта проявлений РМ и РЗМ в Центральной Азии [7]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Редкоземельные и редкоземельные металлы играют важную роль в различных отраслях промышленности, включая электронику, производство сплавов, медицину и зеленую энергетику.

Спрос на РЗМ является производным от потребления товаров и услуг, в производстве которых используются редкоземельные металлы. В результате, динамика спроса на РЗМ напрямую зависит от динамики потребления широкого спектра потребительских товаров. По этой причине, основными факторами, влияющими на спрос, являются уровень цен на эти потребительские товары и услуги, а также доходы потребителей.

Мировые запасы РМ и РЗМ распределены неравномерно:

- Китай обладает 35,2% мировых запасов, доминируя на рынке;
- Центральная Азия представляет собой значительный интерес для геологоразведки.

Важным фактором при дальнейшей разведке и добыче РМ и РЗМ является соотношение породы к металлу. Вместе с тем, регион Центральной Азии обладает значительным потенциалом для развития добычи РМ и РЗМ. Для изучения этого потенциала необходимо провести дополнительные геологоразведочные работы. Таким образом, развитие перерабатывающих мощностей позволит обеспечить конкурентоспособность с китайскими производителями РЗМ. Низкая себестоимость производства должна быть обеспечена путем использования комплексных сырьевых источников, передовых технологий производства и постоянного повышения уровня квалификации персонала

Не менее важным остается вопрос разработки более экологичных методов добычи и создания международных соглашений, регулирующих добычу и экспорт РМ и РЗМ.

Развитие рынка во многом будет зависеть от введения новых добычных проектов в эксплуатацию, композиции и содержания РМ и РЗМ, которыми они обладают, а также дальнейших шагов Китая по урегулированию внешних поставок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ИСТОЧНИКОВ

1 Усова Т.Ю.. Редкие металлы и их месторождения. – М.: Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2001. – 7 с.

2 Что такое редкие металлы. https://newchemistry.ru/letter.php?n_id=6567

3 Daniel J. Cordier. Rare Earths – USA: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2022, 2 p.

4 Nicholas LePan. Rare Earth Elements: Where in the World Are They? 2021. https://www.visualcapitalist.com/rare-earth-elements-where-in-the-world-are-they/#google_vignette

5 Govind Bhutada. Rare Earth Metals Production is No Longer Monopolized by China, 2021. https://elements.visualcapitalist.com/rare-earth-metals-production-not-monopolized-china/

6 Nedal T. Nassar, Graham W. Lederer, Abraham J. Padilla, Joseph Gambogi, Daniel J. Cordier, Jamie L. Brainard, Joseph D. Lessard, Ryan Charab. Rock-to-metal ratios of the rare earth elements. USA, Journal of Cleaner Production, 2023, 9 p.

7 Vivian Nguyen. Rare Earth Element and Rare Metal Inventory of Central Asia – USA: U.S. Geological Survey, 2018, 4 p.

ПЕРЕРАБОТКА НИТРАТНО-АММИАЧНЫХ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ ОСАЖДЕНИЯ СОЛЕЙ РЗМ ПОСЛЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ПО АЗОТНОКИСЛОЙ СХЕМЕ

Логинов С.В.[1], Николаева А.Д.[1], Нечаев А.В.[2], Сибилев А.В.[2], Жуков С.В.[2], Зайцева Т.Н.[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург, Россия
[2]АО ГК «Русредмет», г. Санкт-Петербург, Россия
[1]loginov.chemistry@gmail.com
[2]asibilev@rusredmet.ru
[2]tzajceva@rusredmet.ru

Аннотация. Показана принципиальная возможность переработки нитратно-аммиачных маточных растворов осаждения солей РЗМ, включающих в себя сорбционную очистки от ТБФ активными углями, с последующим получением минерального удобрения на основе аммиачной селитры. Исследована сорбция ТБФ активированными углями производства компаний NWC Carbon, CarboTech, Norit в статическом и динамическом режимах. Наилучшие результаты очистки растворов от примесного органического соединения были получены на образцах с размерами гранул 0,42–1,0 и 0,42–1,70 мм. Изучено влияние солевого фона раствора на емкостные характеристики активных углей. Построены выходные кривые сорбции. Наработаны экспериментальные образцы селитры без введения добавок и модифицированные известняковой мукой.

Ключевые слова: аммиачная селитра, известково-аммиачная селитра, трибутилфосфат, сорбция, активные угли, минеральное удобрение.

PROCESSING OF NITRATE-AMMONIUM MOTHER SOLUTIONS OF PRECIPITATION OF REM SALTS AFTER SEPARATIVE EXTRACTION ACCORDING TO THE NITRIC ACID SCHEME

Loginov S.V.[1], Nikolaeva A.D.[1], Nechaev A.V.[2], Sibilev A.S.[2], Zhukov S.V.[2], Zaitseva T.N.[2]
[1]St. Petersburg State Institute of Technology, St-Petersburg, Russia
[2]Group of companies ″Rusredmet″, Saint Petersburg, Russia
[1]loginov.chemistry@gmail.com
[2]asibilev@rusredmet.ru
[2]tzajceva@rusredmet.ru

Abstract. The fundamental possibility of processing nitrate-ammonium mother solutions of precipitation of REM salts, including sorption from TBP with activated carbons, was shown, followed by the production of a mineral fertilizer based on ammonium nitrate. The sorption of TBP with activated carbons produced by NWC Carbon, CarboTech, Norit has been studied in static and dynamic modes. The best results of purification solutions from an impurity organic compound were obtained on samples with granule sizes of 0.42–1.0 and 0.42–1.70 mm. The influence of solution composition on the capacitance characteristics of activated carbons was studied. The output sorption curves were plotted. Experimental samples of ammonium nitrate has been produced without the introduction of additives and modified with limestone flour.

Keywords: ammonium nitrate, lime-ammonium nitrate, tributyl phosphate, sorption, activated carbons, mineral fertilizer.

ВВЕДЕНИЕ

Применение в производстве редкоземельных металлов (РЗМ) экстракционных процессов сопровождается образованием различных технологических растворов, содержащих значительное количество экстрагента в растворимом и эмульгированном виде. Таким раствором в производстве РЗМ по азотнокислой схеме является раствор аммиачной селитры, содержащий ТБФ. Данный раствор не пригоден к сбросу ввиду высокой концентрации органического соединения (200–250 мг/л) и нитрата аммония (150–220 г/л), но может быть использован в качестве сырья для получения минерального удобрения.

С точки зрения технологии производства минеральных удобрений ТБФ является нежелательным

компонентом рабочих растворов, поскольку может квалифицироваться как фосфорорганическое соединение, опасное для здоровья человека. Одним из наиболее эффективных методов очистки растворов от органических примесей является сорбционный метод. Сорбенты способны извлекать из водных растворов многие органические вещества, в том числе не удаляемые из них другими методами, до практически нулевых концентраций. Исследование очистки раствора нитрата лантана от ТБФ методом сорбции на активных углях (АУ) представлено в работе [1].

Состав перерабатываемых маточных растворов предполагает получение аммиачной селитры, которая, как известно, обладает повышенной гигроскопичностью, слеживаемостью и взрывоопасностью. С целью снижения данных показателей в получаемое соединение вводят различные модифицирующие добавки. Существует большое количество работ, освещающих тему получения минеральных удобрений на основе аммиачной селитры, содержащей сульфаты аммония [2] и кальция [3], фосфаты аммония [4] и кальция [5], нитрат калия [6], карбонат кальция [7] и т.п.

Целью данной работы являлась оценка возможности переработки нитратно-аммиачных маточных растворов, включающая в себя сорбционную очистку раствора от ТБФ с помощью АУ и получение экспериментальных образцов минерального удобрения на основе аммиачной селитры.

Экспериментальная часть

Исследование очистки растворов от ТБФ сорбционным методом проводили в 3 этапа.

На первом этапе на основании данных физических характеристик и сорбционной емкости АУ производили выбор оптимального сорбента. Извлечение ТБФ проводили из обессоленной воды, содержащей 200–250 мг/л органического соединения.

Второй этап исследований был направлен на изучение сорбции ТБФ выбранными АУ в статическом режиме и оценку влияния солевого фона на емкостные характеристики углей. Сорбцию ТБФ осуществляли из обессоленной воды и нитратно-аммиачного модельного раствора, содержащего: NH_4NO_3 15 % масс., ТБФ 250–300 мг/л.

Процесс исследования сорбции примесного органического соединения из реальных маточных растворов аммиачной селитры в динамическом режиме являлся заключительным этапом.

В качестве реагентов для приготовления модельных растворов использовали дистиллированную воду ГОСТ 6709-72, ТБФ (Китай), NH_4NO_3 марки Б. Состав нитратно-аммиачного маточного раствора после осаждения солей РЗМ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав нитратно-аммиачных маточных растворов

Содержание, г/л							pH	ρ, г/см^3
∑РЗО	NH_4^+	PO_4^{3-}	Fe	Ca	Sr	Na		
<0,001	43,3	0,20	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	7,94	1,066
0,02	30,67	0,23	<0,001	0,004	<0,001	0,001	7,60	1,072

Содержание ТБФ в растворах определяли методом инфракрасной спектрометрии на спектрометре SHIMADZU IrTracer-100. Перед определением содержания элементов в твердых соединениях осадки разлагали кислотным методом. Концентрацию элементов определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Shimadzu ICPE-9000. Определение аммонийного азота осуществляли по методу Кьельдаля.

Для удаления ТБФ из растворов применяли активные угли (АУ) производства компаний NWC Carbon (Индия), CarboTech (Германия), Norit (Нидерланды). Основные характеристики исследуемых сорбентов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики активированных углей (этап 1)

Марка АУ / Параметр	NWC Carbon NWM 12×40	Carbotech AC DGK 18×40	Norit GAC 1240	Norit GAC 1240 Plus	Norit Petrodarco 8×30
Основа	каменный уголь	кокос	каменный уголь	каменный уголь	лигинит
Йодное число, мг/г, не менее	1000	1100	1020	950	950

Размер гранул, мм	0,42–1,70	0,42–1,00	0,42–1,70	0,42–1,70	0,60–2,40
Насыпная плотность, г/л	430	520	480	500	400
Общая площадь поверхности, м²/г	1100	-	1175	1125	600
Тве рдость на истирание, %, не менее	92–95	98	97	98	-
Зольность, %, не более	5	3	7	5	-

Для выбора наиболее эффективного сорбента для очистки раствора от ТБФ сорбцию проводили в статических условиях, в которых определяли полную обменную емкость (ПОЕ). Методика определения заключалась в следующем: предварительно высушенные при 80 °С навески сорбентов в количестве 0,1–0,2 г помещали в колбу и заливали 0,5 л модельного раствора. Перемешивание осуществляли периодически взбалтыванием содержимого колбы, наблюдение вели в течение нескольких часов. Затем раствор из колбы сливали и определяли концентрацию ТБФ в растворе. Эту операцию проводили до тех пор, пока концентрация ТБФ в конечном растворе становилась не ниже начальной.

Результаты определения ПОЕ, отнесенные к 1 г сухого сорбента или к 1 мл набухшего АУ, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Полная обменная емкость исследованных активных углей

Производитель	Марка АУ	Размер гранул, мм	ПОЕ	
			г ТБФ/г АУ	г ТБФ/мл АУ
NWC Carbon	NWM 6×12	1,68–3,36	0,193	89
	NWC 8×30	0,60–2,36	0,223	112
	NWM 12×40	0,425–1,70	**0,390**	**129**
Norit	GAC 1240	0,425–1,70	**0,332**	**152**
	GAC 1240 plus	0,425–1,70	**0,265**	**122**
	Petrodarco 8×30	0,60–2,36	0,243	90
CarboTech	DGK 18×40	0,42–1,0	**0,283**	**125**

Согласно данным таблицы 3, наиболее высокой обменной емкостью обладают угли с меньшими размерами гранул: 0,425–1,70 мм (12×40 меш) и 0,42–1,0 мм (18×40 меш).

Еще одним определяющим фактором выбора оптимального сорбента являлась его основа. Согласно информации производителей кокосовые угли имеют более высокую механическую прочность и дают меньшие потери при термической регенерации. Исходя из этого дальнейшие исследования проводили только с АУ на основе скорлупы кокосового ореха.

Также в последующие исследования были включены, предложенные компанией CarboTech, образцы углей марок DGK 12×40/50, DGK 12×40/80, DGK 12×40/100 с высоким йодным числом.

Для дальнейших исследований были выбраны АУ, характеристики которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные характеристики активированных углей (этап 2)

Марка АУ / Параметр	CarboTech DGK 12×40	CarboTech DGK 12×40/80	CarboTech DGK 12×40/100	Norit GCN 12×40	NWC Carbon NWC 12×40
Основа	кокос	кокос	кокос	кокос	кокос
Йодное число, мг/г, не менее	1062	1350	1500	1100	1100
Размер гранул, мм	0,425–1,70	0,425–1,70	0,425–1,70	0,425–1,70	0,425–1,70
Насыпная плотность, г/л	521	400	470	520	500
Общая площадь поверхности, м²/г	1100	-	-	1150	1100
Тве рдость на истирание, %, не менее	98	98	98	98	98
Зольность, %, не более	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0

Для оценки влияния солевого фона на значения ПОЕ АУ, представленных в таблице 4, проводили сорбцию ТБФ из обессоленной воды и нитратно-аммиачного модельного раствора. Полученные значения параметров сгруппированы в таблице 5.

Таблица 5 – Полная обменная емкость активных углей в различных растворах

Производитель	Марка АУ	ПОЕ, г ТБФ/г АУ	
		обессоленная вода	нитратно-аммиачный раствор
CarboTech	DGK 12×40	0,395	0,305
	DGK 12×40/80	0,438	0,352
	DGK 12×40/100	0,543	0,423
Norit	GCN 12×40	0,378	0,292
NWC Carbon	NWC 12×40	0,380	0,220

Согласно данным таблицы 5 отмечается, что в растворе аммиачной селитры ПОЕ по ТБФ ниже на 25–30%, чем в обессоленной воде. Уменьшение сорбционной емкости углей связано с конкурирующей сорбцией сольватов нитрата аммония с ТБФ.

Угли Carbotech DGK 12×40/80 и 100 отличаются более высокой емкостью по ТБФ, как в водном, так и в солевом растворе. Емкость данных сорбентов на 10 (DGK 12×40/80) и 40 (DGK 12×40/100) % выше относительно такой же марки угля со стандартным йодным числом.

Для исследования сорбции ТБФ в динамическом режиме использовали АУ из товарных партий марок DGK 12×40 (CarboTech) и GCN 12×40 (Norit). Динамические характеристики сорбции остальных марок сорбентов по техническим причинам не были изучены.

Сорбцию в динамическом режиме проводили в стеклянных колонках с фильтрами Шотта. Нитратно-аммиачный раствор подавали сверху вниз из напорных е мкостей. Дополнительной трубкой обеспечивали «дыхание» колонки. Загрузка сорбента осуществлялась в соответствии с соотношением диаметра колонки к высоте слоя 1:10. Пробы АУ предварительно отмывали от угольной пыли, сушили, взвешивали. Далее уголь замачивали в дистиллированной воде в течение одних суток и загружали в колонку. Объе м сорбентов в колонках составлял 100 см^3. Удельная нагрузка – 5 к.о./ч.

По результатам опытов построены графические зависимости концентрации ТБФ в растворе после сорбции от объема пропущенного раствора, рисунки 1 и 2.

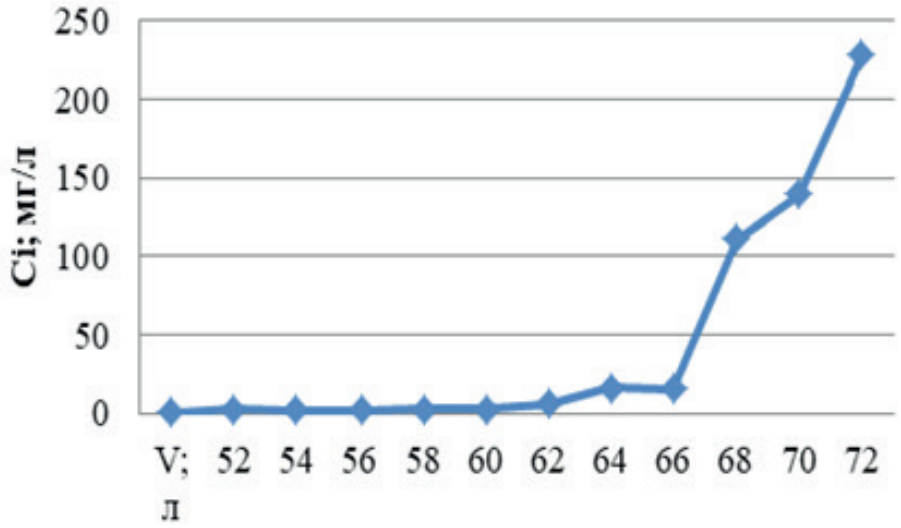


Рисунок 1 – Выходная кривая сорбции ТБФ на АУ CarboTech DGK 12×40

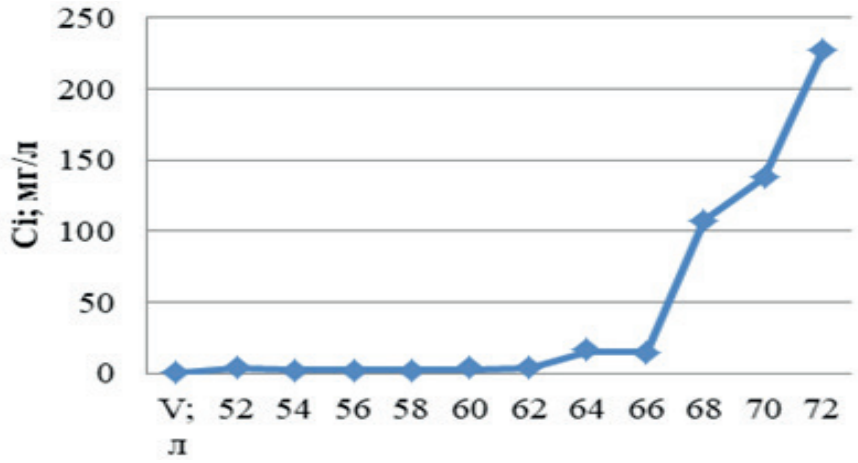


Рисунок 2 – Выходная кривая сорбции ТБФ на АУ Norit GCN 12×40

Из представленных данных, очевидно, что проскок ТБФ в очищаемый раствор при сорбции на каждом из исследуемых АУ происходил после пропускания 62 л маточного раствора. Полное насыщение при этом достигалось после прохождения через колонку 72 л раствора.

Полная динамическая обменная емкость углей DGK 12×40 (CarboTech) и GCN 12×40 (Norit) составила 0,290 г ТБФ на 1 г АУ и 0,287 г ТБФ на 1 г АУ соответственно.

После очистки от ТБФ нитратно-аммиачные маточные растворы направляли на дальнейшую переработку – получение соединений на основе селитры. Аммиачную селитру получали следующим образом: в стеклянный стакан помещали 100 г маточного раствора и упаривали до получения влажного кристаллизующегося при остывании осадка. Полученный осадок высушивали при t=110 °С. После сушки получали кристаллическое гигроскопичное вещество белого цвета, состав которого представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав аммиачной селитры

Содержание, % масс.							
∑РЗО	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	PO_4^{3-}	NH_4^+	NO_3^-	H_2O
<0,01	0,008	0,044	0,04	<0,01	16,07	55,35	11,0
<0,01	0,005	0,029	0,02	<0,01	12,46	42,92	10,5

Согласно данным таблицы 6 полученная аммиачная селитра содержит 55–70% масс. основного вещества, концентрация общего азота составляет около 20–30% масс. При этом продажная форма предполагает более высокое содержание азота в удобрении – согласно ГОСТ 2-2013 (не менее 34 % масс.).

Основные затраты связаны с упариванием исходного раствора, удельные затраты электроэнергии при этом составляют около 0,0825 кВт-ч на 100 г исходного раствора или 16 г сухого остатка соли, то есть около 5,2 кВт-ч на кг продукта.

В связи с тем, что аммиачная селитра обладает повышенной гигроскопичностью и взрывоопасностью проведены опыты по получению соли, с включением в нее кальций и магний-содержащей добавки. В работе использовали известняковую (доломитовую) муку (ГОСТ 14050-93, с содержанием $CaCO_3$+$MgCO_3$ 88 %).

Опыты по получению известково-аммиачной селитры проводили следующим образом: в стеклянный стакан помещали 100 г маточного раствора и упаривали раствор до получения плава влажностью 15-20 %. Влажный плав смешивали с 5 г известняковой муки до однородной консистенции. Полученную смесь измельчали в механической валковой дробилке с межвалковым зазором около 6 мм. Затем дробленый продукт направляли на операцию грохочения на ситах 5мм/1мм с передачей серединной фракции на сушку при t=110 °С. Результаты анализа известково-аммиачной селитры представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Химический состав известково-аммиачной селитры

Содержание, % масс.					
∑РЗО	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	PO_4^{3-}	NH_4^+
0,03	0,293	7,44	4,38	<0,01	16,14

По данным таблицы 7 рассчитан материальный баланс процесса. Концентрация основных элементов приведена в таблице 8. Проведено сравнение полученных значений с данными ТУ 2181-001-77381580-2006 на известково-аммиачную селитру для продажи.

Таблица 8 – Сравнение образцов известково-аммиачной селитры

Характеристика образца / Параметр	Известково-аммиачная селитра по ТУ	Экспериментальный образец известково-аммиачной селитры
Массовая доля общего азота, %, не более в том числе:	27	24,7
аммонийного азота, %	13,5±0,5	12,7
нитратного азота, %	13,5±0,5	12,0
Массовая доля углекислого кальция, % не менее	20	18,6
Гранулометрический состав, в том числе:		
1-4 мм, %, не менее	90	90
до 1 мм, %, не более	3	5
более 6 мм, %, не более	нет	5

Из анализа данных таблицы 8 следует, что наработанный образец известково-аммиачной селитры не соответствует требованиям ТУ, но имеет близкие значения физико-химических характеристик в сравнении с удобрением на продажу.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования активированных углей производства компаний NWC Carbon, CarboTech, Norit. Наилучшие результаты для очистки растворов от ТБФ получены на образцах с размерами гранул 0,42–1,0 и 0,42–1,70 мм: DGK 12×40 (CarboTech), NWM 12×40 (NWC Carbon), GCN 12×40 (Norit). ПОЕ исследованных АУ в обессоленной воде составляет 0,378–0,395 г ТБФ/г АУ, в нитратно-аммиачном модельном растворе – 0,22–0,305 г ТБФ/г АУ.

Поиск альтернативных угольных сорбентов показал, что угли с высоким йодным числом CarboTech DGK 12×40/80 и DGK 12×40/100 имеют более высокую сорбционную е мкость по ТБФ, которая на 10 и 40% выше, относительно такой же марки угля со стандартным йодным числом.

Изучена сорбция ТБФ углями марок DGK 12×40 и GCN 12×40 из реальных маточных растворов аммиачной селитры в динамических условиях. Построены выходные кривые сорбции. Установлено, что проскок ТБФ в очищаемый раствор при сорбции на каждом из исследуемых АУ происходил после пропускания 62 л маточного раствора. Полное насыщение при этом достигалось после прохождения через колонку 72 л раствора.

Показана принципиальная возможность переработки нитратно-аммиачных маточных растворов в минеральное удобрение на основе аммиачной селитры. Наработаны образцы селитры без введения добавок и модифицированные известняковой мукой. Получены аммиачная селитра, содержащая около 20–30% масс. общего азота, и гранулированная известково-аммиачная селитра, имеющая близкие физико-химические характеристики, предъявляемые к минеральному удобрению на продажу.

Следует отметить, что полученные образцы аммиачной селитры являются потенциальными минеральными удобрениями, для подтверждения их эффективности требуются дополнительные исследования, которые будут проведены в следующих работах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борисова Н. Н. Разработка способа очистки растворов редкоземельных металлов от фосфорорганических соединений : реф. дис. на соиск. степ. магистра : 6N0709. – Усть-Каменогорск, 2010. – 20 с.

2. Пат. 2522353 Российская Федерация, МПК C01C 1/246, C05C 1/00. Способ получения композиций, содержащих двойные соли нитрата аммония / К. Д. Стивенс, Г. П. Таулер, Д. Квидер ; патентообладатель ХОНЕЙВЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ ИНК. – № 2011105326/05; заявл. 09.07.2009; опубл. 10.07.2014, Бюл. №19. – 23 с. : ил.

3. Бозоров И.И. NS-удобрения на основе плава аммиачной селитры и природного гипса / И.И. Бозоров, А.А. Маматалиев, Ш.С. Намазов // Universium:технические науки : электрон. научн. журн. – 2020. – №12 (81). – С. 31–35.

4. Пат. 2436753 Российская Федерация, МПК C05C 1/00, C05C 5/00. Композиции, содержащие двойные соли нитрата аммония / Д. А. Квидер, Н. Ивамото; патентообладатель ХОНЕЙВЕЛЛ ИНТЕРНЭНШЛ ИНК. – № 2008132336/13; заявл. 13.01.2007; опубл. 20.12.2011, Бюл. №35. – 10 с.

5. Пат. 2355668 Российская Федерация, МПК C05C 1/00, C05G 1/00. Способ получения сложного удобрения на основе нитрата аммония / П.В. Киселевич, В.Н. Журавлев, А.А. Наумов [и др.]; патентообладатель ЗАО «Завод минеральных удобрений Кирово-Чепецкого химического комбината» (ЗАО «ЗМУ КЧХК»). – № 2007130567/15; заявл. 09.08.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. №14. – 6 с.

6. Пат. 2240283 Российская Федерация, МПК C01C 1/18, C06B 31/28. Фазостабилизированный нитрат аммония / В. А. Таранушич, Г. Ф. Клякин, И. А. Вязенова [и др.] ; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)». – № 2003125154/15; заявл. 11.08.2003; опубл. 20.11.2004. – 4 с.

7. Пат. 2223934 Российская Федерация, МПК C05G 1/08. Способ получения известково-аммиачной селитры / О. Б. Абрамов, С. А. Вандышев, А. С. Дедов [и др.]; патентообладатель Открытое акционерное общество «Кирово-Чепецкий химический комбинат им. Б.П. Константинова». – № 2002123538/15; заявл. 03.09.2002; опубл. 20.02.2004. – 5 с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ СО СМОЛЫ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Фоменко А.С.[1], Искаков З.А.[1], Кумарбекова А.Т.[1], Березовский А.В.[1]
[1]Институт высоких технологий,
г. Алматы, Республика Казахстан
a.fomenko@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Рассмотрена экспериментальная возможность оптимизации технологической схемы извлечения рения со смолы уранового производства, направленная на снижение вынужденных потерь рения и уменьшение расхода нитрат-иона на стадии десорбции.

Ключевые слова: рений, уран, десорбция, десорбирующий раствор, десорбат, нитрат аммония, серная кислота, экстракция.

Fomenko A.S.[1], Iskakov Z.A.[1], Kumarbekova A.T.[1], Berezovskij A.V.[1]
a.fomenko@iht.kazatomprom.kz

Abstract. The experimental possibility of optimization of the technological scheme of rhenium extraction from uranium production resin aimed at reduction of forced losses of rhenium and reduction of nitrate-ion consumption at the desorption stage is considered.

Key words: rhenium, uranium, desorption, desorbing solution, desorbate, ammonium nitrate, sulfuric acid, extraction.

Необходимость в создании производства рения диктуется его высокой стоимостью на рынке, обусловленную высоким спросом, сложностью его добычи и переработки.

Ряд производств РК функционируют на базе крупных производителей базовых металлов как попутный продукт. Президентом дано поручение разработать комплексный план развития редкоземельной отрасли, таким образом, актуальность данной работы обусловлена не только необходимостью комплексной переработки минерального сырья, но и в том числе выполнением этого поручения.

Предыдущие исследования, включавшие также мониторинг, показали, что смола, находящаяся в производственном цикле, предельно насыщена рением, который концентрируется на сильноосновном анионите при сорбционно-десорбционном извлечении урана из продуктивных растворов.

Десорбция рения осуществлялась в один этап со смолы, изъятой из цикла производства после осуществления процесса регенерации анионита. В технологической схеме было предусмотрено использование раствора аммиачной селитры и серной кислоты с концентрацией 150-250 г/дм^3 и 10-40 г/дм^3 соответственно. Далее первые фракции десорбата, содержащие высокие концентрации урана и рения направлялись на переработку в действующее производство. При этом высокие содержания нитрат-иона существенно ограничивали круг переделов, куда без негативных последствий для производственного процесса можно было бы направить эти растворы. Последующие фракции десорбата направлялись на экстракционный передел.

Одним из перспективных подходов к повышению технологической эффективности гидрометаллургического способа попутного извлечения рения из ренийсодержащих технологических продуктов уранового производства является процесс отделения от урана на стадии десорбции.

В вертикально установленные лабораторные колонки загружали отмытый от посторонних включений насыщенный рением сорбент. С помощью лабораторных насосов в колонны снизу вверх подавали десорбирующие растворы. В первую колонку подавался нитратный раствор, где происходила десорбция урана и рения одновременно, а во второй колонке процесс десорбции осуществлялся поэтапно. Сначала раствором серной кислоты со смолы отделяли остаточный уран, затем кислым раствором нитрата аммония десорбировали рений.

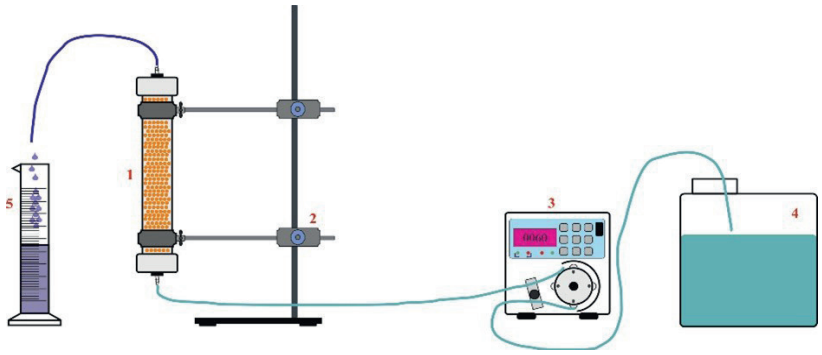


Рисунок 1 – Лабораторная установка

Лабораторная установка состояла из сорбционно-десорбционных колонок с соотношением высоты к диаметру H/D = 20, штатива, перистальтического насоса, емкости подачи десорбирующего раствора, цилиндром для сбора проб десорбата.

Скорость подачи раствора составляла 1 объем на объем сорбента в час. Данная скорость обеспечивает достижение равновесных концентраций десорбируемого элемента в реакционной зоне. На выходе из колонки через каждый час отбирались аликвотные пробы раствора, которые анализировались на содержание в них десорбируемых элементов – урана и рения. Перед пробоотбором емкости тщательно промывались водой и несколько раз ополаскивались тем раствором, который предполагалось отобрать. Выполнение анализов с использованием метода ИСП МС проводилось в аккредитованной аналитической Лаборатории (ЛИАМ) ТОО «ИВТ». Выполнение анализов проводилось в соответствии с методикой пробоподготовки.

Методика, основанная на анализе проб с использованием метода индуктивно-связанная плазма с масс сепарацией, ориентирована на определение содержаний редкоземельных металлов и рения в жидких пробах в диапазоне концентраций от 0,0000001% до 0,01% с относительной погрешностью от 5% до 15%. Результаты анализа представлены в таблице. Кривые десорбции рения, построенные на основании полученных данных представлены на графике

Таблица 1

Кол-во пропущенных объемов	Без обработки раствором H_2SO_4				Предварительная обработка раствором H_2SO_4			
	Re		U		Re		U	
	мг/дм^3	Распр-ие, %	мг/дм^3	Распр-ие, %	мг/дм^3	Распр-ие, %	мг/дм^3	Распр-ие, %
	Сбросные фракции							
1	12,5	1,58	173,0	19,99	3,0	0,42	237,7	32,47
2	70,8	8,95	421,2	48,68	24,6	3,50	226,8	30,98
3	82,6	10,44	163,4	18,88	10,0	1,42	113,3	15,47
4	79,5	10,05	56,8	6,56	5,9	0,84	86,4	11,80
Сбросные фракции	245,3	31,02	814,3	94,10	43,5	6,18	664,1	90,72
	Кондиционные фракции							
5	75,9	9,60	24,1	2,79	0,5	0,08	3,4	0,46
6	66,8	8,44	9,3	1,07	57,2	8,12	37,0	5,05
7	64,9	8,20	5,2	0,60	63,9	9,07	10,4	1,42
8	59,1	7,47	5,2	0,60	64,9	9,21	5,0	0,68
9	53,8	6,80	1,2	0,13	65,2	9,26	3,0	0,41
10	46,5	5,88	0,8	0,09	64,7	9,18	2,0	0,27
11	39,0	4,93	0,6	0,06	61,6	8,75	1,7	0,23
12	32,7	4,14	0,5	0,06	57,0	8,09	1,2	0,16
13	26,0	3,29	0,7	0,08	49,6	7,05	0,8	0,10
14	20,6	2,61	0,7	0,08	41,5	5,90	0,7	0,09
15	17,0	2,15	0,7	0,08	35,7	5,06	0,6	0,08
16	13,7	1,73	0,4	0,05	29,8	4,23	0,6	0,08
17	10,8	1,37	0,4	0,05	24,0	3,40	0,6	0,08
18	8,1	1,02	0,4	0,05	18,9	2,68	0,5	0,06
19	6,1	0,77	0,5	0,05	14,8	2,10	0,4	0,05

20	4,6	0,58	0,3	0,04	11,6	1,64	0,4	0,05
Кондиционные фракции	545,6	68,98	51,0	5,90	660,6	93,82	68,0	9,28
Извлечено со смолы	790,8	100	865,4	100	704,1	100	732,1	100

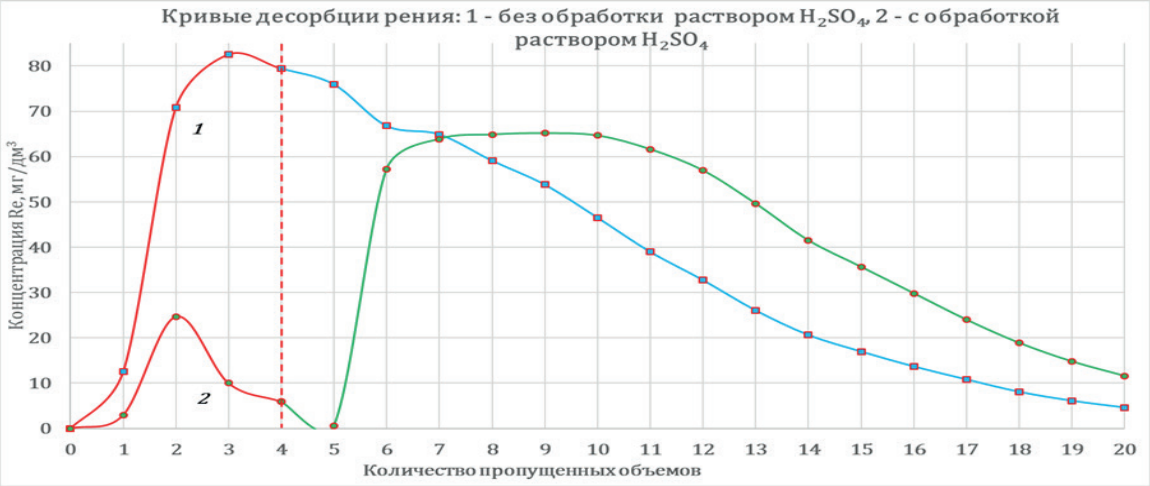


Рисунок 2 – Кривые десорбции рения: 1 – без обработки H_2SO_4,
2 – с обработкой раствором H_2SO_4

Данные в таблице показывают, что практически весь уран 94,1 и 90,7 % десорбируется первыми четырьмя объемами десорбирующего раствора, которые направляются на урановое производство для извлечения урана, а последующие объемы поступают на экстракционную переработку с получением перрената аммония. Без предварительной десорбции урана наблюдается потеря рения вместе со сбросными растворами – 31 % от общего извлечения со смолы. Тогда как во время предварительной обработки сорбента раствором серной кислоты рений также десорбируется в процессе и переходит в сбросные растворы, но его количество составляет 6,2% от общего извлечения со смолы.

При нитратной десорбции без обработки серной кислотой достигаются более высокие содержания десорбируемого элемента в начальных фракциях десорбата, но в кондиционные фракции переходит только 69 % от извлеченного рения. Со смолы, прошедшей предварительную обработку, удалось перевести 93,8% от извлеченного рения в пригодные для дальнейшей переработки фракции. При этом, получить эти показатели извлечения удалось с меньшими затратами по десорбирующему иону.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков В.П. Сорбционные процессы действующих производств. – М.: Издательский дом «Руда и Металл», 2014
2. ТОО «ИВТ». Технический отчет. Разработка и проведение ОПИ на горнорудных и металлургических предприятиях АО «НАК «Казатомпром» комплекса ресурсо- и природосберегающих технологий добычи и переработки, сопутствующих урану ценных компонентов. В 2 частях. – Алматы, 2015.

СОРБЦИОННОЕ ДВУХСТАДИЙНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ КОНДИЦИОННОГО ТРИФТОРИДА СКАНДИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Андреева С.И.[1], Татарников А.В.[1], Мешков Е.Ю.[1], Соловьев А.А.[1], Трошкина И.Д.[2], Лавров А.С.[3]
[1]АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», г. Москва, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», г. Москва, Россия
[3]АО «Далур», Курганская обл., Россия
Andreeva.S.I@vnipipt.ru

Аннотация. Комплексная переработка растворов скважинного подземного выщелачивания может способствовать повышению рентабельности извлечения попутных компонентов даже при их малом содержании в растворах. Извлечение скандия из богатых продуктивных сернокислых растворов подземного выщелачивания урана на АО «Далур» реализуется методом ионообменной сорбции с использованием ТВЭКС на основе Д2ЭГФК. Последующие операции конверсии и экстракции скандия из плавиковокислого десорбата от ТВЭКС на действующем производстве осложняются большими потерями целевого элемента за счет многократной очистки от примесей, таких как торий, титан, уран. В работе рассмотрен альтернативный способ извлечения скандия из плавиковокислого десорбата от ТВЭКС с помощью вторичной сорбции скандия слабоосновным анионитом с первичными функциональными аминогруппами. Определены емкостные характеристики анионита в заданных условиях. Установлено, что после десорбции скандия из слабоосновного анионита раствором карбоната аммония возможно прямое осаждение трифторида скандия. Проведено сернокислотное осаждение целевого продукта из карбонатно-аммонийного десорбата с получением кондиционного трифторида скандия.

Ключевые слова: трифторид скандия, сорбция, слабоосновный анионит, сорбционная емкость, десорбат, осаждение.

SORPTION TWO-STAGE PRODUCTION OF CONDITIONED SCANDIUM TRIFLUORIDE FROM URANIUM IN-SITU LEACHING SOLUTIONS

Andreeva S.I.[1], Tatarnikov A.V.[1], Meshkov E.Yu.[1], Solovev A.A.[1], Troshkina I.D.[2], Lavrov A.S.[3]
[1] Design&Survey and Research&Development Institute of Industrial Technology, Joint-Stock Company, Moscow, Russia
[2] D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia
[3] JSC “Dalur”, Kurgan region, Russia
Andreeva.S.I@vnipipt.ru

Abstract. Complex processing of in-situ leaching solutions can improve the profitability of associated components extraction even if their content in solutions is low. Extraction of scandium from rich productive sulphuric acid solutions of in-situ uranium leaching at JSC Dalur is realised by ion-exchange sorption using a solid extractant based on di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid. Subsequent operations of conversion and recovery of scandium from hydrofluoric acid desorbate from solid extractant at the existing production are complicated by large losses of the target element due to multiple purification from impurities such as thorium, titanium, uranium. The paper considers an alternative method of scandium recovery from hydrofluoric acid desorbate from solid extractant by secondary sorption of scandium by weakly basic anionite with primary functional amino groups. Capacitive characteristics of the anionite under the given conditions were determined. It is established that after desorption of scandium from weakly basic anionite by ammonium carbonate solution direct precipitation of scandium trifluoride is possible. Sulfuric acid precipitation of the target product from carbonate-ammonium desorbate was carried out to obtain conditioned scandium trifluoride.

Key words: scandium trifluoride, sorption, weakly basic anionite, sorption capacity, desorbate, precipitation.

Получение сернокислого продуктивного раствора (ПР) методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) широко применяется в мировой практике добычи урана [1]. Основным преимуществом метода является его эффективность в условиях низких содержаний целевых элементов в рудах. Основные расходы при СПВ относятся к стоимости целевого уранового продукта, в связи с этим расходы на попутное извлечение скандия и других сопутствующих металлов могут быть экономически оправданы даже при их малом содержании в растворах.

Среди редких элементов скандий, концентрирующийся в полиметалльных урановых рудах, используется в производстве специальных алюминиевых сплавов в области ракето- и самолетостроении, в медицине и при создании элементов памяти компьютерной техники [2,3]. Одним из способов извлечения скандия из сернокислых растворов является использование твердых экстрагентов (ТВЭКС) на основе ди-2-этилгексилфосфорной кислоты (Д2ЭГФК) [4,5]. Подобный экстрагент в настоящее время используется на опытно-промышленной установке получения скандия АО «Далур». В действующей технологии сорбционного извлечения скандия десорбцию ТВЭКС проводят плавиковокислым раствором, после чего из полученного десорбата осаждают примеси, затем черновой скандиевый концентрат (ЧСК). Далее проводят конверсию ЧСК с последующей сушкой, повторным растворением и отмывкой. После чего полученный гидроксид скандия направляется на экстракцию из сернокислых растворов с последующим осаждением очищенного трифторида скандия из реэкстракта. Подобный метод переработки плавиковокислого десорбата осложняется значительными потерями целевого продукта на этапе осаждения примесей и с образованием нерастворимых фторидных комплексов («бород») при экстракционной очистке.

В работе рассмотрен альтернативный метод получения трифторида скандия – сорбция скандия из плавиковокислого десорбата на слабоосновном анионите с первичными функциональными группами. Этот метод позволяет не только селективно выделить скандий среди большинства концентрирующихся в растворе примесей (уран, титан, торий, железо), но и напрямую провести кислотное осаждение кондиционного трифторида скандия из карбонатного десорбата слабоосновного анионита.

Для изучения сорбционных характеристик слабоосновного анионита проведена сорбция скандия из технологического плавиковокислого десорбата (C(HF) – 100 г/дм^3) следующего состава (таблица 1).

Таблица 1 – Состав исходного технологического раствора для сорбции скандия

Содержание в растворе,										
мг/дм^3										г/дм^3
Sc	Th	U	Si	Fe	Ti	Zr	Mo	Al	Na	F
504,7	0,26	69,2	304,5	1902,0	343,9	19,7	433,9	34,6	888,0	84,0

Сорбцию скандия проводили в динамических условиях до достижения равенства концентрации в исходном растворе и в растворе после сорбции. Раствор подавали в нижнюю часть колонны через неподвижный слой ионита с расходом 1000 см^3/ч при рабочем объеме ионита в колонне – 630 см^3. Выходные кривые сорбции скандия и некоторых примесей представлена на рисунке 1.

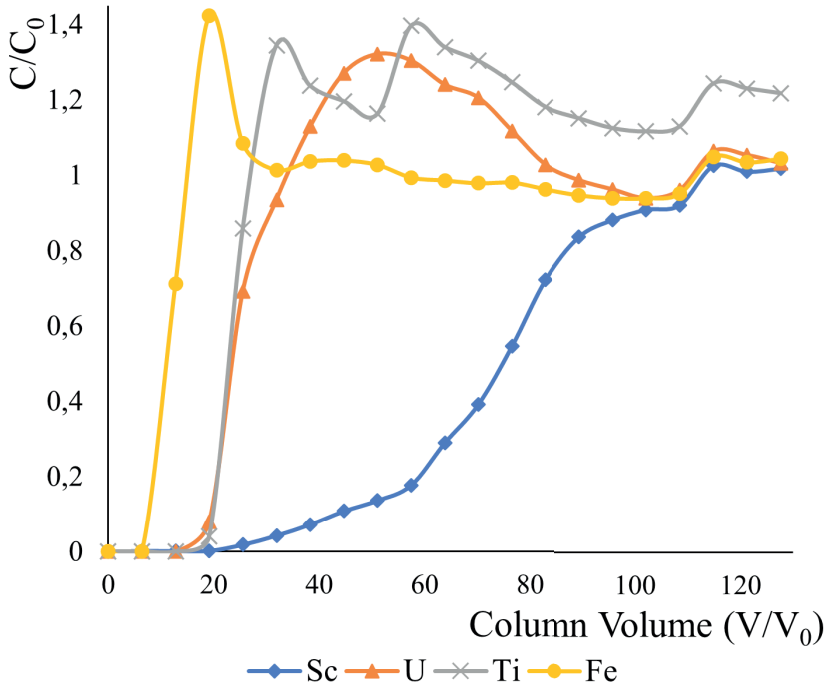


Рисунок 1 – Выходные кривые сорбции скандия и примесей слабоосновным анионитом

Выходная кривая сорбции скандия имеет классический вид. Содержание скандия в насыщенном сорбенте – полная динамическая обменная емкость (ПДОЕ) составляет 34,6 г/дм^3 (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание скандия и примесей в насыщенном анионите

Содержание в ионите, мг/дм^3											
Sc	Th	U	Si	Fe	Ti	Zr	Mo	Al	Ca	Mg	Na
34600	30,6	160	17,0	1905	2007	74,8	3707	1361	214	133	1701

Анионит эффективно сорбирует скандий, который при этом вытесняет сопутствующие примеси достаточно эффективно, однако кинетический коэффициент сорбции (β) составляет – 0,138.

При аналогичном насыщении анионита и дополнительной очистке от примесных элементов промывкой азотной кислотой с дальнейшим элюированием карбонатом аммония (200 г/дм^3) получен десорбат следующего состава (таблица 3).

Таблица 3 – Состав карбонатного десорбата для осаждения трифторида скандия

Содержание в растворе,												
мг/дм^3												г/дм^3
Sc	Th	U	Zr	Fe	Ti	Zr	Mo	Al	Ca	Mg	Na	F
8170	14,4	4,8	0,22	4,6	0,2	0,2	1,2	33,1	3,2	6,7	8,7	7,27

Основной целью этапа осаждения из десорбата являлось не только полное прямое извлечение целевого скандиевого продукта, но и получение чистого по техническим требованиям трифторида скандия.

В полученный десорбат предварительно вводили раствор концентрированной фтороводородной кислоты (HF) из расчета свободного фтор-иона на образование ScF_3 (с дополнительным 30%-м избытком), учитывая уже имеющееся содержание свободного фторид-иона в десорбате. Затем при перемешивании вводили концентрированную серную кислоту до концентрации в растворе – 1 н. Установлено, что выпадение осадка начинается при концентрации кислоты – 0,3 н, а завершается в интервале 0,7-0,8 н. Полученный осадок предварительно промывали 1 н серной кислотой, затем дистиллированной водой, после чего сушили до постоянной массы и анализировали на содержание скандия и примесей (таблица 4).

Таблица 4 – Состав полученного трифторида скандия

Содержание элементов, %	Sc	Fe	Mg	Ti	Si	Zr	Ca
Полученный осадок	41,55	0,0015	0,034	<0,0001	0,064	<0,001	0,020
Технические требования (ОК «Русал»)	>35	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,5

В результате проведенного осаждения кондиционного фторида скандия из карбонатно-аммонийного десорбата степень извлечения скандия из раствора составляет 99,43 %. Реализуемое прямое осаждение скандия из карбонатного десорбата позволяет исключить безвозвратные потери скандия с осадками примесей, фторидными растворами.

Идентификация структуры полученного осадка с помощью рентгенодифракционного анализа подтвердила нахождение скандия в структурно-фазовом состоянии – ScF_3. Полученный трифторид скандия удовлетворяет требованиям к получаемому продукту.

Таким образом, результаты исследований показали эффективность применения слабоосновного анионита с первичными аминогруппами в качестве ионообменного материала для технологических процессов при сорбционной переработке продуктивных растворов СПВ урана. Применение анионита в технологии получения скандия из плавиковокислых десорбатов от ТВЭКС целесообразно, учитывая емкостные характеристики сорбента при наличии конкурирующих ионов примесных элементов. В процессе эффективного осаждения трифторида скандия из карбонатно-аммонийного десорбата серной кислотой основная масса примесей остается растворенной в фильтрате осаждения, при этом потери скандия в заданных условиях минимальны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мамилов В.А. Добыча урана методом подземного выщелачивания / Мамилов В.А., Петров Н.Н., Шушания Г.Р. – М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.

2. Соловьев А.А., Мешков Е.Ю., Бобыренко Н.А., Парыгин И.А. Определение возможности сорбционного концентрирования скандия и редкоземельных металлов из возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания урана // Цветные металлы. – №7. – 2018. – С. 6–12.

3. Зайцева А.Д. Извлечение скандия из сернокислых растворов с помощью импрегнатов, основанных на активированных углях и смеси Д2ЭГФК и ТБФ / Зайцева А.Д., Галактионов С.С., Краснощеков А.Н., Смакотина В.В., Рублева С.А. // Успехи в химии и химической технологии. – №12. – 2021. – Том XXXV. – С. 60–61.

4. Смышляев В.Ю. О попутной добыче скандия из продуктивных растворов скважинного подземного выщелачивания / Смышляев В.Ю. // Горный журнал. – № 8. – 2017. – С. 28–32.

5. Трошкина И.Д. Импрегнаты и ТВЭКСы в технологии редких элементов / Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Вацура Ф.Я., Жукова А.А., Пьяе Пью Аунг, Тарганов И.Е. // Успехи в химии и химической технологии. – № 1. – 2019. – Том XXXIII. – С. 66–67.

ОСНОВНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА РЗМ

С.М. Ислякова, Б.Б. Юсупова, Д.К. Абдихамитов,
АО «Волковгеология» г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Рынок редкоземельных элементов, начавший активное развитие в середине XX века, продолжает демонстрировать стремительный рост благодаря увеличивающемуся глобальному спросу, стимулированному научными и технологическими достижениями. Этот рост требует постоянного увеличения добычи на существующих месторождениях и активной разработки новых проектов по всему миру. В то же время, стратегические запасы важны для стран с развитой высокотехнологичной промышленностью, особенно учитывая монопольное положение Китая на рынке. Важно осознавать долгосрочную динамику спроса и предложения на рынке редкоземельных элементов для обеспечения его стабильности и устойчивого развития.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, рынок редкоземельных элементов, неодимовые магниты.

Abstract. The rare earth metals market, which began to develop actively in the middle of the twentieth century, continues to show rapid growth due to increasing global demand, stimulated by scientific and technological advances. This growth requires a continuous increase in production from existing fields and the active development of new projects around the world. At the same time, strategic reserves are important for countries with developed high-tech industries, especially given their monopoly position.

Keywords: rare earth metals, rare earth market, neodymium magnets.

Редкоземельные металлы представляют собой разновидность минерального сырья, которое имеет стратегическое значение для развитых стран всего мирового сообщества. Глобальный рынок редкоземельных металлов растет на высоких темпах. За последние 50 лет его объем увеличился более чем в 25 раз, с 5 тысяч тонн до 125 тысяч тонн в год. Основные области применения редкоземельных металлов включают производство магнитов (22% от общего потребления), различных конструкционных материалов (приблизительно 19%), современных катализаторов для нефтехимической промышленности (18%), а также высококачественной оптики, стекла и приборов на их основе (приблизительно 15%). Быстрорастущие перспективные области применения редкоземельных металлов включают производство гибридных автомобилей, ветроэнергетических турбин, военной, телекоммуникационной, компьютерной и телевизионной техники, автокатализаторов и катализаторов для нефтяного крекинга, лазеров, сверхпроводников и топливных элементов, а также металлургическую продукцию с уникальными свойствами и другие области.

Ключевыми потребителями редкоземельных металлов являются ведущие страны мировой экономики: Китай (54%), Япония и Южная Корея (в совокупности 24%), страны Европы (в основном Германия и Франция, вместе 13%) и США (8%) [1].

Китай – безусловный доминат во всей глобальной технологической цепочке добычи и переработки этого вида сырья и в создании инновационной продукции на его основе. Многие зарубежные компании, работающие в отрасли высоких технологий (Япония, Корея), были вынуждены передислоцировать производственные мощности на территорию Китая на особых условиях с целью получения доступа к требуемым сырьевым компонентам.

Крупнейшими потребителями скандия являются Япония, Малайзия, Таиланд, Вьетнам и США, среди которых выделятся Япония с импортными показателями в 206 миллионов долларов. При этом крупнейшим поставщиком среди рассматриваемых предстал Вьетнам, который в 2021 году экспортировал скандий на сумму свыше 115 миллионов долларов.

Страны СНГ занимают второе место по запасам РЗМ (около 17%), где превалируют в основном месторождения России. Россия обладает существенным ресурсным потенциалом и, по данным 2020 года, занимает четвертое место в мире по объемам учтенных запасов РЗМ, но ориентирована только на up-stream сегмент – добычу и первичное получение концентратов [2].

На государственном балансе Казахстана числится 15 месторождений, в том числе восемь с балансовыми запасами: Белогорское, Верхне-Баймурзинское, Бакенное, Юбилейное, Кварцевое, Ахметкино, Калай-Топкан (Восточный Казахстан), Караобинское (грейзеновое) в Центральном Казахстане. Среди редкоземельных месторождений выделяются следующие типы: магматические, карбонатитовые, альбититовые, грейзеновые, скарново-грейзено-вые и развитые по ним коры выветривания, гидрогенные руды и угли. Эндогенные месторождения, содержащие редкие земли, обычно характеризуются сложным поли-компонентным составом. РЗЭ в них наблюдаются, как правило, в тесной ассоциации с торием, ниобием, танталом, цирконием, реже – с ураном, молибденом,бериллием [3].

Метрика отчета	Подробности
Размер рынка Стоимость в 2021 году	5,3 миллиарда долларов США
Прогноз выручки в 2026 г.	9,6 млрд долларов США
CAGR	12,3%
Объем рынка, доступный в течение многих лет	2019-2026
Базовый год считается	2020
Прогнозный период	2021-2026 гг.
Единицы прогноза	Стоимость (долл. США)
Охваченные сегменты	Тип, приложение и регион
Охваченные географии	Северная Америка, Азиатско-Тихоокеанский регион, Европа и остальные страны.
Охваченные компании	Lynas Corporation (Австралия), Alkane Resources ltd (Австралия), Arafura Resources Ltd (Австралия), China Minmetals Rare Earth Co Ltd (Китай), Avalon Advanced Materials, Inc (Канада), Iluka Resource Ltd (Австралия), Canada Rare Earth Corporation (Канада). Всего в отчете охвачено 20 игроков рынка.

Рисунок 1 – Объем отчета рынка редкоземельных металлов

В 2021 году рынок редкоземельных металлов оценивался примерно в 7 063,9 млн долларов, а к 2030 году он, по прогнозам, достигнет 15 473,3 млн долларов, увеличившись в среднем на 9,1% в период с 2021 по 2030 год.

Прогнозируется, что в ближайшие годы Европа станет вторым по темпам роста рынком после Азиатско-Тихоокеанского региона, поскольку на европейские страны приходится значительная доля импорта редкоземельных металлов.

Анализ динамики мирового потребления РЗМ показывает, что к 2028 году объем глобального спроса на РЗМ может достигнуть 420 тыс. тонн со среднегодовым темпом роста 7,8–8 %, что составит приблизительно 13,1 млрд долларов США (рисунок 2).

Данные о состоянии мирового рынка РМ, объеме производства и стоимости демонстрируют емкость рынка. В течение следующего десятилетия спрос на РМ будет интенсивно расти, поскольку, как ожидается, рынок энергетических технологий вырастет почти в десять раз [4].

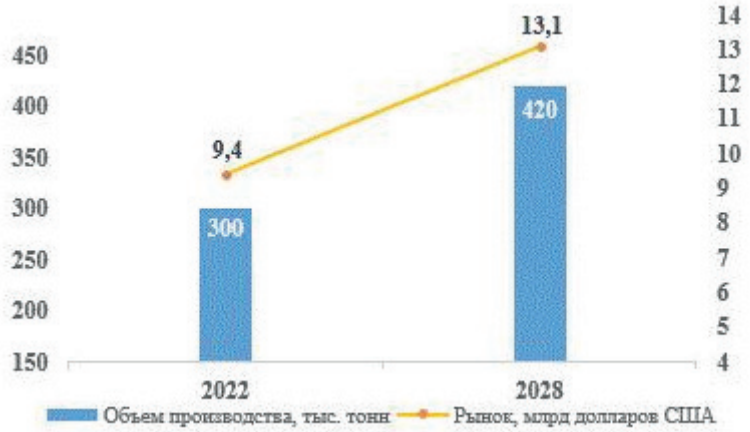


Рисунок 2 – Прогноз развития мирового рынка РЗМ

Росту рынка редкоземельных металлов способствуют несколько факторов. Например, все большее применение неодимовых магнитов в аппаратах МРТ для безопасной визуализации внутренней анатомии без использования радиации. Кроме того, как государственные, так и частные организации инвестируют в этот сектор.

Повышенный спрос на эти элементы также обусловлен их разнообразным использованием в оборонном

оборудовании, таком как ночные приборы, средства связи, стелс-технологии и точное оружие. Расходы на оборону в 2020 году составили 2,4% мирового ВВП, что свидетельствует о значительном спросе на различные военные технологии.

Кроме того, спрос на редкоземельные элементы будет поддерживаться растущим производством долговременных потребительских товаров в развивающихся странах. Например, в рамках государственной инициативы "Сделай в Индии" компания HP начала производство ноутбуков в Индии. Эта компания, занимающая около 35% рынка, планирует расширить свою продуктовую линейку.

Прогнозируется, что в ближайшие годы рынок редкоземельных металлов в Азиатско-Тихоокеанском регионе будет расти в среднем более чем на 9%. Китай обладает наибольшими запасами этих элементов и является их главным производителем и экспортером, с более чем 60% долей в мировом производстве. Кроме того, рынок продолжает развиваться благодаря увеличению производства автомобилей и росту строительной отрасли [5,6].

Заключение

На рынке редкоземельных металлов существует дефицит, который вызван преобладанием Китая в мировых запасах и одновременным сокращением экспорта этих металлов за пределы Китая. Этому способствуют увеличение производства электромобилей, распространение "зеленой" энергетики и использование редкоземельных металлов в других отраслях. В ближайшее время редкоземельные металлы могут стать фактором геополитики и вызывать международное напряжение. Весьма вероятно, что будущие конфликты могут возникнуть не из-за углеводородов, а из-за редкоземельных металлов. Отсутствие собственной базы редкоземельных металлов может препятствовать развитию высокотехнологичной продукции. Редкоземельные металлы играют важную роль в автомобилестроении, производстве электрических батарей, топлива, а также в разработке новых систем противоракетной обороны, истребителей шестого поколения и других передовых технологий. Эксперты прогнозируют, что к 2030 году возникнет еще больший дефицит предложения редкоземельных элементов из-за роста спроса на них. Это создаст стимул для финансирования строительства и запуска новых производственных мощностей, включая те, которые будут располагаться на территории России и Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Самсонов Н.Ю. Семягин И.Н Обзор мирового и российского рынка редкоземельных металлов [Дневник] // Всероссийский экономический журнал ЭКО. – 2014 г.. – 476 : Т. 2. – стр. 42–51.

2. [Электронный ресурс]. URL: https://minpromtorg.gov.ru/press-centre/news/#!denis_manturov_dolozhil_prezidentu_o_razvitii_vysokotehnologichnyh_otrasley_promyshlennosti (дата обращения: 03.07.2023)//

Отраслевой портал горно-металлургической промышленности -Metal Mining Info.

3. Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 декабря 2023 года № 1221 – Об утверждении Комплексного плана развития отрасли редких и редкоземельных металлов на 2024–2028 годы.

4. [В Интернете] // Research and Markets . – Feb 2023 г.. – https://www.prnewswire.com/news-releases/global-rare-earth-metals-market-outlook-report-2022-a-15-47-billion-market-by-2030---increase-in-demand-for-semiconductors-bodes-well-for-the-sector-301736562.html (дата обращения: 02.04.2024)

5. [В Интернете] // https://www.psmarketresearch.com/. – Dec 2022 г.. https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/rare-earth-metals-market (дата обращения 01.04.2024)

СТРАТЕГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕРИЛЛИЯ В РОССИИ

В.В. Меньшиков[1], Е.Б. Солнцева[2]
[1]Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет» имени Н.П. Сажина, г. Москва, РФ
[2]Акционерное общество «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии им. Б.Н. Ласкорина», г. Москва, РФ
ValVlMenshikov@rosatom.ru
EBSolntseva@rosatom.ru

Аннотация. Мировые тенденции применения бериллия при создании наукоемкой продукции диктуют необходимость создания производства бериллия в России. Предпосылками для этого являются наличие сырьевой базы и компетенций в области технологии получения металлического бериллия и продукции на его основе. Разработана принципиально новая технология получения гидроксида бериллия − основного исходного продукта для получения металлического бериллия и продукции на его основе. В разработанную технологию заложены решения, отвечающие требованиям времени: более эффективные, экологически более безопасные, применимые к бериллийсодержащим концентратам любой минерализации. Для проведения испытаний в опытно-промышленном масштабе рассчитан материальный баланс, подобрано соответствующее оборудование и выданы исходные данные на проектирование.

Ключевые слова: бериллий, автоклавное выщелачивание, мембранный электролизер, гидроксид бериллия

Основным исходным продуктом для получения металлического бериллия является гидроксид бериллия. Переработка концентратов с получением гидроксида бериллия по известным технологическим схемам (фторидная или сульфатная) сопряжена с большим водопотреблением, значительным расходом реагентов, материалов, энергоресурсов, образованием большой массы отходов и нагрузкой на окружающую среду.

Теоретическая и практическая проработка вопроса замены применяемой в мире сульфатной схемы позволила предложить принципиально новую технологию получения гидроксида бериллия.

На основе проведенных НИР и их экспериментальной проверки в укрупненном масштабе, разработана принципиально новая технология получения гидроксида бериллия с использованием метода мембранного электродиализа.

Внимание к мембранной технологии в последнее время резко возросло из-за ее высокого экологического потенциала. Быстрый рост востребованности мембранных процессов в промышленности можно объяснить тем, что традиционно используемые в промышленной практике технологии достигли своего предела с точки зрения их дальнейшей оптимизации и адаптации к возросшим требованиям производства и экологии. В производстве бериллия мембранные процессы ранее не применялись. Мембранные технологии не требуют применения реагентов, они экологически и практически безопасны.

Разработанная технология получения гидроксида бериллия позволяет решить ряд экологических и экономических проблем – это залог снижения себестоимости гидроксида бериллия и, соответственно, себестоимости металлического бериллия. Поскольку практически все операции технологического цикла проводятся в непрерывном режиме, то появляется реальная возможность автоматизировать производство гидроксида бериллия, сократить контакт технического персонала с вредными продуктами и в значительной степени улучшить условия труда.

Основной стоп-фактор развития бериллиевого производства в России − разрыв бизнес-цепочки между убыточной минерально-сырьевой базой и металлургическим переделом.

При организации промышленного производства бериллия считать приоритетным создание сначала цехов по выпуску гидроксида бериллия, оксида бериллия и медно-бериллиевой лигатуры методом карботермии – продуктов, наиболее востребованных на мировом рынке. Их быстрая реализация на I этапе позволит значительно сократить затраты на строительство и срок окупаемости проекта.

С целью уточнения технико-экономических показателей и оценки эффективности разработанной технологии получения гидроксида бериллия запланировано проведение опытно-промышленных испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вебстер Д. Бериллий. Наука и технология / Пер. с англ. под редакцией Г.Ф. Тихинского и И.И. Папирова. – М.: Металлургия, 1984. – 624 с.
2. Блешинский С.В., Абрамова В.Ф., Дружинин И.Г. Химия бериллия. – Фрунзе: Академия наук Киргизской ССР, 1955. – 193 с.
3. Николаевский В.Б., Коцарь М.Л., Матясова В.Е. Мембранный электролиз в технологии получения гидроксида бериллия // Атомная энергия. – Т. 122. – Вып.2. – 2017. – С 83–88.
4. Матясова В.Е. Бериллий. Технология и производство. – М.: ООО «Винпресс», 2020. – 319 с.

ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РУДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА

Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А.
АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Республика Казахстан
madali_2011@inbox.ru

Аннотация. В статье представлен обзор рудного и техногенного сырья Казахстана, содержащего редкоземельные металлы. Описана степень подготовленности и изученности месторождений для создания производства по добыче металлов. Показаны разработанные технологические схемы извлечения редкоземельных металлов из отработанного расплава титановых хлораторов титано-магниевого производства, промпродукта от обогащения цирконового концентрата, отвального кека переработки вольфрамитового концентрата и фосфогипса – отхода производства минеральных удобрений.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, рудное месторождение, техногенное сырье, технология, концентрат, вольфрамит, фосфорит, фосфогипс.

TECHNOLOGIES FOR EXTRACTION OF RARE EARTH METALS FROM ORE AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS OF KAZAKHSTAN

Naimanbayev M.A., Lokhova N.G., Baltabekova J.A.

Abstract. The article provides an overview of ore and technogenic raw materials in Kazakhstan containing rare earth metals. The degree of preparedness and exploration of deposits for the creation of metal mining production is described. The developed technological schemes for the extraction of rare earth metals from the waste melt of titanium chlorinators of titanium-magnesium production are shown, middling product from the enrichment of zircon concentrate, dump cake for processing wolframite concentrate and phosphogypsum, a waste product from the production of mineral fertilizers.

Keywords: rare earth metals, ore deposit, technogenic raw materials, technology, concentrate, wolframite, phosphorite, phosphogypsum.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ РУДА ЖӘНЕ ТЕХНОГЕНДЫҚ ШИКІЗАТЫНАНСИРЕКТІ ЖЕР МЕТАЛДАРЫН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А.

Аңдатпа. Мақалада Қазақстандағы сирек жер металдары бар кен және техногендік шикізатқа шолу жасалады. Металл өндіру өндірісін құру үшін кен орындарының дайындығы мен барлау дәрежесі сипатталған. Титан-магний өндірісінің титан хлораторларының балқыма қалдықтарынан, циркон концентратын байытудан алынған ортаңғы өнім, вольфрамит концентратын өңдеуге арналған үйінді торт, және минералды тыңайтқыштар өндірісінің қалдық өнімі фосфогипстен сирек жер металдарын алудың әзірленген технологиялық схемалары көрсетілген.

Кілт сөздер: сирек жер металдары, кен орны, техногендік шикізат, технология, концентрат, вольфрамит, фосфорит, фосфогипс.

В современном мире редкоземельные металлы (РЗМ) играют большую роль, и значение их увеличивается с каждым годом благодаря использованию во многих технологиях и наукоемких продуктах: при производстве телевизоров, сотовых телефонов, компьютеров, в автомобиле- и самолетостроении, в подводных лодках, танках, в лазерной технике, сверхпроводниках, высокотемпературной керамике, высококачественных оптических стеклах. Наиболее динамично развивающиеся технологии – это энергосберегающие и природоохранные «зеленые технологии»: ветровые установки, солнечные батареи, электромобили и т.д. [1]. Сферы потребления РЗМ [2] приведены на рисунке 1.

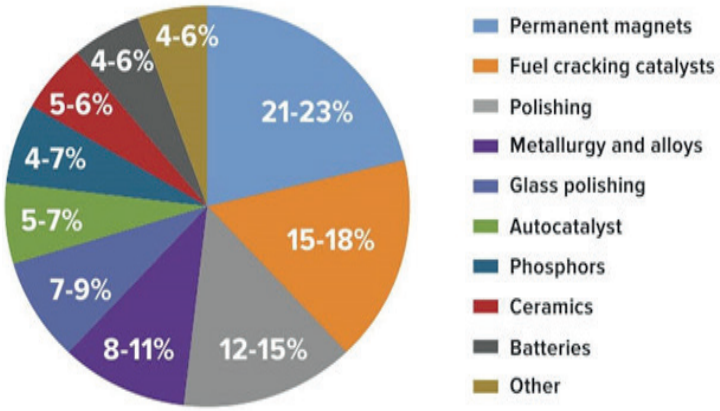


Рисунок 1 – Структура мирового потребления РЗМ в 2016 – 2020 гг.

Редкоземельные элементы (РЗЭ) относительно широко распространены в земной коре, однако при этом редко встречаются в концентрациях, подходящих для их добычи.

Республика Казахстан располагает значительными запасами как собственного редкоземельного, так и РЗЭ-содержащего комплексного минерального сырья [3].

Из рудного сырья практический интерес представляет месторождение Верхнее Еспе, находящееся в Восточно-Казахстанской области, в котором редкометально-редкоземельное оруднение с промышленным содержанием металлов сосредоточено в двух типах руд – щелочных (альбитизированных) минерализованных гранитах (содержание суммы РЗЭ в среднем 0,25%) и метасоматически измененных породах (фенитах) (содержание суммы РЗЭ в среднем 0,48%). На месторождении Верхнее Еспе требуется провести доразведку и дополнительные исследования по обогащению тонковкрапленных руд.

Фосфоритовые месторождения Каратау также отличаются промышленными содержаниями редкоземельных элементов. Содержание суммы редкоземельных элементов в них изменяется от 614 до 1088 г/т. Среди редкоземельных элементов преобладают элементы иттриевой группы. Учитывая уникальные запасы фосфоритов Каратау и высокие содержания редкоземельных элементов, их можно считать одним из первоочередных источников получения РЗЭ в Казахстане.

Одним из перспективных редкоземельных объектов, заслуживающим дополнительных поисково-оценочных работ является месторождение Шок-Карагай (Аиртауский район Акмолинской области). Редкоземельное оруденение распространено как в коренных породах фундамента, так и в корах выветривания. Выделены две рудоносные зоны, несущие РЗЭ оруденение. На участке Шок-Карагай Южный содержания ΣРЗЭ составляет 0,1–0,6 %, доля иттрия в общей сумме около 20 %. На участке Шок-Карагай Северный содержания иттрия и Σ РЗЭ – 0,1–0,4 %. Коры выветривания прослеживаются в виде зоны, протяженностью несколько километров. Содержание суммы оксидов РЗЭ – 0,1–0,5 %, содержание иттрия – 0,08%.

Анализ подготовленности месторождений редкоземельных элементов к промышленному освоению (степень изученности, эффективность разработанных технологий обогащения и гидрометаллургии) показывает, что перспективными являются месторождения Акбулак, Кундыбай, Верхнее Еспе, Караоба, Шокаш и Каратау.

Суммарные сырьевые ресурсы всех рассмотренных месторождений весьма значительны и дают возможность выбора объектов, по степени их подготовленности и изученности [4], для создания в Казахстане производства редкоземельных концентратов.

В настоящее время в Казахстане практически отсутствует производство редкоземельных элементов из собственного сырья, хотя имеются все необходимые предпосылки для создания и развития отрасли. Ранее производителем редкоземельных металлов в республике являлся Иртышский химико-металлургический завод. С 1999 года он был разделен на две части и продан в частную собственность отдельными лотами: ТОО «Иртышская редкоземельная компания» («IRESCO»), где перерабатывают привозные концентраты из Соликамского магниевого завода с получением соединений редкоземельных металлов и АО «ИХМЗ», где имелись простаивающие мощности, сейчас там работает ТОО «Dinatron Kazakhstan Ltd» производящее слитки титана и ниобия. Компания «IRESCO» не загружена на полную мощность в связи с недостаточностью обеспечения сырьем – кондиционными редкоземельными концентратами.

В таблице 1 приведено распределение групп редкоземельных элементов в доступных рудных концентратах. Как видно из данных наиболее оптимальное соотношение групп имеется в фосфорите и черчите [5].

Таблица 1 – Распределение групп редкоземельных элементов в рудном сырье, %

Сырье	Содержание в руде, %	Группа			
		Иттрий	Легкая (La, Ce, Pr, Nd)	Средняя (Sm, Eu, Gd)	Тяжелая (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)
Фосфорит (Каратау)	0,31	36,8	37,5	13,2	12,5
Вольфрамит (Караоба)	0,158	15,3	62,1	2,2	20,4
Черчит (Кундыбай)	0,20 (ср.)	50,2	10,7	11,3	27,8
Ильменит (Шокаш)	0,98	3,2	95,3	0,7	0,8
Рутил-циркон (Шокаш)	0,921	9,0	88,5	0,9	1,6
Урановая руда (Восток)	0,016	38,6	51,8	6,9	2,7

Руда месторождения «Шокаш», (рутил-циркониевый и ильменитовый концентраты), содержит большое количество РЗЭ 0,92–0,98%, относящихся к легкой группе, представленной в основном неодимом 0,6–0,8%. В руде редкоземельные элементы находятся в виде фосфатов и в виде радиоактивного монацита.

Фосфоритовый концентрат месторождения «Каратау», перерабатываемый на ТОО «Завод минеральных удобрений» содержит редкоземельные элементы в количестве 0,2–0,3% и не является радиоактивным. Вследствие того, что другие рудные месторождения промышленно комплексно не освоены, наиболее доступным сырьевым источником редкоземельных элементов является фосфорит.

В настоящее время до 98% добываемого из недр земли минерального сырья превращается в отходы и только 2% в полезный продукт. Значительные содержания в отходах особо ценных цветных, редких и благородных металлов, нередко превышающие концентрации в традиционных рудах, определяют актуальность переработки техногенного сырья, вовлечение его в промышленное использование. По данным различных экспертов, в стране накоплено от 14 до 25 млрд. т техногенных отходов.

В таблице 2 приведено распределение групп редкоземельных элементов в проанализированных видах техногенного сырья по группам [5]. Как видно из таблицы наиболее оптимальное соотношение групп и содержание тяжелых лантаноидов имеется в фосфогипсе от переработки фосфорита и отвальном кеке от переработки вольфрамитового концентрата.

Одним из потенциальных сырьевых источников редкоземельных элементов являются также отработанные расплавы титановых хлораторов титано-магниевого производства, в них доля лантаноидов тяжелой группы составляет 58%.

Таблица 2 – Распределение групп РЗЭ в техногенном сырье, %

Сырье	Группа			
	Иттрий	Легкая (La, Ce, Pr, Nd)	Средняя (Sm, Eu, Gd)	Тяжелая (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)
Фосфогипс от переработки фосфорита (Каратау)	40,1	40,5	4,9	14,5
Отвальный кек от переработки вольфрамитового концентрата	33,6	33,9	Не обнаружено	27,5
Отработанный расплав титановых хлораторов (ОРТХ)	4,15	29,1	8,7	58,1
Хвосты сорбции урана	0,003	38,6	51,8	6,9

В АО «Институт металлургии и обогащения» выполнен ряд исследований по извлечению редкоземельных концентратов из различных видов рудного и техногенного сырья. Были разработаны технологии извлечения редкоземельных элементов:

- из отработанного расплава титановых хлораторов титано-магниевого производства [6], рисунок 2.

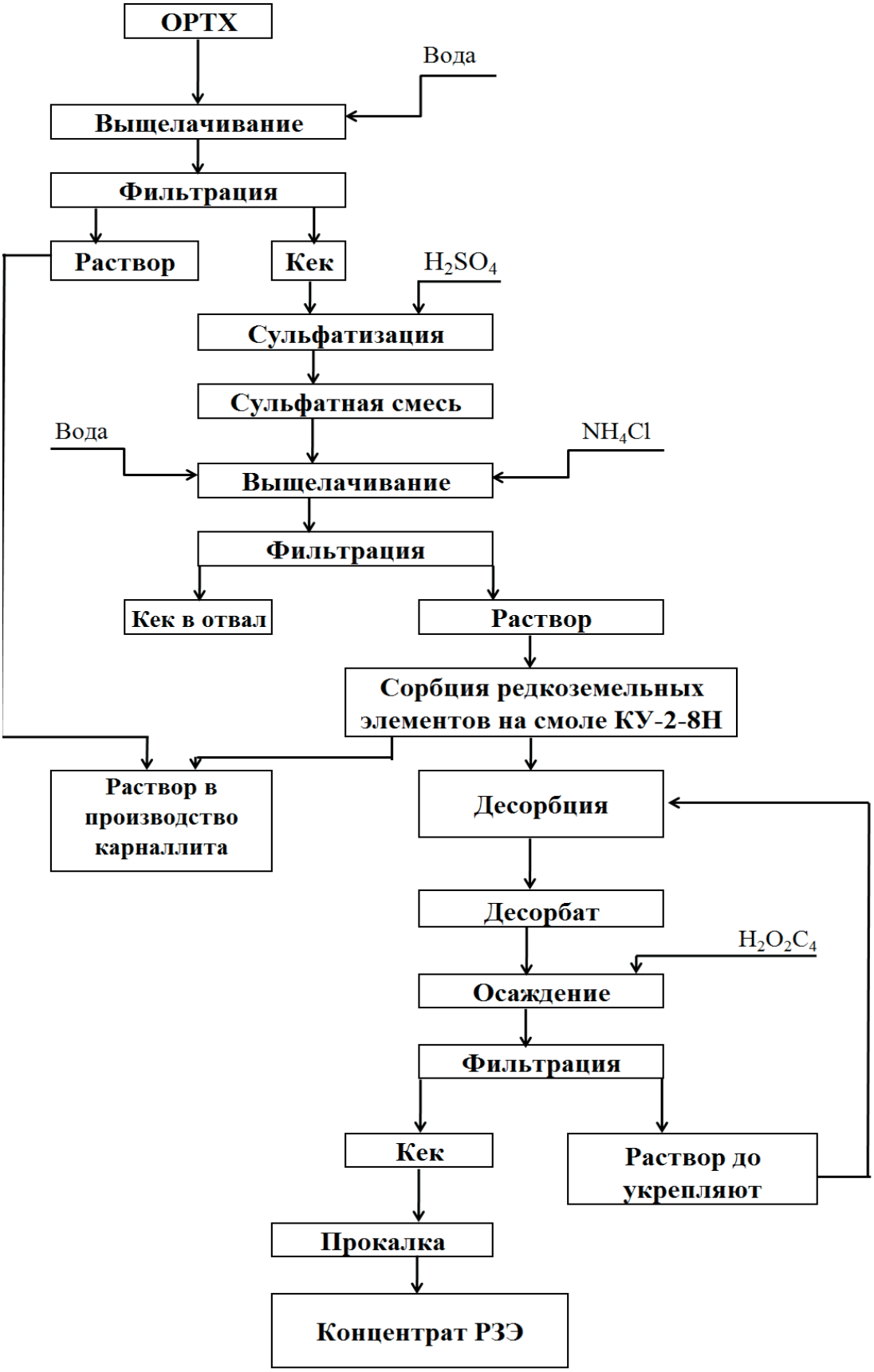


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема получения концентрата РЗЭ из отработанного расплава титановых хлораторов - из промпродукта цирконового концентрата [7, 8], рисунок 3.

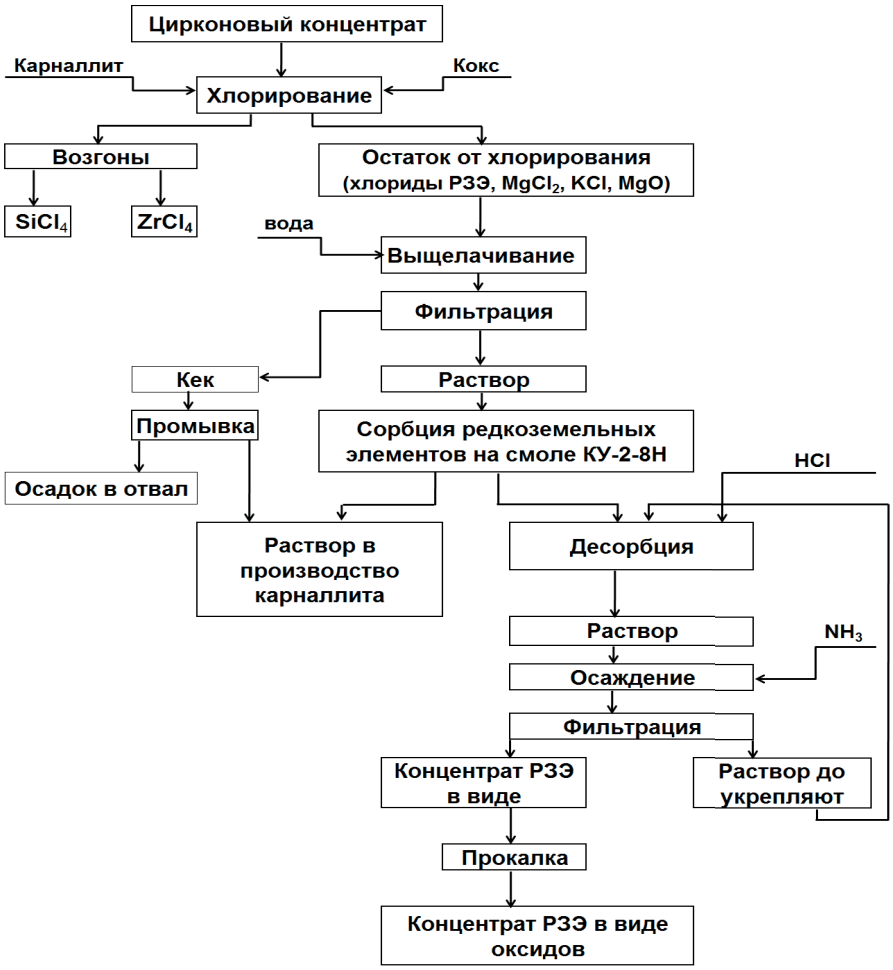


Рисунок 3 – Получение концентрата РЗЭ из цирконового концентрата- из отвального вольфрамитового кека [9], рисунок 4.

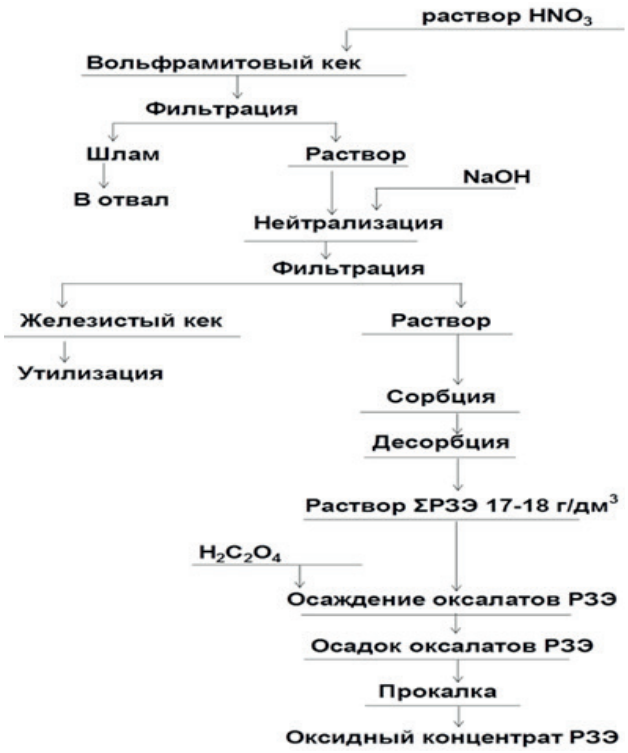


Рисунок 4 – Технологическая схема получения концентрата РЗЭ из кека от переработки вольфрамитового концентрата

- из фосфогипса – отхода производства минеральных удобрений [10], рисунок 5.

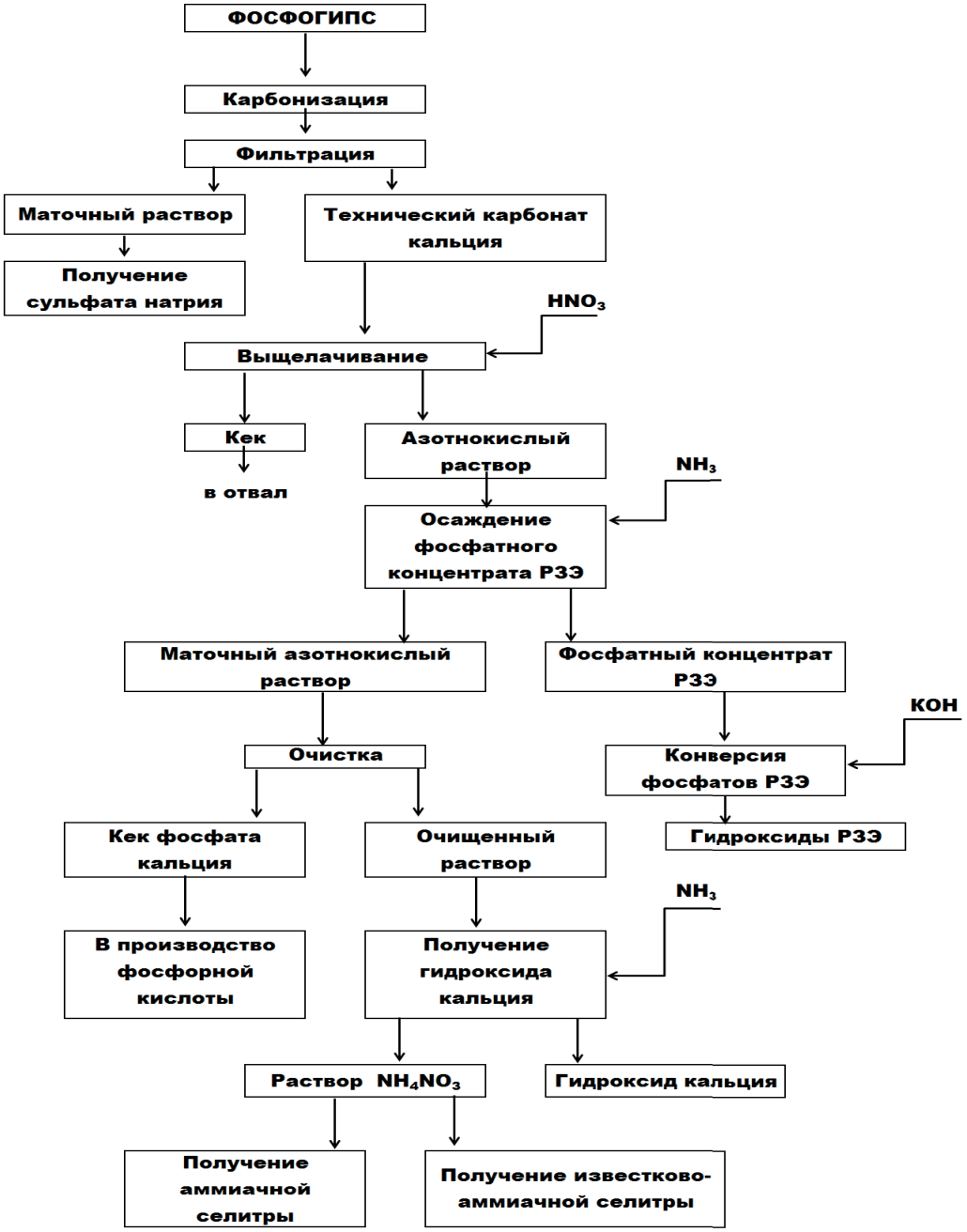


Рисунок 5 – Технологическая схема извлечения РЗЭ из фосфогипса

Количество фосфогипса на шламовых полях ТОО «Завод минеральных удобрений» ТОО «Казфосфат» составляет свыше 11 млн. тонн с ежегодным дополнительным выходом более 500 тыс. тонн.

Разработанная в лаборатории титана и редких тугоплавких металлов АО «ИМиО» технология извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса универсальна и может быть использована при утилизации отвалов производства минеральных удобрений. Преимуществом данной технологии является то, что предложенные ранее схемы переработки фосфогипса позволяли получать из него один, реже два продукта. Технологии, отвечающие современному уровню, предполагают комплексную переработку, когда количество вторичных отходов минимально и значительно ниже объема перерабатываемого исходного отхода. В результате проведенных в АО «ИМиО» исследований по переработке фосфогипса получен ряд ценных товарных продуктов: сульфат натрия, известково-аммиачная селитра, гидроксид кальция и продукционный концентрат редкоземельных элементов (рисунок 6).

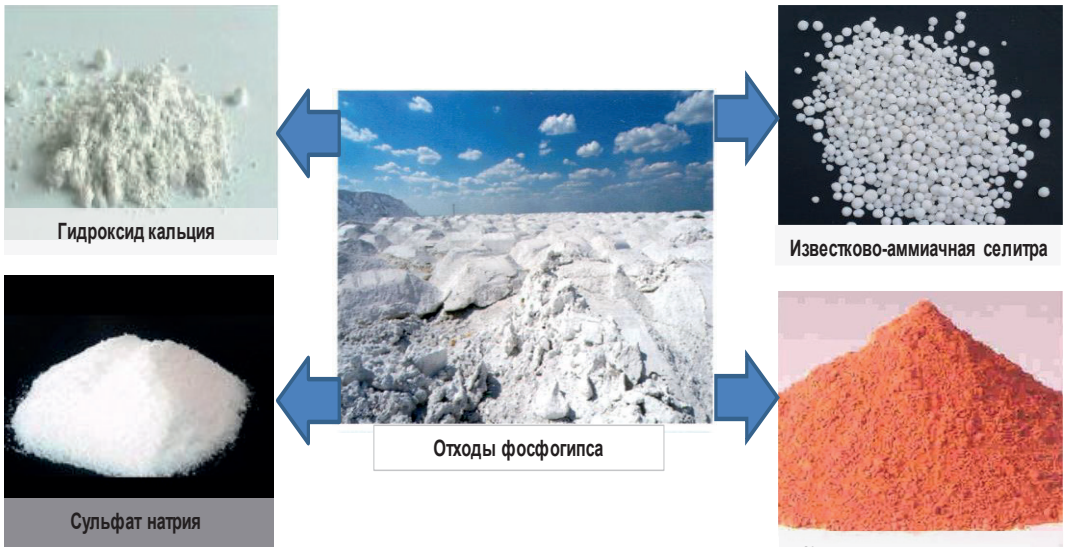


Рисунок 6 – Продукция при комплексной переработке фосфогипса

В Казахстане проблеме получения концентрата РЗЭ посвящены исследования ученых не только АО «ЦНЗМО», но и ИВТ НАК «Казатомпром», КазНТУ, НЦ «КПМС» и других институтов, но нет реальной заинтересованности в решении этой важной задачи со стороны руководителей предприятий, имеющих частную форму собственности.

Воссоздание редкоземельной отрасли является одной из важнейших задач отечественной экономики. Разработка высокоэффективных технологий и на их основе проектно-конструкторской документации является важным этапом в достижении поставленной цели. Однако для ускорения необходима поддержка со стороны государства в виде бюджетного финансирования проектов по созданию РЗМ–промышленности, как в рамках грантового финансирования, так и путем формирования специальной Программы по развитию отрасли, предусматривающей участие в ней не только НИИ, но и недропользователей вышеуказанных месторождений, а также балансодержателей техногенных отходов, содержащих редкоземельные металлы. Возможно, надо рассмотреть меры экономического воздействия на владельцев предприятий, чтобы комплексное использование сырья, содержащего РЗМ, было обязательным при разработке месторождений и складировании техногенных образований.

Зарубежный подход к решению проблем производства РЗМ характеризуется высоким долевым участием государства в финансировании соответствующих Программ. Долевой вклад государства составляет в Канаде – 38-40%, в США – 50-70%, в Японии – 75-80%. Усиление роли государства в финансировании и координации работ по созданию производства редкоземельных металлов – настоятельная необходимость, так как без этого невозможна модернизация отечественной экономики.

К примеру, Правительство Российской Федерации признало важным приоритетом восстановление производства РЗМ, была принята государственная Программа по этой проблеме. В результате этого единственный производитель редкоземельных металлов в Казахстане – ТОО «Иртышская редкоземельная компания» («IRESCO») может остаться без сырья, поступающего сейчас из Соликамска (Россия), что еще больше актуализирует задачу по производству отечественных РЗМ-содержащих концентратов.

С учетом того, что в Послании народу Казахстана Президент К.К.Токаев назвал в числе приоритетных направлений развития промышленности производство редкоземельных металлов, необходимым является принятие такой же комплексной Программы и в нашей стране.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яценко В.А., Саминов Н.Ю., Крюков А.В. Особенности мирового рынка редкоземельных металлов. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – №6. – 2018. – С. 68–72.

2. Редкоземельные металлы, как возможные объекты для инвестиций. /line-invest.ru/analitika/stati/redkozemelnye-metally-kak-vozmozhnye-obekty-dlya-investtitsiy/

3. Месторождения редких металлов и редких земель Казахстана : Справочник / Под редакцией А.А.Абдулина, Х.А.Беспаева, Э.С. Воцалевского, С.Ж.Даукеева, Л.А.Мирошниченко. – Алматы, 1998.

4. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А., Квятковская М.Н. Исследование условий выщелачивания редкоземельных элементов из хвостов сорбции урана. Энергосбережение и ресурсосбережение. – Киев, 2009. – №6. – С. 53–58.

5. Бектурганов Н.С., Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А. Анализ состояния редкоземельной отрасли в мире и потенциала ее развития в Казахстане. Вестник КазНАЕН. – 2014. – №1. – С. 48–52.

6. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А. Исследование распределения РЗМ в промпродуктах производства титана и возможности их извлечения. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ», «Институт Гинццветмет», Москва, 2014. – С. 56–59.

7. Lokhova, N.G., Baltabekova, Z.A., Naimanbayev M.A., Yessengaziyev A.A. Kassymzhanov K.K. Extraction of rare-earth metals from zircon concentration tailings. International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. V. 29, Issue 9 Special Issue. P. 893–899.

8. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Садыков Н.М., Тойшибек А.М. Извлечение редкоземельных металлов из цирконового промпродукта месторождения Обуховское. Международная конференция «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья», Плаксинские чтения – 2023, Москва. –С. 428–432.

9. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А. Рузахунова Г.С. Определение возможности извлечения РЗЭ из отвального кека переработки вольфрамитового концентрата. Материалы Международного совещания «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья», Томск, 2013. – С. 413–415.

10. Найманбаев М.А, Лохова Н.Г, Каршигина З.Б., Орынбаев Б.М. Комплексная переработка фосфогипса с извлечением редкоземельных элементов. Материалы Международной научно-практической конференции «Ұлытау – Қазақстан металлургиясының бесігі», Алматы, 2023, Satbayev University. – С. 136–141.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ОТ МИКРООРГАНИЗМОВ ДО ЛАНМОДУЛИНА

Нурбаев Асхат Бахытжанович
Инженер-гидрогеолог, филиал АО "Волковгеология"
Центральная опытно-методическая экспедиция, г. Алматы, Казахстан
askhat.nurbayev2@gmail.com

Уважаемые коллеги и участники конференции, сегодня я хочу обратить ваше внимание на тему "Биотехнологические инновации в добыче минералов: Роль микроорганизмов и белка ланмодулина. Моя работа направлена на изучение потенциальных применений биотехнологий в добыче минералов с использованием микроорганизмов и белка ланмодулина. Традиционные методы добычи часто сопряжены с негативными воздействиями на окружающую среду и имеют ряд технических ограничений, что подчеркивает необходимость разработки более эффективных и экологически чистых подходов к добыче. Моя статья представляет собой обзор роли микроорганизмов и белка ланмодулина в биотехнологических процессах добычи минералов. Микроорганизмы могут использоваться для извлечения ценных металлов из руды в процессе биологического восстановления, а белок ланмодулин обладает уникальной селективностью к лантаноидам, что открывает новые возможности для их извлечения из руд. Цель - продемонстрировать потенциал биотехнологий в добыче минералов и обсудить возможности их практического применения в индустрии.

Биотехнологические инновации в добыче минералов представляют собой перспективный подход к повышению эффективности процессов выщелачивания и обогащения руд. Роль микроорганизмов в этих процессах неоценима. Микроорганизмы способны активно участвовать в выщелачивании ценных металлов из руд и обогащении их, что значительно повышает эффективность добычи. И если учесть то что в Казахстане может появится дефицит серной кислоты, так как по данным из открытых источников ежегодное производство серной кислоты составляет около 2 млн. тон, в основном это «Казцинк» и «Казахмыс» (попутное производство), а для наращивания добычи урана к 2025-2026 годам одному только Казатомпрому понадобится 3 млн. тон ежегодно, то использование альтернативных методов выщелачивания становится все более привлекательным в условиях ограниченности этого ресурса. Одним из ключевых преимуществ биотехнологий в добыче минералов является их экологическая безопасность. Биотехнологии предлагают более чистые и эффективные методы добычи, снижая экологическую нагрузку на окружающую среду и расходы на производство. Это делает биотехнологии привлекательными для применения в промышленности и способствует устойчивому развитию.

Так как в прошлом году был утвержден комплексный план развития отрасли редких и редкоземельных металлов на 2024-2028 годы, в моей работе сделан уклон на добычу редких металлов. Белок ланмодулин представляет собой уникальный белок, обладающий способностью селективно связываться с лантаноидами, что делает его перспективным инструментом для извлечения редких земель. Ланмодулин может быть использован в процессах выщелачивания руд для селективного извлечения лантаноидов, что значительно повышает эффективность процесса. Это открывает новые возможности для более эффективной и экологически чистой добычи редких земельных элементов, что является актуальной проблемой в современной промышленности.

Идея создания фильтра на основе белка ланмодулина представляет собой инновационный подход к селективному извлечению лантаноидов из растворов, что позволяет повысить эффективность и снизить затраты на добычу. Применение такого фильтра может стать ключевым шагом к разработке экологически чистых и эффективных технологий добычи редких земельных элементов. Фильтр на основе ланмодулина обладает уникальной способностью селективного связывания лантаноидов, что делает его идеальным инструментом для извлечения этих ценных элементов из растворов. Потенциальные преимущества применения такого фильтра включают увеличение эффективности добычи, снижение затрат и минимизацию вредного воздействия на окружающую среду.

Использование биотехнологий с участием микроорганизмов и белка ланмодулина может значительно улучшить эффективность и экологическую чистоту процессов добычи минералов. Исследования ученных показали, что биотехнологии представляют собой перспективное направление для применения в промышленности добычи минералов, и могут существенно сократить негативное воздействие на окружающую среду. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию новых инновационных технологий для добычи минералов, что имеет важное значение для промышленности и окружающей среды. Развитие биотехнологий в добыче минералов может стать ключевым фактором для достижения устойчивого развития и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМА

Рожков С.С., Силюк Н.П., Мельников С.А.
АО «Гиредмет», г. Москва, Российская Федерация
SSeRozhkov@rosatom.ru

Аннотация. Для удовлетворения потребностей предприятий Госкорпорации «Росатом» и развития неядерного бизнеса в РФ была разработана технология получения металлической продукции на основе тугоплавких металлов из техногенных источников сырья, в том числе элементов РЗ.

Ключевые слова: вольфрам; тяжелые сплавы; водородное восстановление; порошковая металлургия; псевдосплавы.

На базе АО «Гиредмет» организовано производство порошка вольфрама объемом до 1000 кг в год, а также планируется запуск производства корпусных деталей для защитных изделий в специальном приборостроении. Поэтому основной продукцией опытно-промышленного производства станут порошки вольфрама и изделия из сплавов повышенной плотности типа ВНМ и ВНЖ.

В результате проведенной научно исследовательской и опытно-конструкторской работы были поставлены и достигнуты следующие задачи:

- Разработаны технологические рекомендации по изготовлению изделий из сплавов повышенной плотности;
- Внесены корректировки в технологическую схему получения продуктов на основе тугоплавких металлов;
- Для разработки технологии получения сплавов повышенной плотности ВНМ-3-2 и ВНМ-6-4 подобраны:

оптимальные режимы водородного восстановления металлического вольфрама;
состав рабочих смесей;
режимы смешивания, прессования и спекания заготовок;

-Проведены исследования исходных и полученных продуктов;

1. Исходные данные

Сплавы ВНМ и ВНЖ относятся к классу так называемых псевдосплавов, которые получают по методу порошковой металлургии. В качестве исходных материалов использованы следующие вещества:

- Оксид вольфрама, полученный в результате переработки твердосплавного инструменты (получен по схеме, рис.1.);
- вольфрамовый ангидрид по ТУ 48-19-35-79 или паравольфрамат аммония 5(NH4)2O·12WO3·5H2O по ТУ 6-09-17-233-88;
- порошок меди ГОСТ 4960-2017;
- порошок никеля ГОСТ 9722-79;
- водород марки А по ГОСТ 3022-80;
- аргон газообразный по ГОСТ 10157-79;
- порошок железа по ГОСТ 9849-86.

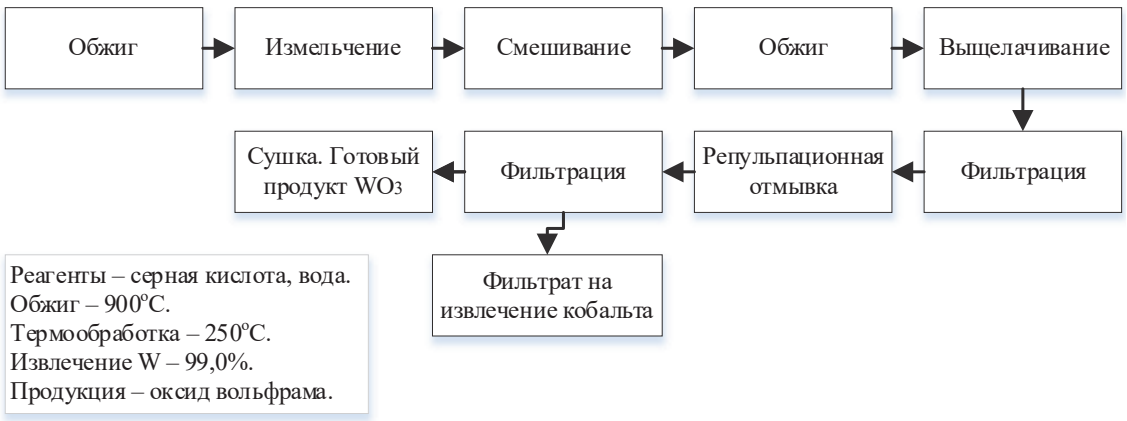


Рисунок 1 – Схема технологии извлечения вольфрама из отходов твердосплавного производства

Далее, из полученного оксида вольфрама, по методу порошковой металлургии (рис.2.), необходимо получить металлический порошок W, а затем псевдосплав и изделия из него. [1,2]

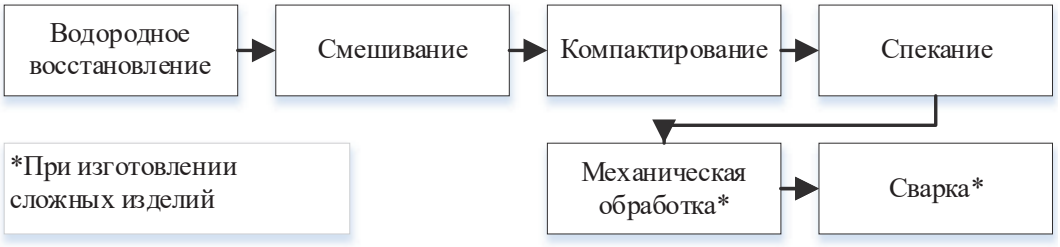


Рисунок 2 – Схема технологии получения тяжелого сплава

На каждом технологическом переделе используется следующее оборудование:

- *Водородное восстановление:* водородные печи ретортного типа, в которых с помощью водорода происходит восстановление исходных компонентов до металлического порошка; генератор водорода.
- *Смешивание порошков материалов с большим различием в удельной и насыпной плотности:* смесители типа «Турбула» или миксер встряхивающий, шаровая мельница.
- *Компактирование смеси*: пресс холодного изостатического прессования или гидростат.
- *Спекание:* вакуумная печь спекания. [3,4]

2. Модернизация установки водородного восстановления оксидов или аммонийных солей тугоплавких металлов

Исходя из природы водородного восстановления исходных материалов, для получения металлических порошков тугоплавких металлов способ загрузки должен обеспечивать легкий доступ газообразного водорода к шихте. Это достигается уменьшением толщины слоя загрузки. Для этого была смоделирована технологическая оснастка, позволяющая послойно загружать исходный материал в печь.

После визуального сравнения внешнего вида продуктов восстановления, было видно, что порошки, находящиеся в верхних лодочках, имеют вид, характерный для металлических порошков: светло-серая окраска, крупные частицы имеют характерный металлический блеск. А степень восстановления порошка падает с переходом от верхней лодочки к нижней. Данный эффект можно объяснить тем, что при взаимодействии водорода с оксидом образуется большое количество воды, которая при высоких температурах находится в паровой фазе.

Для устранения этого эффекта было принято решение внести изменения в конструкцию технологической оснастки и конструкцию печи.

Эффект от проведенной модернизации, а также параметры новой установки, изготовленной на заказ, с учетом конструкционных изменений представлен в Таб.1.

Таблица 1 – Результаты от модернизации

Параметр	До модернизации	Модернизация имеющийся установки	Новая установка
Толщина загрузки	не более 10,0 мм.	не более 10,0 мм	Не более 10,0 мм
Загрузка вольфрамового ангидрида	≈ 1100,0 г	≈ 4700 г	≈ 6500,0 – 8000,0 г
Восстановлено металла за один цикл	875,0 г вольфрама	равносильно получению за один цикл более 30 000,0 г металлического порошка вольфрама	Снижение толщины загрузки до 5,0 мм позволит получать до 32 500,0 г металлического порошка.

3. Исследование особенностей структуры фазового и химического состава исходного сырья, возникающих процессе изменения параметров его получения.

В целях контроля исходных компонентов, был проведен гранулометрический анализ вольфрама, меди (стабилизированный медный порошок, марки ПМС-1) и никеля (марка ПНЭ), а также проведены исследования на растровом электронном микроскопе.

- Порошок меди имеет частицы размером 1,17–60 мкм, максимум распределения 44–50 мкм.
- Порошок никеля имеет частицы размером 1,9–50 мкм, максимум распределения 20–30 мкм.
- Порошок вольфрама имеет частицы размером 0,5–178 мкм, максимум распределения 70 мкм.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа порошки исходных компонентов соответствуют требованиям к чистоте.

Данные по химическому анализу представлены в таб.2.

Таблица 2 – Химический состав меди и никеля

Cu		Ni	
Примеси	Содержание	Примеси	Содержание
железо	не более 0.018%	Σ примеси	Не более 0,5%
мышьяк	не более 0.003%		
свинец	не более 0.05%		
соединения солей	не более 0.01%		
Прокаленный остаток	не более 0.04%		
кислород	Не более 0.10%		

4. Водородное восстановление

В качестве исходного сырья для получения металлических порошков были использованы вольфрамовый ангидрид.

Восстановление проводили в атмосфере водорода по следующему режиму:

1) нагрев до температуры 450 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин.;

2) выдержка при температуре 450 °С в течение 3,0 часов;

3) нагрев до температуры 900 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин.;

4) выдержка при температуре 900 °С в течение 2,0, 5,0 и 9,0 часов;

5) отключение нагрева и охлаждение с естественной скоростью остывания реторты до 650-700 °С в атмосфере водорода.

При более низких температурах охлаждение садки происходило в атмосфере аргона.

- 3 часа при 450 °С. Частичное восстановление оксидов с образованием низших оксидов или разложение аммонийных солей до нелетучих низших оксидов RO_2+x, где x <1,0.

- 5 и 9 часов. Полное восстановление исходных материалов до металлического состояния в виде порошка. Изменение окраски на светло-серую окраску, характерную для веществ в металлическом состоянии. Увеличение продолжительности до 9,0 часов высокотемпературного восстановления при 900 °С не меняет характер изменения массы исходных материалов.

5. Исследование структуры, фазового и химического состава конечных продуктов в виде порошков и компактных слитков

Были подготовлены смеси следующего состава:

- ВНМ-3-2 – W 95 % Ni 3 % Cu 2 %
- ВНМ-6-4 – W 90 % Ni 6 % Cu 4 %

Регламент процесса смешивание – прессование – спекание:

1. Смешивание подготовленных смесей в планетарной мельнице:

- для смеси ВНМ 3-2: время смешивания: 15 мин., 30 мин., 60 мин., 90 мин.
- для смеси ВНМ 6-4: 60 мин., 90 мин.

2. Оборудование: планетарная мельница с шарами массой 900 г., загрузка шихты 150 г. В качестве помольной жидкости использовали изопропиловый спирт. Оптимальное время смешивания 60 минут, после смешивания в течении 15-30 минут в смеси имелись проблески меди, при смешивании 90 минут наблюдалась тенденция к падению плотности. Необходимо отметить, что в мокрой и сухой шихте обеих композиций после смешивания в течение 15 минут можно было по цвету определить присутствие меди, однако после перемешивания исследованных смесей порошков в течение 30 минут и более, полученные порошки имели равномерную серую окраску, характерную для дисперсных порошков вольфрама и никеля.

3. Прессование заготовок высокоплотных сплавов ВНМ производилось вручную на гидравлическом прессе от 4-10 Тс.

4. Спекания сплавов ВНМ.

Спекание является заключительной технологической операцией производства твёрдых сплавов. Оно состоит в ступенчатом нагреве изделия от температуры до 1560 °С, выдержки при этой температуре и охлаждения. Температуру поднимали по мере падения вакуума, при увеличении температуры, когда начиналось падения вакуума, нагрев останавливали. Вакуум не менее 10 -3 мм.рт.ст. Выдержка – 2 часа. Частично спекание проводили в контролируемой атмосфере.

После серии успешных экспериментов по прессованию, спеканию и сваркой, были проведены укрупненные испытания. Формованные и текстурованные порошковые тела уплотнялись методом холодного изостатического прессования. Сварку спеченных после прессования образцов проводили электродуговым способов, в атмосфере аргона.

5.1. Микроструктура порошков серии ВНМ-3-2 (30-60-90 мин. измельчения)

Полученные после перемешивания в течение **30 мин**. порошки характеризуются отличной от сферической, морфологией и неоднородным, бимодальным распределением частиц по размерам. Частицы со средними размерами около 6 и 17 мкм, что вполне коррелирует с размерами частиц исходных порошков меди и никеля (рис.3).

В результате проведённого микрорентгеноспектрального анализа этих порошков было установлено, что в них содержится значительное количество железа, примерно 7.7 % масс. дол. и существенно более низкое, по сравнению с шихтовым составом, содержание меди и никеля, – всего лишь около 0.82 и 0.58 % масс. дол. Соответственно (рис.4.).

Намол, вследствие истирания материала шаров (шарикоподшипниковая сталь ШХ15), его основной компонент (железо) покрывает поверхность частиц из более пластичных металлов (медь и никель), вуалируя и ослабляя тем самым линии этих металлов на спектрах.

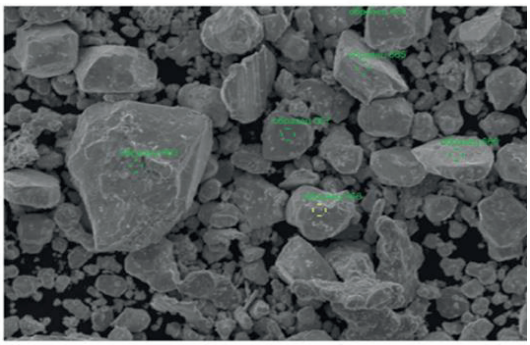


Рисунок 3– Микрофотография

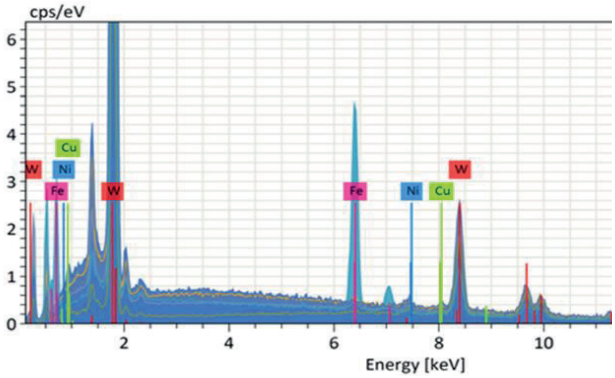


Рисунок 4 –Микрорентгеноспектральный анализ

Увеличение длительности перемешивания **до 60 мин**. исходной смеси порошков номинального состава ВНМ-3-2 не привело к выравниванию их размеров (рис.5). Состав порошков также претерпел существенные изменения. В частности, номинальное количество железа «уменьшилось» до 3.88 % масс. дол., а содержание никеля «увеличилось» до 1.45 и 10.11 % масс. дол. соответственно.

Результаты рентгенофазового анализа, подтверждают присутствия железа, основными фазовыми составляющими порошков смеси ВНМ-3-2 после измельчения в течение 60 минут являются вольфрам (75 % масс. дол.), никель (6.7 % масс. дол.), медь (2.6 % масс. дол.) и твёрдый раствор на основе вольфрама (15.7 % масс. дол.). При этом линий железа на спектрах не обнаружено (рис.6). По всей видимости, железо действительно присутствует в виде тонкого слоя или островков на поверхности частиц легирующих компонентов смеси. Возможно, медь «уменьшилась», из-за того, что в процессе помола порошок никеля запечатал её, изменив тем самым, массовый баланс в свою сторону. Аналогичным образом плакируя вольфрам, он одновременно частично растворился в нём, образовав твёрдый раствор в приповерхностном слое, продиффундировав внутрь зёрен вольфрама, т.к. экстремальный режим работы мельницы всё-таки сместил характер её работы с перемешивания на измельчение и, даже, на механоактивацию и синтез.

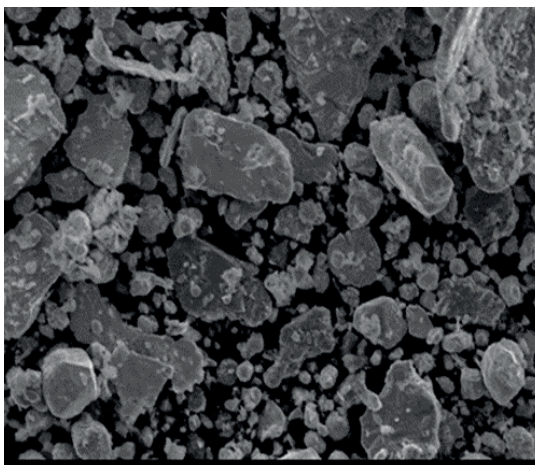


Рисунок 5 – Микрофотография

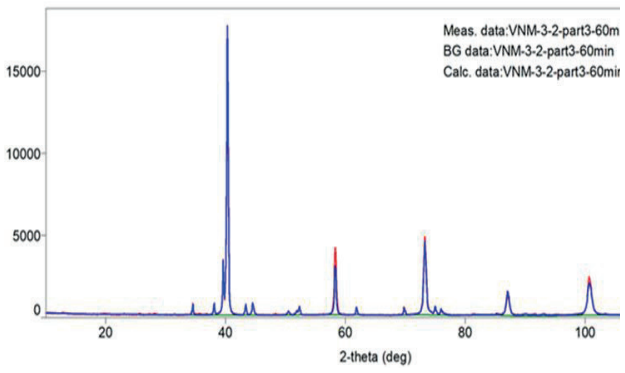


Рисунок 6 – Дифрактограмма порошка смеси ВНМ-3-2

Увеличение длительности помола до **90 мин**. не привело к усреднению их размеров. Также, как и после помола длительностью 60 мин, бимодальный характер распределения частиц по размерам сохранился, более того, как это видно на рисунке, появились признаки его тримодальности, а ширина соответствующих максимумов увеличилась. Предположение о намоле материала шаров в процессе измельчения, подтверждается, т.к. очередные дополнительные 30 минут помола привели к увеличению содержания железа в порошках на 0.955 % масс. дол.

Рентгенофлуоресцентный метод (рис.7) показал, что содержание основных элементов в порошке смеси (таблица), измельченной в течение 90 минут, отличается от их содержания, полученного в результате микрорентгеноспектрального анализа. Это отличие, выходит за рамки погрешностей обоих методов. Тем не менее, мы убеждаемся, что железо в порошках действительно есть, то есть намол происходит.

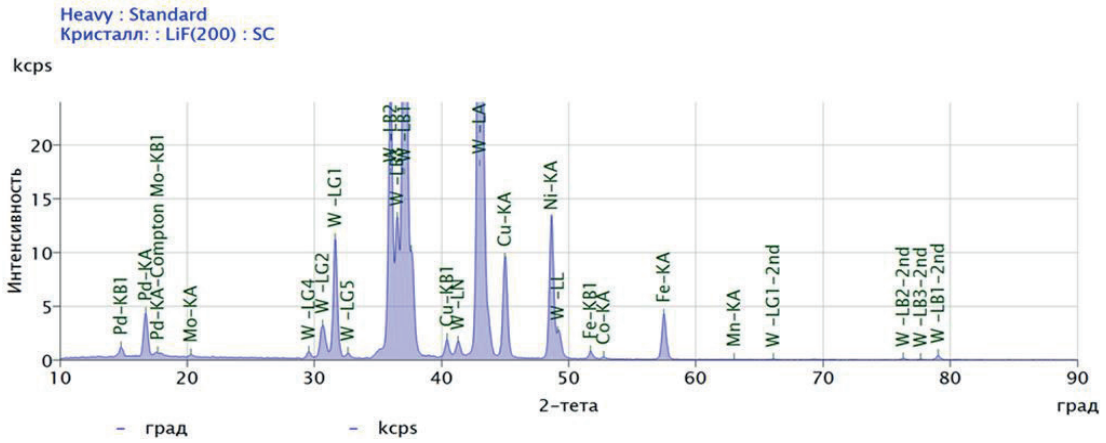


Рисунок 7 – Рентгенофлуоресцентный спектр порошка смеси ВНМ-3-2

5.2. Микроструктура и химический состав спеченного образца сплава ВНМ–3–2 из порошка после помола длительностью 60-90 мин

60 мин: В плоскости шлифа (рис.8) хорошо разрешаются две фазы: основная, серого цвета, это вольфрам, и минорная фаза в виде выделений по границам и в тройных стыках зёрен основной фазы.

Так же, очень неоднородно распределена пограничная фаза. Не смотря на жидкофазный характер спекания, пограничная фаза, представляющая собой относительно легкоплавкий твёрдый раствор меди в никеле, так и не распределилась в процессе спекания по объёму исследуемого металлокомпозита.

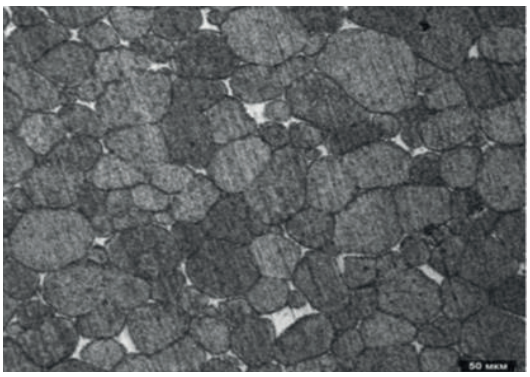


Рисунок 8 – Микроструктура спеченного образца сплава ВНМ–3–2

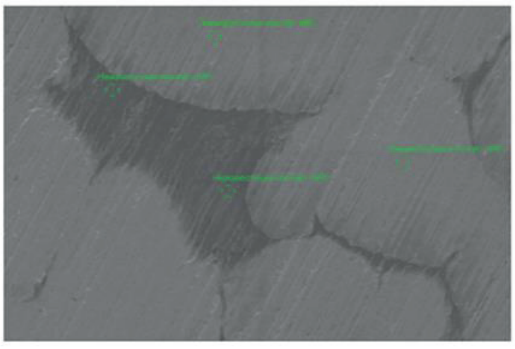


Рисунок 9 – Микрорентгеноспектральный анализ образца сплава ВНМ–3–2

Все легирующие элементы сосредоточены в пограничной фазе, однако примесное железо (появившееся в результате намола), а также часть меди и некоторое количество никеля присутствуют и на поверхности зёрен вольфрама, подтверждая наше предположение об островковом характере плакирования ими зёрен вольфрама.

Как видно из приведённых данных, в пограничной фазе присутствует значительное количество железа, т.к. при высоких температурах, в соответствии с диаграммой состояния медь-никель-железо, растворимость железа в твёрдом растворе никель-медь очень высокая, по существу, это трёхкомпонентный твёрдый раствор.

90 мин: В плоскости шлифа хорошо разрешаются две фазы: основная, серого цвета, вольфрам, и минорная фаза в виде выделений по границам и в тройных стыках зёрен основной фазы – трёхкомпонентный твёрдый раствор на основе никеля. По сравнению с микроструктурой спеченного образца сплава ВНМ–3–2 (60 мин), микроструктура этого образца более однородна.

Результаты точечного микрорентгеноспектрального анализа (рис.9) образца сплава ВНМ–3–2 (90 мин) аналогичны таковым для спеченного образца сплава ВНМ–3–2 (60 мин). В пограничной фазе присутствует значительное количество железа.

На рисунке 10 – карта распределения химических элементов в спеченном образце сплава ВНМ–3–2 из порошка после помола длительностью 90 мин, полученные методом микрорентгеноспектрального анализа. Как и в спеченном образце сплава ВНМ–3–2 (60 мин), практически все легирующие элементы сосредоточены в пограничной фазе, однако примесное железо (появившееся в результате намола), а также часть меди и некоторое количество никеля присутствуют и на поверхности зёрен вольфрама, также подтверждая наше предположение об островковом характере плакирования ими зёрен вольфрама.

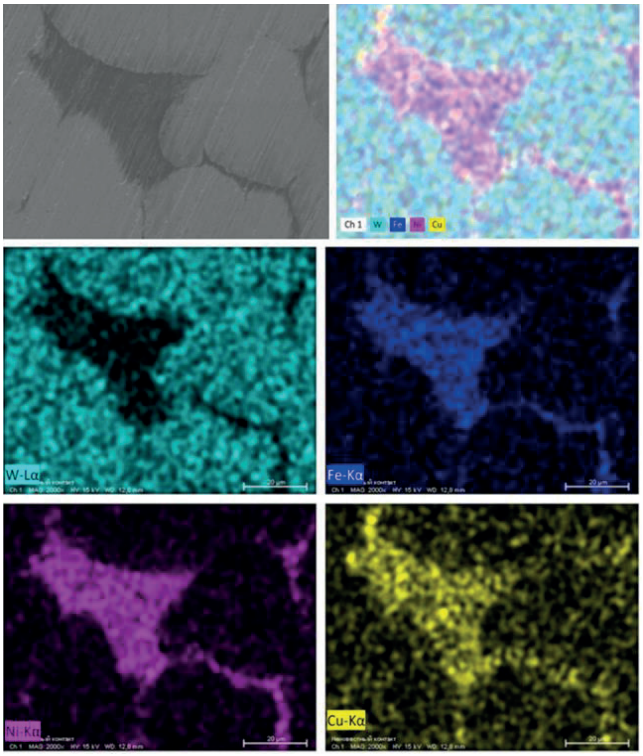


Рисунок10 Карта распределения химических элементов ВНМ–3–2

Заключение

По предложенной технологии полученная продукция соответствует требованиям, предъявляемым к сплавам повышенной плотности, в том числе может быть использована в качестве биологической защиты от гамма-излучения, так как обладает высокой плотностью, близкой к теоретической и позволит отказаться от использования обедненного урана или свинца. Кроме того, технология имеет ряд не только технологических преимуществ, но и экономических – использование в качестве исходного сырья продукта вторичной переработки твердосплавного инструмента (рециклинг отходов) уменьшает стоимость конечного изделия, а также простое аппаратурное оформление позволяет широко использовать предложенное технологическое решение на территории РФ при проектировании производств.

Определены параметры технологических операций, позволяющие получать опытные изделия из сплавов ВНМ-3-2 плотностью не менее 17,0 г/см3, а для сплава ВНМ-6-4 – не менее 16,0 г/см3. Проведена корректировка технологической схемы получения продукции тугоплавких металлов и сплавов.

Разработаны технологические рекомендации по изготовлению изделий из тугоплавких металлов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Клячко Л.И., Левтонов И.П., Уманский А.М. Новое в технологии вольфрама и молибдена. – М., Металлургия. – 1979. – С. 184.
2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – 1981. –88 с.
3. Жорняк А.Ф. Металлические порошки. – М.: Металлургия. – 1981. – 88 с.
4. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия. – 1987. – 207 с.

ОЦЕНКА ПЛАВКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ОКСИДА ИТТРИЯ ПУТЕМ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ С ДОБАВЛЕНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИТТРИЯ

Арбуз А.С.[1], Попов Ф.Е.[2], Лутченко Н.А.[1] Паничкин А.В.[3]
[1]АОО «Назарбаев Университет», 010000, пр. Кабанбай батыра, 53, г. Астана, Казахстан
[2]Карагандинский индустриальный университет, 101400, пр. Республики, 30, г. Темиртау, Казахстан
[3]АО «Институт металлургии и обогащения руд», Сатбаевский университет, 050010, ул. Шевченко, 29/133, г. Алматы, Казахстан
alexandr.arbuz@nu.edu.kz

Аннотация. В последние годы возрос интерес к атомной энергетике, что привлекло внимание к исследованиям, связанным с сталями с оксидно-дисперсионным упрочнением (ODS) и методами их производства. Несмотря на увеличивающийся интерес и продвижение в изучении ODS-сталей, производство этого типа стали в промышленных масштабах, особенно с использованием жидкой металлургии, сталкивается с определенными трудностями и в настоящее время не считается наиболее реализуемым методом. В данном исследовании рассматривалась возможность получения наночастиц иттрия в жидком расплаве при использовании индукционной плавки. В расплав нержавеющей стали с содержанием 10% хрома добавляли 2% металлического иттрия. Иттрий, контактируя с воздухом во время плавки и при интенсивном индукционном перемешивании, подвергался окислению. Чтобы обеспечить равномерное распределение иттрия, часть его удерживалась под поверхностью жидкой стали с помощью специального устройства. Большая часть иттрия оставалась в стали и окислялась, что привело к образованию дисперсных частиц оксида иттрия размером от 200 нм до нескольких микрон.

EVALUATION OF STAINLESS STEEL MELTING TO PRODUCE DISPERSED YTTRIUM OXIDE INCLUSIONS BY INDUCTION MELTING WITH THE ADDITION OF METALLIC YTTRIUM

Arbuz A.S.[1], , Popov F.E.[2], Lutchenko N.A.[1] Panichkin A.V.[3]
[1]AOONazarbayev University, 010000, Kabanbay Batyr Ave. 53, Astana, Kazakhstan
[2]KaragandaIndustrial University, 30, Republic Ave. 30, Temirtau, 101400, Temirtau, Kazakhstan.
[3]JSC"Institute of Metallurgy and Ore Enrichment", Satbayev University, 29/133 Shevchenko St., Almaty, 050010, Almaty, Kazakhstan.
alexandr.arbuz@nu.edu.kz

Abstract. In recent years, there has been an increased interest in nuclear power, which has drawn attention to research related to oxide-dispersion hardened (ODS) steels and methods of their production. Despite the increasing interest and advancement in the study of ODS steels, the production of this type of steel on an industrial scale, especially using liquid metallurgy, faces some difficulties and is currently not considered the most feasible method. In this study, the possibility of producing yttrium nanoparticles in liquid melt using induction melting was considered. 2% metallic yttrium was added to a stainless steel melt containing 10% chromium. The yttrium, in contact with air during melting and under intense induction stirring, was subjected to oxidation. To ensure uniform distribution of yttrium, part of it was kept under the surface of the liquid steel with a special device. Most of the yttrium remained in the steel and oxidized, resulting in the formation of dispersed particles of yttrium oxide ranging in size from 200 nm to several microns.

Введение

В последние годы наблюдается заметное возрождение интереса и инноваций в ядерной энергетике, причем особое внимание уделяется топливу для реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением (LMFR) и вариантам топливного цикла [1,2]. Этот возрожденный интерес выходит за рамки национальных границ и является частью глобальной инициативы, движимой такими проектами, как Международный проект по инновационным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) [3], Международный форум "Поколение IV" (GIF) [4] и Международная рамочная программа сотрудничества в области ядерной энергетики (IFNEC) [5]. Ведущие страны, включая США, Францию, Великобританию, Россию, Южную Корею, Японию, Индию, Китай и Германию, сыграли ключевую роль в разработке топлива для LMFR [6].

Конструкционные элементы, подверженные радиационно-индуцированной деградации, делятся на две основные категории. Во-первых, это долговременные, в основном незаменимые компоненты, охватывающие и поддерживающие активную зону [7]. Во-вторых, это компоненты, предназначенные для удержания и поддержки топлива, подвергающегося воздействию наиболее жесткой ядерной среды

[8]. Последние компоненты проектируются таким образом, чтобы их можно было заменить либо при достижении целевого выгорания, либо при неизбежном отказе. Следовательно, главной задачей в развитии топливных циклов LMFR является разработка топливных сборок, способных выдерживать безотказную работу до или выше 20 ат. % выгорания, что примерно в два раза больше, чем при использовании обычных аустенитных нержавеющих сталей [9-10].

Эксплуатационные проблемы усугубляются высокими температурами (300-700°C), переменными напряжениями и интенсивным радиационным повреждением компонентов узла. Радиационное облучение сочетается с коррозией жидких металлов (например, натрия, свинца) и химическим взаимодействием с топливом и продуктами деления, что сохраняется в течение 2-4 лет. Решение этих проблем критично для успешной разработки и внедрения передовых топливных циклов LMFR, важного этапа в развитии ядерной энергетики.

На данный момент ферритные и ФМ-сплавы, упрочненные оксидной дисперсией (ODS), являются вершиной развития материалов [11-12]. Эти сплавы обещают устранить недостатки предыдущих материалов, сохраняя основные свойства. Однако промышленное производство сплавов ODS остается сложной задачей [7].

Основной метод создания ODS-сталей заключается в механическом легировании [13] с последующей обработкой давлением, такой как прокатка [14], экструзия [15], прессование [16] и другие. Несмотря на потенциал данного направления исследований, оно остается малоизученным в научном сообществе. Глубокое изучение этой темы может привести к важным открытиям и значительному прогрессу в области конструкционных материалов для ядерной энергетики.Существующие работы по этой теме либо неадекватно описывают процесс и результаты, либо не имеют практической ценности из-за присущей процедуре сложности [17].

Исследование включений, образующихся при выплавке стали с использованием метода жидкой металлургии ODS, представляет собой малоизученную тему. В данной работе была поставлена задача исследовать эту тему, продолжая обзорную статью о выплавке стали [18].

Исследование включало изучение пяти способов выплавки стали, включая два метода с введением нанопорошка оксида иттрия в жидкий расплав и три метода получения оксида иттрия в стали путем окисления металлического иттрия. Самым успешным результатом оказался эксперимент по окислению металлического иттрия кислородом, подаваемым в атмосферу печи.

На основе успешного метода был разработан план эксперимента с наиболее эффективным содержанием оксида иттрия в объеме стали. Этот эксперимент проводился без контроля атмосферы печи, в атмосфере окружающей среды без дополнительного вдувания кислорода, что, по расчетам, может дать лучшие результаты по сравнению с предыдущими работами.

Методы

На дно тигля индукционной печи поместили четыре цилиндра из нержавеющей стали с 10%-Cr массой 765 г каждый. Плавление проводилось при температуре 1500 ˚C и продолжалось в течение 2 часов до полного расплавления цилиндров.

В процессе плавки не вводились флюсы, чтобы способствовать более интенсивному раскислению. Отсутствие флюсов позволяло кислороду интенсивнее проникать в жидкий расплав, что в дальнейшем позволило бы ему активнее соединяться с металлическим иттрием, способствующим образованию включений оксида иттрия.

Введение металла иттрия массой 75 г осуществлялось с помощью молибденовой проволоки через зеркало расплава. Металл иттрий закреплялся на конце проволоки.

Молибденовая проволока предотвращала всплытие иттрия, тем самым способствуя его равномерному распределению в расплаве без образования шлакового слоя на поверхности расплава. При введении иттрия наблюдалось интенсивное кипение расплава с последующим быстрым тушением. Затем расплав выдерживали в течение 30 секунд перед заливкой в форму диаметром 30 мм.

Полученный слиток был разрезан на поперечные диски для последующего анализа. Для определения точного процентного содержания иттрия в стали был проведен рентгенофлуоресцентный анализ (XRF), а для подтверждения наличия оксида иттрия в его оксидной форме - анализ неметаллических включений с помощью волнодисперсионной спектроскопии (WDS).

Для детального изучения включений использовался растровый электронный микроскоп. Анализ частиц проводился в 30 точках через каждый миллиметр, в каждой точке от края до края диска делался снимок при увеличениях x100, x300, x600 и x1500, EDS анализ проводился при увеличении x600 с размером снимка 213x160 мкм с разрешением EDS карты 2048 (размер 1 пикселя 0,104 мкм) с 5 отсчетами кадров. Выбор увеличения и разрешения карты был связан с возможностью обнаружения частиц размером 200

нм (2 пикселя на частицу), которые являются самыми мелкими частицами, найденными при изучении неметаллических включений вручную.

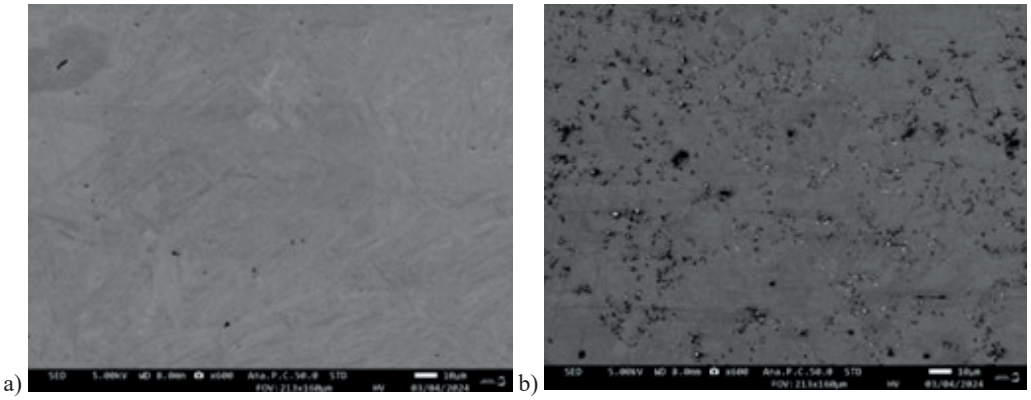
Результаты и обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа химического состава представлены в табл. 1. XRF подтвердил наличие иттрия внутри слитка. Также было установлено, что большая часть добавленного иттрия не ушла из плавки в шлак или другим путем. Схема с механическим удержанием кусочка металлического иттрия оказалась жизнеспособной. Теперь необходимо подтвердить, что иттрий в расплаве окислен, и определить распределение частиц.

Таблица 1 – XRF-анализ выплавленного слитка

Элемент	%
Fe	84.496
Cr	10.349
Y	2.005
Другое	3.15

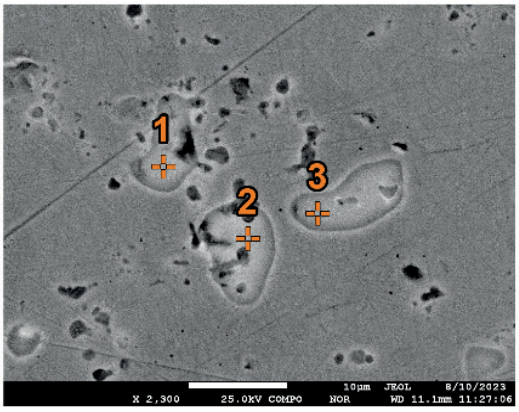
При визуальном осмотре включений с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) было обнаружено, что неметаллические включения образуют скопления размером от 1 миллиметра до 10 микрон по всей площади поперечного сечения. В расположении этих скоплений не было заметной закономерности, поскольку их размер значительно превышал размер зерна. Следовательно, они располагались как внутри зерен, так и по их границам, что свидетельствует о неравномерном распределении по всей стальной матрице. Сравнение типичных соседних полей с включениями и без них при одинаковом увеличении показано на рис. 3.



a) b)

Рисунок 1 – Типичные области образцов а) без включений б) с включениями

Для определения состава включений и подтверждения наличия оксида иттрия был проведен WDS-анализ методом ЕРМА. Этот аналитический метод позволяет с высокой точностью идентифицировать элементы, присутствующие в образце. Сначала было подтверждено наличие иттрия, а затем определено его химическое состояние, в частности, наличие оксида. Последующий химический анализ дал убедительные данные о составе включений, подтвердив наличие оксида иттрия в стальной матрице (рисунок 4).



%(mass)

Points	1	2	3
O	38.79	38.94	40.47
F	27.48	28.61	27.43
Cr	0.47	0.36	0.35
Fe	2.11	1.87	1.63
Y	31.16	30.23	30.12
Total	100.00	100.00	100.00

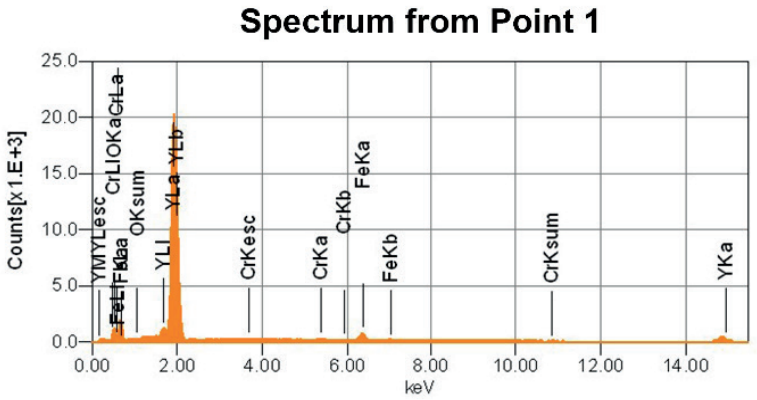


Рисунок 2 – WDS-EPMA анализ включений

Для оценки плотности включений были тщательно собраны статистические данные из 30 точек, охватывающих поперечное сечение от края до края диска через центр, каждая из которых была тщательно измерена на равномерном расстоянии в 1 миллиметр. Благодаря детальному анализу изображений в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (EDS) было установлено, что включения иттрия присутствуют в 9 из 30 исследованных точек. Это наблюдение позволяет сделать вывод, что в среднем включения Y2O3 присутствуют примерно в 30 % слитка, что подчеркивает неоднородное распределение неметаллических включений. Анализ EDS-картины представлен на рисунке 5.

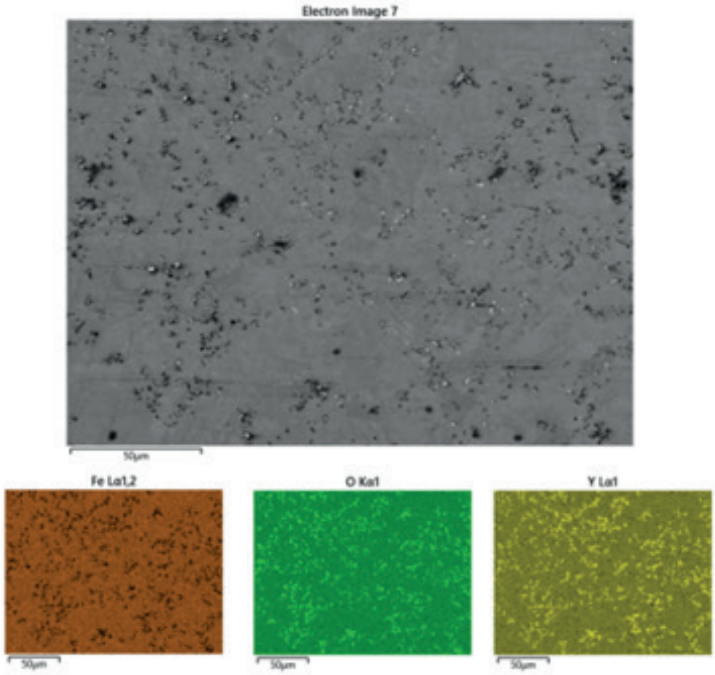


Рисунок 3 - EDS-картирование неметаллических включений оксида иттрия

Кроме того, в каждой из изученных точек включения были детально проанализированы с помощью анализатора Oxford-features (рис. 6). Небольшое скопление включений Y2O3 показано на рисунке 7. Была тщательно собрана статистика размеров частиц, по которой построена гистограмма (рис. 8). Из-за асимметрии, присущей многим включениям, обычные измерения диаметра представляются недостаточно информативными. Поэтому было решено проанализировать площадь включений.

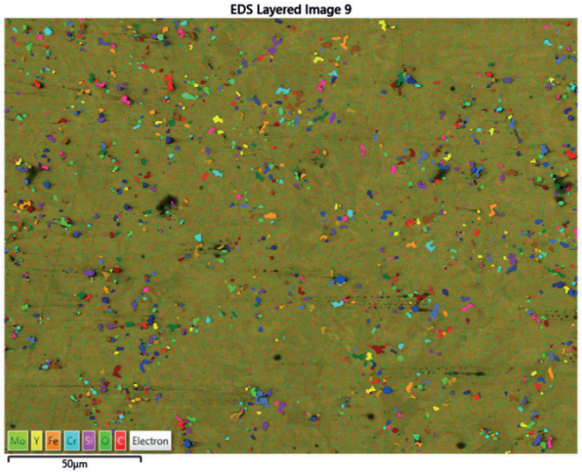


Рисунок 4 – Включения Y2O3, распознанные модулем Oxford Features

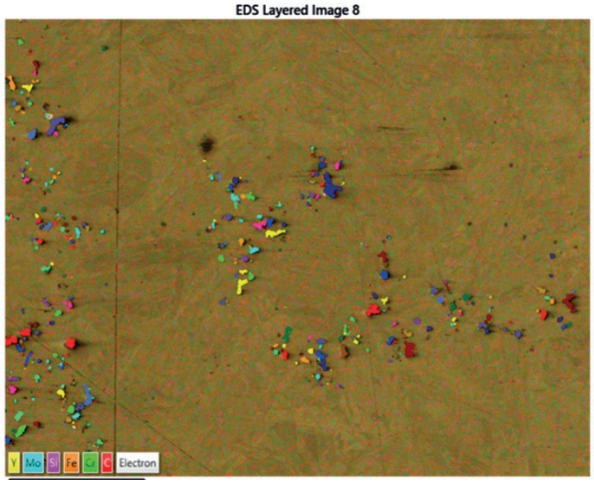


Рисунок 5 – Небольшое скопление включений Y2O3

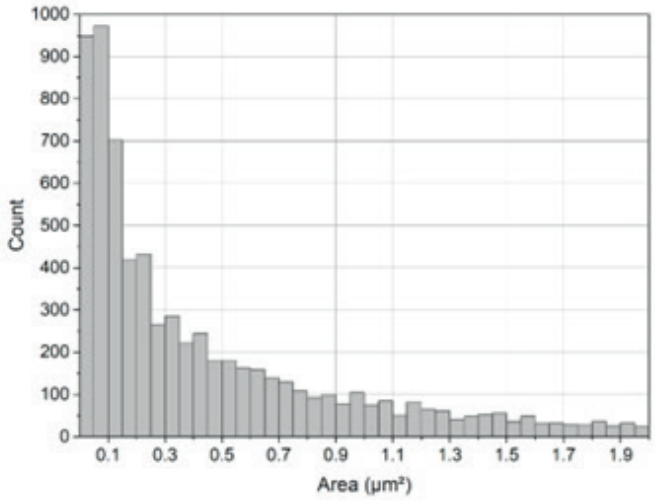


Рисунок 6 – Анализ распределения включений Y2O3 по 30 картам по всему диаметру слитка

Собранная статистика показала следующие цифры по размеру включений: от минимальной площади в 0,0336 мкм2 до максимальной в 22,259 мкм2. Примечательно, что частицы площадью более 1 мкм2 составили всего 22,55 % от всех исследованных включений. Этот вывод подчеркивает, что большинство частиц, составляющих 77,45 % от общего числа, имели площадь менее 1 мкм2. Это различие подчеркивает неоднородный характер распределения включений в материале.

Выводы

1) В работе доказана перспективность введения металлического иттрия в расплав нержавеющей стали с целью формирования в слитке включений оксида иттрия.

2) Добавленный иттрий полностью сохранился в стали, а все обнаруженные иттрийсодержащие включения находились в оксидном состоянии. Метод внедрения с принудительным удержанием кусочка металлического иттрия под поверхностью расплавленной стали показал свою перспективность

3) включения относительно малы, их размер варьируется от нескольких микрон и менее до 200 нм. Такой размер и дисперсия уже хорошо подходят для влияния на свойства материала. Эти первые данные открывают возможность проведения оптимизационных работ по увеличению дисперсности частиц, полученных этим методом.

4) Включения распределены в отчетливые кластеры площадью от 1 миллиметра до 10 микрон по всей площади поперечного сечения. По-видимому, в ходе дальнейших исследований, если кластерный характер распределения армирующих частиц не изменится, необходимо будет использовать методы интенсивной пластической деформации, такие как ECAP или RSP, для достижения более равномерного распределения частиц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Agbevanu, K. T. Liquid metal cooled fast reactor thermal hydraulic research development: A review / K. T. Agbevanu, S. K. Debrah, E. M. Arthur, E. Shitsi // Heliyon. – 2023. – Вып. 9. – Liquid metal cooled fast reactor thermal hydraulic research development. – № 6. – C. e16580.
2. Shutayfi, M. Design, Modeling, and Analysis of a Compact-External Electromagnetic Pumping System for Pool-Type Liquid Metal-Cooled Fast Reactors / M. Shutayfi, A. Raj, J. Eapen, S. Shannon // Annals of Nuclear Energy. – 2023. – Вып. 193. – C. 109997.
3. IAEA. Economic Evaluation Of Alternative Nuclear Energy SystemS / IAEA. – S.l. : INTL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2023.
4. GIF:Annual Report // International Forum. – 2022.
5. Kiani, A. // Innovation: The European Journal of Social Science Research. – 2023, Вып. 1.
6. Orlov, A. I. Heavy liquid metal cooled fast reactors: peculiarities and development status of the major projects / A. I. Orlov, B. A. Gabaraev // Nuclear Energy and Technology. – 2023. – Т. 9. – Heavy liquid metal cooled fast reactors. – № 1. – C. 1-18.
7. Internationale Atomenergie-Organisation. Structural materials for liquid metal cooled fast reactor fuel assemblies: operational behaviour : IAEA nuclear energy series. Structural materials for liquid metal cooled fast reactor fuel assemblies / Internationale Atomenergie-Organisation. – Vienna : IAEA, 2012. – Вып. NF-T-4.3. – 87 c.
8. Azevedo, C. R. F. Selection of fuel cladding material for nuclear fission reactors / C. R. F. Azevedo // Engineering Failure Analysis. – 2011. – Вып. 18. – № 8. – C. 1943-1962.
9. Zhang, J. A study on the dynamic characteristics of the secondary loop in nuclear power plant / J. Zhang, S. S. Yin, L. Chen [и др.] // Nuclear Engineering and Technology. – 2021. – Вып. 53. – № 5. – C. 1436-1445.
10. Song, P. Radiation response of ODS ferritic steels with different oxide particles under ion-irradiation at 550 °C / P. Song, D. Morrall, Z. Zhang [и др.] // Journal of Nuclear Materials. – 2018. – Вып. 502. – C. 76-85.
11. Xu, S. Microstructure Characterization and Mechanical Properties of Al Alloyed 9Cr ODS Steels with Different Al Contents / S. Xu, Z. Zhou, H. Jia, Z. Yao // steel research international. – 2019. – Вып. 90. – № 7. – C. 1800594.
12. Klimenkov, M. Effect of irradiation temperature on microstructure of ferritic-martensitic ODS steel / M. Klimenkov, R. Lindau, U. Jäntsch, A. Möslang // Journal of Nuclear Materials. – 2017. – Вып. 493. – C. 426-435.
13. Tekin, M. Wear behavior of in-situ oxide dispersion strengthened Fe-8Ni alloy with Zr additions / M. Tekin, F. Muhaffel, H. Kotan, M. Baydoğan // Journal of Metals, Materials and Minerals. – 2023. – Т. 33. – № 1. – C. 1-7.
14. Shen, J. Microstructural evolution of two-way cold rolled 12Cr ODS steel under 1073–1373 K annealing / J. Shen, T. Nagasaka, T. Muroga [и др.] // Nuclear Materials and Energy. – 2020. – Вып. 25. – C. 100792.
15. Couvrat, M. Microstructure Evolution of Mechanically Alloyed ODS Ferritic Steels during Hot Extrusion / M. Couvrat, L. Chaffron, D. Nunes [и др.] // Solid State Phenomena. – 2011. – Тт. 172-174. – C. 721-726.
16. Alba, R. Materials to Be Used in Future Magnetic Confinement Fusion Reactors: A Review / R. Alba, R. Iglesias, M. Á. Cerdeira // Materials. – 2022. – Вып. 15. – Materials to Be Used in Future Magnetic Confinement Fusion Reactors. – № 19. – C. 6591.
17. Chumanov, V. Possibility of using yttrium oxide powder as a strengthening phase for centrifugal casting of corrosion-resistant steels / V.. Chumanov, I.. Chumanov //Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Chernaya Metallurgiya.–2020.– Вып. 63 No. 7.– C. 499-503
18. Research Of Injection Methods For Y2o3 Nanoparticles Into Nickel- Free Stainless Steel During Induction Vacuum Remelting / A. Panichkin, F. Popov, N. Lutchenko [и др.] // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2024. – Т. 59. – № 1. – C. 173–182.

EFFECT OF RARE EARTH ELEMENTS ON COPPER AND ITS ALLOYS

Zığındere O.[1], Gözüak G.N.[1], Karakurt V.[1], Çitrak T., Koçak H.[1]
[1] Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş, Türkiye, ,

Abstract. Copper alloys are one of the most important metallic materials due to their metallurgical, physical and chemical properties. Copper alloys are used in space/aviation, iron/steel, mining, automotive, railway, household appliances, electronics, telecommunications, energy, marine and medical applications.

The mechanical, thermal, corrosive, electrical, optical and magnetic properties of new generation materials have been improved by rare earth elements (RE).

In this study, the effects of the rare earth elements Lanthanum (La), Cerium (Ce), Yttrium (Y) and Scandium (Sc) on copper alloys were investigated. For this purpose, experiments conducted in the literature were analyzed and the effects of the rare earth elements on strength, conductivity, % elongation and hardness were evaluated.

Keywords: Copper Alloys, Rare Earth Elements, Grain Refinement, Strength, Hardness

Introduction

Copper and copper alloys form one of the most important groups of commercial metals due to their excellent electrical and thermal conductivity, their resistance to corrosion and fatigue, their ease of processing and their good strength (Derek E. Tyler, 2006). Copper alloys are one of the most important metallic materials due to their metallurgical, physical and chemical properties. Copper alloys are used in space/ aviation, iron and steel, mining, automotive, railway, white goods, electronics, telecommunications, energy, shipping and medical industries (Klassert A., 2007).

The alloying elements added to copper (Beryllium (Be), Aluminum (Al), Nickel (Ni), Silicon (Si), Chromium (Cr), Zirconium (Zr), Iron (Fe), etc.) improve the mechanical properties such as strength, hardness, ductility, fatigue, creep behavior, wear and corrosion resistance by dissolving in the copper cage or forming new phases (H., 2022).

Beryllium copper alloys have the highest hardness of all copper alloys. The addition of Be increases the hardness and mechanical strength of copper. The hardness of the alloy with 2 % Be corresponds approximately to that of steels. Alloys that contain proportionally less Be and are produced with other alloying elements such as Ni, Co, Si have both high strength properties and electrical conductivity properties. The addition of nickel to copper increases corrosion resistance while maintaining the ductility of the alloy. Silicon has a positive effect on the weldability of Cu-Si alloys due to its oxide purification. Copper-zirconium alloys have good strength and high electrical and thermal conductivity (H., 2022) (B., 1990) (K. Thomas Jacob, 2023).

Since the discovery that the mechanical, thermal, corrosive, electrical, optical and magnetic properties of new generation materials can be improved by rare earth elements, these elements have found their way into our lives in almost all areas. The rarity of rare earth elements is due more to the difficulty of processing the ores than to their low occurrence in nature (Haque, 2014) (Brown P., 1990).

Table 1 – Uses of some rare earth elements (Charalampides, 2015)

Name	Symbol	Application
Scandium	Sc	Aluminum alloys, lighting
Yttrium	Y	Lasers, red phosphors, cancer drugs
Lanthanum	La	Petroleum catalyst, camera lenses, low density
Cerium	Ce	Automobile catalytic converters, Glass polishing, low density

In this study, the effects of rare earth elements La, Ce, Nd, Y on copperr alloys were investigated.

Discussion

2.1. Lanthanum (La)

Oxygen and hydrogen, which remain in the structure when casting copper alloys, impair the material properties. The removal of these gases is of great importance for improving the mechanical and electrical properties. Oxygen forms compounds with alloying elements and remains in the microstructure, reducing the conductivity of the material and increasing the likelihood of fractures and damage. Hydrogen, on the other hand, can lead to hydrogen embrittlement of the material by forming compounds at the grain boundaries (Shijie Z., 2006).

Lanthanum alloys can be deoxidized. Lanthanum reacts with oxygen in the melt and enables it to be removed from the microstructure during solidification. This reduces the porosity and impurities of the alloy matrix to a minimum. As a result, RE purifies the matrix of the material and improves the mechanical and electrical properties (Shijie Z., 2006).

As can be seen in Figure 1(b) and (c), when a small amount of La is added to pure copper, the grain morphology changes from equiaxed to columnar grains and the grain size decreases slightly. As the La content increases, the columnar grains gradually become thinner and some fine equiaxed grains are found in a limited area (Figure 1(d)). At an La content of up to 0.18 wt%, the microstructure of as-cast pure copper becomes completely equiaxed grains (Figure 1(e)). However, the grain size at 0.18 wt% is smaller than without La. As the La content continues to increase, the equiaxed grains gradually become thinner (Figure 1(f)) (Y., 2014).

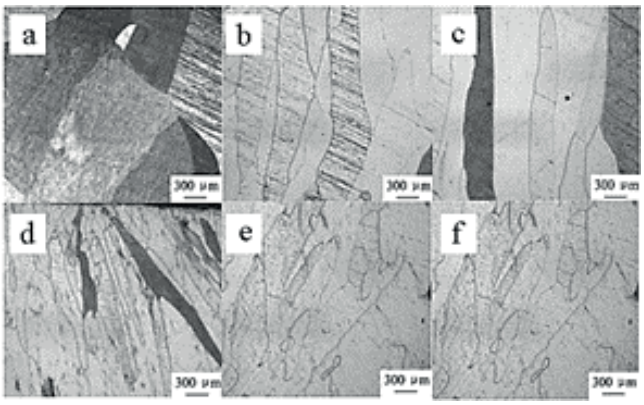


Figure 1 - Optical micrographs of cast pure copper with different La contents (a) Pure copper La:0%, (b) La:0.022%, (c) La:0.040%, (d) La:0.089%, (e) La:0.180%, (f) La:0.320% (Y., 2014)

Rare earth compounds aggregate at the grain boundary so that the growth of a grain can be prevented. This leads to a finer grain structure and increases the strength at high temperatures (Shijie Z., 2006).

According to the study, it was found that the strength of the alloy gradually increased with the increase in the amount of lanthanum and exceeded 250 MPa. When 0.15 lanthanum was added, the elongation increased to 42% and the strength increased to 251 MPa. However, if the lanthanum addition is increased, intermetallic compounds are separated. As a result, the percentage elongation decreases, as can be seen in Figure 2. (Shijie Z., 2006).

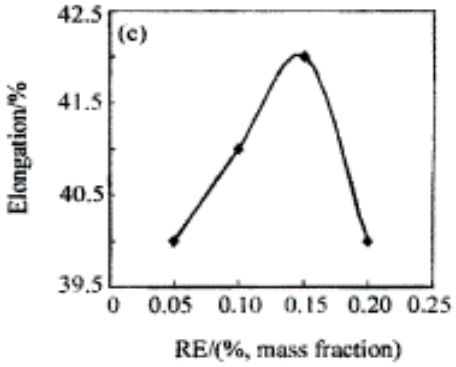


Figure 2 - Effect of La addition amount on elongation (Shijie Z., 2006).

Impurities such as O, Mg, Si and Fe, which are present in pure copper, are present in solid solution in the matrix and reduce the conductivity. A high oxygen content causes a high bulk resistance and a high hydrogen content leads to hydrogen swelling. Therefore, the liquid copper must be completely oxidized during melting to get rid of the hydrogen, and then the oxygen must be removed by reduction. The oxygen was removed by deoxidation and the conductivity increased. However, after the optimum amount was added, the conductivity decreased. This is due to the formation of an intermetallic compound after the optimum addition amount, which leads to the consumption of the conduction electron and a decrease in conductivity (Shijie Z., 2006).

Lanthanum is used in the deoxidation and grain refinement of copper alloys to improve the material properties.

2.2. Cerium (Ce)

According to research, Ce added to copper removes Cl, S, P and other impurities from copper. According to EDS analysis, the second intracrystalline particles are Ce-rich phases containing P, as Ce reacts with P to form intermetallic Cu-Ce-P compounds. Such fine particles are useful to increase the mechanical strength of the alloy (Zhang Z., 2007).

When looking at the Cu-Ce phase diagram in Figure 3, it becomes clear that the element Ce lowers the boiling point of pure copper.

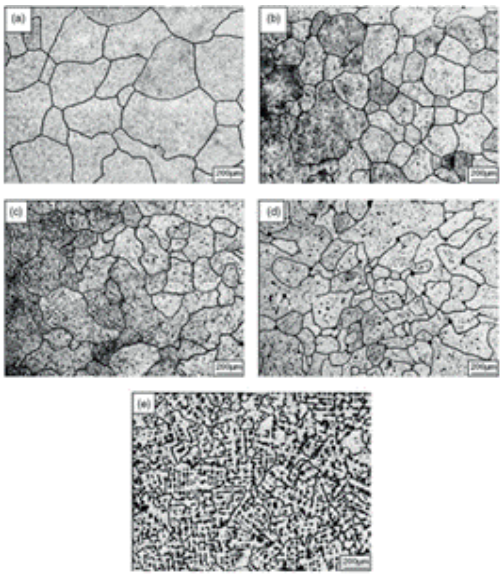


Figure 4. Casting structures of pure copper with different Ce content:
(a) Ce: 0% (b) Ce: 0,2% (c) Ce: 0,3%
(d) Ce:0,4% (e) Ce: 2% (Zhang Z., 2007).

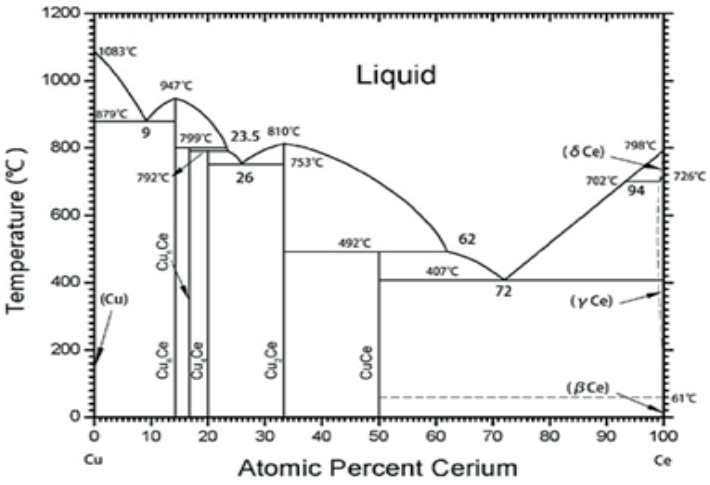


Figure 3. Ce-Cu phase diagram [16].

The microstructural investigations in Figure 4 show that in copper with an optimum Ce content, the grains are fine and the particles of the second phase are dispersed and homogeneous. These pre-solidifying particles accelerate the nucleation of the copper grains and form a sufficient nucleation center. Subsequently, the coarsening of the grains is limited by binding to the grain boundary during grain growth. As a result, Ce improves the casting structure of pure copper. As the Ce content increases, the number and volume of secondary phases also increase. However, as Ce-rich phases have a higher melting temperature than pure copper, Ce-rich particles solidify earlier than copper (Zhang Z., 2007).

The Ce content significantly affects the recrystallization temperature of pure copper. The higher the Ce content, the higher the recrystallization temperature of pure copper. Below the recrystallization temperature for pure copper with a low Ce content or without Ce, pure copper with a high Ce content can therefore not complete the recrystallization process..The Ce-rich particles gather around the defects and retard the movement of the defects. It delays the formation and growth of subgrain during the recrystallization process, resulting in an increase in the recrystallization temperature (Zhang Z., 2007).

Tensile strength, yield strength and hardness increase with increasing Ce content up to 0.04%. However, they decrease with a further increase in Ce content. Ce forms second phases with the matrix, which improves the microstructure and activates the hardening of the second phase (Zhang Z., 2007).

The addition of small amounts of Ce purifies the grain boundary, improves the microstructure and makes it possible to remove impurities together with the slag. This increases the ductility of pure copper. If the Ce addition is greatly increased, Ce is not only consumed in the slag, but also reacts with Cu, P and all other impurities not removed, forming a second phase mass with intercrystalline and intracrystalline dispersion and reducing the elongation of pure copper (Zhang Z., 2007).

2.3. Yttrium (Y)

Ce and Y are active elements and can easily form intermetallic compounds with impurity elements such as

Pb, P and S in copper alloys. Thus, some of the low-melting particles are replaced by high-melting intermetallic compounds. Rare earths are preferentially located at the interface and not inside the crystal (Huaqing, 2006).

In an experiment with RE and Cu-Cr-Zr, RE, a surface-active material, reduced the surface tension of the Cu-Cr-Zr alloy. Cr, on the other hand, increased the surface tension of the Cu-Cr-Zr alloy. The decrease in surface tension increases the tendency of RE to distribute itself homogeneously in the copper alloy matrix (Huaqing, 2006).

As dissolved atoms, RE are preferentially located at the interface and not inside the crystal. The melting point of RE approaches that of Cu but is lower than that of Cr and Zr, but its boiling point is much higher than that of Cu. Due to these properties, RE tends to disperse homogeneously in the matrix of copper alloys (Huaqing, 2006).

The atomic radius of RE is larger than that of copper. Therefore, RE causes a large lattice distortion, and RE effectively fills defects between new phases. As this prevents the movement of dislocations, the plasticity, strength and corrosion resistance of the alloys are increased (Huaqing, 2006).

The conductivity of RE is much lower than that of Cu. The electrical conductivity of Ce and Y is 1.4 MS/m and 1.8 MS/m respectively, which is about 30-40 times lower than that of pure copper (60.7 MS/m). In addition, the conductivity of the tested CuCrZr alloy is 45 MS/m. The observations have shown that Cu-Cr-Zr alloys with 0.03% RE contain residues of RE elements and compounds. The electrical conductivity of Cu-Cr-Zr alloys with an RE content of more than 0.03% decreases, as shown in Figure 5 (Huaqing, 2006).

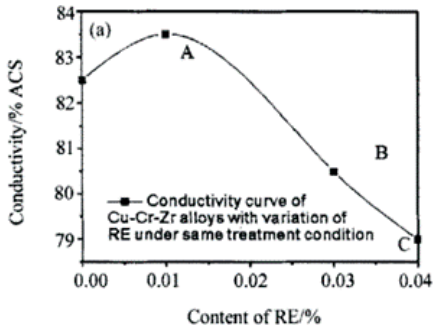


Figure 5 - Curve of conductivity of Cu-Cr-Zr-RE alloys with various RE content (Huaqing, 2006).

As the RE content increases, the dislocation density increases, which leads to a deterioration in conductivity, but the strength and hardness remain unchanged. However, when RE elements were used above the optimum amount (0.01% - 0.03%), they caused large lattice distortions and internal stresses within the alloy matrix. As a result, the hardness of Cu-Cr-Zr-RE alloys decreased significantly (Huaqing, 2006).

2.4. Scandium (Sc)

According to research, the addition of scandium in the copper alloy causes a favorable increase in the softening temperature of Cu–Sc alloys. The addition of scandium in an amount of 0.15 wt in copper and artificial aging of the material in the as-cast state immediately after its crystallization provides thermal stability of the alloy up to a temperature of 450 °C after annealing for 1 hour, and an increase in the scandium content to 0.3 wt causes a further increase in the thermal stability of the alloy by 50 °C, i.e. up to 500 °C (for 1 h). On the basis of the investigations carried out, it was shown that the addition of 0.15–0.3 wt.% scandium to copper has a positive influence on increasing the softening temperature to 450 °C or 500 °C during a 1-hour annealing period (K., 2020).

CuSc begins to precipitate at 375 °C, without prior cold working, while mechanical deformation refines the growing intermetallic precipitates. Higher temperatures improve the formation of precipitates but carry the risk of overaging (D., 2022).

Much research has been done on the effects of Sc, especially on Al alloys. In particular, the alloying of aluminum alloys containing copper as an alloying component with scandium must be carried out carefully, as scandium can form a chemical compound with copper (Zakharov V., 1995).

Conclusion

- The result of the research is that rare earth elements have mechanical and chemical healing effects on copper and its alloys.
- Due to their grain-refining properties, they can play an important role in the casting of copper and copper alloys.

Future Works

- The studies should be continued to obtain the desired properties and to improve the material properties within the standards.
- Although there are many studies on the ratio of additives, studies should be conducted to optimize the casting process after casting.
- There are very few studies in the literature for different copper alloys. In particular, studies should be conducted on Cu-based alloys containing beryllium.

References

B. Oğuz "Alaşım Elementlerinin Kaynak Üzerine Etkileri" Demir Dışı Metallerin Kaynağı [Книга]. - 1990.

Brown P. Rathjen A., Graham R., Tribe D. "Chapter 92 Rare earth elements in biological systems" Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, 423-452 [Книга]. - 1990.

Charalampides G., Vatalis, K. I., Apostoplos, B., & Ploutarch-Nikolas, B. "Rare earth elements: industrial applications and economic dependency of Europe" Procedia Economics and Finance 24, 126 – 135 [Книга]. - 2015 .

D. Julia " Copper-Based Alloys with Optimized Hardness and High Conductivity: Research on Precipitation Hardening of Low-Alloyed Binary CuSc Alloys " Metals [Дневник]. - 2022 г..

Derek E. Tyler William T. Siyah "Forming of Copper and Copper Alloys" Metalworking: Sheet Forming [Книга]. - 2006.

H. Koçak "Saf Bakırlar ve Sert Bakır Alaşımları" Bakır ve Bakır Alaşımları, 49-65 [Книга]. - 2022.

H. Zhou "Experimental investigation of the Ce–Cu phase diagram" Journal of Alloys and Compounds, 262-267 [Дневник]. - 2012 г..

Haque Nawshad "Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Uses, Sustainability and Environmental Impact" [Книга]. - 2014.

Huaqing Li "Influence of Cerium and Yttrium on Cu-Cr-Zr Alloys" Journal of Rare Earths, 367-371 [Дневник]. - 2006 г..

K. Franczak " Research of mechanical and electrical properties of Cu–Sc and Cu–Zr alloys " Archives of Civil and Mechanical Engineering [Дневник]. - 2020 г.. - T. Volume 20.

K. Thomas Jacob Shashank Priya and Y. Waseda " A Thermodynamic Study of Liquid Cu-Cr Alloys and Metastable Liquid Immiscibility " [Книга]. - 2023.

Klassert A. Tıkana L. " Copper and copper–nickel alloys – an overview" Corrosion Behaviour and Protection of Copper and Aluminium Alloys in Seawater, 47-61 [Книга]. - 2007.

Shijie Z. Bingjun Z., Zhen Z., Xin J. "Application of Lanthanum in High Strength and High Conductivity Copper Alloys" Journal of Rare Earths, 385-388 [Книга]. - 2006.

Y. Chen "Effects of lanthanum addition on microstructure and mechanical properties of as-cast pure copper" Journal of Rare Earths, 1056-1063 [Дневник]. - 2014 г..

Zakharov V. Rostova T. "On the possibility of scandium alloying of copper-containing aluminum alloys" Metal Science and Heat Treatment, 65-69 [Книга]. - 1995.

Zhang Z. Lin G., Zhang S., Zhou J. "Effects of Ce on microstructure and mechanical properties of pure copper" Materials Science and Engineering, 313–318 [Книга]. - 2007.

Resume/Резюме

Orçun Zığındere, Gamze Nur Gözüak, Volkan Karakurt, Hakan Koçak

Effect Of Rare Earth Elements On Copper And Its Alloys

The research has shown that rare earth elements have both mechanical and chemical properties that can help heal copper and its alloys. These elements, due to their grain-refining abilities, can play an important role in the process of casting copper and copper alloys. Further research should be conducted to optimize their use in order to achieve the desired material properties within industry standards.

Keywords: Copper Alloys, Rare Earth Elements, Grain Refinement, Strength, Hardness.

Результаты исследования показали, что редкоземельные элементы обладают как механическими, так и химическими свойствами, которые способствуют восстановлению меди и ее сплавов. Эти элементы могут играть важную роль в процессе литья меди и медных сплавов благодаря способности к измельчению зеренной структуры. Дальнейшие исследования необходимы для достижения желаемых свойств материала в соответствии с отраслевыми стандартами.

Ключевые слова: сплавы меди, редкоземельные элементы, измельчение зеренной структуры, прочность, твердость.

Зерттеу нәтижелері сирек жер элементтерінің мыс пен оның қорытпаларын қалпына келтіруге көмектесетін механикалық және химиялық қасиеттері бар екенін көрсетті. Бұл элементтер астық құрылымын ұнтақтау қабілетінің арқасында мыс пен мыс қорытпаларын құю процесінде маңызды рөл атқара алады. Салалық стандарттарға сәйкес материалдың қажетті қасиеттеріне қол жеткізу үшін қосымша зерттеулер қажет.

Түйін сөздер: мыс қорытпалары, сирек жер элементтері, дән құрылымының нақтылануы, беріктігі, қаттылығы.

КЫРГЫЗСКАЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Асанов А.А.
Научно-инженерный центр «Конас» Кыргызского государственного технического университета,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы возрождения редкоземельной промышленности в Кыргызстане. Дан анализ современного состояния минерально-сырьевой базы и производства редкоземельных металлов (РЗМ) и их соединений. Показаны состояния запасов и ресурсов рудного сырья, основных объектов технологической цепочки, существовавших переделов по обогащению и глубокой гидрометал-лургической переработке редкоземельных руд. Утверждается, что изменение создавшейся ситуации в стране возможно при вводе в эксплуатацию новых объектов современного уровня, способных выпускать экспортно-ориентированную продукцию на данном этапе.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, инновации, технологии обогащения, методы переработки, рынок РЗМ.

Annotation. The article discusses the problems of reviving the rare earth industry in Kyrgyzstan. An analysis of the current state of the mineral resource base and production of rare earth metals (REM) and their compounds is given. The status of reserves and resources of ore raw materials, the main objects of the technological chain of existing processing stages for enrichment and deep hydrometallurgical processing of rare earth ores are shown. It is argued that changing the current situation is possible with the commissioning of new modern facilities capable of producing export-oriented products at this stage.

Key words: rare earth elements, innovations, enrichment technologies, processing methods, rare earth metals market.

Минерально-сырьевые ресурсы недр являются бесценным богатством Кыргызской Республики (КР), и их целенаправленное освоение обеспечивает развитие и функционирование горнодобывающего и металлургического комплекса страны, который является одной из приоритетных отраслей экономики. Комплекс базируется на минерально-сырьевых ресурсах, представленных крупными разведанными запасами золота, вольфрама, олова, сурьмы, ртути, редкоземельных металлов, угля и других полезных ископаемых /1/. Будучи высокотехнологичной и наукоемкой, горно-металлургическая промышленность несет также стимулы и возможности для развития сопутствующих технологий, инфраструктур и смежных отраслей.

Во времена Советского Союза горнодобывающая деятельность ограничивалась несколькими рудниками, откуда поступали уран, ртуть, сурьма и редкоземельные металлы для всей советской экономики, а также золото и уголь. Сегодня, особый интерес и стратегическую важность для современного мирового промышленного производства, не говоря уже о будущем, представляют редкие и редкоземельные металлы. они необходимы для высокотехнологичных гражданских отраслей и оборонно-промышленного комплекса. Эти металлы и их химические соединения применяются в инновационных исследованиях и практических технологиях в металлургии, атомной энергетике, оптике, медицине, нефтехимической и стекольной промышленностях, производстве телекоммуникационного и оборудования, электронике, лазерной технике и в других областях //.

Кыргызстан, обладая значительными запасами РЗМ, за годы независимости потеряла былые достижения в этой сфере. В стране существовала развитая редкоземельная промышленность полного производственного цикла. Так, Актюзский ГОК выпускал иттриево-земельную продукцию с соотношением цериевых земель к иттриевым 1:1, что позволяет считать их источник – руды месторождения Куттесай-2 – уникальным по высокой доле иттриевых лантаноидов в сумме РЗЭ (обычно их соотношение 4:1 – 2:1). Извлечение редкоземельной продукции было освоено на Кыргызском химико-металлургическом заводе (КХМЗ), где суммарный выход редких земель достигал 65%. Эта сфера промышленности покрывала до 85 % всего объема потребности бывшего Союза //.

Кыргызстан в данный момент имеет все предпосылки в виде больших запасов сравнительно дешевой электроэнергии, минерального сырья, и наличия когда-то развитой индустрии в виде, упомянутых

выше, ГОК и КХМЗ, связанного с наукоемкими технологическими переделами, н находится на обочине многомиллиардною рынка РЗМ и продукций на их основе.

Республике представляется уникальный исторический шанс заново воссоздать наукоемкую отрасль промышленности, ориентированный на внешний рынок, основанной на собственной минерально-сырьевой базе и планируемых к созданию мощностях по обогащению и получению РЗМ. Возникший дефицит в мировом рынке редкоземельной продукции привел к резкому скачку цен, на среднетяжелые металлы, выпускавшиеся ранее на КХМЗ.

В этой связи, начаты исследования, ориентированные на возрождение предприятий всего цикла в виде единого комплекса, куда входят: **месторождение – обогатительный комбинат – металлургический завод.** Такой подход открывает большие перспективы для их до изучения, освоения новых месторождений, утилизации отходов существующих хвостохранилищ для получения не только РЗМ, но и сопутствующей полиметаллической продукции.

Предварительные результаты исследований показали следующее:

Большинство месторождений и рудопроявлений РЗЭ были открыты до **1**980-х годов. Основная масса из обнаруженных редкоземельных объектов в Кыргызстане совершенно не затронута разведочными или оценочными работами. Очень немногие подвергались вскрытию с поверхности горными выработками. Лишь единичные месторождения разведаны более детально (Кутессай-2, Курган, Куперлисай, Кызыл-Таш, Караджилгинское). Следует отметить, что отечественные месторождения существенно уступают зарубежным аналогам по содержанию полезных компонентов в руде. Каждый источник РЗМ содержит практически все промышленно добываемые металлы со схожими характеристиками в собственной специфичной конфигурации.

Единственным, относительно хорошо изученным объектом является месторождение Кутессай-2, на котором в течение длительного времени добывали редкоземельные элементы /6/. Также, существует насущная необходимость в проведении поисковых и поисково-оценочных работ в районах с имеющимися рудопроявлениями и месторождениями редких земель, а также в новых районах с благоприятными условиями для их обнаружения (рисунок 1).

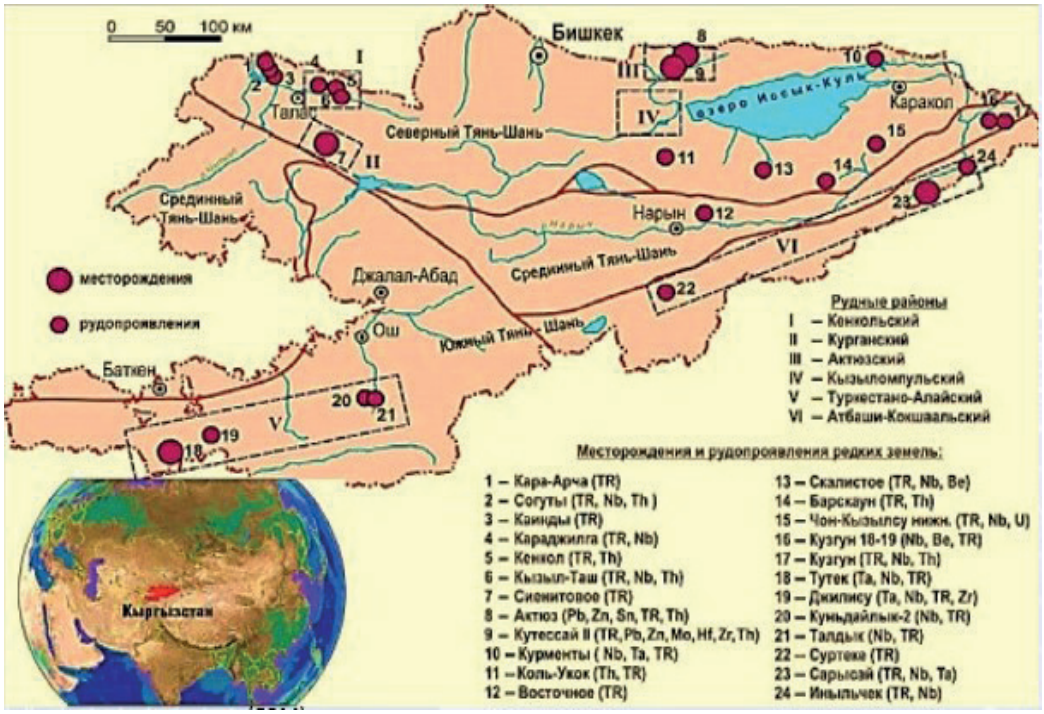


Рисунок 1 – Схема размещения рудопроявлений и месторождений РЗМ

Во всех типах руд основными минералами – концентраторами редких земель является небольшое количество ториево-циркониево-редкоземельных минералов: монацит, флюоцерит, ксенотим, иттропаризит, иттробастнезит, циртолит (малакон), ферриторит и иттрофлюорит (флюорит) и др.

Проводимые исследования показали, что на основе ранее выполненных геолого-разведочных работ,

установленные и поставленные на учет ГКЗ объемы исходного сырья на месторождении Куттусай-2 по категории В+С1+С2 составляют – **20.4 млн. т, прогнозная сумма редких земель в металле – 51,5 тыс. т.** Помимо РЗМ в составе руды имеются цветные металлы. В перспективе, проведение геологоразведочных работ по стране позволит увеличить балансовые запасы рудных месторождений до **30 млн. т,** а объемы РЗМ может достигнуть до **75 тыс. т.** Кыргызстан с огромными запасами редкоземельного сырья имеет реальные возможности войти в число основных производителей такой ценной и широко востребованной продукции в мире.

Самостоятельный интерес представляют Актюзские хвостохранилища № 1,2 и 3, а также Боорду, не только, как гидротехнические сооружения, но и источники ценного сырья, где по предварительным подсчетам содержатся до **5750 тонн** РЗЭ, в том числе, легкой группы-52% (около 3000 т), средней-15% (862.4 т) и тяжелой- 5% (287,5 т). Исследованиями установлено, что в техногенных отходах этих хранилищ, в виде штабелей, заложены до **2,0 тыс. тонн** коллективного концентрата РЗМ, которые были подготовлены для переработки на КХМЗ в начале 90-х годов, а также имеются не извлеченные цветные металлы. На территории страны разведаны и другие перспективные месторождения редких металлов, включающих и РЗМ, такие как: **Сарысай, Каражилга, Делбек-Тутек, Джийлисуу и др**., представляющие огромный интерес для перспективного развития этой сферы промышленности.

В текущий момент, рынок РЗМ является одним из самых молодых товарных рынков в мире и растёт большими темпами по сравнению с другими базовыми металлами. Это обусловлено следствием, как глобального экономического роста, так и смены технологических укладов, основанных на инновационном развитии экономик многих стран – производителей продукции из РЗМ. **Неуклонный** интерес к ним обусловлен широким спектром их потребления в высокотехнологичных отраслях промышленности, возрастающим спросом и довольно непростой ситуацией на мировом рынке. Ключевыми потребителями РЗМ являются страны-лидеры мировой экономики: Китай, Япония, Южная Корея, США, страны Европы (в основном Германия и Франция). По своим масштабам рынок РЗМ относительно других металлов весьма небольшой.

Если по данным различных источников, выпуск РЗМ в пересчете на оксиды находился в 2015 году на уровне 100-120 тысяч т., то в последние годы наблюдается резкий рост объема их производства /8/. Это связывают с совокупным спросом на РЗМ, который стабильно возрастает в последнее десятилетние на 5-7 % в год. Текущий объем мирового рынка РЗМ оценивается на уровне 15-20 млрд. долларов, а суммарный объем продукции, в которой используется РЗМ, составляет около 5,0 трлн. долл. США.

Компании во многих странах заявили о планах возобновления и расширения их производства. Эти проекты различны по плановой мощности, объему инвестиций, руды осваиваемых месторождений весьма разнятся по содержанию редких земель. По оценкам специалистов, требуется десятки лет для открытия нового рудника и производства. Кроме того, открытия новых мощностей требует огромных инвестиций не менее 1,0 млрд. долл. США, привлечение которых остаточно достаточно затруднительно при сегодняшней ситуации на финансовых рынках.

В текущий момент динамика цен на рынке непредсказуема***, она зависит от спроса и предложения на редкоземельную продукцию. Это подтверждается установленной нами д***инамикой изменения цен на РЗМ с 2010 по 2024 годы. ***Ниже в таблице 1 приведены сравнительные ц***ены на оксиды РЗМ в рынках Китая и России за последние два года.

Таблица 1 – ***Сравнительные ц***ены на оксиды РЗМ в рынках Китая и России за 2023–2024 годы.

№ п/п	Наименование	КНР		РФ
		Июль 2023 г., $/кг	Февраль 2024г., $/кг	Февраль 2024г., $/кг
1	Оксид гольмия Ho	75	56,25	57,01
2	Оксид неодима Nd	66,67	56,60	57,31
3	Оксид празеодима Pr	65,97	56,94	57,69
4	Оксид гадолиния Gd	36,53	28,47	24,98
5	Оксид эрбия Er	36,11	39,93	40,47
6	Оксид иттербия Yb	13,2	13,89	14,07
7	Оксид иттрия Y	6,8	5,97	6,05
8	Оксид самария Sm	2,1	2,08	2,11
9	Оксид тербия Tb	1003	780,56	790,85
10	Оксид скандия Sc	878,5	861,11	872

11	Оксид лютеция Lu	750	770,83	781,26
12	Оксид церия Ce	0,61	0,90	0,91
13	Оксид лантана La	0,6	0,56	5,62
14	Оксид диспрозия Dy	320	265,97	269,48
15	Оксид европия Eu	27,08	27,08	27,44
	Суммарная стоимость	3282,17	2967,14	3007,25
	Средняя	**218,8**	**198**	**200,5**
		Средняя цена 205		

Цены взяты из интернета

Резкие скачки в ценах связывают с дефицитом оксидов и металлов отдельных РЗЭ. Такие элементы как Y, Dy, Tb, Eu и Nd были признаны самыми критическими редкими землями в плане будущего спроса и предложения, возможно эрбий и празеодим, также будут в дефиците. По элементам Dy, Tb и Eu разница в ценах равняется примерно тарифам, связанным с экспортом, что позволяет сделать вывод о том, что происходит реальное изменение цен.

На основе цены на 2024 год был пересчитан геолого-экономические показатели запасов на исследуемом месторождении. Результаты расчета прогнозных данных по **к**онсолидированной сумме реализации **РЗМ (по двум вариантам цен) при их полном извлечении** приведены в таблице 3.

Многие редкие металлы, долгое время не востребованные, сейчас дали жизнь таким областям современной промышленности, науки и техники, как солнечная энергетика, сверхскоростной транспортной магнитной подушке, инфракрасная оптика, оптоволоконная электроника, лазеры, вычислительные системы и др. /5/.

В этом контексте, для расчета критериев оптимизации и показателей эффективности освоения месторождения Куттесай-2 главным показателем является цена на редкоземельную продукцию на предполагаемом рынке

На основе цены на 2024 год был пересчитан геолого-экономические показатели запасов на исследуемом месторождении. Результаты расчета прогнозных данных по **к**онсолидированной сумме реализации **РЗМ (по двум вариантам цен) при их полном извлечении** приведены в таблице 2.

Таблица 2. Геолого-экономическая оценка сырьевых запасов месторождения Кутессай-2

Объекты	СТАРЫЙ ВАРИАНТ (2010 г .)		НОВЫЙ ВАРИАНТ (2024 г.)	
	Кутесай -2	Ак-Тюзские хвосто-хранилища	Кутесай-2	Ак-Тюзские хвосто- хранилища
Запасы РЗЭ в руде, т.	50,570	5,750	50,570	5,750
Извлечение, %	51%	48%	58%	48%
Количество суммы РЗ к продаже, т.	25,791	2,760	29,435	2,760
Цена суммы РЗЭ, $	73	73	205	205
Сумма реализации РЗЭ, $	1 882 721 100	201 480 000	6 034 175 00	565 800 000
Консолидированная сумма реализации, $	**2 186 151 100**		**6 599 975 000**	

Из данных таблицы 2 следует, что при нынешних на 2024 год ценах консолидированная сумма реализации РЗМ возрастает почти в три раза. Это свидетельствует о правомерности принимаемых решений руководством Кыргызстана, связанных с возрождением редкоземельной сферы промышленности в стране.

Для выбора оптимальных технологических решений в условиях карьера Куттесай – 2 были рассмотрены тенденции развития современных способов и средств открытой разработки месторождений /7/. Принимая во внимание, что освоение нижней части месторождения Кутессай-2 будет производиться при наличии опыта отработки запасов верхней части, переработки руды ГОК и переработки концентрата на гидро-металлургическом заводе, предложенная нами концепция освоения рудника построена на следующих основных положениях:

- технико-экономические решения по технологии извлечения РЗЭ будут основаны на технологических решениях и проектных параметрах, ранее действующего производства;
- производственная мощность добычного, обогатительного и метал-лургического производства будет пересмотрена в сторону увеличения по руде до 1000 тыс. т/год.

В этой связи возможны два варианта их реализации:

1 вариант – конечной продукцией является концентрат, получаемый на месторождении, путем переработки руды на ГОК;

2 вариант – конечной продукцией является продукция РЗЭ, выпускаемая на ХМЗ.

Для каждого варианта рассматривается два способа отработки нижней части месторождения: открытый и подземный, открытый принят как базовый. При этом, на ряду с добычными процессами рассматриваются и процессы механического обогащения руды и транспортировки руды в ГОК, расположенный в нижних горизонтах местности.

Конвейерная транспортировка руды применима как для подъема с глубинных горизонтов карьера при открытой его разработке, так и при ее транспортировке по пересеченной горной местности или подземных условиях до места подачи (рис. 2).

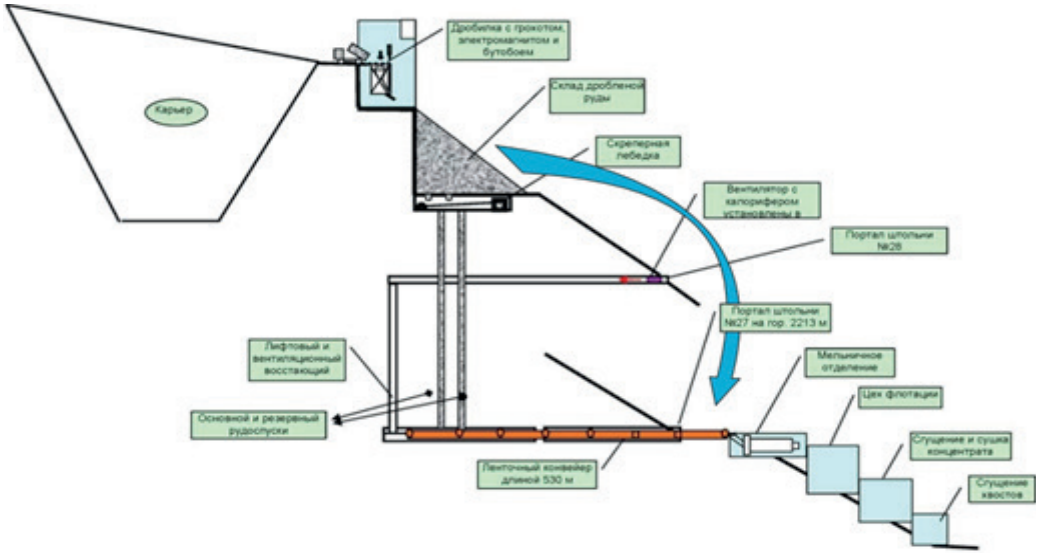


Рисунок 2 – Принципиальная схема транспортировки и дробления руды при открытой разработке

В соответствии с технологическими схемами, руда доставляется самосвалами к дробильно-сортировочному комплексу, где она подвергается многостадийному дроблению и измельчению с последующим разделением на фракции /3,4/. В итоге, по достижении требуемых размеров измельчения, руда в водной среде подвергается магнитной концентрации и сепарации, из нее отделяют оксиды тяжелых металлов и железа.

Далее, на основе исследования технологических переделов и процессов, в результате которых на выходе получают концентраты и промежуточные продукты РЗМ, предварительно очищенные от радиоактивных компонентов, сделан вывод о правомерности объединения технологии получения коллективных концентратов и карбонатов в одном месте. При этом, наиболее рациональным вариантом является включение цеха, предназначенного для этой цели, в состав обогатительного комбината, предполагаемого к строительству рядом с месторождением «Куттесай-2».

Здесь имеются соответствующая инфраструктура и площадка для строительства нового обогатительного комбината. В этом случае создаются предпосылки и для эффективного использования существующих хвостохранилищ в пос. Актюз. Они имеют ценность, не только как необходимые гидротехнические сооружения, обеспечивающие надежную работу производств, без капитального строительства, но являются также дополнительными источниками РЗЭ, вовлечение которых в оборот позволить получать конечную продукцию и из техногенных отходов.

В 58 км от пос. Ак-Тюз, западнее г. Орловка в селе Бординка разме5щено здание гидрометаллургического завода по выпуску оксидов, металлов и соединений РЗЭ. Здание по извлечению тяжелых РЗЭ полностью сохранена, оборудование линии старого советского образца демонтирована и вывезена. Основные технологические помещения и инженерные коммуникации, а также инженерная инфраструктура завода находятся в рабочем состоянии, однако отдельные узлы ее узлы подлежат модернизации с их полной заменой. Здесь планируется строительство нового гидрометаллургического завода по выпуску РЗМ.

Анализ возможности создания такого производства собственного производства позволил выявить также сильные и слабые стороны, с учетом новых трендов в этой отрасли и возможных угроз при реализации товарной продукции. Результаты такого анализа сведены в таблицу 3.

Таким образом, широкий спектр потребителей высококачественного продукта, его дефицит на рынке материалов, высокая технологичность процесса, отсутствие у производителей материала высокой чистоты продукта, надежный и доступный источник сырья для его получения, позволяют рассматривать данную сферу как надежное производство. На планируемом к строительству комплексе без больших капитальных вложений могут быть выпущены уникальные композиционные материалы и другие продукты на основе особо чистых РЗМ.

Таблица 3 – Анализ кыргызской отрасли редкоземельных металлов

Сильные стороны	**Слабые стороны**
Значительные объемы запасов редкоземельного сырья на территории КР, экспортная ориентированность будущих производств Наличие карьера по добыче Р и РЗМ, имеющий потенциал к расширению (карьер на базе месторождения «Куттесай – 2»). Сопоставительно низкий уровень радиоактивности редкоземельных элементов. Возможности вовлечения в переработку техногенных отходов месторождения «Куттесай-2» и гидрометаллургического завода. Наличие опытно-промышленной и научно -исследовательской базы извлечения радиоактивных компонентов из исходного рудного сырья и концентратов.	Геологические особенности отдельных месторождений КР, попутный характер компонентов. Низкое содержание сырьевых запасов РЗМ на разведанных месторождениях КР. Высокая капиталоемкость и науко-емкость проектов, влияющих на их инвестиционную привлека-тельность. Фрагментарный характер развития отрасли, отсутствие полной технологической цепочки всего цикла. Отсутствие государственной научно-технической программы развития отрасли, не проработан-ность вопросов. Необходимость внесения из-менений в законодательные акты по урану и торию.
Возможности	**Угрозы**
Новые тренды, формирующие рост спроса на РЗМ («зеленая» энергетика, робототехника, электроника) Нацеленность государства на промышленное развитие технологий добычи и переработки РЗМ Возможность привлечения инвести-ций в отрасль, формирование стимулов трансфера и адаптации зарубежных высокотехнологичных производств в КР Возможность стать одним из игроков на глобальном рынке металлов в условиях нестабильной политики в этой отрасли	Дальнейшее укрепление позиций Китая, рост уровня зависимости от РЗМ-продукции, реализуемой КНР Неконкурентоспособность кыргыз-ской РЗМ-продукции на мировом рынках из-за ценового фактора, ввиду потенциально высоких эксплуатационных затрат, высокие экологические угрозы Воздействие зарубежных инвесторов на национальную стратегически важную отрасль в собственных интересах

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Минерально-сырьевая база Кыргызской Республики на рубеже перехода к рыночной экономике. / Гос. агентство по геологии и минеральным ресурсам КР, 1998, 233 с.

2. Никоноров В.В. Рудные месторождения Кыргызстана.-Б. 2009, 492 с.

3. Современные технологии редкометалльной и редкоземельной промышленности. /Под ред. члена президиума РАН акад. Л.И. Леонтьева и докт. хим. наук В.И. Сачкова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 388 с.

4. Производство редких и редкоземельных металлов: ИТС 24-2020. URL:

5. Череповицын А. Е. и др. Концептуальные подходы к формированию промышленной политики развития отрасли редкоземельных металлов. // Известия УГГУ. – 2022. – Вып. 2 (66). – С. 122–134.

6. Мелентьев Г.Б, Воробьев А.Е., Шамшиев О.Ш. Редкометалльный потенциал Кыргызстана: состояние и перспективы. // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. – 2015. – № 4. – С. 138–145.

7. Маттис и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.

8. Кондратьев, В.Б. Глобальный рынок редкоземельных металлов. // Горная промышленность. – 2017. – №4 (134). – С. 48–54.

9. Крюков В.А., Яценко В.А., Крюков Я.В. Редкоземельная промышленность – реализовать имеющиеся возможности. // Горная промышленность. – 2020. – №5. – С. 68–84.

КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ К ОБОГАЩЕНИЮ РУД И ЭКСТРАКЦИИ

Айдарова С.Б., Сарсембекова Р.А.
АО «Казахстанско-Британский технический университет», г. Алматы, Казахстан

В последние годы, в связи с развитием химии высокомолекулярных соединений и физико-химии поверхностных явлений появились широкие возможности управления поверхностными явлениями в дисперсных системах с помощью высокомолекулярных поверхностно-активных веществ (ВМПАВ). Они успешно применяются, в частности, для управления процессами обогащения руд, флокуляции и флотации в цветной металлургии, извлечении и экстракции металлов из сточных вод и производственных отходов, а также для решения экологических проблем, связанных со структурообразованием в разнообразных дисперсных системах. Дальнейший прогресс в области практического использования ВМПАВ, ПАВ, сорбентов, в частности, в решении важнейших экологических проблем окружающей среды и задач освоения эрозионно-опасных и солонцовых почв, загрязненных техногенными отходами, содержащими радиоактивные вещества в значительной степени зависит от развития исследований их свойств в объеме раствора и на границах раздела фаз.

Изложенный материал показывает возможность направленного регулирования гидрофобности и поверхностно-активных свойств макро-молекул, используя мицеллообразующие ПАВ или другой полимер, способные образовать ассоциат или полиэлектролитный комплекс. Это позволяет рассматривать полиэлектролитные ассоциаты как уникальный класс поверхностно-активных веществ, обладаюших перспективой применения в различных отраслях промышленности.

В работе изучено влияние СПЭ, их композиции с НМПАВ на процессы структурообразования в концентрированных минеральных суспензиях (почвы, хвосты обогатительных фабрик, сточные воды обогатительных производств) и устойчивость пен на границе с воздухом и полярной органической жидкостью. Было установлено, что с увеличением гидрофобности полимерных цепей структурообразующее действие СПЭ усиливается. Так, например, в ряду ПАК, ПМАК, МАК-ММА и МАК-БМА структурообразование в концентрированных суспензиях сероземной почвы усиливается в несколько раз при одинаковых концентрациях СПЭ в суспензии, повышая их пластическую прочность. Этот процесс сопровождается увеличением доли структурированных, агрономически ценных (у которых диаметр>0,25 мм) частиц почвы.

Изменение структурированности почвы в присутствии СПЭ сопровождается гидрофобизацией почвенных частиц, о которой судили по изменению кинетики пропитки почвы и тепловым эффектам смачивания их водой. Полученные фундаментальные результаты могут быть применены для восстановления плодородных слоев почвы, разрушенных в процессе добычи минеральных ресурсов.

В связи с тем, что в процессе обогащения минеральных руд основными этапами являются флотация и флокуляция, разработка реагентов для повышения эффективности извлечения сопутствующих ценных металлов является важной задачей. Увеличение гидрофобности полиэлектролитных цепей и их концентрации в растворе уменьшает удельную скорость синерезиса, что указывает на усиление пеностабилизирущего действия. При использовании синтезированных в работе алкилпроизводных ПЭИ при содержании алкильных радикалов С4Н9, С8Н17 10% и 50%, и амфолитов на их основе в качестве флотореагентов, извлечение золота из руд возрастает на 7,66 %, серебра на 4,5 % по сравнению с известным.

Интересной особенностью действия СПЭ на границах раздела фаз является то, что в присутствии МПАВ их структурообразующее и пеностабилизирующее действия усиливаются.

Результаты проведенного исследования позволяют заключить, что композиции мицеллообразующих ПАВ с ПЭИ действительно являются более эффективными и перспективными для использования в качестве новых поверхностно-активных веществ, чем алкилпроизводные полиэтиленимина. получение которых требует проведения ряда сложных экспериментов по синтезу и очистке. Вышесказанное подтверждается резким возрастанием поверхностной активности, уменьшением ККМ при увеличении числа гидрофобности даже на незначительную величину в случае поликомплексов ПЭИ-ДДС, тогда как в ряду алкилпроизводных ПЭИ это не наблюдается.

Преимуществом использования композиций является также возможность тонкого регулирования гидрофильно-липофильного баланса полиэлектролитов, что позволяет их рекомендовать для использования в самих различных отраслях производства.

Исследование смесей поликислот с ПЭГ показало, что эти поликомплексы обладают более высоким пенообразующим свойством по сравнение с отдельными компонентами. Образующиеся пены в растворах поликомплексов по устойчивости относятся к флотационным пенам. На основании этих данных, было установлено, что интерполимерные комплексы могут быть использованы в качестве флотореагентов при

извлечении металлов из руд флотацией. В частности, при использовании поликомплекса ПМАК-ПЭГ в качестве дополнительного флотореагента извлечение золота из руд увеличивается на 1,4%.

Использование нестехиометричного полиэлектролитного комплекса ПМАК с алкилпроизводным ПЭИ – сополимером этиленимина и октилхлористого этиленимина – позволяет увеличить извлечение золота и серебра из руд на 14,9 и 10,2%, соответственно.

При использовании полиэлектролитного комплекса ПМАК-ПДМАЭМА.C2H5Br в качестве флотореагента извлечение золота из руд возрастает на 2,1 %.

Увеличение извлечения благородных металлов из руд при применении поликомплексов в качестве флотореагентов обусловлено не только пенообразующей способностью последних, но также и их высокими гидрофобизирущим и флокулирующим действиями. Принимая это во внимание, полиэлектролитные комплексы на основе промышленных полимеров были использованы в качестве флокулянтов для сгущения продуктов обогащения с целью повышения степени очистки сточных промышленник вод.

Обработка сточной воды смесью ПАА с ПДМДААХ ускоряет сгущение продуктов обогащения на 0,01-0,33 г/мин, а степень очистки воды повышается на 0,3-6,6 % по сравнению с известным способом, где в качестве флокулянта использует один ПМ. При использовании в качестве флокулянта смеси ПМ с сополимером этиленимина с цетилбромидом этиленимина скорость флокуляции увеличивается в 1,03-1,3 раза, причем, наибольшая скорость флокуляции наблюдается при эквимольных (стехиометричных) соотношениях полиэлектролитов.

Межмолекулярные реакции приводят к образованию новых поверхностно-активных соединений – интерполимерных комплексов, которые могут быть использованы для оптимизации флотационного обогащения благородных металлов, а также для очистки промышленных сточных вод.

Возможность регенерации компонентов и многократного использования является преимуществом реагентов на основе поликомплексов.

Проведенное исследование показало, что увеличение гидрофобности полимерных цепей СПЭ усиливает их адсорбируемость на границах раздела фаз и вследствие этого позволяет регулировать их практически важные свойства. При этом, варьирование гидрофильно-липофильного баланса полимерных цепей при комплексообразовании с ПАВ, олигомерами и полимерами отличается от синтеза новых ВМПАВ простотой реализации и экономической целесообразностью.

Прогнозируя научную и практическую значимость исследований в области коллоидной химии бинарных растворов синтетических полиэлектролитов с ПАВ и полимерами, можно отметить ее перспективность для использования в сопутствующих процессах переработки и решений экологических проблем при производстве урана, таких как очистка сточных воды и ремедиация почв.

Композиции полиэлектролитов с ПАВ более эффективны и перспективны для использования в качестве новых ВМПАВ, чем алкилпроизводные полиэлектролитов, получение которых требует проведения ряда сложных экспериментов по синтезу и очистке. Высокая чувствительность поликомплексов к условиям среды, лабильность, разнообразие набора конформаций и способность к самоорганизации, позволяющие тонко регулировать их коллоидно-химические свойства, открывает перспективу создания новых универсальных ВМПАВ, на основе которых могут быть разработаны экологичные безотходные технологические циклы в гидрометаллургии.

Также в данном исследовании рассмотрена проблема извлечения сопутствующих элементов из сырой нефти, которые часто используются в области энергетики. Некоторые из них, такие как Ni, V, Pb, Fe, Cu, Mg, Ca, Na и другие, могут быть удалены с помощью процесса обессоливания нефти. Металлические элементы с большим содержанием могут быть как в неорганической, так и в органической форме и могут быть удалены с помощью физических методов, таких как электрическое обессоливание.

Ni и V в основном содержатся в виде порфириновых соединений, которые не могут быть удалены непосредственно из сырой нефти физическим методом. Металлы, такие как Na, Ca, Fe и другие соли металлов, могут быть удалены путем электрообессоливания в виде порфиринов. Соединения Ni, V обладают уникальными свойствами, которые затрудняют их непосредственное удаление. Поэтому необходимо и важно изучить метод извлечения ионов полезных металлов для развития энергетической промышленности.

Изученная композиция для извлечения никеля и ванадия включает в себя более 20 различных реагентов, таких как азотная кислота, неорганическая кислота фосфорной кислоты, гидрофосфат аммония, фторид аммония и другие неорганические соли, такие как муравьиная кислота, пропионовая кислота и другие органические кислоты, а также множество кислот, таких как этилендиаминтетрауксусная кислота, нитрилотриуксусная кислота.

Подводя итог, можно сказать, что в виде металлов, содержащихся в сырой нефти, особенно никеля и ванадия, в виде соединений порфирина, поскольку свойства порфирина зависят от различных методов

извлечения металлов, таких как никель, ванадий и железо, в данной работе предлагается использовать один из методов деметаллизации и метод хелатного разделения.

Результаты исследований могут быть применены для извлечения таких металлов как никель, ванадий и железо в различных процессах обогащения минеральных руд и экстракции ионов редких и редкоземельных металлов, актуальность которых для развития энергетической отрасли все возрастает.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Янцен В.И. Айдарова С.Б., Тусупбаев Н.К., Мырзахметов М. Применение новых флокулянтов на обогатительной фабрике ПО «Балхашмедь». 1991, Цветная металлургия 10, 24-25.

2. AA Sharipova, Saule B Aidarova, AB Issayeva, A Babayev, M Issakhov, Botagoz Zh

Mutaliyeva, R Miller. TIO2 coatings doped with rare-earth ions for the destruction of model waste stream. 2018, INDUSTRIAL TECHNOLOGIES AND ENGINEERING. 300-306

Mojtaba Mirzaeian, Qaisar Abbas, Andrew Hursthouse, Saule Aidarova, Maratbek T

Gabdullin, Zhanar Ospanova. Development of functional materials for the removal of heavy metals from industrial waste waters. 2022, X International Scientific and Practical Conference: Actual Problems of the Uranium Industry, 246-251

3. Zhao X., Xu C, Shi Q. Porphyrins in heavy petroleum: a review, in structure and modeling of complex petroleum mixtures. 2015, Springer. 54(42) 39-70

4. Kobotaeva N S, Skorohodova T S. Investigation of the process of demetallization of heavy oil stock using chemical reagents and ultrasonic treatment. in AIP Conference Proceedings. 2018. AIP Publishing LLC.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА СКАНДИЯ ИЗ МАТОЧНИКОВ СОРБЦИИ УРАНА

Ильичева О.В., Хлебникова И.А., Кылышканов М.К., Подойников М.А,
АО «УМЗ» г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Результаты исследований существующих разработанных способов извлечения, концентрирования и очистки скандия доказывают отсутствие специфического метода получения его соединений из сложных многокомпонентных растворов. Кроме того, технологические операции имеют ряд особенностей, обусловленных характеристиками исходного сырья. К этим особенностям относятся сравнительно низкие концентрации скандия в исходном природном или техногенном сырье, высокая дисперсность фазы-носителя микрокомпонента, близость по химическим свойствам с сопутствующими элементами, а также высокие требования к чистоте конечной продукции.

Известно, что скандий является типичным рассеянным литофильным элементом, при этом известные минералы скандия: тортвейтит $Sc_2[Si_2O_7]$ и стереттит $ScPO_4 \cdot 2H_2O$ встречаются крайне редко и промышленного значения не имеют. В большей степени в земной коре распространены минералы, содержащие скандий в виде изоморфной примеси в количестве до 0,3 % Sc_2O_3.

Альтернативой комплексным месторождениям редкоземельных металлов и скандия являются техногенные отходы, образующиеся в процессе добычи и переработки различных полезных ископаемых, в составе которых присутствуют ценные попутные компоненты [1]. В частности, при добыче урана методом подземного выщелачивания в сбросных растворах концентрация скандия в зависимости от месторождения варьируется в пределах от 0,05 до 0,30 мг/дм^3. Попутное извлечение соединений скандия может способствовать улучшению экономических показателей уранодобывающих предприятий.

В превалирующей части технологии извлечения скандия из растворов, содержащих менее 0,1 г/дм^3 скандия, включают операцию ионообменной сорбции. Однако, вследствие низкого содержания скандия в растворах, поступающих на операцию сорбционного концентрирования, на фоне балластовых примесей, суммарное содержание которых в 20 000 раз превышает концентрацию целевого элемента, расходы реагентов, применяемых в разработанных технологиях, достаточно высоки, что делает предлагаемый процесс попутного извлечения скандия из растворов МСУ нерентабельным.

Альтернативным способом извлечения скандия из многокомпонентных растворов подземного выщелачивания является концентрирование скандия с применением различных баромембранных установок. Критериями в пользу выбора мембранных систем могут быть как экономические аспекты (высокая стоимость доставки реагентов в удаленные районы, затраты на ремонт и обслуживание), так и экологические (значительные объемы потребления воды, запреты на сброс стоков в канализацию или поверхностные источники).

В частности, для концентрирования скандия в растворах маточниках сорбции урана рассматривалась возможность применения метода нанофильтрации, который позволяет концентрировать скандий в ретентате - части раствора, не прошедшего через мембрану.

Известно, что значимое влияние на параметры нанофильтрации оказывает содержание примесных элементов в фильтруемых растворах, в связи с тем, что в процессе нанофильтрации концентрация некоторых элементов пропорционально увеличивается по отношению к скандию, что является негативным моментом и препятствует эффективному концентрированию скандия.

Исследования по определению возможности снижения затрат при получении концентратов скандия посредством концентрирования скандия из многокомпонентных растворов с применением нанофильтрационного оборудования являются актуальными в настоящее время.

Известно, что нанофильтрационные мембраны (NF) работают при избыточном давлении от 0,2 до 1,6 МПа, задерживают катионы солей жесткости (селективность 40 – 80%) и более тяжелых металлов [2]. Применение мембран NF позволяет отделять молекулы, размер которых лежит в диапазоне от 0,0005-0,001мкм до 1 нм или 200 - 1000 Да, задерживать молекулы с молекулярной массой больше, чем 200 - 400 [3].

В АО «УМЗ» проведены работы по концентрированию скандия методом тангенциальной нанофильтрации с использованием рулонных мембранных элементов Filmtec американской фирмы Filmtec Corporation. Оценочными критериями эффективности нанофильтрационного процесса являлись: селективность, производительность и жизненный цикл мембраны.

Объект исследований - раствор, полученный в результате деятельности предприятия АО НАК «Казатомпром», содержащий ионы, характеризующиеся близким к Sc^{3+} (**0,083 нм**) радиусом иона, нм:

Mg^{2+} 0,074, Fe^{2+} 0,080, Zr^{4+} 0,082, U^{4+} 0,089, Mn^{2+} 0,091, Th^{4+} 0,095, РЗЭ 0,080-0,102 и Ca^{2+} 0,104. Концентрация скандия в исходном растворе - 162,2 мкг/дм^3.

В процессе проведения исследований установлено, что концентрирование скандия из исходного раствора при рабочем давлении 10 атм., без предварительной очистки от железа, обуславливало изменение баланса потоков нанофильтрации с образованием большего количества ретентата (более 60 % от исходного объема МСУ), следствием чего являлась неудовлетворительная степень концентрирования скандия (коэффициент концентрирования = 1,2; C_{Sc}=187,8 мкг/дм^3).

Предварительное удаление из раствора МСУ большей части железа (более 98 %), посредством его окисления и осаждения с использованием пероксида водорода и карбоната натрия, способствовало улучшению показателей нанофильтрации: повышалась скорость процесса нанофильтрации, изменялось соотношение объемов пермеата и ретентата (в части уменьшения объема ретентата), а также увеличивался коэффициент концентрирования скандия.

В ходе проведения исследований изучены следующие режимы нанофильтрационного концентрирования скандия: непрерывный, ступенчатый, ступенчатый с предварительной ультрафильтрацией, комбинированный.

В процессе нанофильтрации по указанным режимам общее извлечение скандия в целевую фракцию варьировалось в диапазоне от 63,4 % до 74,6 %.

В ходе выполнения экспериментов было доказано, что применение предварительной ультрафильтрации растворов МСУ неэффективно вследствие отсутствия повышения степени концентрирования скандия в растворах. Увеличение количества ступеней нанофильтрации (более двух) нецелесообразно, так как в этом случае резко снижается скорость процесса и процесс становится нерентабельным.

В результате ведения процесса по комбинированной схеме нанофильтрации (объединяющий непрерывный и ступенчатые режимы нанофильтрации) получен ретентат с массовой концентрацией скандия 931 мкг/дм^3. Коэффициент концентрирования скандия по отношению к его исходному содержанию в растворе МСУ составил 5,7.

Рассмотрены варианты аффинажа скандийсодержащего концентрата. Предварительное осаждение балластовых примесей из ретентата карбонатом натрия позволило удалить из раствора, %: железа – 63; кальция – 79; тория – 15. При последующем осаждении скандия его извлечение составило 95 %.

Проведение дополнительной промывки и прокалки карбонатного осадка скандия на 40% снижает содержание радионуклидов в осадке, однако достигнутый уровень недостаточен для отнесения полученного скандийсодержащего осадка к категории нерадиоактивной продукции. Для получения нерадиоактивной продукции необходима операция дезактивации концентрата.

Установлено, что для извлечения 1 г оксида скандия, с учетом его аффинажа от радионуклидов необходимо получить 2,14 м^3 ретентата нанофильтрации из 16,49 м^3 МСУ при коэффициенте объемного концентрирования 7,7.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ануфриева С.И., Быховский Л.З., Лихникевич Е. Г., Пермякова Н.А. «Природные и техногенные источники получения функциональных материалов на основе редких земель и скандия» // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. №2-1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prirodnye-i-tehnogennye-istochniki-polucheniya-funktsionalnyh-materialov-na-osnove-redkih-zemel-i-skandiya (дата обращения: 07.03.2024).

2. Электронные ресурсы: www.metallolome.ru. Металлургия скандия Научно-технический портал о металлургии, горной промышленности, машиностроении, обработке металлов, энергетике.

Электронные ресурсы: технологии.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITE ELECTROLYTE USING RARE EARTH ELEMENTS FOR METAL BATTERIES (ENERGY STORAGE DEVICES)

Sajid Hussain Siyal
Department of Metallurgy and Materials Engineering, Dawood University of Engineering and Technology, Karachi 74800,Sindh, Pakistan

Smart lithium-metal batteries (LMBs) are promising energy storage devices due to the high capacity and minimum negative electrochemical potential. Nevertheless, their concrete applications remain disturbed by unbalanced electrolyte-electrode interfaces, limited electrochemical window, and high-risk. Herein, a novel strategy to obtain dual ceramic-based electrolytes that possess great potential in energy storage due to their higher level of energy densities in LMBs. lanthanum titanate (LTO) and Aluminum Titanium Phosphate (LTP) based electrolyte film developed via the curable system, aimed to prepare flexible Li^+ interpenetrating network film to integrate the two ceramic structures with polyethylene oxide to yield the free-standing electrolytes film for better battery safety and desired interfacial stability. The films presented a satisfactory electrochemical performance, including, good ionic conductivity, large transference number, and wide electrochemical stability window (ESW) at room temperature. Most importantly, the fundamental function of rare earth elements is to support building a stable (SEI) and limits the growth of dendrites. Thus, prepared dual ceramic-based electrolytes effectively renders to inhibit lithium dendrite growth in a symmetrical cell during charge/discharge at a current density of 2 mA/cm^2 and 0.25 mA/cm^2 above standards without short-circuiting occurrence at RT. Besides, the battery assembled that exhibits superior cyclic stability with high columbic efficiency. This study recommends that the binary network structures of Li-ion conductor help to design a prime solution of promising electrolyte for high-performance applications.

Keywords: LATP, LLTO, lithium-metal batteries, Earth Elements

Секция 5

Безопасное функционирование предприятий атомной отрасли и управление техногенными отходами, управление производственной безопасностью

Section 5

Safe operation of nuclear industry enterprises and waste management, occupational safety management

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ THERMOFISHER SCIENTIFIC

Дубков Б.А.
Pribori OY, Хельсинки, Финляндская Республика

Автоматизированная система радиационного контроля (АСРК) предназначена для контроля, регистрации, сбора, обработки, архивирования и отображения информации о параметрах, характеризующих радиационное состояние объекта, об эффективности защитных барьеров, об индивидуальных дозах облучения персонала. АСРК осуществляет контроль радиационных параметров при нормальной эксплуатации объекта, проектных и запроектных авариях.

В общем случае, АСРК состоит из нескольких уровней – измерительные приборы, технические средства для сбора и обработки данных и устройства отображения. Подобная архитектура позволяет:

1. Масштабировать систему радиационного контроля для любого объекта, осуществляющего деятельность с использованием источников ионизирующего излучения.
2. Передавать данные в режиме реального времени оператору всей системы АСРК, персоналу, непосредственно работающему с источниками ионизирующего излучения так и в смежные системы.
3. В случае проектной/запроектной аварии иметь доступ ко всем архивам событий системы радиационного контроля.
4. Проводить модернизацию/сервисное обслуживание каждой единицы оборудования без остановки системы в целом

Thermo Fisher Scientific является одним из крупнейших изготовителей и поставщиков оборудования АСРК во всём мире и предлагает широкий перечень измерительных приборов, включая: портальные мониторы, установки контроля загрязненности персонала, мониторы радиоактивных газов, портативные и стационарные дозиметры, а также технические решения по текущему и оперативному дозовому контролю персонала.

В 2015-2016 годах на основе оборудования ThermoFisher Scientific была введена в эксплуатацию автоматизированная система радиационного контроля реактора ВВР-К в Институте Ядерной Физики (г. Алматы).

В 2021 году на основе оборудования ThermoFisher Scientific была введена в эксплуатацию автоматизированная система радиационного контроля в Национальном Ядерном Центре (г. Курчатов).

В 2024 году на основе оборудования ThermoFisher Scientific вводится в эксплуатацию автоматизированная система радиационного контроля в Национальном научном онкологическом центре (г. Астана).

Доклад представляет собой обзор технических средств, используемых в этих проектах.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В УСЛОВИЯХ ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПОЛИГОНА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ

Егорова Т.Б., Романчук А.Ю., Кривцова Е.К., Власова И.Э., Калмыков С.Н.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

URANIUM BEHAVIOR IN CONDITIONS OF STRATUM-COLLECTOR OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE AT DEEP DISPOSAL SITE

Egorova T.B., Romanchuk A.Yu., Krivtsova E.K., Vlasova I.E., Kalmykov S.N.
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Жидкие радиоактивные отходы – особый вид отходов, исторически накопленных в результате активного развития атомной промышленности начиная с 60-х годов прошлого столетия. ЖРО удаляются в пласт-коллектор через нагнетательные скважины на полигонах захоронения. Долгосрочная безопасность данного способа захоронения обеспечивается обязательными факторами, такими как тектоническая стабильность в местах захоронения, малая подвижность грунтовых вод и водонепроницаемые глинистые горизонты, позволяющие изолировать жидкие отходы от окружающей среды на тысячелетия.

На полигоне захоронения, расположенном на территории ФГУП ГХК (Красноярск-26), происходит удаление низкоактивных ЖРО во второй горизонт пласта-коллектора на глубине 180–280 м [1]. Одним из основных токсичных и долгоживущих компонентов радиоактивных отходов является уран-238.

В данной работе проводилось исследование сорбционного поведения урана в условиях, моделирующих закачку ЖРО в пласт-коллектор полигона ГХК. Эксперименты проводились в статическом режиме в растворах, моделирующих состав ЖРО, удаляемых в глубинные горизонты ПГЗ ЖРО на модельных сорбентах (коммерческий кварц, иллит-смектитовая глина, песок), а также на образцах породы из II горизонта пласта-коллектора. Изучено влияние таких факторов, как pH раствора, время контакта фаз, содержание карбоната в растворах, на сорбцию урана. Также проведены сорбционные эксперименты на породе пласта-коллектора с образцами воды, отобранной из открытого водоема-хранилища, расположенного на территории ГХК.

Работа проводилась при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-73-20051)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Compton K.L., Novikov V., Parker F.L. Deep Well Injection of Liquid Radioactive Waste at Krasnoyarsk-26: Volume I. / Laxenburg, IIASA, 2000. – 113 p. – ISBN 3-7045-0136-0.

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА И ОБРАЩЕНИЯ С БЕСХОЗНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Клепиков А.Х.[1], Тажибаева И.Л.[1], Блынский А.П.[1], Тулегенов М.Ш.,[2] Тарбаев М.К.[3]
[1]Научно-технический центр «Безопасности ядерных технологий», г. Алматы, Республика Казахстан
[2]РГП на ПХВ Институт ядерной физики, г. Алматы, Республика Казахстан
[3]Комитет атомного и энергетического надзора и контроля МЭ РК, г. Астана, Республика Казахстан
klepikov@ntsc.kz

Андатпа. Қазіргі уақытта Қазақстанда өз қызметін ИСК және радиоактивті заттарды пайдалана отырып жүзеге асыратын көптеген ұйымдар мен кәсіпорындар бар. Радиоактивті көздер жоғалған жағдайда бірқатар жағымсыз салдарларды тудыруы мүмкін, оның ішінде адам денсаулығы мен қоршаған ортаға әсерлер, сондай-ақ әлеуметтік-экономикалық, саяси және экономикалық салдарлар. АҚШ Энергетика министрлігінің Радиациялық қауіпсіздік басқармасы (ORS) мен ҚР Энергетика министрлігі ынтымақтастығы шеңберінде «Жаһандық қауіпті азайту» бағдарламасы бойынша стратегия әзірленуде және іс-шаралар жүргізілуде. Бұл жұмыстардың мақсаты – әкімшілік іздеу жүргізу және кейіннен физикалық іздеу жүргізу және қауіпсіз сақтауға орналастыру үшін иесіз радиоактивті көздердің мүмкін орындарын анықтау.

Аннотация. В настоящее время в Казахстане существует большое количество организаций и предприятий, осуществляющих свою деятельность с использованием ИИИ и радиоактивных веществ. В случае их утери, радиоактивные источники могут вызывать ряд нежелательных последствий, включая воздействие на здоровье человека и окружающую среду, а также социально-экономические, политические и экономические последствия. В рамках сотрудничества между Управлением радиационной безопасности (ORS) Министерства энергетики США и Министерством Энергетики РК разрабатывается стратегия и проводятся мероприятия по программе «Снижение глобальной угрозы». Цель данных работ состоит в проведении административного поиска и выявлении мест возможного нахождения бесхозных радиоактивных источников для последующего проведения физического поиска и размещения на безопасное хранение.
Ключевые слова: источники ионизирующего излучения, радиационная безопасность, утерянные источники

Abstract. Currently, in Kazakhstan, there is a large number of organizations and enterprises conducting their activities using AI and radioactive substances. In case of their loss, radioactive sources can cause a range of undesirable consequences, including impacts on human health and the environment, as well as socio-economic, political, and economic consequences. As part of the cooperation between the Office of Radiological Safety (ORS) of the US Department of Energy and the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, a strategy is being developed and activities are being carried out under the "Global Threat Reduction" program. The aim of these efforts is to conduct administrative searches and identify possible locations of orphaned radioactive sources for subsequent physical search and placement in secure storage.

Введение

Радиоактивные источники, не находящиеся под надежным регулирующим контролем, могут стать причиной ряда нежелательных последствий, включая воздействие на здоровье людей, социально-экономические, политические и экологические последствия.

Контроль за радиоактивными источниками является одной из актуальных и приоритетных задач в современном обществе. Смерть от облучения бесхозными радиоактивными источниками и возможное применение радиоактивных источников в радиологических диспергирующих устройствах («грязных бомбах») определяет особую важность наличия у государств информации о радиоактивных источниках, находящихся на их территории, и обеспечения надлежащего контроля за этими источниками.

Поэтому необходима разработка стратегии для установления вероятности существования в стране радиоактивных источников, находящихся вне регуляторного контроля, и определения приоритетов, требуемых для решения выявленных проблем. Качественно разработанный план улучшения контроля над радиоактивными источниками, учитывающий национальную ситуацию, обеспечит оптимальное использование таких ресурсов, как временные, так и финансовые и кадровые. Он позволит правильно распределить ограниченные ресурсы и обеспечить восстановление контроля прежде всего над источниками, представляющими наибольшие риски.

Имеющиеся угрозы, связанные с бесхозными ИИИ

• ИИИ распространены по многим организациям. Опыт показывает, что далеко не везде осуществляется штатный жизненный цикл источников (изготовление - приобретение - учет - контроль - штатное использование - захоронение/утилизация).

• ИИИ не могут быть обеспечены надежной охраной, как площадки АЭС или хранилища отработавшего ядерного топлива.

• Сравнительно небольшие габариты и масса ИИИ делают возможным их несанкционированное перемещение или хищение, что должно вызывать особенную озабоченность в свете возросшей угрозы терроризма.

• Террористический акт с использованием так называемой «грязной бомбы», изготовленной с применением радиоактивных материалов, в том числе используемых в ИИИ, несмотря на ограниченное радиационное воздействие на население и окружающую среду, может вызвать негативные социальные последствия. Как показал трагический опыт инцидентов, приведших к выбросам радиоактивности в окружающую среду, общество чрезвычайно чувствительно к радиационным рискам.

• Конструкция ИИИ такова, что при небрежном или неумелом обращении они могут нанести вред здоровью человека.

• В последние несколько десятилетий в связи с реформами, вызвавшими прекращение деятельности ряда предприятий и учреждений, появилось много бесхозных ИИИ.

Каждому государству следует определять свою внутригосударственную угрозу и оценивать свою уязвимость в отношении этой угрозы для целого ряда источников, используемых в пределах его территории, исходя из потенциальной возможности утраты контроля и злоумышленных актов, связанных с одним или несколькими радиоактивными источниками. В этом заключается политика страны по безопасному обращению с ИИИ, включая бесхозные ИИИ.

В соответствии с документом МАГАТЭ «Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников», IAEA/CODEOC/2003 [1], каждому государству рекомендовано иметь эффективную национальную законодательную и регулирующую систему контроля за обращением с радиоактивными источниками и их защитой. Следует обеспечивать, чтобы такая система:

• возлагала основную ответственность за безопасное обращение с радиоактивными источниками и их сохранность на организации или физическим лицам, которым выдаются соответствующие официальные разрешения;

• сводила к минимуму вероятность утраты контроля;

• включала национальные стратегии для установления или восстановления контроля за бесхозными источниками;

• обеспечивала быстрое реагирование с целью восстановления контроля за бесхозными источниками;

• способствовала развитию существующих связей между регулирующим органом и пользователями;

• предусматривала меры, направленные на снижение вероятности злоумышленных актов, включая саботаж, в соответствии с угрозой, определенной государством;

• смягчала или сводила к минимуму радиологические последствия аварий или злоумышленных актов, связанных с радиоактивными источниками; и

• предусматривала свое постоянное совершенствование.

Каждому государству рекомендуется:

• обеспечивать наличие соответствующих технических средств и услуг в области радиационной защиты, безопасности и сохранности и их использование лицами, имеющими официальное разрешение на обращение с радиоактивными источниками.

• обеспечивать принятие надлежащих мер для соответствующей подготовки персонала своего регулирующего органа, своих правоохранительных учреждений и своих организаций, ответственных за аварийные службы.

Каждому государству следует создать национальный реестр радиоактивных источников. В этот реестр, как минимум, следует включать радиоактивные источники категорий 1 и 2. Информацию, содержащуюся в этом реестре, следует соответствующим образом защищать.

Каждому государству следует обеспечивать, чтобы информация, касающаяся любой утраты контроля за радиоактивными источниками или любого инцидента с потенциальными трансграничными последствиями, связанными с радиоактивными источниками, оперативно предоставлялась государствам, которые потенциально могут подвергнуться воздействию, через установленные МАГАТЭ или другие механизмы.

Международный опыт

Очевидно, что, учитывая масштабы проблемы бесхозных источников, для ее решения необходим всеобъемлющий международный подход, а не отдельные национальные меры. Усилия одной страны в этой области могут оказаться безрезультатными, если соседние страны одновременно не восстановят и не будут поддерживать контроль за собственными источниками излучения, оказавшимися бесхозными. Кроме того, в случае осуществления лишь отдельных национальных инициатив будет очень трудно исключить несанкционированные передачи и экспорт источников в другие страны, а также не допустить их смешивания с металлоломом.

При международном подходе необходимо сосредоточиться на трех основных аспектах проблемы:

• Ведение учета источников посредством установления национальных правил регулирования и мер их строгого соблюдения. Это требует, чтобы контроль не прекращался в течение всего срока службы источника;

• Восстановление контроля за утерянными и бесхозными источниками посредством проведения национальных кампаний по их поиску;

• Хранение и надлежащее захоронение утерянных и бесхозных источников, обнаруженных в ходе кампаний по их поиску или иным путем, либо их возвращение поставщикам.

На основании того, что известно о проблемах, можно предполагать, что практически в каждой стране имеется определенное количество необнаруженных бесхозных источников. Без проведения активной программы по их поиску они могут оставаться необнаруженными многие годы, если только не произойдет какой-либо инцидент. Поэтому проведение кампании по их поиску бесспорно необходимо для повышения шансов обнаружения бесхозных источников. В частности, до начала самих поисков необходимо собрать всю имеющуюся документальную информацию.

Информацию по медицинским источникам можно найти в существующих или прежних инвентарных списках централизованного хранения (например, в министерствах здравоохранения или в организациях, отвечающих за закупку радиационных источников в стране или за границей), в журналах таможенного учета, у поставщиков, в отчетах о программах сотрудничества, связанных с предоставлением источников в дар, в ходе бесед с прежними работниками больниц или врачами, особенно с радиоонкологами, но не только с ними, и из публикаций в специальных журналах. ***Необходима также работа с социальными сетями и блогерами.***

Информацию о промышленных источниках также можно получить на действующих и оставленных промышленных площадках; на стройках, где зарубежные компании часто проводили работу с использованием рентгеновских источников; на промышленных предприятиях, где могут использоваться датчики излучения; у торговцев металлоломом; и в ходе бесед с прежними работниками этих предприятий.

Примером международного сотрудничества по обращению с ИИИ может служить работа в рамках Комиссии АТОМ-СНГ в соответствии с подписанным СНГ 7 июня 2016 г Соглашением об информационном взаимодействии государств-участников СНГ по вопросам перемещения радиоактивных источников. В рамках данного Соглашения разработаны рабочие документы [2,3], и «Единый порядок и формы обмена информацией стран-участников СНГ по вопросам перемещения РИ» (26.09.2018 г., Бишкек). Данные документы могут служить для предотвращения/установления пересечения границ Евразийского пространства незарегистрированных ИИИ и/или предотвратить появление новых бесхозных ИИИ из стран СНГ в Казахстан.

Кампании по поиску утерянных и бесхозных ИИИ могут стать еще более продуктивными при одновременном и согласованном осуществлении международных программ во многих странах и обеспечении информационного обмена на региональных практикумах или в других формах. Значительную пользу может принести обмен информацией, например, по характеристикам радиационных источников и устройств, поставщикам и экспортным/импортным учетным записям. Обмен информацией об утерянных и обнаруженных источниках поможет удостовериться в том, что количество пропавших источников сокращается по мере проведения административных и физических поисков.

Стратегия поиска утерянных и бесхозных ИИИ

Стратегия поиска бесхозных ИИИ была впервые разработана в 2005 году

Основными разработчиками стратегии и плана работ были:

• Комитет атомной энергии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан

• Научно-технический центр безопасности ядерных технологий

при участии представителей следующих заинтересованных министерств, ведомств и организаций РК:

- РГКП Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга;
- Министерство охраны окружающей среды;
- Министерство внутренних дел;
- Министерство обороны;
- Министерство по чрезвычайным ситуациям;
- Институт атомной энергии НЯЦ РК;
- Институт ядерной физики;
- ТОО «МАЭК-Казатомпром»;
- АО «Ульбинский металлургический завод»;
- ТОО «Казфосфат»;
- ТОО ЭКОСЕРВИС-С.

Стратегия поиска утерянных и бесхозных источников на территории Республики Казахстан направлена на решение следующих задач:

• определение системы нормативных правовых документов, необходимых и достаточных для эффективной реализации государственной политики, направленной на создание в Республике Казахстан условий, обеспечивающих радиационную безопасность населения и окружающей среды путем снижения угрозы возникновения радиационных инцидентов, связанных с неконтролируемым использованием радиоактивных материалов;

• определение принципов разграничения полномочий между органами исполнительной власти различного уровня, обеспечивающими порядок безопасного обращения, вывода из обращения, поиска и вывода из неконтролируемого обращения источников ионизирующего излучения.

Кроме того, в Стратегии содержатся:

• рекомендации по устранению законодательных пробелов и противоречий;

• рекомендации по разработке и поддержанию единой системы учета и контроля ИИИ и созданию единой базы данных для ИИИ, имеющихся на территории Республики Казахстан;

• рекомендации по развитию концепции временного и долговременного хранения ИИИ в Республике Казахстан;

• рекомендации по разработке Программы поиска бесхозных ИИИ и восстановлению над ними регуляторного контроля;

Стратегию поиска бесхозных источников на территории Республики Казахстан необходимо обновить в соответствии с современными реалиями для решения проблемы поиска бесхозных источников ионизирующего излучения в законодательном и в исполнительном плане.

Стратегия создает предпосылки и основы для разработки и реализации Программы поиска бесхозных ИИИ и восстановления над ними регуляторного контроля. Реализация Программы приведет к значительному снижению риска необоснованного радиоактивного облучения населения и риска использования ИИИ в радиоактивных дисперсных устройствах, так называемых «грязных бомбах».

По опыту других стран, может оказаться необходимой разработка регуляторного документа по порядку взаимодействия уполномоченных организаций и силовых структур при обнаружении источников ионизирующего излучения, находящихся вне регуляторного контроля.

В этом документе должна быть изложена очередность мероприятий, функции уполномоченных органов, специализированных организаций и силовых структур в области обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды при обнаружении бесхозных ИИИ, транспортировке на место долговременного хранения и долговременное хранение.

Выполненные меры по реализации Стратегии поиска бесхозных источников в РК

В настоящий момент в Республике Казахстан, помимо Закона РК «Об использовании атомной энергии» [4], действуют следующие нормативные документы по обращению с ИИИ [5-7].

Работы в рамках проекта (в том числе и разработка плана работ по поиску бесхозных источников) проводились на основании стратегии поиска бесхозных источников, разработанной в соответствии с IAEA-TECDOC-1388 [8] «Усиление контроля за радиоактивными источниками, разрешенными к использованию, и восстановление контроля над бесхозными источниками (Национальные стратегии)», 2004 г.

В период с 2005 по 2023 год была выполнена следующая работа:

• По контракту с Тихоокеанской Северо-Западной Национальной лабораторией США в рамках реализации плана работ была проведена сверка базы данных по радионуклидным источникам КАЭНК (ранее КАЭ) и информации по радионуклидным источникам, представленной РГКП «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга» (далее СЭС);

• Кроме сверки информации Комитета и СЭС по этим источникам проводился анализ сведений Комитета об источниках, переданных на захоронение в специализированные организации;

• Проведена оценка промышленных центров (городов, различных промышленных объектов, нефтепромыслов) на предмет наличия бесхозных источников;

• Определены объекты использования ампульных источников ионизирующего излучения в советское и настоящее время по их спискам и кадастрам;

• На основе анализа информации баз данных сформирован приоритетный список объектов поиска бесхозных источников на территории РК;

• Проведен поиск бесхозных ИИИ на территории бывшего ДГП «Научно-исследовательский институт водного хозяйства» (Жамбылская область) в июле 2013 г. по контракту с Тихоокеанской Северо-Западной Национальной лабораторией США;

• Проведен поиск бесхозных ИИИ на территории Прикаспийского горно-металлургического комбината (ПГМК) в Мангистауской области;

• В результате проведения поисковых мероприятий на территории данных объектов, были обнаружены и локализованы бесхозные ИИИ, восстановлен регуляторный контроль над ними;

• Проведен анализ находок бесхозных источников по ранее проведенным радиометрическим съемкам (АО «Волковгеология», ТОО «ЭКОСЕРВИС-С», ТОО «Казфосфат», АО «МАЭК-Казатомпром» и другие);

• Определены места возможного выявления бесхозных источников с представлением информации в картографическом виде;

• В рамках контракта с Оак Риджской Национальной лабораторией США проведена закупка и оснащение четырех машин Ford Ranger, двух автомашин «КАМАЗ» для ИАЭ НЯЦ РК и «ФОТОН» для ТОО МАЭК-КАЗАТОМПРОМ для проведения поиска и транспортировки ИИИ;

• В рамках контракта с Оак Риджской Национальной лабораторией США проведена закупка оборудования дозиметрического контроля и контейнеров для безопасной перевозки ИИИ и РАО;

• Создан центр мониторинга перевозок радиоактивных материалов и источников ионизирующего излучения (Центр транспортного контроля ЦТК) на базе ИАЭ НЯЦ РК;

• Проведен ряд обучающих семинаров по поиску бесхозных ИИИ для сотрудников регуляторных государственных органов и организаций, работающих в области использования атомной энергии;

• Переданы наборы специализированного оборудования для проведения поиска бесхозных ИИИ и проведено соответствующее обучение по его использованию;

• Спроектировано и построено новое хранилище отработавших ИИИ на территории РГП Институт ядерной физики;

• Перевезены бесхозные ИИИ из хранилища ампульных источников на территории ТОО «Казфосфат» в новое хранилище на территории РГП Институт ядерной физики;

• Проведен очередной административный поиск ИИИ, обнаружено место потенциального складирования большого количества ИИИ, в том числе 1 категории опасности.

• Планируется физический поиск и предварительная идентификация ИИИ на месте их складирования с последующей транспортировкой и размещением в пункт долговременного хранения отработавших ИИИ в РГП ИЯФ РК.

Выводы

В рамках сотрудничества между США и Республикой Казахстан проводятся мероприятия по программе «Снижение глобальной угрозы». Один из проектов программы связан с усилением контроля радиоактивных материалов в Казахстане. Проект курирует Комитет атомного и энергетического надзора и контроля МЭ РК совместно с Научно-техническим центром безопасности ядерных технологий (НТЦ БЯТ) при технической поддержке Министерства Энергетики США.

Цель данного контракта в рамках программы Управления радиационной безопасности (ORS) Министерства энергетики США состоит в выявлении возможного местоположения и проведении физических обследований с целью поиска брошенных радиоактивных источников в Республике Казахстан, которые в последующем переходят в разряд бесхозных. Эти действия включают в себя создание рабочей группы для разработки планов, анализа данных об источниках для определения приоритетных мест поиска, надзор за поисками бесхозных источников на выбранных участках и изъятие найденных источников для их приведения под регулирующий контроль.

В ходе проведения работ по разработке стратегии поиска, и ряда проведенных административных и физических поисков, были выявлены следующие проблемы:

Источники вне гражданского контроля. Инциденты в некоторых странах, например в Грузии, когда были обнаружены источники, которые использовались в воинских частях на занятиях по гражданской обороне, высветили проблему бесхозных источников с новой стороны: оказалось, что некоторые источники никогда не находились под контролем гражданских регулирующих органов. У организаций Министерства

обороны ведется свой учет и контроль ИИИ, но потенциально существует проблема нахождения ИИИ на территориях бывших военных объектов, отданных в гражданский сектор. Кроме того, на территориях воинских частей могут находиться ИИИ, ранее принадлежавшие СССР, которые в данный момент не используются МО РК.

Сокрытие (утаивание) от регуляторного органа проблем нахождения бесхозных ИИИ ввиду боязни штрафов и ответственности. Необходимо проводить разъяснительную работу с акиматами областей, городов и районов о возможности вреда для здоровья человека брошенных ИИИ. Очень полезным является чтение курсов по поиску и обезвреживанию бесхозных ИИИ с учетом международного опыта как для самих поисковых групп, так и для населения потенциально опасных регионов, в которых возможно нахождение бесхозных ИИИ.

При проведении цикла работ по административному поиску ИИИ, находящихся вне регуляторного контроля, было обнаружено место с возможным нахождением бесхозных ИИИ. В настоящий момент необходимо проведении физического поиска и дальнейшего изъятия источников, их транспортировка, кондиционирование и размещение на долговременное безопасное хранение.

СИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. IAEA/CODEOC/2003. Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников.
2. Типовые требования к реестрам ИИИ государств – участников СНГ, 23.11.2017 г., Душанбе.
3. Единый порядок и формы обмена информацией стран – участников СНГ по вопросам перемещения РИ, 26.09.2018 г., Бишкек.
4. Об использовании атомной энергии. Закон Республики Казахстан от 12 января 2016 года № 442-V ЗРК.
5. Правила обеспечения промышленной безопасности при обращении с источниками ионизирующего излучения. Приказ и.о. министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 26 декабря 2014 года № 301. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 11 февраля 2015 года № 10225.
6. Правила государственного учета источников ионизирующего излучения, Приказ и.о. министра энергетики Республики Казахстан от 12 февраля 2016 года № 59. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 15 марта 2016 года № 13458.
7. Правила физической защиты источников ионизирующего излучения и пунктов хранения. Приказ министра энергетики Республики Казахстан от 9 февраля 2016 года № 52. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 15 марта 2016 года № 13455. Обновленная версия Приказа от 12.02.2024 № 39
8. IAEA-TECDOC-1388. Усиление контроля за радиоактивными источниками, разрешенными к использованию, и восстановление контроля над бесхозными источниками (Национальные стратегии), 2004 г.

РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИАЦИОННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ОБЪЕКТОВ

Колесов В.В.,
АО «ТВЭЛ», г. Москва, Россия
VikVlKolesov@tvel.ru

Аннотация. Реабилитация площадок, на которых ранее велась добыча урановых руд, не представляет невыполнимую задачу. Такие проекты уже выполнялись ранее с соблюдением всех необходимых норм безопасности и могут быть выполнены при наличии такой потребности. Качество проведенных работ подтверждается результатами последующего мониторинга. Наличие отвальных грунтов, загрязненных радионуклидами после добычи урановых руд, не должно останавливать добычу урановых руд.

Ключевые слова: урановые руды, хвостохранилища, реабилитация хвостохранилищ, радиоактивные отходы, рекультивация территорий, РАО, объекты наследия.

Kolesov V.V.,
JSC TVEL, Moscow, Russia
VikVlKolesov@tvel.ru

Abstract. Rehabilitation of sites where uranium ore mining was previously carried out is not an impossible task. Such projects have already been carried out previously in compliance with all necessary safety standards and can be carried out if there is such a need. The quality of the work carried out is confirmed by the results of subsequent monitoring. The presence of landfills contaminated with radionuclides after uranium ore mining should not stop the extraction of uranium ores.

Keywords: Uranium ores, tailings dumps, rehabilitation of tailings dumps, radioactive waste, reclamation of territories, radioactive waste, heritage sites.

Основная часть

Классическое определение реабилитации представлено в документах МАГАТЭ: это «любые мероприятия, которые могут проводиться в целях снижения радиационного облучения, вызываемого имеющимся загрязнением земельных участков, посредством мер, применяемых в отношении самого загрязнения (источника) или путей, которыми люди подвергаются облучению»

Обратим внимание, что далее под определением делается оговорка: «Полное удаление радиоактивного загрязнения здесь не подразумевается». То есть реабилитация — это любые мероприятия по снижению облучения, но не всегда и не обязательно предусматривающие перемещение радиоактивного материала. Воспринимать реабилитацию только как проведение дезактивационных работ (например, как работы по удалению загрязненного грунта) неправильно.

Возможности размещения РАО и иных загрязненных материалов при эксплуатации и консервации ПХ ОРАО прямо не прописаны и зачастую не используются

На действующем этапе развития ЕГС РАО при устоявшихся принципах функционирования ЕГС РАО на первый план выходят вопросы оптимизации обращения с РАО и смежных областей (например, ВЭ ОИАЭ). Уже накопленный опыт показывает возможность оптимизации нормативно-правового регулирования в ряде проблемных моментов, прямо или косвенно препятствующих снижению издержек на обращение с РАО

Во всех случаях действий с объектами конечный смысл заключается в повышении уровня безопасности. Признание РАО особыми, например, предусматривает последовательный перевод пунктов их размещения и консервации в пункты захоронения. Статус объекта изменяется при достижении им более высокого уровня безопасности в полном соответствии с нормами Объединенной конвенции

Ни в одном международном или национальном документе не содержится требований полного удаления конструкций или полного удаления радиоактивности. Напротив, оговаривается, что освобождение площадки из-под регулирующего контроля может быть с ограничениями по ее использованию.

Для многих объектов наследия требуются технически сложные и дорогостоящие решения, предполагающие нахождение разумного баланса между вложениями и достигаемыми результатами в области радиационной защиты. В этих условиях оптимизация не просто желательна, а необходима.

Опыт по рекультивации объектов наследия в Центральной Азии Каджи-Сай, Кыргызстан

Специалистами ФМБЦ проведено обследование хвостохранилища (далее ХХ) и прилегающих территорий. Само ХХ, являющееся объектом Программы приведено в безопасное состояние. 30 октября

2019 года хвостохранилище «Каджи-Сай» в Киргизии приведено в радиационно-безопасное состояние и введено в эксплуатацию.

По результатам собственных исследований, проведенных на территории с. Каджи-Сай в 2020 году после завершения рекультивационных работ, предусмотренных Программой, помимо оценки состояния радиационной безопасности на территориях, подвергшихся рекультивации, был сделан следующий вывод: «Вблизи объекта рекультивации в с. Каджи-Сай расположены здания и сооружения бывшего производства с локальными участками радиоактивного загрязнения. Наличие данных участков обусловлено как прошлой деятельностью по производству урана, так и деятельностью местного населения. Таким образом, принимая во внимание наличие снимаемого загрязнения на территории бывшего производства, а также отсутствие физической защиты для ограничения доступа, данная территория может стать источником повышенного облучения населения и распространения радиоактивного загрязнения». Следовательно, данная территория требует проведения рекультивационных работ с целью снижения радиологических рисков для населения.

Мин-Куш, Кыргызстан

Хвостохранилище "Туюк-Суу" расположено в русле одноименной реки, на расстоянии около 1 км выше от места впадения речки Туюк-Суу в реку Мин-Куш, которая относится к бассейну реки Нарын–Сырдарья. В этом хвостохранилище сосредоточено 640 тыс. м^3 отходов, в том числе 450 тыс. м^3 радиоактивных хвостов.

30.03.2013 сошел оползень в районе старого завода. Общий объем оползня составляет 1,7 млн м^3. Объем сошедшего оползня составил 875 тысяч м^3. В результате схода оползня разрушены 3 опоры высоковольтной ЛЭП 110 кВ, 15 опор -10 кВ. В результате схода оползня без электроэнергии остались жители около 7 тыс. человек 8-ми населенных пунктов,

Здесь были выполнены следующие работы:

1. Реконструкция ХХ Дальнее и Как
2. Перенос материала хвостохранилища «Туюк-Суу», «Талды-Булак» на Дальнее, «Как» и «Дальнее».
3. Строительство и восстановление Технологических дорог, двух мостовых переходов
4. Завершено сооружение противофильтрационного экрана откосов 150 000 м2 на ХХ ТуюкСуу.
5. «Талды-Булак»
6. Были построены технологические дороги, необходимые для вывоза хвостового материала.
7. Завершена перевозки РАО с хвостохранилища «Талды-Булак» на хвостохранилище «Дальнее». Перевезено более 500 тыс тыс куб. м. Практические работы завершены в июле с.г.

На хвостохранилище «Туюк-Суу»

Завершено сооружение площадки инженерно-технического обеспечения. Правый борт хвостохранилища укреплён.

Завершено сооружение противофильтрационной завесы, восстановлено русло реки

Для перевозки отходов с хвостохранилища «Туюк-Суу» дополнительно приобретено 24 самосвала, 5 экскаваторов, 2 фронтальных погрузчика. В настоящее время идет перемещение хвостового материала с хвостохранилища «Туюк-Суу» на хвостохранилище «Дальнее», Реконструкция которого также завершена

В части технической и технологической подготовки к началу перевозок хвостового материала был выплолнен комплекс мероприятий по повышению безопасности предстоящих работ, в частности вопросов аварийного реагирования на случай внештатных ситуаций (например, движение оползня у хвостохранилища «Туюк-Суу»), вопросов исключения выноса радиоактивности за пределы зоны контролируемого доступа.

Для обеспечения нормальных условий проживания населения поселка Мин-Куш во время перевозок хвостового материала приобрели дополнительные, в том числе мобильные, средства контроля за радиационной обстановкой по маршруту движения, оборудование метеоконтроля в поселке, дополнительные средства пылеподавления.

Табошар, Таджикистан

В рамках Программы проводятся мероприятия по рекультивации отвалов фабрики бедных руд и четырех ХХ в районе г. Истиклол Согдийской области.

Первый этап Программы реализован в 2013 – 2016 гг. Была проведена комплексная оценка доз облучения населения с учетом внутреннего облучения за счет потребления местных пищевых продуктов и питьевой воды. Проведены отборы проб продуктов питания и питьевой воды. Проанализированы медицинские государственные отчётные документы и на их основе сформирована электронная база данных. Собраны демографические данные населения исследуемых районов. Проведен сравнительный анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями населения районов расположения хвостохранилищ и населения контрольных территорий.

Генеральным подрядчиком по контракту по результатам открытого конкурса в 2022 году определено АО

«Центральный проектно-технологический институт». Для выполнения работ по рекультивации объектов АО «ЦПТИ» на договорной основе также привлекло одну из крупнейших промышленных компаний Таджикистана - ООО СПК «ФАЙЗ», которая выполняет работы «под ключ».

До начала выполнения работ: нерекультивированные терриконообразные отвалы чанового выщелачивания фабрики бедных руд (ФБР) относительной высотой до 70 м и площадью ~7,9 га. Объем накопленного материала – 1104,4 тыс.м3.

После выполаживания склонов над ФБР Устроен 3-слойный защитный экран. Рядом с ФБР находились чаны кучного выщелачивания. Все ж/б колонны, балки, ригели цеха чанового выщелачивания, конструкции демонтированы и захоронены в котловане чанового выщелачивания.

Опыт по рекультивации объектов наследия в России

Лермонтовское производственное объединение «Алмаз»

Лермонтовский урановый завод по добыче урана работал в 1952-1975 годах. В хвостохранилищах на площади 81 га хранилось более 14 млн тонн (12 млн м3) радиоактивных грунтов. В сухую погоду радиоактивная пыль рассеивалась ветром. Также существовала проблема значительного выделения радонового газа.

Комплекс работ по реабилитации:

• Создана мониторинговая система наблюдения за состоянием поверхностных и подземных вод (2008–2011)
• Выполнены гидрологические исследования;
• Проведено КИРО (2021–2015)
• Демонтаж загрязненных строительных конструкций
• Выемка и удаление загрязненной почвы
• Закрытие штолен рудника. Рекультивация отвалов штолен.
• Восстановление верхнего слоя почвы
• Восстановление систем водоотвода
• Рекультивация хвостохранилищ (1460 м2) гидрометаллургического завода.
• Создание радонопроводов для перенапраления потоков радон-содержащих вод в местные санатории.

Результаты проведенных работ:

• Демонтаж загрязненных строительных конструкций (общий объем 1500 м3)
• Создано безопасное многобарьерное хранилище для извлеченных грунтов и загрязненных строительных материалов.
• Реабилитирована площадь бывшего рудника до состояния «коричневой площадки». Полностью решена проблема обеспечения безопасности местного населения.

Реабилитация Новотроицкого рудоуправления

Исторический завод по добыче монацитовых песков работал в 1949–1964 годах. 7 карьеров, 6 обогатительных фабрик, сепарационные установки, промышленные здания и тысячи метров площади. В результате 15-летней эксплуатации большая часть зданий и территорий была загрязнена изотопами Th с мощностью дозы 3,0 мкЗв/ч

Решаемые задачи:

• Проведение КИРО зданий и местности
• Демонтаж загрязненных строительных конструкций
• Рекультивации хвостохранилища обогатительной фабрики
• Выемка и вывоз загрязненной почвы
• Восстановление верхнего слоя почвы.

Результаты:

• Осуществлен демонтаж строительных конструкций общим объемом 4235 м3;
• Создано безопасное многобарьерное хранилище для извлеченных грунтов и загрязненных строительных материалов.
• Создание защитного слоя (до 0,8 м) над слабозагрязненными по глубине участками
• 52 986 м^2 приведено в экологически безопасное состояние путем рекультивации по санитарно-гигиеническому направлению

Площадка реабилитирована до состояния «коричневой лужайки». Полностью решена проблема обеспечения безопасности местного населения, проживающего на близлежащей территории.

Реабилитация территории Курчатовского Института

Курчатовский Институт расположен в центре густонаселенного района Москвы. Расстояние до

ближайших домов составляет около 50 м. Там находились хранилища радиоактивных отходов, содержащие части исследовательского реактора (в том числе высокоактивные РАО). Вся территория вокруг хранилища была загрязнена радионуклидами. Это был один из основных проектов Первой государственной программы по ядерному наследию.

Решаемые задачи:

- Проведение КИРО;
- Извлечение и удаление РАО, сбор, сортировка и дезактивация загрязненного грунта;
- Характеризация РАО и их вывоз на кондиционирование и захоронение;
- Восстановление верхнего слоя почвы.

Результаты:

- Сортировка и дезактивация 8 000 м2 загрязненного грунта;
- Реабилитация 2 Га территории;
- Общая активность удаленных РАО составляет 100 000 Ки;
- Мощность дозы на реабилитированных участках была снижена с 35 до 0,5 мкЗв/ч.

Площадка реабилитирована до состояния «коричневой лужайки». Полностью решена проблема обеспечения безопасности местного населения, проживающего на близлежащей территории.

Устранение последствий радиационного загрязнения на площадке ОАО «Подольский завод цветных металлов» (ПЗЦМ)

В середине 1990-х годов территория металлургического завода в Подольске (город недалеко от Москвы) была загрязнена после радиационного инцидента с расплавлением источника радионуклидов (Cs-137). Огромное плавильное здание также было загрязнено. Радиоактивные аэрозоли загрязнили несколько гектаров территории завода.

Решаемые задачи:

- Проведение КИРО;
- Изоляция загрязненной территории от атмосферных осадков;
- Выемка, сортировка и удаление загрязненного грунта;
- Характеризация РАО и их вывоз на кондиционирование и захоронение;
- Восстановление верхнего слоя почвы.

Результаты:

- Сортировка более чем 15 000 м3 загрязненного грунта;
- Вывоз около 1,000 м3 РАО;
- Демонтированы загрязненные строительные конструкции 1 500 $м^3$;
- 9200 $км^2$ территории реабилитировано.

Площадка реабилитирована до состояния «коричневой лужайки». Полностью решена проблема обеспечения безопасности местного населения, проживающего на близлежащей территории

Реабилитация территории завода «Мосрентген»

В 1962 году из-за нарушения целостности источников ионизирующего излучения территория завода «Мосрентген» была подвержена обширному радиационному загрязнению. Сегодня это промышленная территория недалеко от московского строительного рынка.

Решаемые задачи:

- Проведение КИРО;
- Изоляция загрязненной территории от атмосферных осадков
- Удаление РАО, сбор и сортировка загрязненного грунта;
- Фрагментация строительных конструкций и металлического оборудования с последующей дезактивацией.
- Восстановление верхнего слоя почвы.

Результаты:

- Сортировка более чем 1 400 м3 загрязненных грунтов;
- Собрано и направлено на кондиционирование и захоронение более 700 м3 РАО;
- Демонтированы загрязненные строительные конструкции;
- 70 m3 дезактивация 70 м3 металлических РАО;
- Реабилитировано 0,53 Га территории.

Площадка реабилитирована до состояния «коричневой лужайки». Полностью решена проблема обеспечения безопасности местного населения, проживающего на близлежащей территории.

Реабилитация территории Кирово-Чепецкого химического комбината

Кирово-Чепецкий химический завод по добыче фосфора, производству лития, переработке урана начал свою работу в 1938 году. Несколько промышленных зданий и тысячи квадратных метров территории были загрязнены радионуклидами. На территории завода хранилось более 300 000 м^3 грунтов.

Решаемые задачи:

- Проведение КИРО
- Демонтаж загрязненных зданий
- Выемка и перемещение загрязненного грунта
- Создание многобарьерной защиты шламохранилищ
- Восстановление верхнего слоя почвы

Результаты:

- Реабилитировано более 25 000 м2 территории.
- Демонтировано и дезактивировано более 50 000 м3 строительных конструкций
- Размещение загрязненного грунта в шламохранилищах с созданием инженерных многослойных барьеров

На сегодняшний день снижена радиационная опасность объекта до уровня «коричневая лужайка» – безопасное временное присутствие персонала.

МАССООБМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ АНИОНИТОМ АМ-п-2 В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ИЗ МОДЕЛЬНОГО СУЛЬФАТНОГО РАСТВОРА

Коровин В.[1], Погорелов Ю.[2], Шестак Ю.[1], Валяев А.[1]
[1]Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной Академии наук Украины, г. Днепр, Украина
[2]Днепровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

Аннотация. Изучена сорбция рения из модельного сернокислого раствора, содержащего: [Re]=22,4 мг/л, $[SO_4^{2-}]$=10 г/л, $[Cl^-]$=1,0 г/л и pH=2,0 сильноосновным анионитом АМ-п-2 в динамическом режиме. Время насыщения анионита рением составляет 210,2 часа, значение полной динамической обменной емкости 81,0 мг/г. Выходная кривая сорбции адекватно описывается моделями Томаса, времени работы толщины слоя (BDST) и Юна-Нельсона. Рассчитаны параметры моделей, проведено сравнение с экспериментальными данными. Определены массообменные параметры сорбции рения с учетом влияния внешне диффузионной кинетики. Рабочее время сорбции Δt составило 154,8 часа, кинетический коэффициент сорбции β - 0,048 часа, коэффициент концентрирования K_k - 1069.

Ключевые слова: рений, сорбция, анионит, динамический режим, массообменные параметры.

MASS-EXCHANGE PARAMETERS OF RHENIUM RECOVERY WITH AM-P-2 ANIONITE IN COLUMN MODE FROM A SIMULATED SULFATE SOLUTION

Korovin V., Pogorelov Yu., Shestak Yu., Valyaev A.

Одним из основных методов извлечения рения из растворов является сорбция различными типами анионитов, поскольку в водной фазе рений находится в основном в виде перренат-аниона [1].

Данная работа продолжает ряд публикаций по исследованию сорбции рения анионообменными смолами АО «Смолы» (Украина) [2, 3] и посвящена извлечению рения сильноосновным анионитом АМ-п-2 из модельного сернокислого раствора в динамическом режиме.

Анионит АМ-п-2 – сильноосновной анионит второго рода полученный, на основе макропористого стирол-дивинилбензольного сополимера, содержит 2-гидрокси-этил-диметиламмониевые функциональные группировки ($-N^+(CH_3)_2CH_2CH_2OH$).

Сорбент характеризуется следующими параметрами: ионная форма – SO_4^{2-} (не менее 50 %); полная обменная емкость – не менее 1,0 ммоль/см^3; массовая доля влаги – 55-56 %, диапазон размеров частиц (0,8-1,25 мм), доля рабочей фракции (99 %), коэффициент однородности (не более 1,4), механическая прочность (99 %), насыпной вес (660-680 г/дм^3) [4].

Экспериментальная часть

Сорбцию рения анионитом АМ-п-2 в динамическом режиме проводили из модельного сернокислого раствора содержащего: [Re] = 22,4 мг/л, $[SO_4^{2-}]$ = 10 г/л, $[Cl^-]$ = 1,0 г/л и pH=2,0 в термостатируемой колонке диаметром 9 мм, при температуре 20±2 °С, поддерживаемой ультратермостатом MLW UH8. Загрузка смолы составляла 3,92 г. (6,04 см^3, влажность 54,76 %, удельный объем 3,38 см^3/г), высота слоя 9,5 см. Модельный раствор подавали снизу вверх с помощью перистальтического насоса SEKO KRONOS 50 FULL со скоростью подачи 60,0 см^3/час (9,93 колоночных объемов).

Концентрацию рения в водной фазе определяли фотоколориметрически с роданидом калия и хлоридом олова (II) в качестве восстановителя при длине волны 420 нм с использованием спектрофотоколориметра Spekol 11. Кислотность раствора измеряли с использованием комбинированного стеклянного электрода ЭСК-10603/7 и pH-метра ОР-211/1. Массовую долю влаги в смоле определяли путем высушивания при температуре 105 °С до постоянной массы в сушильном шкафу MLW WS 100 и взвешивания на аналитических лабораторных весах Axis ANG220C.

Все реагенты, использованные при проведении экспериментов, имели квалификацию не ниже «ч.д.а.».

Результаты и обсуждение

На Рисунке приведена выходная кривая сорбции рения из модельного сернокислого раствора в координатах концентрация рения в водной фазе на выходе из колонки (С, мг/дм^3) – время пропускания раствора (t, час).

Установлено, что время до проскока $t_0 + t_{ФРК}$ составило 55,4 часа, а – рабочее время сорбции Δt составило

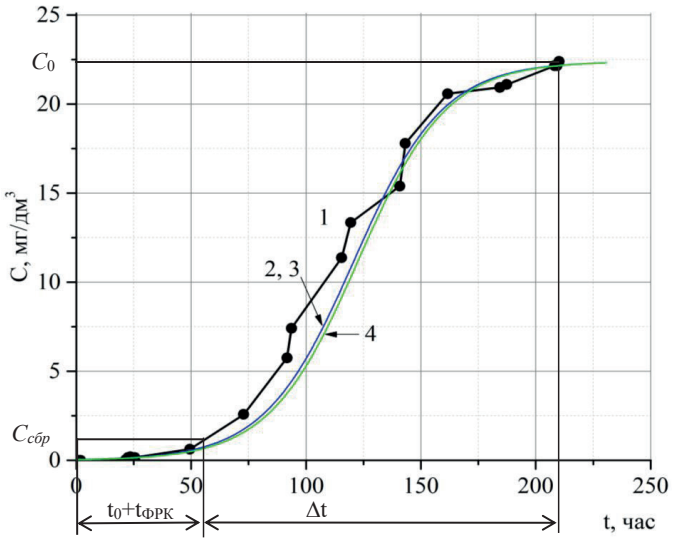
154,8 часа, смола была насыщена рением после пропускания 12,6 дм^3 модельного раствора в течение 210,2 часа.

Значение полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) q (мг/г) рассчитывали по уравнению:

$$q = \frac{(V \cdot C_0 - \sum_{i=1}^{n} V_i \cdot C_i) \cdot 1000}{m} \quad (1)$$

где V – общее количество раствора, прокачанного через смолу до выравнивания концентрации рения, дм^3; C_0 и C_i – содержание рения в модельном растворе и i-той порции раствора (мг/дм^3); V_i – объем i-той порции раствора, дм^3; m – навеска сухой смолы, г.

Величина полной динамической обменной емкости, рассчитанная по экспериментальным данным, составила 81,0 мг/г или 23,95×10^3 мг/дм^3 ($q_{об}$).



1 – эксперимент, 2 – модель Юна-Нельсона, 3 – модель Томаса, 4 – модель BDST.
C_0 – начальная концентрация рения; $C_{сбр}$ – проскоковая концентрация рения, 5 % от C_0; t_0 – время формирования фронта равновесных концентраций (ФРК); $t_{ФРК}$ – время продвижения ФРК; Δt – время продвижения ФРК по высоте рабочего слоя смолы (рабочее время сорбции).

Рисунок – Выходная кривая сорбции рения анионитом АМ-п-2

Для обработки экспериментальных данных нами были использованы модели Томаса, времени работы толщины слоя (BDST) и Юна-Нельсона [5].

Модель Томаса является наиболее распространенной благодаря своей простоте и применимости. Модель основана на предположении, что процесс сорбции не ограничивается химической реакцией и контролируется массопереносом на границе раздела фаз. Также предполагается, что равновесие процесса описывается изотермой Ленгмюра, а кинетика - моделью псевдо-второго порядка.

Линеаризованная форма модели Томаса описывается уравнением:

$$\ln(\frac{C_0}{C_i} - 1) = \frac{K_T q_0 m}{Q} - K_T C_0 t \quad (2)$$

где: K_T – константа скорости Томаса (дм^3/(мг×ч)), q_0 –сорбционная емкость по извлекаемому компоненту (мг/г), Q – расход раствора (дм^3/час), а m – масса сорбента (г).

Модель Юна-Нельсона представляет собой простое предположение, в котором не учитываются свойства адсорбента и адсорбата, а также физические параметры слоя сорбента. Согласно этой модели, снижение скорости адсорбции прямо пропорционально сорбции адсорбата и проскоку целевого компонента:

$$\ln \frac{C_i}{C_0 - C_i} = K_{YN} t - \tau K_{YN} \quad (3)$$

где t – время (час), K_{YN} – величина константы (1/час), а τ – время, требуемое для проскока 50 % извлекаемого компонента (час).

Модель времени работы толщины слоя (BDST) часто выбирают для описания проскока в колонке с

зажатым слоем для начальной стадии сорбции. Модель основана на предположении, что реакция адсорбата и неиспользованной поверхности адсорбента поддерживает адсорбцию. Рациональность этой модели заключается в том, что слой адсорбента не сразу достигает равновесия, и скорость сорбции пропорциональна доле еще сохранившейся сорбционной емкости:

$$C_0 t = \frac{N_0 h}{u} - \frac{1}{K} \ln\left(\frac{C_0}{C_i} - 1\right) \qquad (4)$$

где N_0 – сорбционная емкость слоя по извлекаемому компоненту (мг/дм^3), h – высота слоя в колонке (см), u – линейная скорость потока (см/час), а K константа скорости сорбции (дм^3/мг×час).

Результаты моделирования приведены на Рисунке и в Таблице 1.

Таблица 1 – Параметры моделей динамики сорбции

Модель	Параметр	Значение
Эксперимент	q (ПДОЕ), мг/г	81,00
	$q_{об}$, мг/дм^3	23,95×10^3
	τ, час	114,6
Томаса	K_T, дм^3/(мг×час)	2,341×10^{-3}
	q_0, мг/г	89,26
BDST	K, дм^3/(мг×час)	2,356×10^{-3}
	N_0, мг/дм^3	26,80×10^3
Юна-Нельсона	$K_{YN,}$ час$^{-1}$	0,5151
	τ, час	120,8
Коэффициент детерминации (R^2)		0,9761

Полная динамическая обменная емкость смолы, рассчитанная по модели Томаса (89,26 мг/г), близка к экспериментальному значению (81,00 мг/г), объемная емкость, рассчитанная по модели BDST (26,80×10^3 мг/дм^3), коррелирует с экспериментальными данными (23,95×10^3 мг/дм^3). Выходная кривая адекватно описывается моделями с коэффициентом детерминации R^2=0,9761.

Нами также был выполнен расчёт массообменных параметров динамики сорбции рения по методике, предложенной в работе [6]. По мнению автора, скорость сорбции целевого компонента в динамических условиях при его низкой концентрации в большей степени базируется на закономерностях внешней диффузии.

Расчет кинетического коэффициента сорбции (β) проводили по уравнению:

$$\beta = \frac{\Delta t}{K_k \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C_{сбр}}\right)} \qquad (5)$$

Коэффициент концентрирования K_k рассчитывали по формуле:

$$K_k = \frac{q_{об}}{C_0} \qquad (6)$$

где: $q_{об}$ – объемная емкость анионита (мг/ дм^3).

Время образования ФРК (первая стадия сорбции t_0) определяли по уравнению:

$$t_0 = K_k \cdot \beta \qquad (7)$$

Линейную скорость пропускания раствора, W_L (см/час) рассчитывали по формуле:

$$W_L = \frac{V_q}{S_{col}} \qquad (8)$$

где: V_q - объемная скорость пропускания раствора 60,0 см^3/час, S_{col} - площадь поперечного сечения колонки 0,636 см^2.

Линейную скорость движения фронта равновесных концентраций W_f (см/час) определяли по формуле:

$$W_f = \frac{W_L}{K_k} \qquad (9)$$

Результаты расчета массообменных параметров приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Массообменные параметры сорбции рения

Параметр	Значение
Время формирования фронта равновесных концентраций t_0, час	51,7
Коэффициент концентрирования K_k	1069
Кинетический коэффициент сорбции, β, час	0,048
Линейная скорость пропускания раствора, W_L, см/час	94,4
Линейная скорость движения фронта равновесных концентраций W_f, см/час	0,0883

Выводы

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод, что анионит АМ-п-2 эффективно извлекает рений из модельного сернокислого раствора содержащего: [Re]=22,4 мг/л, [SO_4^{2-}]=10 г/л, [Cl^-]=1,0 г/л и pH=2,0 в динамическом режиме. Время насыщения анионита рением составляет 210,2 часа, значение полной динамической обменной емкости 81,0 мг/г.

Выходная кривая сорбции адекватно описывается моделями Томаса, времени работы толщины слоя (BDST) и Юна-Нельсона. Определены массообменные параметры сорбции рения с учетом влияния внешнедиффузионной кинетики. Рабочее время сорбции Δt составило 154,8 часа, кинетический коэффициент сорбции β - 0,048 часа, коэффициент концентрирования K_k - 1069.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Палант А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М., Костылев А.И. Технология рения. – М.: ООО «Галлея Принт», 2015. – 324 с. ISBN 978-5-906693-33-4.

2.Korovin V., Pohorielov Yu., Shestak Yu., Valiaiev O., Cortina J-L. Rhenium recovery from sulfuric media using AMR anionite // III International Conference "Essays of Mining Science and Practice", Dnipro**, October 6-8,** 2021, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 970 (2022) 012009 DOI: .

3. Korovin V., Pohorielov Yu., Shestak Yu., Valiaiev O., Cortina J-L. Rhenium recovery from highly concentrated sulfuric media using AMR anionite in column mode // IV International Conference "Essays of Mining Science and Practice", Dnipro, November 9**-11,** 2021, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1156 (2023) 012027. DOI: .

4. Korovin V., Valiaiev O., Zontov O. [et. al.]. Uranum (VI) sorption from sulfuric solutions by AM-p-2 anionite // I International Conference “Essays of Mining Science and Practice”, June 25-27, 2019, Dnipro. E3S Web of Conferences 109 (2019) 00039. DOI: .

5. Xialei Youa, Adriana Farrana, Diana Guayaa [et.al.]. Phosphate removal from aqueous solutions using a hybrid fibrous exchanger containing hydrated ferric oxide nanoparticles // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 4. – p. 388-397. DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.032.

6. Волков В.П. Сорбционные процессы действующих производств. – М.: Руда и металлы, 2014. – 160 с. ISBN 978-5-98191-076-0.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРИБОРЫ И СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Дуганов А.А.
ТОО «НПП Гамма», г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. Статья показывает, что грубое обращение с приборами приводит к частым поломкам,несмотря на меры защиты. Это подчеркивает необходимость улучшения процессов обучения сотрудников. Также выявлены случаи совместных ошибок руководства и персонала, что подчеркивает важность совершенствования системы внутреннего контроля и координации.

Проблема неверной диагностики требует внедрения более точных методов контроля и обучения сотрудников. Предлагается пересмотр нормативно-правовой базы Республики Казахстан в области радиационной безопасности.

Эффективное использование оборудования по назначению, повышение качества ремонта мониторов поверхностного загрязнения, дозиметрического и радиометрического оборудования и квалификации дозиметристов, инженеров, ремонтников, а также совершенствование системы технического обслуживания и ремонта – острые проблемы урановой промышленности. Центральной проблемой является обеспечение высокой технологичности ремонтных работ. Под высокой технологичностью подразумевается совокупность свойств, направленных на достижение оптимальных показателей затрат времени, труда и финансов при проведении ремонтных мероприятий. Данные свойства основываются на тщательной оптимизации технологических и организационных аспектов процесса ремонта такого типа оборудования. Эти свойства включают в себя эффективные методы диагностики и выявления неисправностей, точные процедуры ремонта, использование передовых технологий, а также эффективное управление ресурсами и персоналом. Кроме того, учет показателей качества и адаптация под конкретные условия работ также играют важную роль в формировании этой совокупности свойств.

Существует неотложная потребность в применении систематического научного подхода к решению данной задачи, обусловленная недостатком высококвалифицированных кадров на уранодобывающих предприятиях. Также актуальными факторами являются протяженные этапы согласования ремонтных мероприятий и замена комплектующих, осуществляемая только после проведения диагностики и заказа у завода производителя.

Еще одной проблемой является вопрос радона в Казахстане, который только начинает приобретать актуальность. Очевидно, что вопросы защиты от радона должны рассматриваться в контексте общей стратегии обеспечения радиационной безопасности населения и персонала. Казахстан относится к числу стран с высоким уровнем радиационного напряжения, что обусловлено определенными факторами. Республика Казахстан обладает одним из крупнейших мировых запасов природного урана, что ставит перед страной особые задачи по обеспечению безопасности и эффективного контроля радиационных рисков.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что нормативное законодательство в области защиты от радона в Казахстане не отвечает стандартам, установленным Международным комитетом по радиационной безопасности [1].

Одним из существенных недостатков нормативных документов в Республике Казахстан является нормирование влияния радона по величине ЭРОА, в то время как во всем остальном мире используется величина ОА [2]. Это ставит большие трудности на возможность измерения ведь лучшая зарубежная аппаратура проводит все косвенные измерения только в режимах ОА.

Измерения объемной активности радона в воздухе рабочей зоны, плотности потока радона от различных рабочих поверхностей необходимо проводить с помощью высокотехнологичного оборудования, которое в нашей стране не производится. А в следствие того, что в Республике Казахстан нормирование идет по показателю ЭРОА, невозможно использовать зарубежную технику. Также нет никакого нормирования по показателю плотности потока радона с поверхностей в рабочих помещениях.

На многих предприятиях урановой промышленности отсутствуют системы обслуживания и технического осмотра измерительных приборов. В большинстве случаев согласно регламенту предприятий вся процедура обслуживания и ремонтных работ приборов ведется по их фактическому состоянию. Такая стратегия крайне неэффективна. Потенциальные поломки приборов не пытаются предупредить, а после их возникновения вся процедура сводится к отправке приборов на завод изготовитель с целью диагностики и ремонта. Работники предприятий не мотивированы, а следственно и не заинтересованы в уменьшении убытков предприятий связанных с отправкой и дальнейшими ремонтными работами приборов. На

предприятиях также повышается риск возникновения чрезвычайных ситуаций в случае выхода из строя мониторов поверхностного загрязнения. В случае выхода из строя оборудования подобного рода, на предприятиях часто отсутствуют дополнительные приборы, которые могли бы заменить неисправный прибор. В такой ситуации сотрудники вынуждены работать нарушая технику безопасности, что является недопустимым.

Многие поломки могут быть предупреждены простым техническим обслуживанием [3]. Техническое обслуживание оборудования должно проводиться с целью поддержания его в постоянной исправности и для надежной работы в течение длительного периода эксплуатации. Техническое обслуживание заключается в проведении профилактических работ не реже одного раза в месяц. Профилактические работы дозиметрических и радиометрических приборов должны проводится на месте эксплуатации и включать в себя: внешний осмотр; проверку комплектности прибора в соответствии с паспортом прибора; удаление пыли и грязи с наружных поверхностей составных частей приборов и их принадлежностей, протирку контактов и кабелей. Техническое обслуживание мониторов поверхностного загрязнения заключается в проверке состояния корпусов блоков и устройств: отсутствие царапин, вмятин, следов коррозии, повреждения окраски; проверке состояния соединительных кабелей: отсутствие трещин, порезов, потертостей кабелей, осмотр надежности крепления соединителей; проверке качества резьбовых соединений на разъемах; проверке комплектности в соответствии с паспортом прибора; контроль работоспособности в соответствии с технической документацией.

В период с 2018 г. по март 2024 г наше предприятие проводило диагностику и ремонт дозиметров-радиометров с различными причинами выхода из строя. Большинство из них было вызвано неправильной эксплуатацией приборов, а также отсутствием какого-либо технического обслуживания со стороны сотрудников урановых предприятий. Количественные данные о поломках, обнаруженных в ходе диагностики представлены в таблице 1.

Визуальная интерпретация данных диагностики и ремонта представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Диаграмма причин поломки дозиметрического и радиометрического оборудования

Как видно из диаграммы лишь 19% приборов вышло из строя по естественным причинам, большую часть 81% всех поломок составляет нарушение условий эксплуатации приборов. Это говорит о том, что персонал урановых предприятий недостаточно хорошо проходит инструктаж по работе с оборудованием, что приводит к грубым повреждениям таким как разбитие детекторов, разрывы кабелей соединений, разбитие экранов и т.д. Поэтому требуется повышение эффективности обучения персонала, направленного на обеспечение более ответственного и профессионального отношения к техническому оборудованию, что, в свою очередь, способствует сокращению частоты и серьезности технических сбоев. Следовательно, для улучшения ситуации предлагается акцентировать внимание на улучшении программ обучения сотрудников, включая более детальное ознакомление с правилами и рекомендациями по использованию оборудования. Также целесообразно внедрение периодических тренировок и обновление информационных материалов, а также предоставление курсов повышения квалификации или обучающих курсов [4]. Это позволит сотрудникам более эффективно усваивать навыки безопасной эксплуатации и актуализировать знания. Дополнительно, важно внедрить меры мотивации и поощрения для поддержки активного участия сотрудников в процессах обучения и соблюдения стандартов безопасности, что, в конечном итоге, снизит риск выхода из строя и повысит эффективность работы оборудования.

Таким образом можно представить совокупность неисправностей в следующем виде:

$$M_A \in a\ \text{ЕИК}, b\ \text{МПД}, c\ \text{АКБ}, d\ \text{МПК}, e\ \text{ПИК}, f\ \text{БДН} \quad (1)$$

где латинские буквы перед сокращениями неисправностей – доли повреждений в общем потоке поломок.

Неисправности всего дозиметрического и радиометрического оборудования достаточно схожи, и в общем виде могут быть представлены следующим образом:

$$M_A \in 12\text{ЕИК}, 12\text{МПД}, 7\text{АКБ}, 16\text{МПК}, 19\text{ПИК}, 34\text{БДН}. \quad (2)$$

Исходя из опыта ремонтных работ данного типа оборудования можно заключить, что приборы предназначенные для одних и тех же задач произведенные разными изготовителями, имеют достаточно схожие показатели по эксплуатационному ресурсу.

Говоря о мониторах поверхностного загрязнения, то в данном случае ситуация более чем плачевная. В 86% случаев выход из строя мониторов поверхностного загрязнения связан с действиями работающего персонала. Выполнив анализ причин неисправности обнаружилось, что данный тип приборов не получал никакого технического обслуживания на всем сроке эксплуатации, вследствие чего это приводило к выходу из строя. Говоря о техническом обслуживание во всех этих случаях не проводилась элементарная проверка в видео общего осмотра и обычной чистки. Принцип работы данного типа оборудования основывается на использовании датчиков положения объекта для каждого блока детектирования. В большинстве случаев данные датчики попросту загрязнялись, забивались пылью и грязью, что в конечном итоге приводило к выходу их из строя. Также к наиболее частым поломкам относятся механические повреждения светозащитных экранов и датчиков детектирования. Персонал грубо обращался с приборами и несмотря на защиту установленную производителем для предотвращения подобных случаев, такие поломки происходили с высокой частотой. Также имели место случаи совместных ошибок руководства, менеджмента и персонала работающего с данным типом приборов. На диагностику с целью дальнейшего ремонта отправлялись полностью исправные установки т.е. монитор поверхностного загрязнения работает исправно, но ни один из вышеназванных сотрудников не смог этого обнаружить, и в конечном итоге затрачивались материальные и временные средства на отправку прибора с рудника до нашего предприятия, его диагностику, и обратный возврат на рудник. Чтобы осознать всю степень данной проблемы стоит понимать, что в этот процесс входит согласование прибора на отправку, оформление соответствующей документации, вывоз оборудования с территории рудника, прием-передача прибора, проведение диагностики, ожидание оплаты за проведенные услуги, и наконец обратный возврат прибора на предприятие. Данные этапы суммарно могут занять до 90 дней, что является немыслимым для предприятия где требуется постоянный контроль радиоактивной загрязненности рук, ног (обуви) и одежды персонала бета-, гамма- и альфа-активными нуклидами. Стоит еще раз отметить, что приборы были полностью исправны, и никаких дефектов в ходе диагностики обнаружено не было.

Рисунок 2 – Диаграмма причин поломки мониторов поверхностного загрязнения

Неисправности мониторов поверхностного загрязнения в общем виде могут быть представлены следующим образом:

$$M_A \in 29\text{ЕИК}, 14\text{ОТО}, 57\text{МП} \quad (3)$$

Среднее допустимое значение ЭРОА радона в воздухе помещений согласно КР ДСМ-90 составляет 200 Бк/м^3 и менее.

В то время как согласно рекомендации Международного комитета по радиационной защите (МКРЗ) референтные уровни для ^{222}Rn:

Ситуация	Верхнее значение референтного уровня по объемной активности
Рабочие места	1500 Бк/м^3

Из-за данных разногласий в нормативно-правовых документах очень сложно подобрать оборудование, которое бы соответствовало рекомендациям МКРЗ и рекомендациям из КР ДСМ-90 [5]. Несмотря на то, что современные приборы регистрируют лучи дочерних радионуклидов по следующей цепочке распадов:

$$^{222}Rn \xrightarrow[3{,}82\text{ дня}]{\alpha} {}^{218}Po \xrightarrow[3{,}05\text{ мин}]{\alpha} {}^{214}Pb \xrightarrow[26{,}8\text{ мин}]{\beta} {}^{214}Bi \xrightarrow[19{,}7\text{ мин}]{\beta} \ldots {}^{206}Pb(\text{стабильный}) \quad (4)$$

Наш официальный партнер из Германии Sarad производит аппаратуру, которая способна проводить измерения в соответствии с обоими нормативами. Более того, партнер имеет аккредитованную калибровочную лабораторию согласно ISO 17025.

Рисунок 3 – Измеритель радона EQF 3220 установленный для отображения возможного повышения объемной активности и предотвращения облучения шахтеров

Исходя из опыта Sarad были получены выводы о том, что результаты, включая изменчивость, свидетельствуют о том, что измерения содержания радона и его производных следует проводить периодически. Очень важно соблюдать стандарты охраны труда и техники безопасности [6].

Радиометр радона EQF 3220 представляет собой универсальный монитор для измерения объемной активности ОА и ЭРОА радона и торона. Благодаря тому, что EQF 3220 обладает высокой чувствительностью и альфа-спектроскопическим анализом, скорость измерения близка к физическому пределу даже при низких концентрациях радона. Одновременно определяется концентрация торона. Продукция компании Sarad успешно поставляется на территорию РК и вносится в государственный реестр средств измерений Республики Казахстан. Помимо радиометров радона у Sarad имеется оборудование типа Aer 5X00. Данный тип приборов имеет характерную отличительную черту – способность одновременного измерения активности альфа и бета аэрозолей в воздухе, а также измерение активности радона.

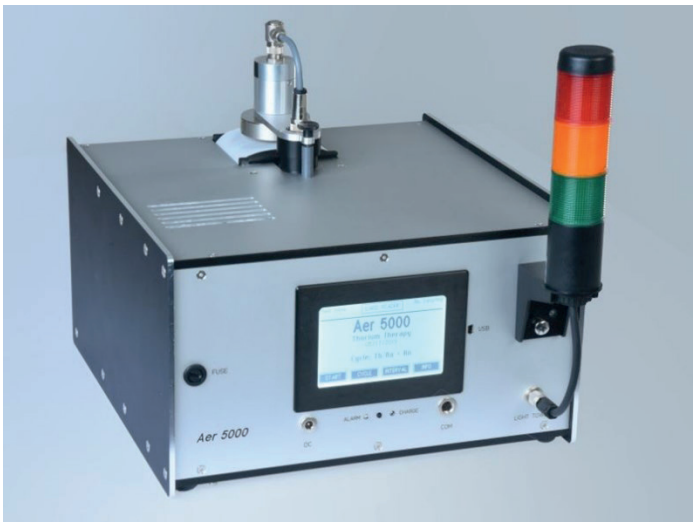


Рисунок 4 – Aer 5000 прибор для одновременного измерения ДЖА и активности радона

На основании вышеизложенного можно сделать ряд важных выводов. Во-первых, грубое обращение с приборами со стороны персонала приводит к частым поломкам, несмотря на установленные производителем меры защиты. Это подчеркивает необходимость улучшения процессов обучения и повышения квалификации сотрудников в области правильной эксплуатации приборов.

Во-вторых, выявлены случаи совместных ошибок руководства, менеджмента и персонала, что подчеркивает важность совершенствования системы внутреннего контроля и координации между различными уровнями управления на предприятии.

Кроме того, сталкиваемся с проблемой неверной диагностики на урановых предприятиях. Внедрение более точных методов контроля и обучение сотрудников правильной диагностике могут существенно сократить такие нежелательные затраты.

Наконец, весь процесс от согласования отправки прибора до его обратного возврата на предприятие занимает слишком много времени (до 90 дней), что неприемлемо для предприятия, где требуется постоянный контроль радиоактивной загрязненности. Это подчеркивает необходимость оптимизации логистических и административных процессов, включая сокращение времени на согласование, документацию и обработку оплаты за услуги.

Анализ нормативно-правовых актов и практической работы государственных инстанций, ответственных за обеспечение антирадоновой защиты, свидетельствует о выявлении недостатков и пробелов в правоприменительной и управленческой деятельности, касающейся обеспечения радиационной безопасности, включая проблемы, связанные с радоном. Требуется пересмотр нормативно-правовой документации, изменение нормативных значений.

Все вышеуказанные выводы подчеркивают не только технические аспекты, но и важность организационных изменений для повышения эффективности работы и сокращения временных и финансовых затрат на обслуживание приборов на уранодобывающем предприятии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ): Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2007 года ICRP publication 103 : The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Под ред. Л.-Э. Холма. Пер. с англ. под общей ред. М. Ф. Киселева и Н. К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с. ISBN 978-5-9900350-6-5.

2. О радиационной безопасности населения» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 12.01.2016 г.). Закон Республики Казахстан от 23 апреля 1998 года № 219-I.

3. Обыденнов А.П., Глазунов С.А. О приборном обеспечении радиационной безопасности предприятий ЯТЦ // Атомная стратегия. – 2004. – № 9.

4. Иванов В.И. Курс дозиметрии учебник для вузов / В.И. Иванов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М: Атомиздат, 1978.

5. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3).

6. ICRP, 1993. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23(2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ГОДОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РАЙОНЕ ВЛИЯНИЙ УРАНОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Нурмуродов Л.Т.[1], Аллаберганова Г.М.[2], Пулатов Х.Л.[3], Кулматов Р.А.[4], Музафаров А.М.[5]
[1]Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, г. Самарканд, Узбекистан,
[2]Навоийский горно-технологический университета, г. Навои, Узбекистан,
[3]Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент, Узбекистан,
[4]Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Узбекистан,
[5]АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», г. Навои, Узбекистан

Аннотация. В данной статьи приведены расчеты годовой эффективной дозы для работников урановых производств и населения в районе влияния урановых производств и они между собой сопоставлены. Эффективная годовая доза от всех радиационных факторах состоит из четыре х составляющих – среднегодовой мощности экспозиционной дозы – МЭД, эквивалентной равновесной объе мной активности радона – ЭРОА, среднегодовой объе мной активности долгоживущих радионуклидов – ДАН и эффективная доза внутреннего облучения за сче т активности употребляемой питьевой воды. Значение данных радиационных факторов определены в более 200 точках для работников урановых производств и более 80 точках для населения в районе влияния урановых производств. На основе полученных результатов проведены расчеты годовых эффективных доз, и они сопоставлены.

Ключевые слова: годовая эффективная доза, урановая производства, персонал – работник, населения, радиационные факторы, точки наблюдений.

RESULTS OF ANNUAL EFFECTIVE DOSE FOR THE POPULATION RESIDING IN THE AREA OF INFLUENCE URANIUM PRODUCTION

Nurmurodov L.T.[1], Allaberganova G.M.[2], Pulatov Kh.L.[3], Kulmatov R.A.[4], Muzafarov A.M.[5]
[1]Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan,
[2]Navoi Mining and Technology University, Navoi, Uzbekistan,
[3]Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan,
[4]National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan,
[5]JSC "Navoi Mining and Metallurgical Plant", Navoi, Uzbekistan

Abstract. This article provides calculations of the annual effective dose for uranium production workers and the population in the area of influence of uranium production and compares them with each other. The effective annual dose from all radiation factors consists of four components – the average annual exposure dose rate – EDR, the equivalent equilibrium volumetric activity of radon – EROA, the average annual volumetric activity of long-lived radionuclides – DAN and the effective dose of internal radiation due to the activity of consumed drinking water. The significance of these radiation factors was determined at more than 200 points for workers of uranium production and more than 80 points for the population in the area of influence of uranium production. Based on the results obtained, annual effective doses were calculated and compared.

Key words: annual effective dose, uranium production, personnel – workers, population, radiation factors, observation points.

В нормативных документах, действующих в Республики Узбекистан закон «О радиационной безопасности», нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006) установлены верхние пределы значений годовой эффективной дозы для персонала-работника – 20 мЗв/час и для населения – 2,0 мЗв/час [1–6]. Определения данных значений предопределяет разработки мероприятий по снижению уровней облучения на природных и техногенных объектах от вредного воздействия источников ионизирующего излучения [7–10]. На основании полученных значений годовой эффективной дозы для персонала и для населения ведется радиационно-дозиметрический контроль и эти данные наноситься в карточках работника [11–12].

Техника и методы эксперимента

Мощности экспозиционной дозы гамма-излучений контролируется с помощью автоматизированного комплекса индивидуального дозиметрического контроля марки АКИДК-302, предназначены для измерения индивидуального эквивалента дозы-Нр фотонного и нейтронного излучений с помощью термолюминесцентных дозиметров типов ДВГ-01, ДВГН-01 и ДТЛ-01. А значение ЭРОА проведены на приборе марки – РАА-20П «Поиск», объемной активности радона на приборе «Альфарад плюс», значение – ДАН на альфа-радиометре – Прогресс-АР и значение – ППР на приборе – Альфарад.

Полученные результаты и их обсуждение

Значение определены в более 200 точках для работников урановых производств и более 80 точках для населения в районе влияния урановых производств показывают что, не превышают установленную норму – 20 мЗв/год и – 2 мЗв/год.

На рис.1.а и б., приведены графические зависимости годовой эффективной дозы от мощности экспозиционной дозы для населенных пунктов Нурабада и Зафарабада.

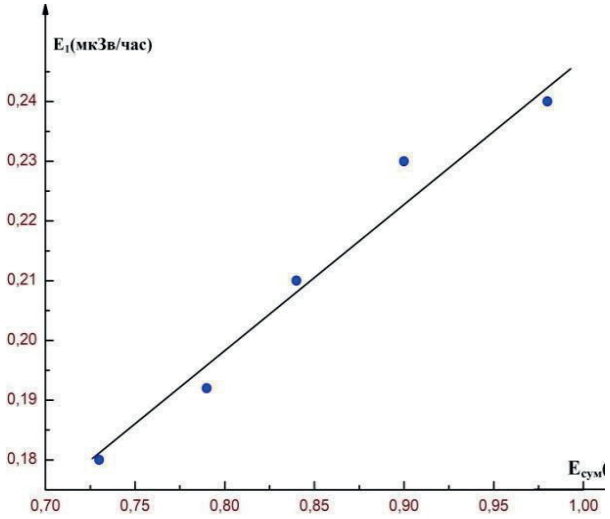


Рисунок 1.а – Графическая зависимость годовой эффективной дозы от мощности экспозиционной дозы для населенного пункта Нурабада

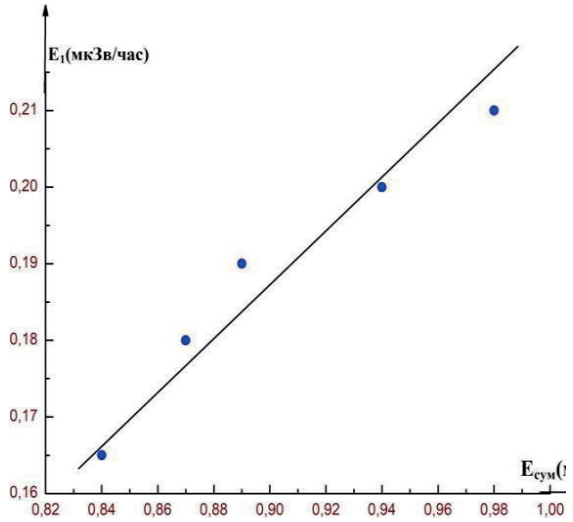


Рисунок 1.б – Графическая зависимость годовой эффективной дозы от мощности экспозиционной дозы для населенного пункта Зафарабада

Как видно из рисунков 1.а. и 1.б., значения годовой эффективной дозы имеет прямо пропорциональная зависимость от мощности экспозиционной дозы измеренных точек для жителей Нурабада и Зафарабада.

На основе полученных результатов значений активности долгоживущих альфа радионуклидов – ДАН построеные графические зависимости годовой эффективной дозы от величины – ДАН для населенного пункта Нурабад и Зафарабад.

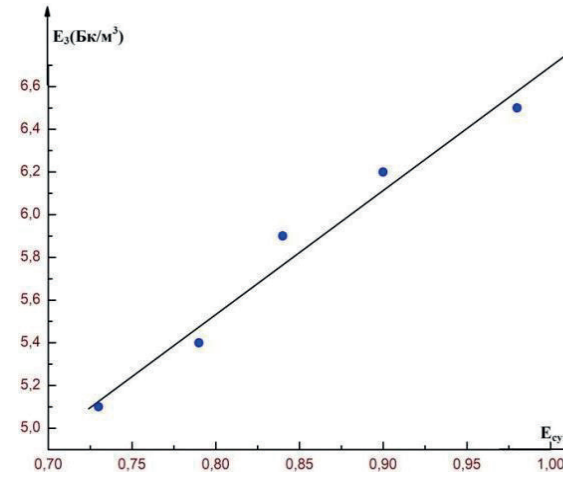


Рисунок 3.а – Зависимость значений годовой эффективной дозы от значение объе мной активности долгоживущих радионуклидов – ДАН для населенного пункта Нурабат

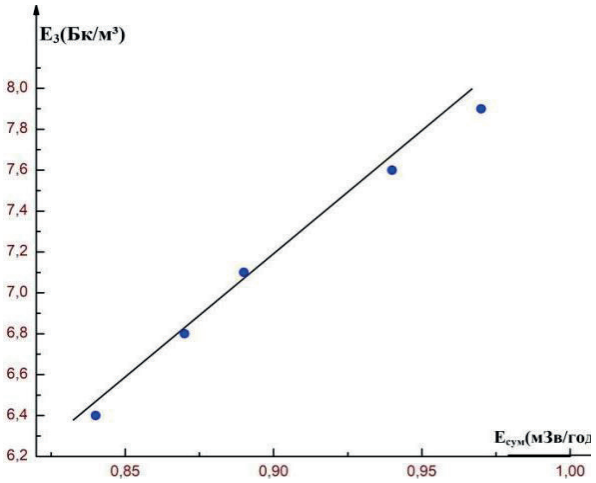


Рисунок 3.б – Зависимость значений годовой эффективной дозы от значение объе мной активности долгоживущих радионуклидов – ДАН для населенного пункта Зафарабад

На основе полученных результатов значений эффективной дозы внутреннего облучения от радиоактивности потребляемой питьевой воды построена графическая зависимость значений годовой эффективной дозы от радиоактивности потребляемой питьевой воды для населения населенного пункта Нурабад и для населения населенного пункта Зафарабад

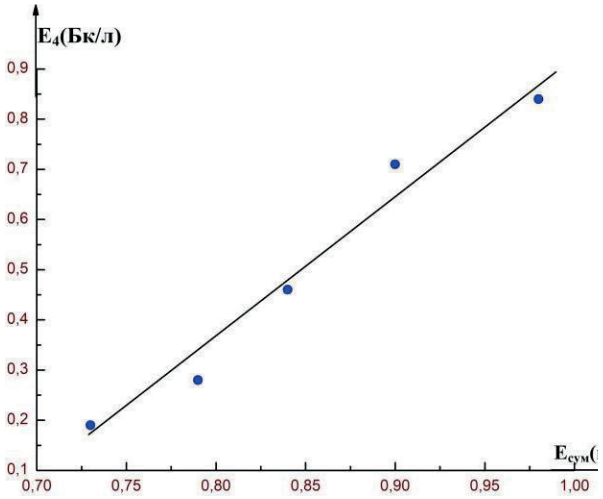


Рисунок 4.а – Зависимость значений годовой эффективной дозы от значений объе мной активности долгоживущих радионуклидов – ДАН для населения населенного пункта Нурабат

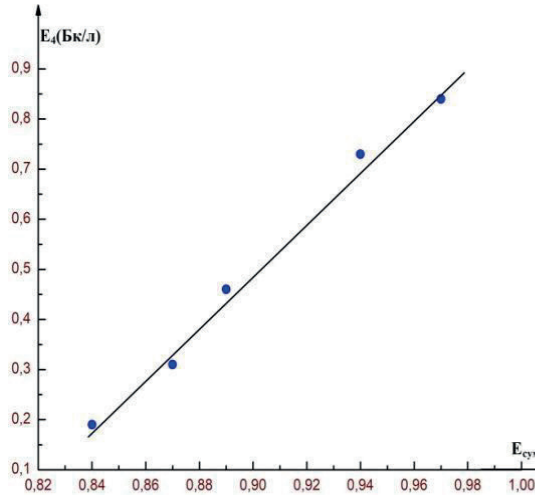


Рисунок 4.б – Зависимость значений годовой эффективной дозы от значений объе мной активности долгоживущих радионуклидов – ДАН для населения населенного пункта Зафарабад

Из полученных результатов стало ясно, что значение годовой дозы для населения колеблется в диапазоне от 0,302 мЗв/год до 0,912 мЗв/год и для работников в диапазоне от 2,123 мЗв/год до 11,091 мЗв/год. Сопоставление результатов показали, что значения годовой дозы для работников намного выше, чем для населения, но не перевешают установленных норм в СанПиН №0193-06.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Возженников Г.С., Белышев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика : Учебное пособие. – Екатеринбург, 2006. – 418 с.

2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). – Ташкент, 2006. – 136 с.

3. Музафаров А.М., Кулматов Р.А., Аллаберганова Г.М. Оценка радиационной обстановки и распределения радионуклидов в воздухе цеха прокалки закиси-окиси урана // XXI ВЕК. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. – 2020. – 5(4). 344. – С. 384–392.

4. Музафаров А.М., Кулматов Р.А., Аллаяров Р.М. Исследование нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между $^{226}Ra/^{238}U$ в пробах урановых объектов // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – №4. (83). – С. 53–55.

5. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Оценка влияния техногенных факторов на экологию региона // Горный журнал. – 2013. – №8.(1). – С. 65–68.

6. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Ослоповский С.А. Радиометрические исследования техногенных объектов // Цветные металлы. – 2016. – №2. – С. 15–18.

7. Журакулов А.Р., Музафаров А.М., Курбонов Б.И. Оценка состояний распределение естественных радионуклидов в почвах к близлежащим техногенным объектам // Наука и общество. – 2020. – №1. – С. 16–21.

8. Журакулов А.Р, Музафаров А.М, Курбонов Б.И, Абдирахмонов У.Ш, Урунов И.О. Сезонное распределение радона – ^{222}Rn в многоквартирных домах в Навои и Самарканде // Научно-практический электронный журнал «ТЕХНика». Нукус. – 2020. – №3. – С. 16–21.

9. Muzafarov A.M., Kulmatov R.A.,Urunov I.O. Analysis of Uranium Isotope Composition in Uranium Products //International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). – Vol. 5. – Issue: 1 January – 2021. – Washington DC, USA. – PP. 96–101.

10. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Экологических мониторинг техногенных факторов при добыче и переработке урана и золота // Экологический вестник. – 2013. – №12(152). – С. 24–33.

11. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Оценка влияния техногенных факторов на экологию региона // Горный журнал. – 2013. №8.(1). – С. 65–68.

12. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Ослоповский С.А. Радиометрические исследования техногенных объектов // Цветные металлы. – 2016. – №2. – С. 15–18.

РАДИОИЗОТОПНЫЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Покровский И.В.
ТОО «Приборы Казахстан», г. Алматы, Республика Казахстан
igor@pribori.com

В случае радиационной аварии организация, осуществляющая деятельность с использованием источников ионизирующего излучения, обязана, среди прочего, провести анализ и подготовить прогноз развития радиационной аварии и изменений радиационной обстановки. Анализ, необходимый для подготовки прогноза развития аварии и изменения радиационной обстановки, включает определение радиоизотопного состава источника, послужившего причиной возникновения радиационной аварии.

Далеко не во всех случаях возникновения радиационной аварии радиоизотопный состав источника известен достоверно, что существенно затрудняет принятие верного решения в части локализации аварии и принятия мер для обеспечения радиационной безопасности персонала. При этом анализ радиоизотопного состава спектрометрическим или радиометрическим методами должен проводиться в лабораторных условиях и может занимать довольно продолжительное время, а отбор проб для проведения анализа может быть технически затруднён или даже невозможен. В таких ситуациях возможность определения радиоизотопного состава непосредственно в месте возникновения радиационной аварии без необходимости отбора проб становится решающей для оперативного выбора мер реагирования.

Отметим, что в подавляющем числе случаев радиоактивный распад того или иного вида сопровождается испусканием гамма-квантов определённых энергий, определив которые становится возможно определить и сам изотоп, испытавший радиоактивный распад.

На сегодняшний день существует целый класс приборов, так называемых идентификаторов радионуклидов, обеспечивающих возможность определения радиоизотопного состава непосредственно в месте измерения образца. Такие приборы в режиме автоматического постоянного сканирования анализируют набираемый спектр гамма-излучения. При обнаружении в спектре пика (пиков) полного поглощения идентификатор с помощью встроенного алгоритма определяет энергии пиков, сравнивает их с библиотечными значениями и производит идентификацию – выводит на экран название изотопа (изотопов), распад которого сопровождается испусканием гамма-квантов с энергиями, обнаруженными в анализируемом спектре.

В США разработка и производство радиоизотопных идентификаторов регламентируется стандартом ANSI 42.34 – «Критерии эффективности носимых приборов для обнаружения и идентификации радионуклидов», устанавливающего минимальные технические и метрологические требования к приборам такого класса. К сожалению, в странах СНГ аналогичный стандарт в действие не введён, но авторам известно, что метрологическими организациями работа в этом направлении ведётся. Отметим, что даже в отсутствие принятого метрологического стандарта, применение радиоизотопных идентификаторов в странах СНГ организациями, чья деятельность связана с обращением с радиоактивными материалами, является довольно распространённой практикой в силу вышеизложенных причин. При этом вопросы метрологической сертификации решаются путём внесения в государственные реестры средств измерения радиоизотопных идентификаторов как спектрометров с указанием в наименовании средства измерения «с функцией идентификации радионуклидов».

Доклад представляет собой обзор радиоизотопных идентификаторов, представленных на рынке ведущими мировыми производителями – от карманных версий до гамма-спектрометров высокого разрешения, обладающих максимальным функционалом.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКТОРА ВВР-К ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ТОПЛИВА И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Сайранбаев Д.С., Аханов А.М., Айткулов М.Т., Нугуманов Д.К., Ермаков Е.Л., Сахиев С.К.
Институт ядерной физики, ул. Ибрагимова[1], г. Алматы, Республика Казахстан
ashaimerdenov@inp.kz

Реактор ВВР-К – это исследовательский, стационарный, бакового типа, водо-водяной реактор с тепловой мощностью 6 МВт. Эксплуатация реактора была начата в 1967 году. В настоящее время, отражателем и замедлителем нейтронов являются вода и бериллий. Теплоноситель – обессоленная вода. С 2016 года используется низкообогащенное урановое топливо (менее 20% по урану-235) и топливной композицией является диоксид урана, диспергированный в алюминиевую матрицу. Реактор ВВР-К снабжен большим количеством облучательных каналов, что позволяет проводить одновременно разные работы в различных областях науки и техники. А также осуществляется наработка радиоизотопов для медицины и промышленности и проводится радиационная обработка материалов. В настоящей работе приводятся описание реактора ВВР-К и его основные экспериментальные характеристики, а также обзор работ по испытанию и характеризации топлива и конструкционных материалов, выполненных на базе реактора.

APPLICATION OF THE WWR-K REACTOR FOR TESTING AND CHARACTERIZATION OF FUEL AND STRUCTURAL MATERIALS

Shaimerdenov A.A., Gizatulin Sh.Kh., Sairanbayev D.S., Akhanov A.M., Aitkulov M.T., Nugumanov D.K., Yermakov Y.L., Sakhiyev S.K.
Institute of Nuclear Physics, [1]Ibragimov st., 050032, Almaty, Kazakhstan
ashaimerdenov@inp.kz

The WWR-K reactor is a research, steady-state, tank-type, light water reactor with a thermal power of 6 MW. Operation of the reactor started in 1967. Currently, the reflector and moderator are water and beryllium. The coolant is demineralized water. Since 2016, low-enriched uranium fuel has been used (less than 20% uranium-235) and the fuel composition is uranium dioxide dispersed in an aluminum matrix. The WWR-K reactor is equipped with a large number of irradiation positions, which allows simultaneous irradiation activities to be carried out in various fields of science and technology. We also produce radioisotopes for medicine and industry and carry out radiation processing of materials. This paper provides a description of the WWR-K reactor and its main experimental characteristics, as well as a review of the work on testing and characterization of fuel and structural materials performed on the reactor.

KAZAKHSTAN'S NUCLEAR ENERGY DILEMMAS

Velichkov K.S.,
International Science and Technology Center, Astana, Kazakhstan
velichkov@istc.int

Abstract. While preparing to re-embark on the way towards the peaceful use of nuclear energy, Kazakhstan needs to make choices on optimal technological design, exploitation modalities and a long-term partnership with the supplier of a potential nuclear power plant (NPP) and/or small modular reactors (SMRs) to be deployed. The country has an impressive international standing as the world's largest uranium producer and exporter, as well as the reputation of a dedicated and proven promoter of nonproliferation and nuclear disarmament. Deciding in favor of nuclear power will also enable Kazakhstan to reinforce its role in Central Asia and internationally, particularly through the channels of collaboration and experience sharing in capacity building on matters pertaining to nuclear safety, security and safeguards. This paper attempts to identify and analyze the intangible effects nuclear energy may have on Kazakhstan's economy and foreign policy assets.

Key words: Kazakhstan, nuclear energy, nuclear safety, security and safeguards, nonproliferation, small modular reactors, Central Asia,

In March 2024, Kazakhstan attended the first Nuclear Energy Summit in Brussels and signed the Summit Declaration, alongside more than thirty other countries and the European Union. Kazakhstan, the world's largest uranium producer and exporter, joined the global movement in favor of nuclear power, which is increasingly gaining momentum. The Summit focused primarily on nuclear energy, building on the acknowledgement of the prominence the nuclear sector gained at the UN Climate Change Conference (COP28) in Dubai, UAE. At that occasion, for understandable reasons, Kazakhstan could not yet join the twenty-two nuclear countries that pledged to triple their nuclear power capacity by 2050.[1]

These developments outlined the new dilemmas that Kazakhstan's multivector foreign policy faces. The questions go beyond the field of foreign policy, and stem from much more fundamental developmental choices the country is about to make.

The first set of issues arises from the green transition objectives that Kazakhstan has embraced. Clean energy production can drive economic advancement through hydroelectric power, renewable energy and natural gas processing. But one of the key questions confronting the future of clean energy in Kazakhstan is whether to construct a nuclear power plant, effectively re-embarking on nuclear energy production. Public hearings on the subject, leading up to a decision through referendum, are of no small political significance, especially given that anti-nuclear sentiments in Kazakhstan are as strong as ever since independence. Indeed, some observers assert that a strong anti-nuclear orientation makes up a part of the modern identity of the nation.

The second set of potential political and economic choices confronting Kazakhstan concern the subordinate topic of the future of nuclear power technology, arising from the advent of small modular reactors in the nuclear industry. In Europe, large nuclear power plants are being considered by only some countries to contribute to energy security and complement renewables. The majority of EU Member States that are planning to strengthen, develop or revive their nuclear programs are looking into SMRs. SMRs have in fact been developed mainly for off-grid purposes, and some have been specifically developed to decarbonize industry. These are the characteristics that make them suitable for Kazakhstan's needs.

The dilemmas surrounding nuclear energy in Kazakhstan are, therefore, closely interrelated. Decision makers and the public at large should approach them through the lens of the three well-known criteria: safety, security, and safeguards. There are several crucial points that permeate the presently ongoing discussions, and that could also inform the current conference on the development of the uranium and rare metal industry: safety; international collaboration; technological innovation; sustainable management; and education and workforce development.

The underlying consideration is that safety should come first. If there exists a single most fundamental prerequisite for the use of nuclear energy, it surely consists in understanding the importance of and diligently adhering to strict safety standards and regulations, to prevent accidents and mitigate the risks associated with nuclear power.

In terms of safety and safeguards, Kazakhstan has an impressive, internationally acknowledged record. In the course of last year, Kazakhstan hosted an IAEA Integrated Nuclear Infrastructure Review mission in March 2023, and then a Site and External Events Design (SEED) review mission in October.[2] The first mission assessed

[1] U.S. Department of Energy, "At COP28, Countries Launch Declaration to Triple Nuclear Energy Capacity by 2050, Recognizing the Key Role of Nuclear Energy in Reaching Net Zero," December 1, 2023.

[2] IAEA Team Concludes Site and External Events Design (SEED) Review in Kazakhstan, November 6, 2023, https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-team-concludes-site-and-external-events-design-seed-review-in-kazakhstan

the status and suitability of the current national infrastructure for the potential introduction of nuclear power. The SEED mission offered the Kazakhstan Nuclear Power Plant (KNPP) a choice of modules on which to focus the site selection review, a framework comprising site assessment and design of structures, systems and components, taking into consideration site-specific external and internal hazards.

It should be noted that the SEED missions did not assess the actual site chosen, but the appropriate consideration of safety issues as part of the site selection process itself. In May 2022, Kazakhstan chose the area in the vicinity of the village of Ulken on the shores of Lake Balkhash as the preferred location to construct the country's first nuclear power plant, with the Kurchatov township as a secondary backup option. For comparison the BN-350 fast-neutron reactor, which was closed in 1999, was situated at the Mangystau Atomic Energy Complex, located near the city of Aktau, on the Caspian Sea.

Institutional guarantors of nuclear safety in Kazakhstan comprise organizations such as the National Nuclear Center and the Kazakhstan Center of Nuclear Technology Safety. The latter is an association of experts in nuclear and radiation safety and radioactive materials handling. They investigated the safety aspects of nuclear power generation in Kazakhstan, taking into account various means of environment and human health protection in the region of the future reactor's location.

In the related nuclear security field, the Kazakhstan Nuclear Security Training Center of the Institute at Nuclear Physics, near Almaty, equally deserves recognition and acknowledgement for their efforts, particularly with regard to the regional impact of its training programs.

The abovementioned studies and analyses, along with many other efforts by relevant institutions, lend substance and credibility to Kazakhstan's Prefeasibility Study Report, carried out on the basis of applicable IAEA safety standards.

Appropriate guidance for experts and policymakers also comes from the IAEA International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO). INPRO is meant to support its members, including Kazakhstan, on their long-term planning and collaboration on innovations in reactors, fuel cycles and institutional approaches that will promote the sustainable development of nuclear energy. Additionally, INPRO provides a forum for dialogue between countries that have developed nuclear technology and countries that are considering using these technologies to build new nuclear energy capacity.

Next to safety, the second most important consideration decision makers and experts should bear in mind with respect to the peaceful use of nuclear power is about teamwork and professional networking. This has, of course, international dimensions. The importance of international collaboration cannot be overestimated, particularly the need for cooperation among countries possessing and developing civil nuclear capacities. They should engage in sharing best practices, expertise, and resources to enhance nuclear safety and security globally. Kazakhstan is not an exception to this maxim and is in fact deeply interested in its implementation.

Nowadays, Kazakhstan has been successfully using its nuclear record and resources to develop connections and conclude agreements with other countries. Kazakhstan's nuclear past has given it the necessary scientific nuclear facilities, mining complexes, technological and scientific knowledge to develop its uranium industry. Well-developed infrastructure and resources allow Kazakhstan to effectively mine and export natural uranium, export nuclear fuel, and maintain research reactors.

Nonproliferation and nuclear disarmament constitute major objectives of Kazakhstan's foreign policy. Its relations with the IAEA aptly illustrate the country's attempts to position itself in the existing global order, while seeking reforms of the existing international organizations that would more adequately reflect the contribution their member states make and the potential they have.

A clear case in point is the issue of the restoration of sovereign equality at the IAEA, where Kazakhstan, the Central Asian states, and countries from the Gulf and the Pacific remain 'arealess' from the point of view of the IAEA geographic groups, and consequently cannot be represented in elected bodies such as the Board of Governors.[3]

In its current role as chair of the NPT Preparatory Committee, and, simultaneously, as holder of the rotating presidency of the Treaty on the Prohibition of nuclear weapons, Kazakhstan brings together both aspects of its nuclear diplomacy, namely: good relations with the nuclear weapons possessor states and a nuanced understanding of the growing impatience of non-nuclear weapons states to see the requirements of the NPT implemented. In particular, a major source of frustration with the NPT is that the weapons-possessing nations often abdicate from their commitment to provide peaceful nuclear technologies to other nations that pledge not to pursue nuclear weapons of their own.

At the NPT Preparatory Committee meetings, Kazakhstan issued several statements that indicate what its leaders may prioritize in the coming years: the earliest ratification of the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty; a legally binding halt on the modernization of nuclear weapons; a publicly accessible database of all types of such weapons; a moratorium on military fissile materials; a considerable reduction of military postures of nuclear

[3] IAEA General Conference, GC(67)/RES/15 Date: September 2023

states; new nuclear-weapon-free zones, particularly in Europe and Northeast Asia; a Next START treaty after 2026, with the involvement of all nuclear weapon states. All these objectives prevent a nuclear showdown, but they also provide room for greater peaceful uses of nuclear energy.

The spread of the peaceful uses of nuclear science and technologies has a focus on a broad range of nuclear applications to address health, food security, and environmental issues. However, the importance of nuclear energy generation remains paramount. Momentum has been building up over the past few years in favor of increasing this source of carbon free energy, to address the climate crisis more effectively. Furthermore, since the war in Ukraine started in 2022, many nuclear energy operators have become more keenly aware that the world relies on Russia for a significant portion of the nuclear fuel market. Both trends have accelerated exchanges of ideas regarding shared nuclear fuel services.

Kazakhstan's experience with the IAEA Low Enriched Uranium Bank at Ust Kamenogorsk endows it with a unique perspective it can bring to this global conversation. Its representatives to the NPT repeatedly stated that IAEA should assist embarking countries to realize their peaceful nuclear programs in a clear, predictable, technically sound and safe manner. This implies that such states ought to be able to obtain the necessary nuclear fuel for energy needs in a predictable and sustainable manner, particularly at times of economic sanctions and trade restrictions.

The International Science and Technology Center (ISTC) provides an additional proof of Kazakhstan's commitment to international collaboration aimed at making the world safer, more secure, and more sustainable. In 2015, the ISTC office in Astana officially became the new Head Office of the organization after the withdrawal of the Russian Federation from the ISTC Agreement. Initially, ISTC encouraged the integration of CIS and Georgian former weapons scientists into the international scientific community. Nowadays it seeks to provide networking opportunities for institutes throughout Armenia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan and Tajikistan with other scientific communities globally. It also contributes, through its research and development programs and projects, towards solving national and global technological problems in response to member countries' needs and priorities.

The aforementioned examples testify to the fact that Kazakhstan is ideally positioned to participate in and even to lead in carrying the international collaboration agenda forward and further shaping it in the years ahead.

The third condition for embarking on nuclear power production is the enabling of innovation through joint endeavors. Many emerging countries have pledged to drive technological innovation and improve the operational performance, safety, and economics of nuclear power plants. Furthermore, they have committed to exchange experience in creating enabling regulatory frameworks and evaluating and overseeing the implementation of new technologies.

Today, nuclear power provides ten percent of the world's electricity, but to stem climate change, it is necessary that clean and reliable energy sources constitute a far more significant proportion. Thirty countries currently operate nuclear power plants. More than two dozen others are looking at nuclear energy to meet their power and climate needs. Kazakhstan can and should become one of the top thirty nuclear energy producers, similar to its aspirations to enter the top thirty economically advanced countries.

In light of this, the development and introduction of new technologies acquires an even greater significance. SMRs are revealing examples. They are under construction or in the licensing stage in Argentina, Canada, China, Russia, South Korea and the United States. More than 80 commercial SMR designs offer solutions for different applications, such as electricity generation, hybrid energy systems, heating, water desalination and steam for industrial applications. The best known SMR designs come from major technology lines: water-cooled reactors, gas-cooled reactors, molten-salt reactors, liquid metal-cooled reactors, and microreactors for both electricity generation and non-electric applications. Though SMRs have lower upfront capital cost per unit, their economic competitiveness is still to be proven in practice once they are deployed.

In comparison to existing 'classical' reactors, SMR designs are generally simpler. The safety framework of SMRs often relies more on passive systems and inherent safety characteristics of the reactor, such as low power and operating pressure. They can reduce reliance on the most polluting fossil fuel. Several countries in Europe plan repurposing former coal sites for nuclear power—and thereby ensuring a just energy transition by reaping the economic and environmental benefits of switching to this clean and reliable technology.

Kazakhstan is not unaffected by the problem of ensuring the socio-economic equitability of the energy transition. An ISTC project proposal currently under consideration aims to support technical and economic research of the concept of combined heat plant reconstruction in the country, including the replacement of coal power steam boilers with small modular reactors. The study will also review the advantages and evaluate the technical and economic performance of existing SMR technologies. It will also examine the state of affairs in the thirty-seven cogeneration plants in Kazakhstan. Three quarters of these have operated for over fifty years, and the rest for over thirty years, resulting in an average wear-and-tear rate of seventy percent for these power generating units. The recommendations will also present options for the retention of jobs in the power industry, and the related capacity building.

Another ISTC project envisages the creation in Kazakhstan of a SMR regional information and training hub, based on an SMR simulator. Its activities will include safety demonstrations, studies of challenges and opportunities related to safety by design, such as design simplification, integration, modularity and new SMR deployment models. In addition, it will help address emergency preparedness and response for new SMR deployment models and explore technical solutions to cope with specificities of safeguards implementation for SMRs.

The fourth requirement for successful transition to nuclear energy is sustainability. This implies a commitment to safe, secure, and sustainable management of spent nuclear fuel, radioactive waste, and decommissioning of nuclear facilities. Like elsewhere, the government of Kazakhstan should be responsible for ensuring that safety standards and regulatory requirements are followed in waste management and decommissioning activities to minimize environmental and health risks.

Kazakhstan has achieved a solid and reliable nuclear infrastructure development that provides an enabling environment facilitating the deployment of SMRs. If chosen, this path includes integration of SMRs into energy systems with special attention to existing and potential new electricity grids, capacity building, and stakeholder engagement. Further efforts may be needed to complete financial assessments, cost and economic appraisals, contracting approaches, and revenue models for demonstrating viable business models.

The improvement of the national infrastructure will also likely include further intensive international cooperation for harmonization and standardization. One excellent example for the sustainability of Kazakhstan's approach to nuclear energy production is the World Nuclear Fuel Cycle 2024 (WNFC 2024) conference convened in Almaty by the Nuclear Energy Institute and World Nuclear Association. The forum offers an opportunity to provide a current overview of the global nuclear energy industry, including license renewals, new builds, energy independence, emerging markets, security of supply and fuel procurement strategies. Discussion will also cover the operation, maintenance and decommissioning of SMRs, waste generation and management, including transport of SMR spent fuel and waste.

Kazatomprom has the potential to make leading-edge contributions on topics such as uranium market dynamics, fuel fabrication innovations, spent fuel disposal issues (including on-site storage), and nuclear materials transportation, including transportation packages. Kazakhstan is one of the leading nations in the latter area, chairing the railroad transportation safety working group at the Nuclear Security Summits, while the groups on the rest of the modes of transportation (by sea, air and road) were presided over by the UK, US, and Japan, respectively.

Some WNFC 2024 themes may become emblematic for the Kazakhstan's approach to nuclear energy, just as Finland's signature approach has become with regards to waste treatment. On a larger scale, Kazakhstan could replicate the UAE's remarkable success story in deploying nuclear energy as a cornerstone of the national sustainable energy strategy, demonstrating leadership and innovation in the Central Asian energy sector.

Last but not least, successful nuclear energy production depends on adequate investment in nuclear education, research, and workforce development to ensure the availability of skilled professionals for the nuclear sector.

Kazakhstan can tap into a large reservoir of skilled professionals and nuclear experts. By way of example, it suffices to refer to the members of the Nuclear Society of Kazakhstan, who have for years educated the public, especially women and youth, about the advantages and prospects for the development of nuclear and radiation technologies.

In a recent move towards bolstering the country's nuclear capabilities, the Institute of Nuclear Physics and several leading educational institutions in Kazakhstan, namely the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, and Kazakh National Research Technical University announced joint bachelor and master degrees programs on the training of specialists in crucial fields: nuclear physics and technology, nuclear energy, nuclear reactors and materials, and nuclear engineering.[4]

Equally important are the life-long learning and career advancement opportunities Kazatomprom offers to its twenty thousand plus employees. The company funds the Kazakhstan Nuclear University that provides educational services, primarily for training and retraining of personnel employed at uranium mining companies. Kazatomprom also supports scientific research conducted by three scientific centers: the Institute of High Technologies, the Scientific Center of Ulba Metallurgical Plant JSC and Central Experimental and Methodical Expedition of Volkovgeology JSC.

For its part ISTC also facilitates international cooperation with Kazakh universities in nuclear science and nonproliferation education. One example of encouragement of doctoral and post-doctoral mobility to European universities is the PhD Grant awarded annually by ISTC. This year Znanat Baigazinov, a young researcher from the Shakarim State University of Semey, graduated as the first holder of a joint PhD degree by his home university and the Institute of Radiochemistry and Radioecology of the University of Pannonia in Hungary.

On the other hand, ISTC is proud of its proven partnership with the Kazakhstan Nuclear Power Plant, the

[4] Kazakhstan's Institute of Nuclear Physics to train future nuclear plant personnel,10 February, https://daryo.uz/en/2024/02/10/kazakhstans-institute-of-nuclear-physics-to-train-future-nuclear-plant-personnel

organization led by Dr Timur Zhantikin, which is preparing the feasibility studies to justify the need for nuclear power, the choice of the site for NPP plant construction and the plant's technology design. At the same time, Dr Zhantikin was the key subject matter expert at the EU-funded ISTC-implemented project Support to Southern African States (SADC) in Nuclear Safety and Safeguards, sharing with African partners the expertise he has accumulated throughout the years he headed the Kazakh nuclear regulator, the Committee of atomic and energy supervision and control. Dozens of African colleagues from the SADC Nuclear Regulators' Network appreciated his advice on sub-regional cooperation on uranium mining and milling legacy issues, transportation safety of radioactive material, and knowledge and information management. This project was a convincing example of the successful 'export' of Kazakh nuclear safety knowhow, capacity building, adequate stakeholders' engagement, and compliance with relevant international conventions and regimes.

Kazakhstan has consistently aimed to play a positive role in regional and international (nuclear) diplomacy and, in particular, in the development of cooperative mechanisms to advance nonproliferation treaties and norms. One of the most successful examples is the northern hemisphere's first nuclear weapons-free zone, the one in Central Asia, coupled with Mongolia's proclamation of its territory as a NWF area. The Semipalatinsk Treaty is a legally binding commitment by Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan, and Uzbekistan not to manufacture, acquire, test, or possess nuclear weapons. All of the five permanent members of the UN Security Council except the United States have ratified and deposited the Treaty protocols on negative guarantees.

Thus the Nuclear-Weapon-Free Zone in Central Asia (CANWFZ), was designed to reinforce the global nuclear nonproliferation system and safeguard the security of five key central Asian states that were once part of the Soviet Union and that now lie between nuclear-armed Russia, China, Pakistan and India. The Central Asian zone joins four other zones covering Latin America and the Caribbean, Africa, the South Pacific, and Southeast Asia. These are important mechanisms through which participating states adapt in the shadow of crises and deep divisions.

In the opinion of many academics and diplomats, the United States can and should move expeditiously to ratify the protocol to the CANWFZ treaty, to solidify legally binding negative security assurances against nuclear threats or attacks for key partners in Central Asia and to strengthen the global nuclear nonproliferation system.[5] Under the terms of the Treaty, the Central Asian states will be the first countries in the world legally bound to adhere to enhanced the IAEA Additional Protocol on safeguards on their civilian nuclear assets. At present Kazakhstan remains the only CIS country that concluded such an arrangement with IAEA. The Semipalatinsk Treaty also requires its States Parties to meet international standards for the physical protection of nuclear material, preempting the danger that Central Asia could become a transit corridor for smuggling of nuclear materials.[6]

Policymakers, experts, practitioners, and scholars in Kazakhstan continue to discuss the prospect of becoming a (re-)emerging nuclear energy producer. Momentum is gradually growing towards the overcoming of divergences on the way to a new consensus. Sound analyses have provided convincing evidence that it is logical for the world's largest uranium exporter to re-start using nuclear power at home, and thus to succeed in modernizing its industry and the nation's overall wellbeing in an environmentally friendly manner. The dilemmas Kazakhstan faces are not only technological but also geopolitical in nature, and they should not divert the country from the balanced and pragmatic course it has followed thus far in its international relations.

[5] The Case for Senate Action on the Protocol to the Central Asian Nuclear-Weapon-Free Zone, Arms Control Today, Volume 16, Issue 2, Feburary 9, 2024

[6] Central Asia Becomes A Nuclear-Weapon-Free-Zone, William Potter, Togzhan Kassenova, Anya Loukianova, December 11, 2008, https://nonproliferation.org/central-asia-becomes-a-nuclear-weapon-free-zone/

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Заборский А.В.[1], Шаньшина Т.В.[2], Верменичева И.А.[2]
[1]ООО Fortis Instruments South, г. Ташкент, Узбекистан
a.zaborskii@fortisinstruments.com
[2]ООО НПП ГАММА, г. Алматы, Казахстан
sales@npp-gamma.kz

Аннотация. Рассмотрены некоторые оборудование и системы радиационного контроля и их программное обеспечение, выпущенные и/или модифицированные одним из мировых лидеров в области измерений ионизирующего излучения – группой компаний «Mirion Technologies» – за период с января 2021 по март 2024 гг.

Ключевые слова. Оборудование и системы радиационного контроля, Mirion Technologies, современные технологии, ориентация на потребителя, улучшение.

MODERN TECHNICAL SOLUTIONS TO SOME RADIATION CONTROL PROBLEMS

Zaborskii A.V.[1], Shanshina T.V.[2], Vermenicheva I.A.[2]
[1]Fortis Instruments South LLC, Tashkent, Uzbekistan
a.zaborskii@fortisinstruments.com
[2]NPP GAMMA LLC, Almaty, Kazakhstan
sales@npp-gamma.kz

Abstract. Some radiation monitoring equipment and systems and its software released and/or modified by one of the world leaders in the field of ionizing radiation measurement – group of companies «Mirion Technologies» – for the period from January 2021 to March 2024 are considered.

Keywords. Radiation monitoring equipment and systems, Mirion Technologies, modern technologies, customer focus, improvement.

Формулировка проблемы

Согласно данным Министерства энергетики Республики Казахстан (далее РК) [1] об урановой промышленности: с 2009 РК стал и остается мировым лидером по добыче урана (около 45% в 2020), так по итогам 2022 было добыто 21 300 тонн урана. Не имея собственного рынка сбыта продукции ядерного топливного цикла (далее ЯТЦ), а экспортируя добытый уран на мировой рынок (в первую очередь в Китай, Францию, Россию и Канаду), РК инвестирует в те стадии дореакторного ЯТЦ, которые могут обеспечить долгосрочный и значительный рост добавленной стоимости.

Согласно Классификатору ОКЭД (НК РК 03-2019) деятельность «Добыча урановой и ториевой руды» включена в отрасль «Горнодобывающая промышленность и разработка карьеров», а отрасль «Обрабатывающая промышленность» помимо прочего включает деятельность по переработке урановой руды [2]. Агентство по стратегическому планированию и реформам РК (далее Агентство) сообщает [2], что эти две отрасли за 2022 выбросили в атмосферу более миллиона тонн веществ (твердых, жидких и газообразных), что составило более 47% от всех выбросов. Отметим, что крайне опасными для человека, являются выбросы радиоактивных веществ. Агентство также сообщает [2], что за 2022 затраты на охрану окружающей среды потрачено 444 миллиарда тенге, 880 миллионов из которых – на радиационную безопасность (исключая вопросы внешней государственной безопасности).

Охрана окружающей среды, благоприятной для жизни и здоровья человека, является закрепленной в Конституции целью РК [3]. Законы РК «О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии», а также, например, Экологический Кодекс РК, помимо прочего, регулируют общественные отношения в различных областях деятельности с общей конечной и всегда актуальной целью охраны окружающей среды, а также жизни и здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения.

Материалы и методы

Компания ООО Fortis Instruments South (Узбекистан) и ее материнская компания Radico Technologies Entreprise SAS (Франция, radicotech.com) являются разработчиками, изготовителями и поставщиками собственных оборудования и систем радиационного контроля, а также эксклюзивными представителями ведущего изготовителя оборудования радиационного контроля – группы компаний

Mirion Technologies [4]- на территории РК, а также других стран и проектов (Армения, Азербайджан, Беларусь, Эстония, Грузия, Кыргызстан, Латвия, Литва, Пакистан, Россия, Таджикистан, Туркменистан, Украина, Узбекистан, международные проекты российской Госкорпорации «Росатом»). Компания НПП Гамма (РК, npp-gamma.kz) в свою очередь авторизована на поставку спектрометрического оборудования компании Mirion Technologies Inc. для конечных пользователей в РК.

С целью продемонстрировать современные технические решения в данной работе рассматриваются оборудование и программное обеспечение (далее – ПО), выпущенные или модифицированные компанией Mirion Technologies, начиная с 2021:

1. RDS-32 (изображения 1-3) – дозиметр, предназначенный для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (H*(10): 0.05 мкЗв/ч..10 Зв/ч) и амбиентного эквивалента дозы (H*(10): 0.1 мкЗв..10 Зв) фотонного излучения. Может быть оснащен выносными блоками детектирования GMP-12/GMP-25 или любыми из семейства CSP (Canberra Smart Probes) для измерения мощности дозы фотонного и нейтронного излучений, а также альфа- и/или бета-загрязнений.

В конце 2022 функционал расширен одноименным ПО RDS-32 для смартфонов (App Store/Google Play): дозиметр подключается по Bluetooth, ПО отображает данные с дозиметра и позволяет включить дозиметр в систему осведомленности о радиационной ситуации в режиме реального времени на базе ПО SpirVIEW Mobile. С начала 2024 дозиметр доступен в качестве полезной нагрузки радиационной разведки для дрона внутренний инспекции Flyability Elios 3.

Изображение 1–
Дозиметр RDS-32 в руке

Изображение 2 –
Дозиметр RDS-32 с некоторыми
внешними блоками детектирования

Изображение 3 –
Дозиметр RDS-32 с подключенным
нейтронным блоком детектирования SN-D-2

2. Aegis (изображения 4–6) – портативный многозадачный гамма-спектрометр высокого разрешения с кристаллом из особо чистого германия (далее – ОЧГ). Основные особенности:

- электрический криостат без термоцикла для быстрого и простого развертывания,
- энергетическое разрешение лабораторного уровня (для BE5030: 1 кэВ при 122 кэВ),
- на выбор большой коаксиальный кристалл с относительной эффективность 40% или планарный BE5030 для регистрации фотонов с энергией от 15 кэВ,
- опция RDC (Remote Detector Chamber) для защиты детектора со стороны устройства,
- спектрометр конструкции «все в одном» для удобства использования,
- IP 65, температура окружающего воздуха при охлаждении детектора от -20 до +50 C,
- управление спектрометром с компьютера или планшета с ПО Genie посредством Ethernet или Wi-Fi для удаленного управления,
- дополнительное ПО LabSOCS для калибровки по эффективности без использования источника.

В середине 2023 выпущена новая версия ПО Genie 4.0 – результат 40-летнего опыта Mirion Technologies в поддержке комплексных потребностей в спектроскопии заказчиков более чем в 90 странах мира. Основные новшества:

- новые интерактивные отчеты,
- улучшенная формула расчета неопределенности корреляций,
- новая формула калибровочной кривой ПШПВ,
- поддержка скриптов на языке Python для гибкой автоматизации,
- поддержка файлов формата N42,
- модель дистрибуции с возможностью подписки на 1 или 3 года для снижения первоначальных затрат, предсказуемого бюджета и постоянной поддержки.

Изображение 4 –
Спектрометр Aegis с опцией RDC и планшетом для управления

Изображение 5 –
Спектрометр Aegis с мобильной защитой

Изображение 6 –
Спектрометр Aegis со стационарной защитой

3. AccuRad PRD (изображения 7–8) – дозиметр типа PRD (Personal Radiation Detector), первый в мире разработанный в сотрудничестве с экстренными службами и правоохранительными органами, получивший награду “iF Design Award 2021” и мировое признание (выпущенный в 2019 к августу 2023 продан в количестве более 15 000 экземпляров), предназначенный для широкого спектра задач – от поиска скрытых ИИИ до реагирования на ядерную аварию, используемый для обеспечения безопасности на общественных мероприятиях, защиты критической инфраструктуры, пограничной безопасности, работы экстренных служб. Базовый функционал может быть расширен картографированием при работе с ПО SpirVIEW Mobile, а также тренировкой работы без использования источников (AccuRad PRD-SIM Kit и опционально PlumeSIM). Диапазон от 25 кэВ до 3 МэВ, сигнализирует при 0,5 мкЗв/ч в течение 2 секунд, до 10 Зв/ч, ±20% (Cs-137, Am-241).

Изображение 7 –
AccuRad PRD

Изображение 8 –
Система осведомленности о радиационной ситуации в режиме реального времени на базе ПО SpirVIEW Mobile с (слева направо): SPIR-Pack, AccuRad PRD, SPIR-Ident Mobile, SPIR-Ace

4. Hyperion Compact (изображения 9-10) – радиационно-стойкая камера второго поколения, вышедшая в начале 2022 как улучшение предшествующей ей камере Hyperion, с:

- высокой радиационной стойкостью (до 1 МГр общей дозы),
- низкой стоимостью владения (длинный срок службы и минимальное обслуживание),
- возможностью работы в воздухе или под водой (до 60 м, IP68),
- цифровым цветным или монохромным исполнением,
- возможностью исполнения с углами наклона/поворота +/- 158 градусов,
- работа при температурах от 0 до 62,5 (без фонарей) или 55 (с фонарями) С.

Изображение 9 –
Камера Hyperion Compact (до 1 МГр, цветная)

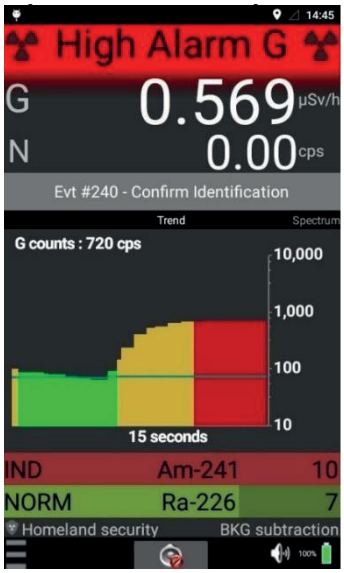
Изображение 10 –
Камера R981 (до 1 МГр, монохромная)

5. SPIR-Ace (изображения 11-12) – дозиметр-спектрометр типа RIID (Radio Isotope Identification Device) с:

- NaI(Tl) ∅35 x 51 мм или $LaBr_3$(Ce) ∅ 25.4 x 34 мм сцинтилляционным детектором,
- быстрым и точным детектированием, локализацией и идентификацией радионуклидов,
- возможностью количественного анализа с ПО Genie, в т.ч. возможностью характеризации детектора и работы с ПО LabSOCS для калибровки по эффективности без использования источника,
- возможностью работы в загрязненных условиях и резким измерением температуры, благодаря LED-стабилизации, не требующей источника,
- удаленное управление (напр., для мест с высоким уровнем радиации).

Как и у вышеупомянутых RDS-32 и AccuRad PRD функционал может быть расширен картографированием при работе с ПО SpirVIEW Mobile.

Изображение 11 –
SPIR-Ace RIID



Изображение 12 –
Один из экранов пользовательского интерфейса SPIR-Ace с краткими пояснениями (справа)

6. HT IONIX (изображения 13–14) – пробоотборник трития в водной (HTO) и газообразной (HT) формах с эффективностью более 95%.

Изображение 13 –
Пробоотборник трития HT ionix

Изображение 14 –
Портативный монитор трития β ionix

7. MicroGe (изображения 15-16) – компактный (245 x 71 x 66 мм) ОЧГ-детектор с кристаллом ∅ 10 x 10 мм и электрическим охлаждением

Изображение 15 –
Компактный ОЧГ-детектор MicroGe

Изображение 16 –
Компактный гамма-спектрометр на базе детектора MicroGe, станции питания, многоканального анализатора DSA-LX и ноутбука с ПО Genie

8. Лабораторные ОЧГ-гамма-спектрометры (изображения 17–19).

Наравне с выпуском новых ОЧГ-гамма-спектрометров, упомянутых выше (Aegis, MicroGe), в 2023 были модернизированы компоненты флагманского продукта – гамма-спектрометров высокого разрешение на базе ОЧГ-кристаллов для лабораторных исследований:

 iPA – интеллектуальный предусилитель для ОЧГ-детекторов, в который добавлена возможность измерения точного уровня жидкого азота в сосудах Дьюара гамма-спектрометров с азотным охлаждением,

 LYNX II – новый и самый продвинутый на начало 2024 многоканальный (32 000 каналов) анализатор на базе улучшенной технологии DSP (Digital Signal Processing).

Изображение – 17
ОЧГ-гамма-спектрометры (различные криостаты и детекторы)

Изображение – 18
Интеллектуальный предусилитель iPA

Изображение – 19
Многоканальный анализатор Lynx II

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим, что в данной работе приведены лишь некоторые новинки и улучшения оборудования Mirion Technologies начиная с 2021. Так стоит упомянуть еще и о:

- выпуске платформы для непрерывного спектрометрического мониторинга **Data Analyst**,
- модификацию по оснащению дозиметра **DMC 3000** Bluetooth-модулем,
- выпуск системы RTLS (Real-Time Location System) аппаратного и программного обеспечение **Orion**,
- модификации по новому исполнению **RTM644-Smart** большого монитора для паспортизации и вывода в свободное обращения отходов RTM644lnc.

Компания Mirion Technologies непрерывно исполняет собственную миссию «Использовать свои знания об ионизирующем излучении на благо человечества» и руководствуется своими ценностями «ICARE» (Integrity, Commitment, Accountability, Respect, Exploration), постоянно выпуская новые передовые и модифицируя имеющиеся оборудования и системы радиационного контроля на базе собранных и проанализированных запросов и предложений конечных пользователей.

На сегодняшний день компания Mirion Technologies обладает достаточными научными и техническими компетенциями, а также имеет в своем портфеле продукты и технические средства, необходимые для удовлетворения потребностей урановой промышленности РК и готово предложить самые современные и передовые технические решения в области радиационного контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/activities/directions?lang=ru
2. https://stat.gov.kz/ru/
3. https://www.akorda.kz/ru/official_documents/constitution
4. https://www.mirion.com/

СОРБЦИЯ УРАНА ИЗ РАСТВОРА МОДЕЛИРУЮЩЕГО СОСТАВ ВОДЫ В ТОЛЩЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯР»

Коровин В.[1], Погорелов Ю.[2], Шестак Ю.[1], Валяев А.[1]
[1]Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной Академии наук Украины, г. Днепр, Украина
[2]Днепровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

Аннотация. Приведены результаты исследования сорбционного извлечения урана из раствора, моделирующего радиоактивно загрязненные подземные воды хвостохранилища «Центральный Яр» Производственного объединения "Приднепровский химический завод". В работе использованы ионообменные смолы производства АО «Смолы», Lanxess, Purolite и DuPont. Равновесное распределение урана изучали в статическом режиме методом различных навесок. Концентрацию урана в водной фазе измеряли фотоколориметрическим методом с индикатором арсеназо III. Экспериментальные данные обработаны уравнением Генри. Установлено, что коэффициент распределения урана снижается в следующей последовательности: Lewatit MDS TP208 (39450) > Puromet MTA 6002 (16250) > АМ-п (13880) > Puromet MTS9300 (14310) > АМП (12310) > Ambersep 920U (9010) > АМ-п-2 (6930) > Lewatit MonoPlus M 500 (6610) > Purolite A530E (3830) > Purolite C-115 (1580) > Lewatit CNP-80 (1110).

Ключевые слова: хвостохранилище, подземные воды, уран, модельный раствор, сорбция.

URANIUM SORPTION FROM THE SOLUTION SIMULATING WATER COMPOSITION IN THE CENTRALNY YAR RADIOACTIVE WASTE TAILING SITE

Производственное объединение «Приднепровский химический завод» (ПО «ПХЗ») являлось одним из первых предприятий на территории бывшего Советского Союза по переработке различных урановых руд и концентратов. В течение многих лет предприятие было базовым по отработке гидрометаллургических технологий извлечения урана. За период работы предприятия (1948–1991 гг.) было образовано 9 хвостохранилищ, в которых находится 42 млн тонн радиоактивных отходов с общей активностью $2{,}7\cdot10^{15}$ Бк [1].

В 1992 году урановое производство на ПО «ПХЗ» было прекращено, однако урановый комплекс предприятия не был выведен из эксплуатации в соответствии с действующими на то время нормативными документами по выводу радиационно-опасных объектов [2, 3]. В последствие это привело к частичному разрушению защитных барьеров хвостохранилищ и распространению загрязнения во внешнюю среду.

Хвостохранилище «Центральный Яр» находилось в эксплуатации с 1950 по 1954 г. Площадь составляет 24 тыс. $м^2$, объем отходов $0{,}13\cdot10^6$ $м^3$, масса $0{,}22\cdot10^6$ тонны, общая активность $1{,}04\cdot10^{14}$ Бк. Расположено в овраге

террасы реки Днепр, перегороженной дамбой, глиняный барьер дна отсутствует. Захоронение отходов осуществлялось методом сухого и гидравлического заполнения, толщина слоя колеблется от 1–2 до 17,4 м и в среднем составляет 8,0 м. Поверхность отходов перекрыта пластом насыпных грунтов (суглинки, супески) толщиной 0,5–3,5 м.

Отличительной особенностью хвостохранилища является то, что отходы имеют, кислую реакцию (pH=2,5–4,0). По-видимому, это связано с недостаточной нейтрализацией пульпы после переработки. Согласно данным мониторинга [4], сделан вывод о протекании активных процессов выщелачивания урана из тела хвостохранилища и его способности мигрировать в грунтовые воды.

В работе представлены результаты исследования сорбционного извлечения урана из раствора, моделирующего радиоактивно загрязненные подземные воды хвостохранилища «Центральный Яр».

Экспериментальная часть

В работе использованы ионообменные смолы производства АО «Смолы» (АМ-п, АМ-п-2, АМП), Lanxess (Lewatit MDS TP 208, Lewatit CNP 80, Lewatit MonoPlus M 500), Purolite (Purolite C115, Puromet MTS9300, Puromet MTA6002PF, Purolite A530E) и DuPont (Ambersep 920U).

Раствор, моделирующий радиоактивную воду в теле хвостохранилища «Центральный Яр» [5] готовили растворением нитрата уранила и соответствующих солей в дистиллированной воде. Состав раствора: U – 15,0 мг/дм^3, NO_3^- – 7,81 мг/дм^3, $MgCl_2$ – 93,3 мг/дм^3, $CaCl_2$ – 332 мг/дм^3, KCl – 19,1 мг/дм^3, $MgSO_4$ – 1535 мг/дм^3, Na_2SO_4 – 297 мг/дм^3, H_2SO_4 – 68,4 мг/дм^3, pH = 3,0. Реагенты имели квалификацию не ниже "х.ч.".

Равновесное распределение урана изучали в статическом режиме методом различных навесок путем контактирования навески сорбента с 20 см^3 модельного раствора в течение 24 часов при температуре 20±2 °С с использованием встряхивателя с регулируемой температурой типа 357 (Elpan).

Концентрацию урана в водной фазе определяли фотоколориметрическим методом с индикатором арсеназо III с помощью спектрофотоколориметра SPEKOL 11 в кювете толщиной 10 мм при длине волны 655 нм.

Массовую долю влаги сорбентов определяли путем сушки при температуре 105 °С до постоянной массы в сушильном шкафу MLW WS 100 и взвешивания на аналитических лабораторных весах Axis ANG220C.

Кислотность растворов измеряли с использованием комбинированного стеклянного электрода ЭСК-10603/7 и pH-метра ОР-211/1.

Результаты и обсуждение

Равновесную емкость сорбентов (q, мг/г) определяли по разности концентрации урана в растворе до и после сорбции в пересчете на абсолютно сухой вес смолы.

Экспериментальные данные сорбции урана из модельного раствора были обработаны уравнением Генри, наиболее адекватно описывающим сорбцию при низких равновесных концентрациях компонента.

Аппроксимацию экспериментальных данных проводили с помощью программного пакета OriginPro 2016. Результаты обработки приведены в Таблице.

Таблица 1 – Параметры изотермы Генри

Сорбент	Изотерма Генри, дм^3/г	Коэффициент детерминации R^2
Сорбенты с четвертичными аммониевыми группами		
Puromet MTA 6002 PF	$q = 16{,}25 \cdot [U_p]$	0,968
Ambersep 920U	$q = 9{,}01 \cdot [U_p]$	0,931
Purolite A-530	$q = 3{,}83 \cdot [U_p]$	0,999
Lewatit MonoPlus M-500	$q = 6{,}61 \cdot [U_p]$	0,997
АМ-п-2	$q = 6{,}93 \cdot [U_p]$	0,959
АМ-п	$q = 13{,}88 \cdot [U_p]$	0,922
Сорбент с бензилпиридиниевыми группами		
АМП	$q = 12{,}31 \cdot [U_p]$	0,989
Сорбенты с карбоксильными группами		
Purolite C115	$q = 1{,}58 \cdot [U_p]$	0,980
Lewatit CNP 80	$q = 1{,}11 \cdot [U_p]$	0,993
Сорбенты с иминодиацетатными группами		
Lewatit MDS TP 208	$q = 39{,}45 \cdot [U_p]$	0,972
Puromet MTS9300	$q = 14{,}31 \cdot [U_p]$	0,946

Как видно из полученных данных, равновесие в изученном диапазоне концентрации урана с высоким коэффициентом детерминации (R^2) описывается уравнением Генри.

Коэффициент распределения урана (K_d, см^3/г), рассчитанный из константы Генри, снижается в следующей последовательности: Lewatit MDS TP208 (39450) > Puromet MTA 6002 (16250) > АМ-п (13880) > Puromet MTS9300 (14310) > АМП (12310) > Ambersep 920U (9010) > АМ-п-2 (6930) > Lewatit MonoPlus M 500 (6610) > Purolite A530E (3830) > Purolite C-115 (1580) > Lewatit CNP-80 (1110).

Наибольшую емкость имеют сорбенты с иминодиацетатными группами, наименьшую – сорбенты с карбоксильными. Величина коэффициента распределения для анионита АМ-п-2 коррелирует со значением, полученным нами ранее в работах [6, 7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Korovin V., Korovin Yu., Laszkiewicz G. [et. al.]. Problem of radioactive pollution as a result of uranium ores processing // Scientific and Technical Aspects of International Cooperation in Chornobyl. – Slavutych, 2001. – p. 469–476.

2. Коровин Ю.Ф. От Урала до Днепра: Художественно-документальные воспоминания. – Днепр, Литограф, 2017. – 309 с. ISBN 978-617-7540-08-2.

https://drive.google.com/file/d/1OWC5La2MVHrPCGmy4fYeHNn3t8qOzozG/view?usp=drive_link

3. Ткаченко Ю. Придніпровський хімічний завод – уранова спадщина України. Осло: Bellona Foundation, 2020. –132 с.

4. Бугай Д.О., Заноз Б.Ю., Лаврова Т.В. [та ін.]. Розвиток системи моніторингу підземних вод у зоні впливу об'єктів спадщини уранового виробництва Придніпровського Хімічного Заводу // Геологічний журнал. – 2021. – № 4. – С. 56-70. DOI:

5. Korychenskyi K.O., Laptev G.V., Voitsekhovich O.V. [et. al.]. Speciation and mobility of uranium in tailings materials at the U-production legacy site in Ukraine // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2018. – Vol. 19. – No. 3. – p. 270–279. DOI:

6. Коровин В.Ю., Валяев А.М., Зонтов А.В., Зонтова Л.В. Оценка возможности извлечения урана (VI) анионитом АМ-п-2 из грунтовых вод хвостохранилища «Центральный Яр» // Тез. докл. XXVI ежегодной научной конференции Института ядерных исследований НАН Украины, Киев, 8–12 апреля 2019 г. – с. 176–177.

7. Korovin V., Valiaiev O., Zontov O. [et. al.]. Uranum (VI) sorption from sulfuric solutions by AM-p-2 anionite // International Conference "Essays of Mining Science and Practice", June 25–27, 2019, Dnipro. E3S Web of Conferences 109 (2019) 00039. DOI:

CRITICAL RAW MATERIALS FOR LOW-CARBON TECHNOLOGIES: ADVANCING SUPPLY STABILITY VIA CIRCULAR ECONOMY IMPLEMENTATION

Anjali Singh
Climate Change, Urbanization and Sustainability Indian Council for Research on International Economic Relations, New Delhi-110017, INDIA
asingh@icrier.res.in, м +91-8970358107

Countries worldwide are crafting plans to reach net zero emissions by embracing energy-efficient routes and decreasing reliance on fossil fuels. In our interconnected global landscape, the need for crucial raw materials has skyrocketed, driven by swift industrial growth and technological progress. These vital resources, also referred to as strategic or essential minerals, are indispensable for manufacturing high-tech products, renewable energy systems, and myriad other uses. Yet, the traditional linear economic approach [1], marked by resource extraction, utilization, and disposal, is proving unsustainable and presents notable obstacles concerning resource access and environmental harm.

As India endeavours to boost its economic expansion to achieve a 7% growth rate and ascend to a $7 trillion global economy [2], it confronts an urgent requirement to tackle the sustainable handling of essential raw materials. Embracing the circular economy offers a hopeful framework [3] to tackle these hurdles by advocating for the effective utilization, recycling, and repurposing of resources. This approach diminishes reliance on primary raw material extraction and curtails waste production, thereby aligning with India's developmental goals and sustainability targets.

We conduct a criticality assessment on the raw materials employed in low-carbon technologies such as solar, wind, battery storage, and hydrogen production, aiming to pinpoint the essential resources and primary drivers for achieving net-zero emissions by 2070. Employing an applied statistical ranking methodology (qualitative approach), our study evaluates the criticality of these materials. We present the projected demand for critical raw materials in India's pursuit of net-zero emissions through low- carbon technologies. Furthermore, we explore the pivotal role that the circular economy can play in ensuring the sustainable supply of critical raw materials for decarbonization efforts.

[1] E. Purwanto and T. Prasetio, "Changing the Paradigm of a Linear Economy into a Circular Economy in Residential Waste Management," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.,* vol. 945, no. 1, p. 012054, Dec. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/945/1/012054.

"India likely to become a $7 trillion economy by 2030, says CEA Nageswaran," *Bussiness Today,* Jan. 31, 2023. [Online]. Available: https://www.businesstoday.in/latest/economy/story/india-likely- to-become-a-7-trillion-economy-by-2030-says-cea-nageswaran-368315-2023-01-31

A. Cimprich *et al.,* "The role of industrial actors in the circular economy for critical raw materials: a framework with case studies across a range of industries," *Miner. Econ.,* vol. 36, no. 2, pp. 301319, Jun. 2023, doi: 10.1007/s13563-022-00304-8.

БЕЗОПАСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЫВШИМ УРАНОВЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ, УРАН И ДРУГИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Дженбаев Б.М.[1], Джаманбаева З.А.[1], Жалилава А.А.[2], Айтикеев Н.Ж.[3]
[1]Институт биологии Национальной Академии наук Кыргызской Республики, Кыргызстан, 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265
[2]Роэль Метрополитен Университет, Московская, 172, Бишкек КР,
[3]Джалал-Абадский государственный университет имени Б.Осмонова, ул.Ленина 25, г. Джалал-Абад, КР:
kg.bek.bm@bk.ru, kg.bek.ilim@gmail.com, Tel.996 312 640164

Кыргызстан был крупнейшим производителем урана и тория для бывшего СССР (1946-1968). После развала СССР в Кыргызстане осталось: 55 хвостохранилищ с более 132 млн. м^{3}объемом на площади 770 га и 85 горных отвалов с объемом 700 м^3 занимающую площадь свыше 1500 га. Также для хранения урановые отходы привозили из других стран: Германии, Чехии, Словакии, Болгарии, Китая и Таджикистана. Комплекс хвостохранилищ в основном занимают районы рудниковых месторождений (Майлуу-Суу, Мин-Куш, Кара-Балта, Каджи-Сай, Ак-Тюз и Шакафтар) и основные объекты размещены в пределах населенных пунктов, предгорные территории и в бассейнах трансграничных рек. На территории Кыргызстана также проводились переработки урановых руд на «Кара-Балтинском горнорудном комбинате», где перерабатывали урановые породы из Казахстана. При проектировании и заложении хвостохранилищ в советское время не были учтены долгосрочные мероприятия по защите от действий природных процессов (1, 2, 4).

Известно, что Кыргызская Республика - горная страна, 94,2% ее территория расположена свыше 1000 м над уровнем моря, а 4,08% - более 3000 м. Поскольку все горные территории малопригодны для земледелия, развитие горнодобывающих компаний в горных странах представляют особенно серьезную угрозу. Даже в штатном режиме добыча и первичная доработка ископаемого сырья часто являются мощным источником загрязнения: воздуха и природных вод; отравой самого разного рода (включая чрезвычайно ядовитые соединения тяжелых металлов; РН, диоксины, цианиды и пр.), пылью (нередко также ядовитой), а также шумового и теплового загрязнения; нередки аварии и катастрофы. Последствия разработки урана ощущает не только Кыргызстан, также Узбекистан (хвостохранилища Майлуу-Суу расположены в оползнеопасной зоне) и Казахстан (хвостохранилища в Ак-Тюзе несут постоянную угрозу). Поскольку не было надлежащих правил, которые могли предусмотреть вывод из эксплуатации хвостохранилища и остатки долгоживущих радиоактивных и высокотоксичных загрязнителей, по-прежнему, серьезно угрожают здоровью населения и окружающей среде, актуальными являются проблемы приведения таких объектов в экологически безопасное состояние, необходима выработка мер по управлению, экологическая реабилитация (6, 7, 8).

В настоящее время при естественных погодных условиях и антропогенных воздействиях на хвостохранилищах и горных отвалах проводятся аварийно-восстановительные работы и дополнительные обследования, а также перенос на более безопасные местности радиационно опасных объектов. Создана «Государственная Программа по радиационному мониторингу» и другие мероприятия с поддержкой международных организаций и фондов.

В целом, на территории Кыргызской Республики урановые месторождения широко распространены и встречаются во всех областях. Общий запас и прогноз на ресурсы по урану составляет в Кыргызстане свыше 30 тысяч тонн (К. Ибраев, Kaktus.7 мая 2019). Однако, крупных месторождений не осталось, есть только средние и мелкие, к средним уран-торианитовым месторождением относятся Сары-Джаз 8-10 тысяч тонн и Кызыломпольское месторождение (Таш-Булак) на 13-15 тысяч россыпных ископаемых (3, 4).

1. Васильев И. А. (2006) Радиоэкологические проблемы уранового производства. Бишкек: Илим, 107 с.

2. Дженбаев Б.М., Калдыбаев Б.К., Жолболдиев Б.Т. (2013) Проблемы радиоэкологии и радиационной безопасности бывших урановых производств в Кыргызстане. *Радиационная биология. Радиоэкология*. **53** (4), 428–431.

3. Никоноров В.В. Рудные месторождения Кыргызстана. – Б., 2009. –482 с.

Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. – Бишкек: Илим, 2009. – 240 с.

Djenbaev B.M., Karmisheva U., Tilenbaev A. Modern hydrochemical condition of river Mailuu-Suu and environmental problems of the Fergana Valley /Uranium Mining and Hydrogeology. 2014 (UMH VII), Freiberg, German. P.73–78. https://www.researchgate.net/publication/266388688_Uranium_-_Past_and_Future_Challenges

4. Djenbaev B.M., Shamshiev A.B., Jolboldiev B.T. et al. The biogeochemistry of uranium in natural-technogenic provinces of Issik-Kul // Uranium, Mining and Hydrogeology. – 2008. – P. 673–681.

5. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Kabirova G.M. at al. (2016) Radionuclides and toxic chemical elements in the transboundary «Kyrgyzstan - Kazakhstan» rivers. *Radioanal. Nucl. Chem*. 2 (309), 115–124.

ADVANCED REACTOR 3S (SAFETY, SECURITY, SAFEGUARDS) AND WASTE MANAGEMENT FOR EMERGING NUCLEAR POWER COUNTRIES

JOR-SHAN CHOI
Lawrence Livermore National Laboratory, a retired scientist

Abstract. In committing to advanced nuclear reactors and small modular reactors, many emerging nuclear-power countries have to deal with spent fuels, which require safe and secure management. Countries holding spent fuels are also subject to IAEA safeguards. But many of these emerging newcomers do not have experience managing spent fuels, especially related to security and non-proliferation aspects.

Spent-fuel take-back could be an option for emerging nuclear-power countries. An alternative may be a cooperative multi-site/multi-national arrangement (MSMNA). An MSMNA could be formed by a consortium consisting of a nuclear weapons state (China, France, Russia, UK, or the US) and a major uranium producer (Australia, Canada, Kazakhstan, etc.), which provides spent fuel interim storage and/or final disposal at multiple sites within MSMNA countries.

Broadly, an MSMNA can help a newcomer country decouple its power generation from the back-end nuclear fuel cycle. Such decoupling is essential for facilitating a resilient fuel cycle to support a sustainable use of nuclear energy.

Key Words: small modular reactors, evolutional-and-innovative reactors, safety, security, safeguards, spent nuclear fuel, multi-site, multi-national arrangement

1. INTRODUCTION

In the rapid development of the advanced reactors (or evolutionary-and-innovative reactor designs (EID)[1]), and with many of the advanced reactors still in conceptual stage, it is prudent to ensure that these reactors are safe, secure, and exclusively used for peaceful purposes. The 2008 G8 meeting in Hokkaido, Japan[2] reiterated that nuclear safety, security, and safeguards (3S) are fundamental goals for the peaceful use of nuclear energy. *Nuclear safety,* including radiation safety, and safety of nuclear technologies and facilities, radioactive waste management, and transport of radioactive material, concerns radiation risks under normal and accident conditions. *Nuclear security* focuses on preventing theft, unauthorized removal, or illegal transfer of nuclear/radioactive materials; and on sabotage, or other malicious acts against nuclear facilities. By early detection of misusing nuclear material or technology, *IAEA safeguards* are to deter the spread of nuclear weapons and to ensure that States are honoring their legal obligations to restrict the use of nuclear material and technology to peaceful purposes.

Based on the 3S definitions and their focal points in accordance with their respective operating principles, the 3S interfaces, e.g., "*facility*", "*material*", and "*technology*", and the 3S fundamental goals, e.g., "*preventing radiological Release from facility", "prohibiting weaponization of nuclear/radioactive material", and "preserving inalienable right of NNWS to pursue peaceful nuclear technology"* are identified. Figure 1 shows an integration of 3S, together with their respective interfaces and fundamental goals.

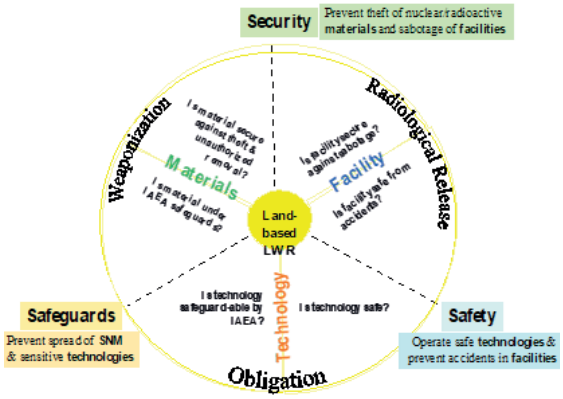


Figure 1 An Integrated 3S (Safety, Security, Safeguards)

[1] Evolutionary and innovative reactor designs as defined by the IAEA: (1) *Evolutionary design:* is an advanced design that achieves improvements over existing designs through small to moderate modifications, with a strong emphasis on maintaining proven design elements to minimize technological risks; (2) *Innovative design:* is an advanced design which incorporates conceptual changes in design approaches or system configuration in comparison with existing practice, TIC2022, October 2022.

[2] Summary of the Hokkaido Toyako Summit, July 9, 2008, mofa.go.jp

Figure 1 shows the fundamental goals of the 3S interfaces, e.g., "preventing the radiological Release from *facility", "*prohibiting the weaponization of nuclear/radioactive *material", and "*preserving the inalienable right of NNWSs to pursue peaceful-use of nuclear *technology".* It also shows a set of relevant questions for these interfaces.

• *Facility:* "Is facility safe from accidents?" and "Is facility secure against sabotage?" (To prevent radiological release);

• *Material:* "Is material secure against theft and unauthorized removal?" and "Is material under IAEA Safeguards?" (To prohibit weaponization); and

• *Technology:* "Is technology safeguard-able by IAEA?" and "Is technology safe?" (To obligate countries' safety and safeguards commitments).

When 3S is integrated together, as illustrated in Figure 1, the interfaces between each of the 2S pairs are: *facility* (safety-security), *material* (security-safeguards), and *technology* (safeguards-safety). It is noted that the designations of these interfaces (or focal points) are not always so rigid, for example, for safety, beside its focuses on facility and technology, it may also have a "material" focus when criticality safety is considered in a fuel-cycle facility. Also, for IAEA Safeguards, beside its material and technology focuses, it may also include "facility," for instance, in its request for complementary access to other facilities during a routine inspection.

Among 3S, safety and security are a focus of an EID as legal and regulatory authorities require that the technology/facility is foremost safe, and nuclear material is always secure. Often time, IAEA Safeguards becomes an after-thought, a costly retrofit, or workaround. To help designers, operators, and the States focus on the same safeguards footing as safety and security, 3S assessments should be focused on the 3S interfaces (e.g., *facility, material, technology*), rather than the 3S themselves. A 3S assessment based on the 3S interfaces was conducted, and the results indicated that specific 3S requirements for each phase in the lifetime of the EID (e.g., design, operation, decommissioning/ disposal) can be identified.

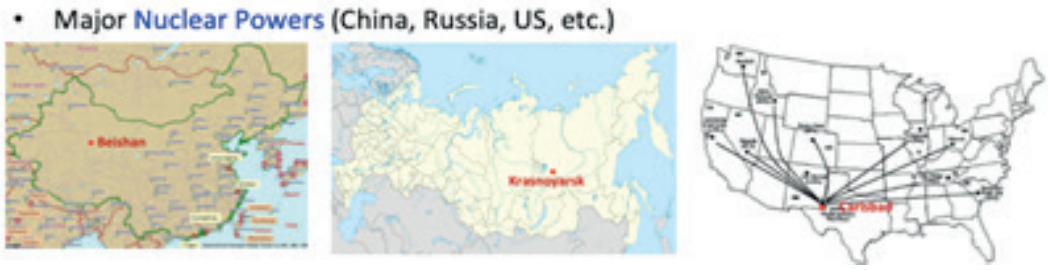
The implementation of an integrated 3S approach is to ensure that the viability, reliability, and acceptability of the State's nuclear program are safe, secure, and in compliance with its IAEA-Safeguards obligations.

2. A multi-site multi-national approach

In future global nuclear energy expansion, many emerging nuclear countries would like to have an assurance of fresh fuel supply, free of political disruptions to fuel their reactors. The fresh fuel supply would be guaranteed by market mechanism based on contracts made with fuel-service providers, such as URENCO[3]. The uranium-fuel service would minimize the incentive for acquisition of indigenous enrichment capabilities. Equally important is the assurance that spent fuel could be managed properly. Such assurance includes spent fuel take-back/away, transport logistic, interim storage, material-processing technologies, and geologic disposal. But no back-end fuel service is currently available.

The responsibilities of managing spent fuel/HLW rest upon the owner countries. But, the ability to properly managing spent fuel/HLW is not so straight forward, as it depends on the country's geologic formation, political systems, socio-economic condition, and public acceptance, etc. A cooperative concept, multi-site/multi-national arrangement (MSMNA) is proposed to help manage and dispose of spent fuel/HLW in existing and emerging nuclear programs. It would be led by two groups of countries: (1) major nuclear-power countries, e.g., China, Russia, and the US; and (2) major uranium producers, e.g., Australia, Canada, and Kazakhstan, as shown in Fig. 4.

[3] URENCO, a consortium consisting of multi-sites/multi-countries control of uranium enrichment where UK, Germany, and Netherlands each operate an enrichment facility within its border.



The proposed MSMNA objectives are to (1) construct and operate interim storage facilities at multi-sites within the MSMNA, (2) take-away/back of spent fuel from existing and emerging nuclear programs to one or more of the MSMNA multi-site facilities. Hosting interim storage and/or repository for other countries' spent fuel and/or radioactive wastes is controversial. There are many social and institutional issues involved, and not to mention that there are laws in many countries prohibiting the import of radioactive wastes. Despite the challenges, the establishment of the proposed MSMNA would provide flexibility in long-term spent fuel management, and allow countries to decouple the power generation from the nuclear back-end, which is essential for facilitating a resilient nuclear fuel cycle and supporting a sustainable nuclear power future.

The alternative to resolve the spent fuel issue in Taiwan may be a cooperative multi-site/multi-national arrangement (MSMNA). Such an arrangement could help manage the spent fuel in existing/emerging nuclear-power programs. Emulating the URENCO model for a uranium- enrichment enterprise, an MSMNA can be led by nuclear-weapon states (NWS) and major uranium producers (MUP)—the two groups of countries having the most at stake for a sustainable global nuclear enterprise—to provide a safe and secure supply of energy and assure nonproliferation in the backend of the nuclear fuel cycle. It involves an NWS for the assurance of nonproliferation, just as United Kingdom is an essential partner in the URENCO enrichment enterprise.

An MSMNA could be formed by a consortium consisting of any one of the NWS (China, France, Russia, the United Kingdom, or the United States) and an MUP (Australia, Canada, Kazakhstan, etc.), and providing spent fuel interim storage and/or final disposal at multiple sites within MSMNA countries. Broadly, an MSMNA can help a country decouple their power generation from the back-end nuclear fuel cycle. Such decoupling is essential for solving the intractable spent fuel dilemma, providing a better way to manage nuclear weapon-usable materials, and facilitating a resilient nuclear fuel cycle to support a sustainable use of nuclear energy. Examples for using MSMNA services in conjunction with the Taiwan dilemma include the removal of Taiwan's spent fuel by MSMNA and their assignment to any one of the MSMNA countries for 40-year interim storage and/or final disposal.

3. Innovative disposal concept

Final geologic disposal of spent fuel/HLW is necessary regardless of how spent fuel is managed. The challenges of radioactive waste disposal in mined repository are many, including but not limited to radioactivity and heat, release of long-lived radionuclide, and breaching a mined repository by natural events or human intrusion. In light of these challenges, innovative waste treatment and disposal means (i.e., hot-iso-static compaction and deep geologic boreholes disposal of radioactive wastes) are proposed as alternative to disposing spent fuel in mined geologic repository.

A Simple Dry Process for Spent LWR Fuel

Adopting from the first few steps of the pyro-processes that include de-cladding, voloxidation, electro-reduction and uranium separation[4], a simple dry process is shown in Table 1. It includes the research and development effort and experience incurred in each step process, as well as a measure for nuclear security and non-proliferation (i.e., meeting the "spent fuel standard") involved in this simple process.

4 CHOI, J. S., "Managing Used Nuclear Fuel in the ROK – with a focus on the deep borehole disposal concept for radioactive wastes," Report submitted to KAERI, March 2013.

Table 1 – A simple dry-process

Process	Material separated	Material remained	Experience	Meet "Spent fuel standard"[1]?
De-cladding	Metal waste	Spent fuel oxide	PUREX DUPIC[2]	Yes
Voloxidation (Dry process)	Noble gas, Volatile fission product (I, Tc)	Uranium, TRU Noble metal, Rare-earth, Cs & Sr	DUPIC	Yes
Electro-reduction & U separation[3]	Uranium	TRU, Noble metal Rare-earth, Cs & Sr	Pyro-process, by ANL and KAERI	Yes

Notes:

1. Spent Fuel Standard is defined as the radiation in air from the mid-plane surface of a spent fuel assembly yielding 1 Sv/h at 1 m distance,
2. DUPIC – Direct Use of PWR spent fuel in Candu,
3. Further processes to recover TRU (or plutonium) if there is an immediate use of the separated TRU (or Pu).

The disposition of the waste streams of this simple dry-process is shown in Table 2. It indicates that the metal waste from de-cladding can be encapsulated, compacted, and disposed of in shallow land burial. The iodine can be trapped in AgI, immobilized in zeolite, and disposed of in deep boreholes. The technetium can be selectively isolated by a cationic polymeric network[5], or trapped in calcium filters, compacted, and disposed of in deep boreholes, while noble gases can be bottled and allowed to decay. The separated uranium can be re-used in reactors or disposed of in uranium mines. The remaining materials (TRU, Cs, Sr, noble metals (NM), and rare earths (RE)) would be converted to stable compounds. Protected by radiation from Cs and Sr, the TRU bulk compound would meet the "Spent-fuel Standard". If eventually there is no use for the TRU bulk, it can be "hot-iso-static-pressed (HIP)" into a synthetic rock form (SYNROC) and disposed of in deep boreholes.

Table 2 – contents of spent fuel and possible disposition methods

Waste Type	Metal waste from de-cladding	Iodine (^{129}I) and technetium (^{99}Tc) from voloxidation	Separated uranium	Remaining material (TRU, Cs, Sr, NM, RE)*
Waste Disposition	Metal waste in containers compacted and disposed of in shallow land burial	• Iodine trapped in AgI & immobilized in zeolite • Tc trapped in Ca filter • These can be compacted & disposed in deep boreholes • Noble gas bottled & decay	Uranium can be used in reactors or dispose of in uranium mines.	• Convert to stable compound and store • Protected by radiation from Cs & Sr • Separated TRU (or Pu) when there is an immediate use • Remaining residue (Cs, Sr, NM, RE etc.) can be HIP into synroc and disposed of in deep boreholes.

* If there is no use for TRU, the remaining material can be hot iso-static pressed (HIP) into synroc and disposed of in deep boreholes

Deep Borehole Disposal

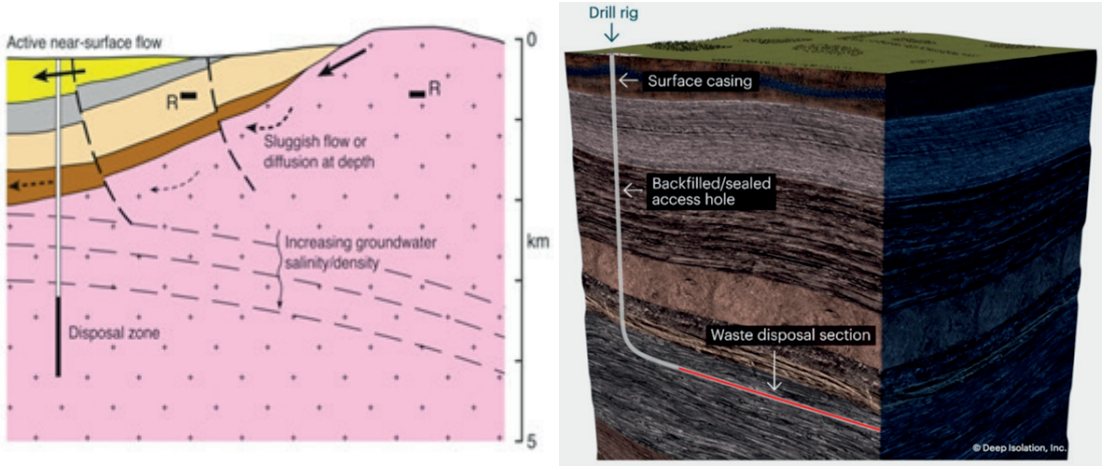
Deep boreholes represent an alternative method of deep geologic disposal that may offer benefits, particularly for the disposal of certain forms of waste. This concept is less studied than disposal in a mined repository and requires further exploration. The drilling technology for deep borehole concept has now become a more realistic option due to recent advances in commercial and scientific deep drilling technology made in the hydrocarbon and geothermal energy industries. Basically, a deep borehole is a cased hole drilled into crystalline rock to a depth of 4 to 5 km. In most designs, the bottom 1 to 3 km would be filled with vitrified HLW or consolidated spent fuel and some backfill or sealant would be added to fill in the gaps between the wastes and the well casing[6]. Fig. 3 shows the schematic of a deep borehole disposal concept.

Deep borehole disposal has the potential to provide very robust waste isolation. The deep borehole disposal concept could significantly reduce the disposal footprint relative to mined repository disposal. The reduction is achieved by concentration of heat in great depth without any surface effects such as subsidence and heat transmission through the host rock. The reduction of disposal footprint could help allay the public concern of

[5] WANG, S., et. al., "Identifying the Recognition Site for Selective Trapping of 99TcO4- in a Hydrolytically Stable and Radiation Resistant Cationic Metal – Organic Framework," J. Am. Chem. Soc. 2017, 139, 14873 – 14876, DOI: 10.1021/jacs.7b08632.

[6] SAPIIE, B., DRISCOL, M. J., "A Review of Geology-Related Aspects of Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste." MIT Nuclear Fuel Cycle (NFC) Technology and Policy Program, MIT-NFC-TR-109, 2009.

"NIMBY" (i.e., not-in-my-back-yard). In addition, deep borehole disposal could achieve a better assurance that the long-lived radionuclide, such as 129I would decay away (after 10 half-lives or 170 million years) during its geologic isolation. It would also make the probability of breaching a borehole by human intrusion unlikely.



(a) (b)

FIG 3. (a) Schematic of a deep borehole disposal concept (where R is relative depth of a mined repository), (b) Horizontal emplacement (Courtesy of Deep Solution, Inc.).

4. CONCLUSION

Future nuclear power expansion requires advanced nuclear reactors, which enhances nuclear safety, reduces security risks, and complies with safeguards obligations. It also requires a resilient fuel cycle, which decouples the power generation from long-term spent fuel management, as well as provide flexibility and retain options for future strategic changes.

A resilient back-end fuel cycle requires innovative technologies and innovative waste treatment and disposal means. It also requires cooperative institutional frameworks to facilitate spent fuel take-back/away; multi-site/ multi-national storage and deep borehole disposal options.

ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Милокумов В.С., Тиханова Е.В.
ООО «Сарториус РУС», Россия, г. Санкт-Петербург

Аннотация. В настоящем докладе рассмотрено влияние калибровки как метода метрологического контроля средств измерений массы на качество и безопасность продукции, а также описаны специфические технические решения, необходимые для повышения экономической эффективности калибровки весов в атомной отрасли.
Ключевые слова: весы, калибровка, погрешность, неопределенность, эффективность, безопасность.

ISSUES OF SAFETY AND EFFICIENCY IN METROLOGICAL SUPPORT OF WEIGHING INSTRUMENTS AT NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES

Milokumov V.S., Tikhanova E.V.

Abstract. This report examines the influence of calibration as a method metrological control of measuring instruments on quality and safety of products, and describes specific technical solutions needed to improve the cost-effectiveness of balances calibration in the nuclear industry.
Key words: scales, calibration, error, uncertainty, efficiency, safety.

В настоящее время, на территории России и стран СНГ, наиболее распространенной формой метрологического контроля средств измерений является их поверка. Это является следствием исторических факторов и сложившейся правоприменительной практики.

Однако все большее распространение получает также процедура калибровки средств измерений, как более гибкий и информативный инструмент метрологического контроля средств измерений.

Калибровка весов является особо актуальной в сфере применения атомной отрасли, где требуется наивысшая точность и достоверность результатов измерений. Применение калибровки в различных условиях и сценариях позволяет решить ряд важных задач и существенно повысить эффективность, а также в некоторых случаях безопасность процессов метрологического обеспечения средств измерений массы.

В первую очередь необходимо охарактеризовать саму процедуру калибровки весов.

Калибровка средств измерений – это совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений [1].

Калибровка весов заключается в приложении испытательных нагрузок к весам в заданных условиях, определении погрешности или изменения показания и оценке неопределенности измерений, присущей данным результатам измерений [2].

В 2023 году Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) принял документы РМГ 150-2023 «ГСИ. Весы неавтоматического действия. Руководство по калибровке», который в свою очередь является переводом руководства Euramet cg18 v4.0 «Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments», разработанного Европейской ассоциацией национальных метрологических институтов.

Нужно отметить, что Euramet cg18 и РМГ 150-2023 не являются готовой методикой калибровки, но могут быть использованы в качестве основы для разработки собственной методики калибровки любой метрологической службой.

Результатом калибровки являются значения погрешности и рассчитанные для них границы неопределенности, полученные на определенных нагрузках, и указанные в сертификате калибровки. Это одно из ключевых преимуществ калибровки по сравнению с поверкой, которая лишь подтверждает соответствие весов требованиям стандарта. По результатам калибровки пользователь получает более точную информацию о метрологических характеристиках весов.

Опыт лаборатории ООО «Сартогосм», которая является метрологическим и производственным подразделением концерна Sartorius на территории Российской Федерации, и аккредитована на поверку

и калибровку весов, показывает, что для большинства современных аналитических и прецизионных весов (I и II класс точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011 соответственно), при работе в соответствующих условиях, неопределенность результата калибровки может быть в 3-5 раз меньше пределов допускаемой погрешности. Пример результатов калибровки приведен в таблице 1.

Таблица 1. Результаты калибровки аналитических весов

Номинальная масса, г	Действительное значение массы эталонных гирь, г	Показания весов, г	Погрешность показаний, г	Расширенная неопределенность калибровки, г	Пределы допускаемой погрешности весов, г
0,01	0,0100	0,0101	0,00010	0,0001	0,0005
50	50,0000	50,0002	0,00020	0,0002	0,0005
100	100,0000	100,0003	0,00030	0,0002	0,0010
150	150,0000	150,0003	0,00030	0,0003	0,0010
220	220,0000	220,0004	0,00040	0,0004	0,0015

Для технических весов (III класс точности), с поверочным интервалом равным действительной цене деления, данное соотношение нарушается, так как основным источником неопределенности является действительная цена деления. Однако, это ограничение, накладываемой низкой разрешающей способностью весов, можно обойти при использовании дополнительных грузов массой 1/10 от действительной цены деления. Постепенное нагружение весов до точки изменения показаний весов позволяет определить погрешность весов до округления с точностью порядка 1/10 от действительной цены деления, и таким образом существенно уменьшить неопределенность результата калибровки.

При коммерческом учете ядерных материалов, который проводится на основе измерений массы, более точные сведения о метрологических характеристиках весов позволяют избежать перерасхода материалов. А также результаты калибровки и оценка неопределённости выступают основой для международного признания результатов измерений.

При выполнении лабораторных измерений массы, результаты калибровки весов необходимы для оценки неопределенности результатов испытаний, выполняемых лабораторией. Таким образом, меньшие значения неопределенности, по сравнению с пределами допустимой погрешности весов, позволяют повысить качество измерений, выполняемых лабораторией, уменьшить их неопределенность. При этом неопределенность результатов испытаний непосредственно влияет на безопасность, так как согласно положениям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019, принятие решений при оценке соответствия установленным требованиям основывается на оценке неопределенности результатов испытаний или калибровки [3].

Отдельно необходимо рассмотреть ситуацию, когда условия эксплуатации весов не соответствуют установленным требованиям, что приводит к существенному ухудшению их производительности. Такое может наблюдаться при работе весов в вытяжных шкафах, ламинарных боксах, а также в «горячих камерах» для работы с ядерными материалами. В горячих камерах весы могут подвергаться воздействию воздушных потоков, вибрации, ионизирующего излучения, агрессивных сред, перепадов температур и влажности. Это приводит к тому, что реальные значения погрешности и неопределенности, полученные по результатам калибровки, могут существенно превышать не только аналогичные показатели при нормальных условиях эксплуатации, но и пределы допускаемой погрешности. В таких условиях только калибровка позволит получить достоверные сведения о действительных значениях метрологических характеристик весов.

Еще одной важной проблемой метрологического обеспечения весов, используемых в горячих камерах, является радиационное заражение. Ему подвергаются не только весы, но и гири, которые будут использованы для проведения поверки или калибровки таких весов.

Как уже было сказано выше, выполнение калибровки (а равно и поверки) весов предполагает приложение к ним испытательных нагрузок. В их роли обычно выступают эталонные гири, прослеживаемые к государственному первичному эталону единицы массы через неразрывную цепь калибровок. После проведения калибровки, такие гири будет необходимо утилизировать, использовать в них дальнейшем невозможно из-за радиационного заражения. Ежегодное приобретение нового набора гирь для калибровки многократно увеличивает стоимость эксплуатации весов и с экономической точки зрения совершенно нецелесообразно.

В связи с этим возникает вопрос: можно ли вообще не применять эталонные гири? Для некоторых процедур калибровки, таких как определение угловой погрешности или повторяемости, могут быть

использованы любые грузы со стабильной массой и подходящей для использования формой. Однако для определения погрешности весов по диапазону измерений, необходимы гири с точно известной массой и оцененной неопределенностью.

И методика поверки весов, и рекомендации по калибровке, разрешают часть эталонных гирь при определении погрешности также заменить балластными грузами, но некоторая часть эталонных гирь (не менее 20%) должна использоваться.

Однако, еще одно отличие калибровки от поверки заключается в том, что методику поверки лаборатория обязана выполнять полностью и дословно, а методику калибровки лаборатория разрабатывает самостоятельно, при этом рекомендации по калибровке, изложенные в РМГ, могут быть взяты за основу в той степени, в которой это соответствует целям лаборатории. В методике калибровки лаборатория может предусмотреть возможность использования балластных грузов на 100% от максимальной нагрузки весов. Разумеется, при этом необходимо обеспечить прослеживаемость результатов измерений к национальному эталону единицы массы, а это значит, балластные грузы необходимо откалибровать – измерить их массу и оценить неопределенность. Их масса должна быть близкой к массе эталонных гирь.

При изготовлении таких балластных грузов, назовем их эрзац-эталонами, необходимо учитывать и другие требования, предъявляемые к гирям. В частности, требования к плотности, поверхности и магнитным свойствам материала. Для изготовления гирь используется преимущественно нержавеющая сталь аустенитного класса, например 03Х17Н13М2Т (AISI 316L, EN 1.4404) с плотностью около 8000 кг/м^3. Использование аустенитной стали позволяет исключить влияние магнитных свойств материала на работу весов.

Эрзац-эталонам необходимо будет придать цилиндрическую форму и отшлифовать поверхность. Далее будет необходимо их очистить с помощью спирта или воды и просушить в течение не менее 24 часов. Затем необходимо определить их массу, путем сравнения на компараторах массы с эталонными гирями более высокого класса, чем необходимо для калибровки весов. Таким образом, процедура определения массы грузов включается в методику калибровки весов. При этом с нормативной точки зрения в качестве эталонов будут использованы эталонные гири, и будет обеспечена метрологическая прослеживаемость, но физически для нагружения весов будут использованы эрзац-эталоны. Неопределенность массы эрзац-эталонов включается как один из вкладов в неопределенность результата калибровки весов.

Таким образом, лаборатория может существенно снизить затраты на калибровку весов, обеспечивая тем самым ее экономическую эффективность, а также повысить достоверность результатов измерений, обеспечивая безопасность и качество продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения». М.: Стандартинформ, 2014 г. – 30 с.

2. РМГ 150-2023 «ГСИ. Весы неавтоматического действия. Руководство по калибровке». М.: Российский институт стандартизации, 2023 г. – 2 с.

3. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». М.: Стандартинформ, 2021 г. – 2 с.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИР ВВР-К НА ЖИТЕЛЕЙ МИКРОРАЙОНА АЛАТАУ ГОРОДА АЛМАТЫ

Мухортов М.С., Тулегенов М.Ш., Нуртазин Е.Р., Үсербаев К.С., Куртибаева Г.Р.
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного веденния «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан
m.mukhortov@inp.kz, m.tulegenov@inp.kz, g.kurtibayeva@inp.kz

В работе описывается мероприятия проводимые сотрудниками Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан (далее – Институт), в соответствии с «Правилами контроля и учета индивидуальных доз облучения, полученных гражданами при работе с источниками ионизирующего излучения, проведении медицинских рентгенорадиологических процедур, а также обусловленных природным и техногенным радиационным фоном», утвержденные приказом и.о Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 марта 2015 года № 259, с внесением изменений приказом Министра здравоохранения от 19 августа 2021 года № ҚР ДСМ-82, по оценки радиационного воздействия ИР ВВР-К при помощи индивидуальных дозиметров на жителей микрорайона Алатау города Алматы.

Оценку индивидуальный доз осуществлялось при помощи предоставленных Институту дозиметров «D-Shutl» («Д-Шатл») компании «Chiyoda Technol Corporation» («Чиёда Технол Корпорейшн»), которые предназначены для обычных жителей.

Ключевые слова: индивидуальный дозиметрический контроль, жители, эквивалентная доза внешнего облучения, дозиметр, считыватель

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила контроля и учета индивидуальных доз облучения, полученных гражданами при работе с источниками ионизирующего излучения, проведении медицинских рентгенорадиологических процедур, а также обусловленных природным и техногенным радиационным фоном, Утвержденные приказ и.о Министра национальной экономики Республики Казахстан – № 259 – 215;

2. Гигиенические нормативы к обеспечению радиационной безопасности, утвержденные приказо Министра здравоохранения Республики Казахстан – №ҚР ДСМ-71 – 2022;

3. Санитарные правила Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности Утвержденные приказом министра национальной экономики. – №ҚР ДСМ-275/2020 – 2020.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО И РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЫЛИ НА ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ ПЕРСОНАЛА ДОЧЕРНИХ И ЗАВИСИМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Искаков М.М., Арыстанов А.А., Тренин А.В., Кимолаев Ж.Б.
АО «НАК «Казатомпром», г. Астана, Казахстан
m.iskakov@kazatomprom.kz

Аннотация. В работе представлены результаты исследований воздуха рабочей зоны уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром» для определения фактических дозовых коэффициентов. Приведены краткие характеристики применяемого оборудования, показаны последовательность выполнения работы, порядок отбор проб воздушных аэрозолей и определяемые параметры. Использованы данные публикаций Международной комиссии по радиационной защите и Международного агентства по атомной энергии для определения интегрального дозового коэффициента на основе полученных данных дисперсного и радионуклидного состава производственной пыли.
Ключевые слова: внутреннее облучение, дозовый коэффициент, радиационная защита

Аннотация. Жұмыста нақты дозалық коэффициенттерді анықтау үшін "Қазатомөнеркәсіп "ҰАК" АҚ Уран өндіруші кәсіпорындардың жұмыс аймағының ауасын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Қолданылатын жабдықтың қысқаша сипаттамалары келтірілген, жұмыстың реттілігі, ауа аэрозольдерінің сынамаларын алу тәртібі және анықталған параметрлер көрсетілген. Өндірістік шаңның дисперсті және радионуклидтік құрамының алынған деректері негізінде интегралды дозалық коэффициентті анықтау үшін Радиациялық қорғау жөніндегі халықаралық комиссия мен Атом энергиясы жөніндегі халықаралық агенттік жарияланымдарының деректері пайдаланылды.

Annotation. The paper presents the results of air studies in the work zone of uranium mining enterprises of NAC Kazatomprom to determine actual dose coefficients. Brief descriptions of the equipment used are provided, along with the sequence of work execution, the procedure for sampling air aerosols, and the determined parameters. Data from publications of the International Commission on Radiological Protection and the International Atomic Energy Agency are utilized to determine the integral dose coefficient based on the obtained data of the dispersal and radionuclide composition of production dust.

Основной вклад в эффективную дозу облучения персонала на уранодобывающих предприятиях создают три радиационно-опасных фактора: объемная активность короткоживущих дочерних продуктов радона в воздухе; удельная активность долгоживущих радионуклидов (далее – ДЖА) ряда урана-радия в производственной пыли; мощность дозы внешнего гамма-излучения.

Оценить дозу внутреннего облучения α-излучающими радионуклидами можно в соответствии с санитарными правилами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» № ҚР ДСМ-275/2020 или на основе норм безопасности Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ) № GSR Part 3 [1]. Доза внутреннего облучения определяется как произведение объемной активности α-излучающих радионуклидов в воздухе, объем вдыхаемого воздуха и соответствующий определенному радионуклиду дозовый коэффициент, который зависит в том числе и от размера частиц пыли, оседающих в отделах респираторного тракта человека. Размер частиц является одним из наиболее важных параметров для характеристики поведения аэрозолей.

Значения дозовых коэффициентов приводятся в гигиенических нормативах к обеспечению радиационной безопасности, публикации Международной комиссии по радиационной защите (далее – МКРЗ) № 119 «Сборник дозовых коэффициентов на основе публикации 60 МКРЗ» и публикации МАГАТЭ № GSR Part 3. Дозовые коэффициенты в данных публикациях МАГАТЭ и МКРЗ рассчитаны для аэрозолей с логарифмически нормальным распределением частиц при медианном по активности аэродинамическом диаметре (далее – АМАД), равным 1 и 5 мкм [1]. В гигиенических нормативах к обеспечению радиационной безопасности приведены значения дозовых коэффициентов, рассчитанные для аэрозолей с логарифмически нормальным распределением частиц по активности при АМАД 1 мкм [2]. В публикации МАГАТЭ № GSG-7 «Радиационная защита при профессиональном облучении» указано,

что АМАД 5 мкм считается наиболее подходящим размером частиц по умолчанию для радионуклидов на рабочем месте, тогда как АМАД 1 мкм используется в качестве значения по умолчанию для населения. Применение стандартных табличных дозовых коэффициентов и АМАД используется для консервативного подхода и может привести как к завышенной, так и к заниженной оценке эффективной дозы.

Проведены работы по влиянию дисперсного и радионуклидного состава производственной пыли на дозовую нагрузку персонала уранодобывающих предприятий (далее – УДП). Выбор УДП, в которых проводились исследования, был обусловлен наличием различных соединений урана с разными типами при ингаляции по [2]. В ряде ДЗО основными дисперсными соединениями, находящимися в воздухе рабочих зон, являются диуранат натрия ($Na_2U_2O_7$) и пероксид урана ($UO_4 \cdot 2H_2O$) соответственно, которые относятся к типу П. На других УДП основным взвешенным соединением является закись-окись урана (U_3O_8), принадлежащая к типу М.

Произведены отбор проб воздушных аэрозолей на фильтрующий элемент для последующего определения радионуклидного и элементного анализа взвешенных частиц. Отбор проб воздушных аэрозолей на предприятиях проводился непосредственно рядом с пылящим оборудованием. Пробоотборное оборудование устанавливалось на высоте 1,5 м от пола и не ближе 1 м от источника пыления. Объемный расход воздуха при пробоотборе соблюдался постоянным.

Для изучения фракционного состава и определения массовой концентрации взвешенных частиц в воздухе в процессе отбора проб в рабочей зоне проводилось измерение с использованием анализатора DustTrack. Анализатор определяет массовую концентрацию взвешенных частиц в воздухе (запыленность воздуха) в различных диапазонах размеров аэрозольных частиц. Для отбора твердых частиц аэрозолей воздуха с целью определения изотопного состава урана (^{235}U и ^{238}U) был выбран кварцевый тип фильтра QMA, эффективность улавливания частиц для которого составляет 99,5%. В процессе отбора проб воздуха проводилось непрерывное измерение запыленности воздуха с использованием анализатора пыли.

В ходе выполнения работы были определены следующие характеристики: распределение частиц урановой пыли в воздухе рабочей зоны по фракциям PM2.5 и PM10, массовые концентрации взвешенных частиц, объёмная активность урана и элементов уранового ряда в частицах урановой пыли, и рассчитан интегральный дозовый коэффициент с учетом распределения активности по АМАД:

^{235}U, тип П, e (50) = 1,32·10-6 Зв/Бк;

^{238}U, тип П, e (50) = 1,19·10-6 Зв/Бк;

^{235}U, тип М, e (50) = 1,69·10-6 Зв/Бк;

^{238}U, тип М, e (50) = 1,60·10-6 Зв/Бк.

Анализ данных показал, что полученные дозовые коэффициенты для обследуемых объектов дочерних и зависимых организаций ниже, чем рекомендованные дозовые коэффициенты по данным МКРЗ (АМАД = 5 мкм). Так, стандартные дозовые коэффициенты для персонала при ингаляционном поступлении радионуклидов (АМАД = 5 мкм) согласно базе данных МКРЗ составляют:

^{235}U, тип П, e (50) = 1,7·10-6 Зв/Бк;

^{238}U, тип П, e (50) = 1,5·10-6 Зв/Бк;

^{235}U, тип М, e (50) = 2,9·10-6 Зв/Бк;

^{238}U, тип М, e (50) = 2,7·10-6 Зв/Бк.

При этом необходимо отметить, что средняя эффективная доза (внешнее и внутреннее облучение) на уранодобывающих предприятиях АО «НАК «Казатомпром» находится в пределах 1,5 мЗв/год, при этом вклад внутреннего облучения от ДЖА не превышает 10%, на отдельных УДП – не более 16%.

Выполнение исследований воздуха рабочей зоны также является частью оценки радиационных рисков, описываемых в публикации МАГАТЭ «Отчет по безопасности №100. Профессиональная радиационная защита в индустрии добычи и переработки урана» [3], в которой определены и собраны примеры передовых практик, рекомендованных для оптимизации радиационной защиты на УДП.

Таким образом, впервые проведена работа по определению дисперсного и радионуклидного состава на действующих уранодобывающих предприятиях, в результате которой подтверждено, что интегральный дозовый коэффициент не превышает установленные законодательством Республики Казахстан нормативы. Результаты работы могут быть использованы в выборе средств защиты органов дыхания, а также в улучшении стратегии по радиационной защите персонала, занятого на участках с пылеобразующим фактором (улучшение вентиляционной системы, эффективное использование гидроуборки). Также следует отметить, что применение полученных экспериментальных дозовых коэффициентов (^{235}U и ^{238}U)

приведет к уменьшению эффективной дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении в сравнении со стандартной оценкой дозовой нагрузки персонала при использовании рекомендаций МКРЗ (АМАД = 5 мкм).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards: General safety requirements Part 3. No. GSR Part 3, Vienna: 2014.

2. Гигиенические нормативы к обеспечению радиационной безопасности. Утверждены приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 2 августа 2022 г. № ҚР ДСМ-71 «Об утверждении гигиенических нормативов к обеспечению радиационной безопасности» (зарегистрирован в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов за № 29012)

3. IAEA Safety Report Series № 100. Occupational radiation protection in the uranium mining and processing industry / International Atomic Energy Agency. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2020.

РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕГРАДАЦИИ ТРИБУТИЛФОСФАТА ИЗ РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ СОДОВЫХ РАСТВОРОВ

Хлебникова И.А., Болтанов А.В., Гофман А.А., Кылышканов М.К., Подойников М.А.
АО «УМЗ» г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Повышение эффективности казахстанской атомной отрасли в рамках соблюдения требований концепции устойчивого развития является актуальной задачей, как с точки зрения экономии различных видов ресурсов, так и улучшения экологической обстановки путем снижения негативного воздействия деятельности предприятия на окружающую среду.

Мировой опыт переработки урансодержащих материалов доказал эффективность применения на операции экстракционного аффинажа в качестве экстрагента трибутилфосфата (ТБФ) в инертном органическом разбавителе. При этом специфичным для радиохимических экстракционных технологий является воздействие на экстрагент радиационного и температурного излучения в присутствии азотной кислоты. В результате радиационно-химических превращений в экстрагенте образуются дибутилфосфаты (ДБФ), монобутилфосфаты (МБФ), фосфорная кислота и бутанол, то есть происходит накопление продуктов радиолиза (деградации) ТБФ. Также при радиолизе экстракционных смесей на основе ТБФ возможно образование полимеров, содержащих кислые и нейтральные формы с молекулярной массой от 300 до 3000. Предполагается, что данные полимерные формы являются результатом полимеризации радиационно-повреждённых молекул ТБФ [1].

Во всех технологических схемах переработки радиоактивных элементов, базирующихся на экстракционном процессе с применением ТБФ, предусматривается обработка рециркулирующей органической фазы водными растворами соды (внутрицикловая регенерация экстрагента). Щелочная регенерация позволяет удалять кислые продукты деструкции экстрагента и, в случае переработки низкообогащенного урана, обеспечивает длительную стабильность процесса экстракции, при этом цепь последовательных процессов деградации экстрагента прерывается.

Существенным недостатком использования щелочных (содовых) растворов для регенерации экстракционных смесей является образование значительных объемов водных солевых радиоактивных отходов. Перевод таких растворов в разряд нерадиоактивных сопряжен с некоторыми сложностями, а именно проблематичностью разделения урана и фосфора, который является основой продуктов деградации ТБФ.

Теоретически варианты переработки таких растворов различаются целевым компонентом, выделяемым при переработке. В большинстве случаев из растворов выделяется уран, при этом фосфорсодержащие компоненты остаются в растворимом состоянии, что позволяет утилизировать такие растворы как нерадиоактивные. В альтернативных вариантах из содовых растворов извлекается фосфор, а раствор, содержащий уран, возвращается в технологический цикл на переработку.

При этом надо особо отметить, что информация в научно-технической литературе о переработке содовых растворов, содержащих уран и фосфор, практически отсутствует.

Наиболее распространенным способом переработки содовых реэкстрактов, применяемым в производственном цикле, является осаждение урана и содержащихся в реэкстрактах примесей аммиачной водой с последующей прокалкой осадка и растворением полученных порошков в азотной кислоте. Далее растворы направляются на операцию экстракционного аффинажа. Данный способ переработки малоэффективен вследствие недостаточно результативного выделения урана из растворов, большого расхода реагентов и образования дополнительного объема жидких радиоактивных отходов, требующих дальнейшего обращения с ними.

Информация, касающаяся очистки растворов от соединений фосфора, встречается в источниках, имеющих отношение к водоснабжению и сельскому хозяйству. В частности, авторами [2] предлагается для снижения концентрации фосфора в растворах проводить изъятие взвешенных частиц фосфора путем обработки растворов известью (до pH=12) с последующим отстаиванием или фильтрацией. Данный способ позволяет уменьшить концентрацию фосфора в растворах с 0,7 ÷ 1,2 до 0,003 ÷ 0,007 г/л.

Целевым назначением работ, проводимых в Научном центре АО «УМЗ», являлось создание способа переработки содовых реэкстрактов, выведенных из технологического процесса и содержащих уран и фосфор, при этом степень разделения урана и фосфора должна составлять не менее 99 %, а количество образующихся отходов должно быть минимальным.

Для достижения поставленной цели в лабораторных условиях проведены комплексные исследования, в ходе которых была установлена возможность выделения из содовых реэкстрактов продуктов деградации ТБФ в нерастворимое состояние.

На первом этапе рассматривались варианты состава раствора, позволяющего выделить из содового реэкстракта целевой фосфорсодержащий продукт.

В ходе дальнейших исследований подробно изучено влияние исходной концентрации продуктов деградации ТБФ в содовых реэкстрактах на состояние выделенной в результате обработки составляющей. Было установлено, что в зависимости от концентрации продуктов деградации ТБФ в регенерирующем содовом растворе реагентная обработка может привести к образованию различных типов соединений, которые в растворе могут иметь вариабельные формы (рисунок 1).

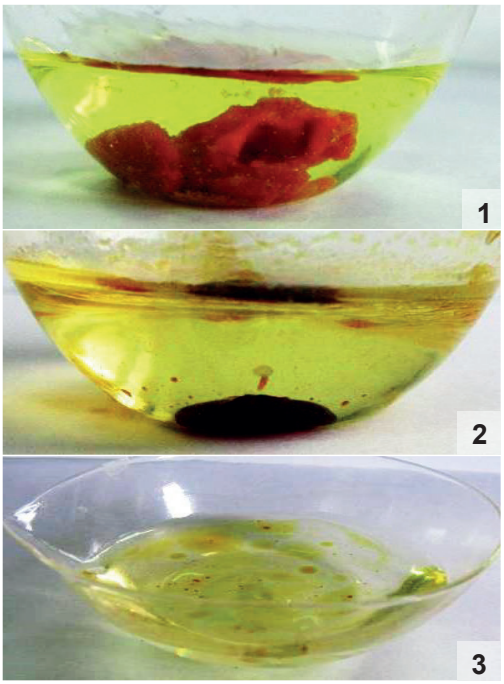


Рисунок 1 – Вид выделяемых субстанций при обработке содовых растворов реагентом в зависимости от концентрации продуктов деградации ТБФ:

1 - высокая, 2 - средняя, 3 – низкая

В ходе экспериментальных исследований установлено, что введение выбранного реагента в раствор **с высокой концентрацией** продуктов деградации ТБФ приводит к образованию пластичного вещества, затвердевающего со временем (фрагмент № 1 рисунок 1). При введении расчетного количества реагента в раствор **со средней концентрацией** продуктов деградации ТБФ фиксируется выделение органической фазы с плотностью, превышающей плотность водной фазы (фрагмент № 2 рисунок 1). В растворах **с низкой концентрацией** продуктов деградации ТБФ введение реагента приводит к образованию мути и пленки органической фазы на поверхности раствора (фрагмент № 3 рисунок 1).

Установленная возможность перевода водорастворимых продуктов деградации ТБФ в нерастворимое состояние позволила рассмотреть вариант отделения выделенной фазы от раствора, с последующим рециклингом урансодержащих растворов посредством подшихтовки их к исходному перерабатываемому раствору по штатной технологии.

Эффективное разделение продуктов деградации ТБФ и водной фазы необходимо для исключения возможности возврата фосфорсодержащих компонентов в экстракционную систему, так как в процессе экстракционного аффинажа продукты деградации ТБФ растворяются в экстрагенте, в результате чего развитие радиационно-химических процессов деградации экстрагента интенсифицируется, что приводит к появлению стабильных эмульсий. Указанные изменения являются причиной ухудшения технологических качеств экстрагента и вывода его из процесса, при этом возникают проблемы утилизации органических ЖРО.

Сложности удаления из растворов твердой органической взвеси, полученной в результате обработки содовых растворов, обусловлены повышенными адгезионными характеристиками органической составляющей, что исключает возможность центрифугирования растворов и делает проблематичным использование фильтровальных тканей. Для решения данной проблемы совместно с работниками уранового производства был разработан способ фильтрации растворов с использованием вспомогательного материала, адсорбирующего продукты деградации ТБФ, что позволило эффективно отделить их

от водной фазы. Проведенные в лабораторных условиях эксперименты подтвердили возможность удаления фосфоросодержащих компонентов из обработанных содовых реэкстрактов без накопления в них радидионуклидов, так как после специальной обработки содового реэкстракта соединения урана количественно присутствуют в растворимом состоянии.

Вид содового реэкстракта до и после операций обработки и фильтрации приведен на рисунке 2.

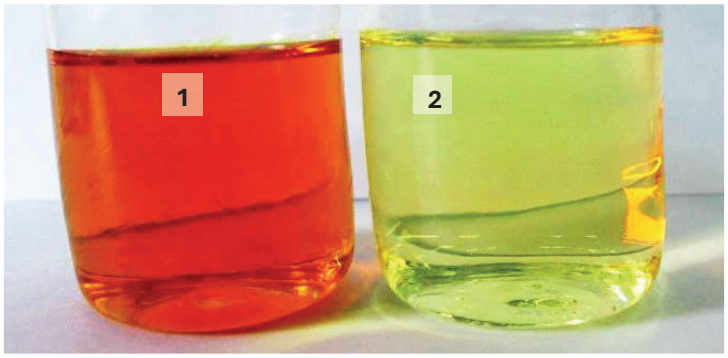


Рисунок 2 – Вид растворов до обработки (1) и после (2)

При апробации разработанного способа переработки карбонатных реэкстрактов в промышленных условиях было установлено, что в процессе их переработки из системы экстракционного аффинажа урана выводится более 99 % фосфорсодержащих компонентов.

Полученные урансодержащие азотнокислые фильтраты подшихтовывали к цеховым штатным растворам уранилнитрата и направляли на операцию экстракционного аффинажа. При проведении промышленных испытаний осуществлялся мониторинг процесса экстракционного аффинажа урана, в ходе которого рассчитывались средние значения концентрации урана в технологических растворах за месяц и среднеквадратичное отклонение (СКО), показывающее вариативность данных относительно их среднего.

Результаты сравнительного анализа полученных значений параметров: средние и СКО, подтвердили отсутствие негативного влияния и стабильность технологического процесса (экстракционного аффинажа урана) при подшихтовке обработанных содовых растворов по предложенной технологии.

После проведения промышленных испытаний способ переработки содовых регенерирующих реэкстрактов, включающий операцию извлечения продуктов деградации ТБФ из содовых растворов, путем обработки их реагентом и изъятия взвешенных частиц фосфоросодержащих компонентов посредством модифицирования процесса фильтрации внедрен в производственный процесс переработки урана.

Краткие выводы

В лабораторных условиях проведен комплекс исследований по изучению условий выделения фосфорорганических компонентов, являющихся продуктами деградации ТБФ, из урансодержащих содовых реэкстрактов. По результатам исследований предложен оптимальный способ переработки содовых реэкстрактов, выведенных из технологического процесса регенерации экстрагента на основе ТБФ. Преимуществом предложенного способа является избирательное выделение продуктов деградации ТБФ из содовых реэкстрактов при минимальном количестве отходов с последующим рециклингом очищенных урансодержащих растворов в технологическом цикле переработки урана. В процессе апробации указанного способа в промышленном масштабе установлено, что в зависимости от концентрации продуктов деградации ТБФ в содовых реэкстрактах степень их извлечения из растворов составляет 99 %. Универсальность предложенного способа выделения продуктов деградации ТБФ из содовых реэкстрактов позволяет применять его для растворов с различным содержанием урана и концентрации продуктов деградации ТБФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Naylor A. U.K.E.A. Windscale and Calder Works, Sellafield, Seascale, UK. Сборник статей. Переработка топлива энергетических реакторов. Редакция Шевченко В.Б. М., Атомиздат 1972.

2. Йуль К., Залетов С.В., Залетова Н.А. и др. «Использование соединений фосфора, содержащихся в сточных водах свиноводческих комплексов». Водоснабжение и санитарная техника. №12, 2003.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ФТОРАНГИДРИТА: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Жакупова Г.Б.[1], Федорчук Ю.М.[2], Саденова М.А.[1], , Дуйсебаев Б.О.[3]

[1]Восточно-казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан;

[2]Томский политехнический университет, г. Томск. Россия

[3] ТОО "Универсальное конструкторское технологическое бюро", г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В последние годы внимание ученых и технологов привлекают возможности порошковой технологии, которая успешно используется для производства традиционных материалов и изделий с повышенным физико-механическими и эксплуатационными свойствами, а также для создания новых материалов из вторичного сырья. Целью данной работы является исследование и подбор режимов процесса измельчения и нейтрализации фторсодержащего промпродукта металлургического производства с последующим вовлечением в композиционные системы. В ходе исследований, выявлено оптимальное время измельчение совокупно с нейтрализацией

«кислого» фторангидрита.

Ключевые слова: Фторангидрит ФА, измельчение, мельница, дисперсность, нейтрализация.

В последние годы, ученые и технологи уделяют особое внимание возможностям порошковой технологии. Она успешно применяется для производства как традиционных материалов и изделий с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, так и для разработки новых материалов из вторичного сырья. В частности, экономически и экологически оправданной является крупномасштабная переработка фторсодержащего продукта металлургического производства. Принимая во внимание, что материал, содержащий фтор, производимый при производстве алюминия и фтористоводородной кислоты, отнесен к категории веществ с высоким уровнем опасности, необходимо рассматривать неотложную необходимость его обезвреживания и переработки. Одним из наиболее перспективных направлений исследований в этой области является синтез композитов из фторсырья. Например, ежегодное мировое производство флюорита превышает 4 млн. тонн, тем самым не менее 10-15% от общего количество образуется фторсодержащие полупродукты. [1]

В странах СНГ частности в России объем производства безводного фтористого водорода в 2018 г. составил 5296 тыс.тонн. Основные производители плавиковой кислоты в России являются: ООО «ЭР ЛИКИД», ООО «ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД ФТОРСОЛЕЙ», АО

«ГАЛОПОЛИМЕР», и др. Из них объем годового производства АО «ГАЛОПОЛИМЕРа» составило 12 000 тонн, исходя из этого следует, что 10-15% складывается фторсодержащий отход. [2]

Данная работа актуальна также в зарубежных странах, где производятся химическая и металлургическая промышленности. Допустим, компания DERIVADOS DEL FLUOR (DDF) (Испания) является мировым лидером в производстве плавиковой кислоты (HF) с 1947 года и постоянно совершенствует качество HF, разрабатывая более чистые марки и, в частности, отвечая строгим получают, перерабатывают и в дальнейшем продают как готовый продукт устойчивый ангидрит, получаемый в качестве побочного продукта в рамках промышленного процесса. В настоящее время предлагают три различных качества: промышленный ангидрит, измельченный ангидрит и микронизированный ангидрит. [3]

Ангидрит представляет собой минерал семейства сульфатов кальция (CaSO4). В отличие от других минералов, таких как гипс (CaSO4, 2H2O), ангидрит не содержит воды в своей кристаллической структуре: это безводное соединение. Эта особенность, в дополнение к специфической кристаллической конфигурации, делает ангидрит уникальным материалом с выдающимися свойствами, которые полезны во многих промышленных применениях.

Образующийся в результате производственного процесса полупродукт - фторангидрит, полученный из шлама плавиковой кислоты АО «Ульбинского металлургического завода» (УМЗ), содержит избыточное количество серной кислоты, определенное количество невскрытого плавикового шпата и небольшое количество свободного фтористого водорода. В процессе операций, связанных с переработкой фторангидрита, он регулярно сбрасывается в приемный бункер при вращении трубы печи. После этого он транспортируется на участок нейтрализации с использованием самосвалов. Производительность по данным полупродуктам представлена в таблице 1. Однако в процессе нейтрализации с различными

нейтрализующими реагентами было обнаружено, что в некоторых случаях после выдержки pH уровень становится нестабильным.

Таблица 1 – Объемы образования отходов производства на 2023 г.[4]

№ п/п	Наименование отхода	Метод очистки, повторного использования	Объем образования, тонн	Уровень опасности
1	Шламы фторангидрита кальция	Захоронение на специализированных площадках предприятия (участок хвостового хозяйства)	8618,27-8763,76	ТМО
2	Шламы фторангидрита бария		50,75	Янтарный

Известны изобретения производство строительных элементов, содержащих продукт из ячеистого ангидрита, приклеенных по меньшей мере к одному слою практически неячеистого или плотного облицовочного слоя, изготовленного из ангидритового связующего или зажатого между собой и приклеенного к неячеистым облицовочным слоям, оба из которых выполнены с ангидритовым связующим. Создан легкий, прочный, безусадочный ячеистый бетон, приготовленный путем включения алюминия и щелочного агента, способного образовывать газ при взаимодействии с алюминием в ангидритовом связующем, помещая смесь в форму и позволяя ей расширяться до клеточного продукта и отверждаться. Для получения материала, обладающего оптимальными свойствами, ангидрит, используемый по настоящему изобретению, должен характеризоваться гранулометрией, содержащей, по меньшей мере, около 15% по массе частиц диаметром менее примерно 10 мкм и не менее около 20% по массе частиц, имеющих диаметр более примерно 20 мкм со средним диаметром от примерно 5 до 30 мкм. Ангидрит, который может быть использован, также характеризуется удельной поверхностью от 1000 до 8000 $см^3$/г и предпочтительно от 2000 до 5000 $см^3$/г. [5].

В [6] представлено Разрешение Министерства здравоохранения КазССР (исх. 32/539 ДСП от 10.01.78) по результатам радиологической экспертизы кислого фторангидрита об использовании данного отхода в производстве строительных материалов. А также, согласно

[4] по результатам испытаний на удельную эффективность естественных радионуклидов считается возможным использование нейтрализованного фторангидрита в качестве добавок при производстве цемента.

Для формирования композита из фторсодержащих продуктов, упомянутых выше, требуется систематическое планирование процессов подготовки, включающее этапы дробления, измельчения и нейтрализации кислого фторангидрита.

К образованию отходов при производстве плавиковой кислоты относятся реакции с образованием фторангидрита кальция (Ca(FHSO4)) и сульфата 4 кальция (CaSO4). Химических реакций с участием природных минеральных комплексов (кварц, щелочные полевые шпаты, плагиоклаз, оливин, пироксен) не происходит. Они полностью переходят в состав отхода в естественном природном виде, не претерпевая никаких превращений. Нейтрализация полученного фторангидрита, содержащего 1,3 % иона фтора в виде плавиковой кислоты (1,369 %), и 12,631 % серной кислоты происходит в бункере путем добавления молотого известняка с избытком 50 % от стехиометрии.

Определен вещественный состав методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МСсИСП) (ICP-MS Agilent 7500cx производства компании «Agilent Technologies» (США)) в лаборатории Центра превосходства Веритас ВКТУ им. Д.Серикбаева (Таблица 2).

Таблица 2 – Химический состав фторангидритов

Проба, %	Ca	Mg	Na	Al	P	K	Ti	Fe
1 Фторангидрит нейтрализованный	13,680	0,146	0,248	0,057	0,053	0,093	0,010	0,153
2 Фторангидрит кислый	9,639	0,111	0,215	0,055	0,047	0,050	0,011	0,125

Кроме того, был выполнен рентгеноструктурный анализ указанных материалов на рентгеновском дифрактометре X'Pert PRO, производства компании «PANalitical» (Нидерланды). Данное оборудование используется для проведения качественного и полуколичественного фазового анализа, определения

параметров элементарной ячейки, ориентации кристаллов, анализа структуры поликристаллов, микронапряжений и текстуры. Результаты данных анализов представлены на рисунках 1 и 2.

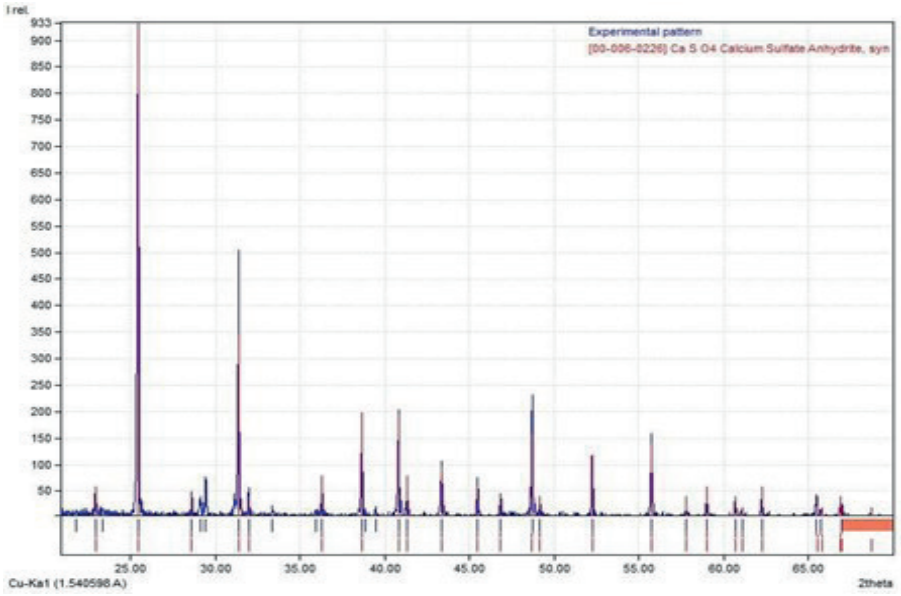


Рисунок 1 – Рентгеноструктурный анализ нейтрализованного ФА

Результат представляют собой спектры ангидрита CaSO4. Спектры основного компонента включают в себя около 25 пик в диапазоне, которые соответствуют отражению рентгеновских лучей от атомов в кристаллической решетке материала.

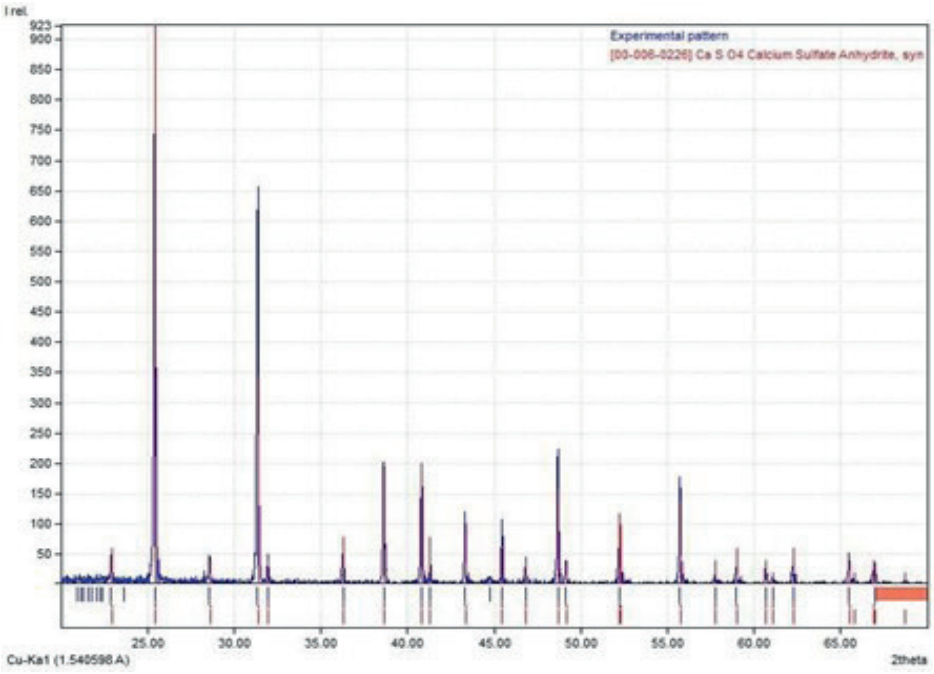


Рисунок 2 – Рентгеноструктурный анализ кислого ФА

Визуальное сравнение снимков (Рис. 1 и 2) спектрометра демонстрирует сходство в их образцах. Не наблюдается неравномерность интенсивности пиков и аномалии значений, которые указывают на присутствие микронапряжений в различных участках образца. Это отражает неоднородность внутренних напряжений в кристаллической структуре материала.

Также, было проведен термогравиметрический анализ нейтрализованного фторангидрита до 1000°С на оборудовании TGA/DSC2 («METTLER TOLEDO» Швейцария) (Рисунок 3).

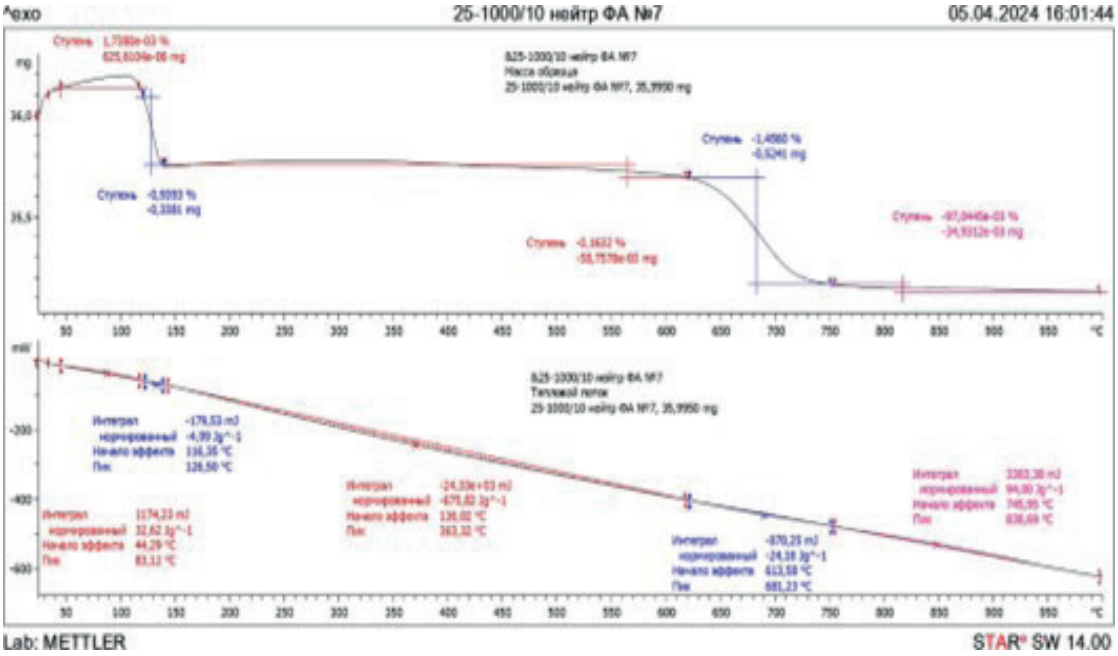


Рисунок 3 – Термогравиметрический анализ нейтрализованного фторангидрита АО "УМЗ"

Кривая показывает изменение массы образца в зависимости от температуры. Пики при 126,5°C и 681,23°C на кривой обуславливается дегидратация CaSO4.

Чтобы гарантировать высокое качество и эффективное использование фторсырья, важно достичь оптимального размера гранул фторангидрита.

Анализируя литературные данные о процессах измельчения фторангидрита с целью получения композитного порошка для различных приложений, мы пришли к выводу о том, что оптимальные результаты достигаются при уменьшении крупности фракции и обеспечении равномерной дисперсности частиц. На основании этого было принято решение о фиксации крупности фракции в диапазоне от 4 до 2 микрометров. [8-15]

Была проведена серия опытов по мокрому измельчению кислого фторангидрита совместно с нейтрализацией в шаровой мельнице.

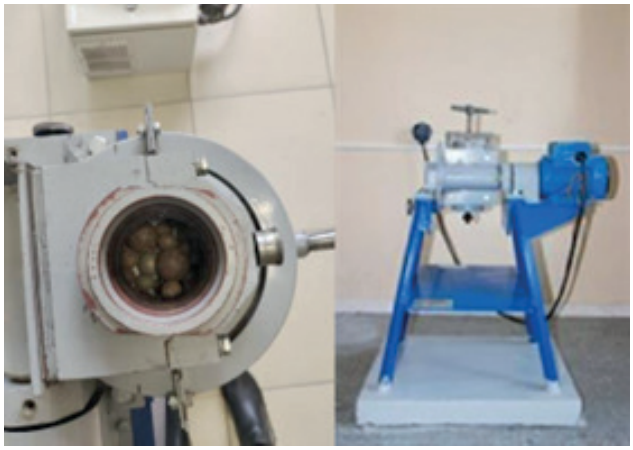


Рисунок 4 – Шаровая мельница МШЛ-7 (40 мл) , V барабана=7л

Объем барабана 7 л; максимальная крупность исходного питания 6 мм; крупность готового продукта (зависит от времени измельчения) 0,074 мм; частота вращения барабана, 68 мин$^{-1}$; шаровая загрузка 9 кг; диаметр шаров в пределах 15-20 мм. Проведена серия экспериментов для определения оптимального времени измельчения «кислого» фторангидрита в сочетании с нейтрализацией при помощи нейтрализующего реагента (негашенной известью CaO в количестве 13 г на расчетную массу).

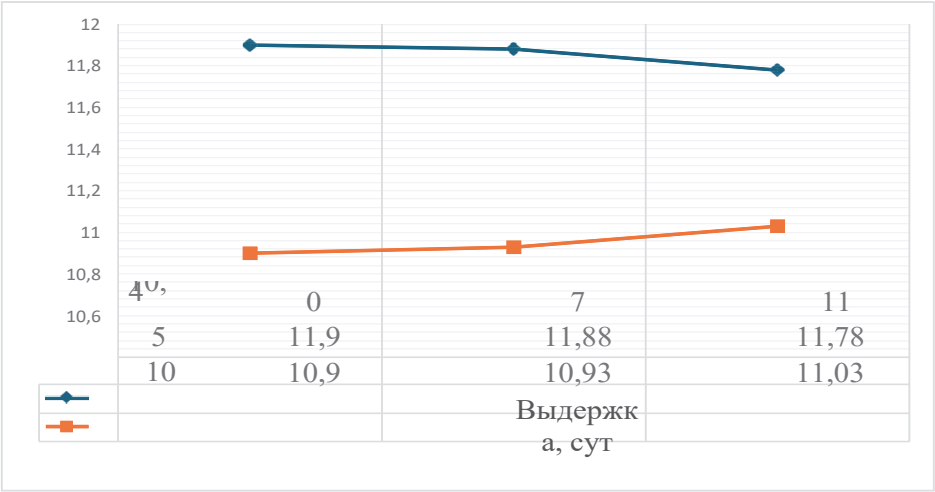


Рисунок 5 – Влияния времени выдержки на изменение уровня pH

В ходе эксперимента были подготовлены растворы с известным начальным уровнем pH. После подготовки растворы были выдержаны при постоянных условиях температуры и давления. Уровень pH в каждом растворе измерялся в течение определенного времени после выдержки с помощью pH-метра. (Рисунок 5). Измерения показали, что уровень pH в растворах изменяется в зависимости от времени выдержки. Наблюдается как увеличение, так и уменьшение уровня pH в течение определенного периода времени после подготовки раствора.

Технология "мокрого" измельчения совместно с нейтрализацией фторангидрита сопровождается рядом существенных недостатков. Эти недостатки включают высокий расход воды для приготовления нейтрализующей пульпы, значительный расход электроэнергии на транспортировку пульпы и возврат осветленной воды из шламонакопителя обратно на стадию ее приготовления. Кроме того, существует высокий риск загрязнения грунтовых вод фтором и не нейтрализованной серной кислотой. Образование минеральных отложений внутри трубопроводов также представляет проблему, особенно при высоком содержании серной кислоты в ФА, что требует большого избытка нейтрализующего агента. Низкая плотность фторангидритовой пульпы и сложности равномерного заполнения ею емкости шламонакопителя приводят к низкой эффективности использования этой емкости. Также, можно отнести то, что во время измельчения в шаровой мельнице с водой частично происходит гидратация частиц фторангидрита, что в последующем усложняет процесс получения композитного материала.

В последующем, для доведения фракции до 4-2 мкм проводили измельчение всех исходных материалов в вибрационном измельчителе ИВ-4 производства ОАО «Грант» (Россия) (Рисунок 6) в течение 5 минут. Характеристика оборудования: помол хрупких сыпучих материалов различной прочности и твердости исходным размером не более 2 мм до фракции размером 0,02 мм (20 мкм).

Рисунок 6 – Вибрационный измельчитель ИВ-4

В вибрационном истирателе происходит более тонкий процесс помола материала по сравнению с шаровой мельницей за счет механической активации частиц фторангидрита в результате истирания при вращении валка. При этом значительная часть частиц, составляющая от 80% до 90% от общей массы, имеет размеры в диапазоне 0,02 мм (20 мкм).

Проводились ряд экспериментов по нейтрализации «кислого» фторангидрита разными нейтрализующими реагентами (рис.7) как: CaO (чда); CaCO3 (мел ученический); CaO (негашенная известь); KOH (0,1M); Na2CO3 (сода); Ca(OH)2 (гашенная известь).

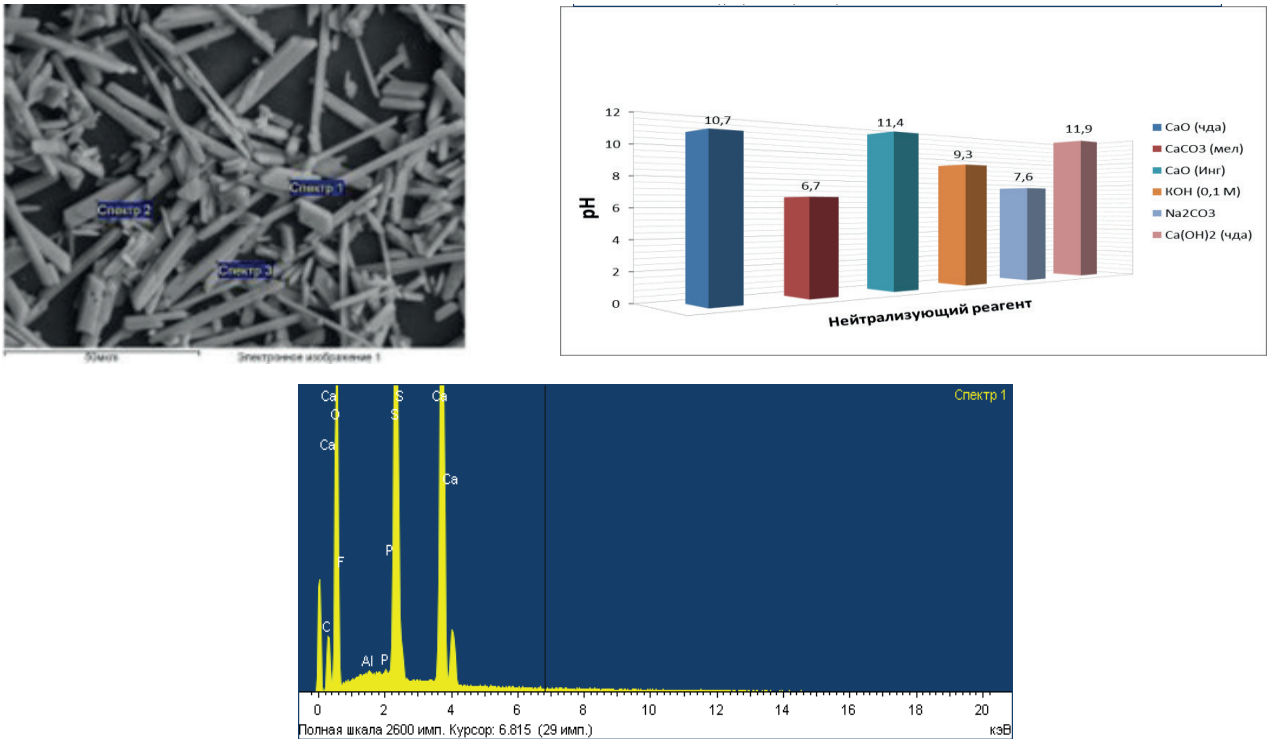


Рисунок 7 – Зависимость pH от природы нейтрализующего реагента

Химический анализ обезвреживающего растворов с нейтрализующими реагентами: CaO (чда), CaO (негашенная известь), CaCO³ (мел) представлен на рисунке 8.

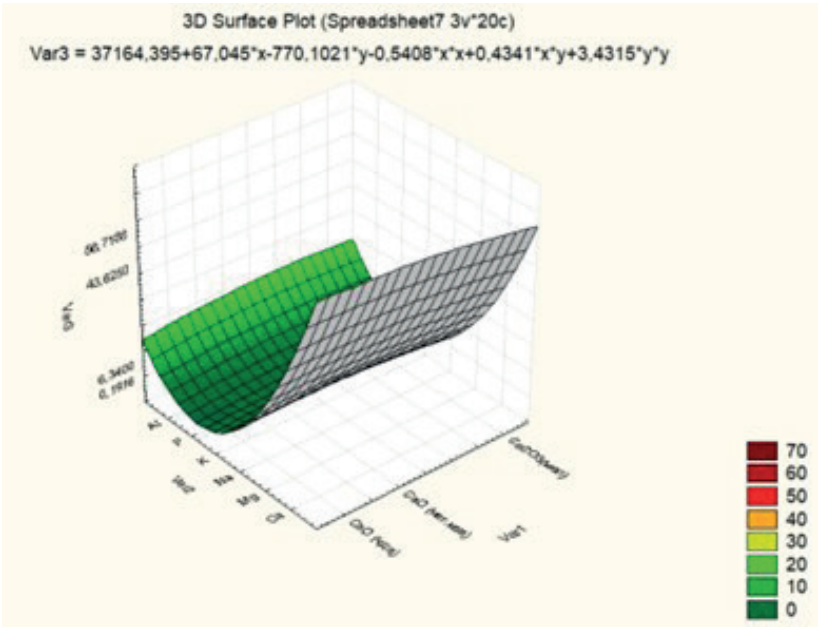


Рисунок 8 – Химический анализ обезвреживающих растворов с нейтрализующими реагентами: CaO (чда), CaO (негашенная известь), CaCO3 (мел)

Был проанализирован раствор нейтрализованного фторангидрита с негашенной известью CaO с использованием растровой электронной микроскопии с системой микроанализа INCA Energy (Рисунок 8).

Все три спектра показывают сходные результаты в содержании элементов: O, Al, P, S и Ca. Основные элементы в составе образца включают O, S и Ca, которые, вероятно, являются основными компонентами фторангидрита и негашенной извести соответственно.

Обнаруженные следы Al и P могут указывать на присутствие примесей или добавок в образце. Общий процент содержания элементов близок к 100%, что свидетельствует о том, что результаты анализа вполне точны и полные.

Таким образом, результаты анализа указывают на то, что раствор содержит фторангидрит с некоторыми примесями, а также негашенную известь в качестве нейтрализующего агента.

Результаты данного исследования представляют собой установление химического состава и структуры техногенного фторсодержащего сырья, что является важным этапом для последующего синтеза композиционных систем. Обнаружено, что после процесса нейтрализации фторангидрита возможно его использование в качестве наполнителя композиционных изделий, пригодных для применения в различных отраслях промышленности, включая аэрокосмическую и строительную сферы. Этот вывод является практически значимым, поскольку открывает перспективы для использования отходов производства в качестве сырья для создания новых материалов с высокой функциональностью и применимостью в различных отраслях промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. essentialchemicalindustry.org

Анализ рынка безводного фтористого водорода и плавиковой кислоты в России (с предоставлением базы импортно-экспортных операций). https://drgroup.ru/1544-Analiz-rynka-bezvodnogo-ftoristogo-vodoroda-i- plavikovoj-kisloty-v-Rossii.html

https://www.ddfluor.com/fluorochemicals/anhydrite-caso4/

2. Справочник по наилучшим доступным техникам "Производство неорганических химических веществ" (приложение к постановлению Правительства Республики Казахстан от 21 сентября 2023 года № 821)

3. United State patent US4300324A. United State patent. 4.300.324. Nov.171 1981. Anhydrita cellular concrete composite building elements and their method of manufacture. 1981-11-17.

4. Родин А.Н. Отчет «Испытание гипсового вяжущего и определить пригодность в строительстве». Алма-Ата, 1987. Алма-Атинский научно-исследовательский проектный институт строительных материалов

«НИИСТРОМПРОЕКТ».

5. Аттестат радиационного качества нейтрализованного гипса №53-01-35/2806 от 11.12.01.

6. Дезинтегратор в технологии получения фторангидрита / А. С. Рыбин, Ю. М. Федорчук, Д. В. Нарыжный [и др.] // Современные проблемы машиностроения: Сборник трудов XIV Международной научно- технической конференции, Томск, 25–30 октября 2021 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – С. 107-108. – EDN MWUACI.

7. Композиционный материал на основе отходов антропогенного происхождения и способ его приготовления. Патент RU 2795337C1 / А.Ф. Гордина, А.Н. Гуменюк. – Опубл. 02.05.2023 Бюл. № 13.

8. Аниканова Л.А., Волкова О.В., Курмангалиева А.И., Волков К.С. Исследование фторангидритового сырья для получения композиционных вяжущих. Вестник Томского государственного архитектурно- строительного университета. 2015;(4):160-170.

9. Бутт Ю.М. и др. Технология вяжущих веществ. Изд. "Высшая школа", М., 1965 г., с.70-73.

10. Способ получения ангидритового вяжущего. Патент) RU 2277515C2 / Ю.М. Федорчук. – Опубл. 10.06.2006 Бюл. № 16.

11. Зольно-ангидритовое вяжущее. Патент RU 2620673C2 / В.К. Козлова, В.В. Коньшин, А.Н. Афаньков, А.В. Афанькова, Т.В. Рослякова. – Опубл. 29.05.2017 Бюл. № 16.

12. United State patent. 4.300.324. Nov.171 1981. Anhydrita cellular concrete composite building elements and their method of manufacture.

13. Пономаренко А.А. Технология кондиционирования и применение фторангидрита в составе цементов общестроительного назначения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург – 2014, 168 с.

Секция 6

Вопросы устойчивого развития, в том числе экология, социальная сфера и корпоративное управление (ESG), правовые, макроэкономические и образовательные аспекты функционирования атомной отрасли

Section 6

Sustainable development issues, including ecology, social sphere and corporate governance (ESG), legal, macroeconomic and educational aspects of the nuclear industry functioning

О ВЫПОЛНЕНИИ РЕСПУБЛИКОЙ КАЗАХСТАН ОБЯЗАТЕЛЬСТВ, ВЫТЕКАЮЩИХ ИЗ ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНВЕНЦИИ О БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ И О БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Блынский А.П.[1], Тажибаева И.Л.[1], Клепиков А.Х.[1], Романенко О.Г.[1], Азмаганбетова Ж.Р.[2]
[1]Научно-технический центр «Безопасность ядерных технологий»
г. Алматы, Республика Казахстан
[2]Комитет атомного и энергетического надзора и контроля МЭ РК
г. Астана, Республика Казахстан

Аннотация. Опыт применения Объединенной конвенции в течение более четверти века показал ее эффективность и полезность для всех стран-участниц. Произошло принципиальное изменение статуса проблемы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом в мире, что позволило перейти к системному подходу в вопросах обеспечения безопасности и решения масштабных проблем ядерного наследия. В статье рассматривается роль Объединенной конвенции для Республики Казахстан. Затрагиваются важные вопросы обращения с отработавшим топливом энергетического реактора БН-350 и исследовательских реакторов, а также обращения с радиоактивными материалами в различных аспектах.

Для Казахстана, имеющего большие объемы накопленных радиоактивных отходов, важным является внимательное изучение текущего состояния, определение стратегии улучшения положения дел и последовательное, обязательное воплощение в жизнь намеченных планов и реализация национальных программ.

Ключевые слова: Объединенная конвенция, отработавшее ядерное топливо, радиоактивные отходы

ON THE FULFILLMENT BY THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN OF OBLIGATIONS ARISING FROM THE JOINT CONVENTION ON THE SAFETY OF SPENT FUEL MANAGEMENT AND ON THE SAFETY OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Введение

«Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом (ОЯТ) и безопасности обращения с радиоактивными отходами (РАО)» (далее – Объединенная конвенция или ОК) – это единственный юридически обязательный международно-правовой документ, посвященный вопросам безопасности обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами на глобальном уровне. До нее регулирование в этой сфере деятельности международными соглашениями системно не осуществлялось.

Опыт применения Объединенной конвенции в течение более четверти века показал ее эффективность и полезность для всех стран-участниц, принявших ОК. Произошло принципиальное изменение статуса проблемы обращения с РАО и ОЯТ в мире, что позволило перейти к системному подходу в вопросах обеспечения безопасности и решения масштабных проблем ядерного наследия.

В данной статье рассматриваются особенности применения ОК в Республике Казахстан.

ОБЩИЙ ОБЗОР ПО ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНВЕНЦИИ, УЧАСТНИКИ, ЭВОЛЮЦИЯ КОНВЕНЦИИ

Объединенная конвенция [1] была принята 5 сентября 1997 года на созванной МАГАТЭ дипломатической конференции в Вене. 29 сентября 1997 года Конвенция была открыта для подписания и вступила в силу 18 июня 2001 года. Сегодня из 178 государств-членов МАГАТЭ 88 являются ее участниками.

Рамки ОК позволяют достичь и поддерживать высокий уровень безопасности обращения с ОЯТ и РАО во всем мире путем укрепления национальных мер и международного взаимодействия, в том числе в соответствующих случаях — технического сотрудничества в области безопасности.

Конвенция привела к проведению важных и масштабных мероприятий инфраструктурного, технологического, нормативно-правового и организационного характера, направленных на повышение безопасности и реализующих обязательства по выполнению положений ОК, касающихся, в том числе, исторических отходов.

Все это позволило провести практические работы, развернутые, в том числе, в ключевых сегментах заключительной стадии ядерного топливного цикла — обращения с ОЯТ, РАО и при выводе из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов, достичь организациям атомной отрасли убедительного прогресса как в решении отложенных ранее проблем ядерного наследия, так и приступить к созданию прочной базы для надежного обеспечения безопасности в будущем.

ОК позволяет:

• Использовать единый международный подход к вопросам обращения с ОЯТ и РАО и обмен экспертными знаниями в этих областях.

• Иметь уверенность общественности в том, что национальные положения, регулирующие обращение с ОЯТ и РАО, соответствуют международным нормам.

• Иметь возможность получения странами с ограниченными ресурсами помощи в совершенствовании их инфраструктуры.

Объединенная конвенция имеет “побудительный” характер: она нацелена на содействие высокому уровню безопасности при обращении с ОЯТ и РАО на основе процесса экспертного рассмотрения каждые три года.

Процесс экспертного рассмотрения включает:

• Договаривающиеся стороны представляют всем другим Договаривающимся сторонам национальные доклады с описанием выполнения ими своих обязательств в соответствии с Конвенцией.

• Договаривающиеся стороны просят дать разъяснения в отношении национальных докладов других Договаривающихся сторон через систему вопросов и ответов в письменной форме.

• Договаривающиеся стороны представляют и обсуждают свои национальные доклады в ходе Совещания по рассмотрению на заседаниях групп стран.

Обмен информацией, активно происходящий благодаря совещаниям по рассмотрению, может быть особенно полезен для стран, не имеющих достаточных экспертных ресурсов для обеспечения безопасности обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами.

Цели ОК (статья 1):

• Достичь и поддерживать высокий уровень безопасности обращения с отработавшим топливом и с радиоактивными отходами во всем мире.

• Обеспечить в ходе такой деятельности наличие эффективных средств защиты от потенциальной опасности.

• Предотвращать аварии с радиологическими последствиями и смягчать их последствия в том случае, если они произойдут на любой стадии обращения с отработавшим топливом или с радиоактивными отходами.

ОК является рабочим документом, который проходит определенную эволюцию по мере его применения в разных странах мира. Это, прежде всего, видно по изменениям, внесенным в дополнительные документы. Всего для организации эффективной работы в рамках положений ОК имеется три таких документа:

• Информационный циркуляр «Правила процедуры и Финансовые правила», INFCIRC/602/Rev.5 [2].

• Информационный циркуляр «Руководящие принципы, касающиеся процесса рассмотрения», INFCIRC/603/Rev.8 [3].

• Информационный циркуляр «Руководящие принципы в отношении формы и структуры национальных докладов», INFCIRC/604/Rev.4 [4].

Изменения в эти документы вносятся, как правило, на Совещаниях договаривающихся сторон. Эти изменения отражают лучшую практику, полученную в ходе работы как подразделений МАГАТЭ, так и национальных команд, работающих над повышением эффективности выполнения положения Объединенной конвенции.

Выполнение положений ОК Республикой Казахстан

Республика Казахстан (далее – РК) подписала «Объединенную Конвенцию о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами» в 1997 году. Закон №246-IV о ратификации Конвенции был подписан 3 февраля 2010 года. Таким образом, Республика Казахстан взяла на себя обязательства перед мировым сообществом предпринять ряд шагов с целью приведения своей национальной стратегии в области обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами в соответствие с рекомендациями МАГАТЭ.

В настоящее время готовится уже пятый Национальный доклад Республики Казахстан, в соответствии со Статьей 32 Объединенной конвенции.

Обращение с ОЯТ в Республике Казахстан на настоящий момент состоит в его долговременном контролируемом хранении на специальных площадках (хранилищах), в соответствии с принятыми Правительственными решениями в этой области. Однако концепция долговременного хранения не рассматривается в качестве окончательной «конечной точки» обращения с ОЯТ, а является только временным решением. Такой «конечной точкой» могут быть утилизация или захоронение, т.е. операции, исключающие возможность дальнейшего обращение с ОЯТ. Для этого необходимо разработать концепцию дальнейшего обращения с ОЯТ в РК, обеспечивающую достижение «конечной точки».

В области обращения с ОЯТ Республика Казахстан за последние годы осуществила ряд важных практических шагов.

В отношении наиболее существенной с точки зрения режима нераспространения компоненты – отработавшего ядерного топлива реактора БН-350 - была выполнена значительная работа по размещению этого топлива на долговременное хранение. Топливный проект был реализован в рамках сотрудничества между США и РК на основе межправительственного Соглашения «Относительно уничтожения шахтных пусковых установок межконтинентальных баллистических ракет, ликвидации последствий аварийных ситуаций и предотвращения распространения ядерного оружия» (известный как Соглашение CTR), подписанного 13 декабря 1993 г. В проекте была реализована принятая Казахстаном концепция обеспечения долговременного (50 лет) безопасного хранения ОЯТ реактора БН-350.

ОЯТ реактора БН-350

В декабре 1998 года были начаты работы по упаковке отработавшего топлива реактора БН-350 в герметичные 6-ти местные чехлы, заполненные инертным газом. ОЯТ РУ БН 350 хранилось на площадки временного хранения ТОО МАЭК в металлобетонных контейнерах двойного назначения ТУК 123, предназначенных для транспортировки и долговременного хранения.

По окончании работ по упаковке неповрежденных штатных облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС) реактора БН-350 были начаты работы по упаковке дефектных, экспериментальных и разделанных ОТВС. Упаковка данной категории топлива осуществлялась по специальной технологии, получившей название «стабилизация». В соответствии со специально разработанным планом упаковки учетные единицы неординарного топлива упаковывались в герметичные 4-местные упаковки (чехлы). Отдельные части разделанных в горячей камере ОТВС предварительно помещались в стабилизаторы. Так же в стабилизаторы помещались и ОТВС, имеющие негерметичные тепловыделяющие элементы. Стабилизаторы загружались в 4-местные упаковки (чехлы).

Контейнеры были перевезены железнодорожным транспортом на специально построенную площадку долговременного хранения отработавшего ядерного топлива (ДХОЯТ) на КИР «Байкал-1» Национального ядерного центра РК в восточной части Казахстана. Обеспечено надежное хранение ОЯТ в течение 50 лет.

Возможные варианты дальнейшего обращения с ОЯТ БН-350 были рассмотрены с точки зрения различных критериев, таких как политическая приемлемость, техническая реализуемость, экономическая целесообразность и др. Для наиболее перспективного варианта обращения с ОЯТ БН-350 было разработано технико-экономическое обоснование. Результаты вышеуказанных работ были представлены в МЭ РК.

ОЯТ исследовательских реакторов

В Республике Казахстан имеется три исследовательских реактора (ИР), принадлежащих Национальному ядерному центру РК (НЯЦ РК). Это реакторы ИВГ-1М, ИГР и РА, которые находятся на территории бывшего Семипалатинского полигона, а также реактор ВВР-К, принадлежащий РГП «Институт Ядерной физики», который находится в поселке Алатау недалеко от г. Алматы. ОЯТ всех ИР хранится во временных хранилищах при исследовательских реакторах. ОЯТ и свежее ядерное топливо реактора РА вывезено в

Российскую Федерацию в соответствии с международным Соглашением между РК и РФ. Обращение с ОЯТ на исследовательских реакторах в настоящее время состоит в выгрузке его из реактора, транспортировке в расположенное рядом хранилище и длительном контролируемом хранении. Для ОЯТ каждого ИР должно быть принято решение о выборе технологии утилизации или долговременного хранения.

В 2009 году был успешно завершен вывоз крупной партии отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) из Института ядерной физики Национального ядерного центра в страну происхождения (Российскую Федерацию) для последующей переработки. 278 отработавших топливных сборок, содержащих около 74 кг облученного высокообогащенного урана и большое количество радиоактивных продуктов его деления, были перевезены несколькими рейсами специального транспорта в период с декабря 2008 года по май 2009 года. Подготовка и реализация проекта выполнена совместными усилиями специалистов Казахстана, России, США и Международного агентства по атомной энергии. В соответствии с международным соглашением РК-РФ по обращению с ОЯТ реактора ВВР-К, высокоактивные отходы реактора ВВР-К после переработки в России должны быть возвращены в Казахстан для последующего долговременного хранения [5]. Вопрос обращения с возвращенными ВАО пока остается нерешенным.

Казахстанскими учеными в 2023 году предложена новая технология обращения с облученным топливом, которая получила положительную экспертную оценку МАГАТЭ. А именно, для решения вопроса утилизации облученного графитового топлива первой активной зоны реактора ИГР, находящейся на хранении более 60-ти лет, специалисты НЯЦ РК предложили собственную концептуальную технологию разбавления и иммобилизации. Суть технологии заключалась в разбавлении ВОУ - топлива путем измельчения и смешивания его с обедненным диоксидом урана и последующее заключение его в цементную матрицу при соблюдении определенных технологических требований. Данная технология может быть использована для подобных видов топлива в других странах, участвующих в программе минимизации ВОУ. Реализация этой задачи является значимым достижением в деле нераспространения ядерного оружия [6].

ОЯТ реактора ИВГ.1М, НЯЦ РК также планировалось отправить в РФ на переработку с последующим возвратом ВАО через 20 лет. Однако планы изменились и в настоящее время предполагается строительство пункта долговременного хранения ОЯТ ИВГ.1.М на площадке Байкал-1.

Обращение с ОЯТ на исследовательских реакторах в настоящее время состоит в выгрузке его из реактора, транспортировке в расположенное рядом хранилище и длительном контролируемом хранении.

Обращение с РАО в Республике Казахстан

РАО, имеющиеся в Республике Казахстан, представлены отходами уранодобывающей нефте-газодобывающей, металлургической отраслей промышленности в виде отвалов, хвостохранилищ, загрязненных грунтов, труб, оборудования, жидкими и твердыми отходами от находящейся в стадии вывода из эксплуатации реакторной установки (РУ) БН-350 в г. Актау, а также действующих исследовательских реакторов в п. Алатау и г. Курчатове, используемыми в различных отраслях промышленности, медицины, сельского хозяйства ампульными источниками ионизирующего излучения, отслужившими свой срок и требующими захоронения, а также загрязненными в результате проводимых в Казахстане ядерных испытаний территориями.

В настоящее время в Республике Казахстан имеется достаточно полная и централизованная информация по отработавшим ИИИ (ведется КАЭНК МЭ РК), РАО от эксплуатации и вывода из эксплуатации реакторов, по отходам уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности (ведется на предприятиях, представляется в виде отчетов в КАЭНК МЭ РК).

Информация об отходах, полученных в результате испытаний ядерного оружия и боевых радиоактивных веществ (БРВ), а также по отходам горнорудной, угольной и нефтедобывающей промышленности недостаточно полна и требует проведения обследований и создания Реестра и Кадастра РАО.

В различное время предпринимались попытки сбора информации по регионам и создание кадастра РАО. Первая подробная инвентаризация мест размещения отходов была предпринята в 1993 г, в ходе этой работы было выявлено 529 мест хранения и захоронения РАО.

Эти данные были использованы в «Концепции захоронения радиоактивных отходов Республики Казахстан», но в дальнейшем, работа по обновлению единого Кадастра РАО в РК не была продолжена.

Ситуация в Казахстане с радиоактивными отходами сложная. Одновременно с проводимой работой по утилизации радиоактивных отходов продолжается генерация новых отходов, и выполнен далеко не полный объем работ по рекультивации ранее загрязненных земель. Происходит образование и накопление низкоактивных радиоактивных отходов на предприятиях цветной металлургии, нефтяной промышленности, организациях здравоохранения.

Хранилища, в которых осуществляется долговременное хранение РАО, были спроектированы и построены по нормам и правилам бывшего СССР, поэтому требуется проведение оценки безопасности их состояния и пересмотр вопросов, связанных с их закрытием после заполнения. Однако, соответствующие нормативные правовые акты и методические указания, а также нормативные правовые акты, определяющие порядок

перевода РАО из долговременных хранилищ в пункты захоронения, отсутствуют. Действующие документы по рекультивации земель, касаются только предприятий добывающей промышленности и не могут в полной мере быть использованы для территорий, загрязненных продуктами проведенных ядерных взрывов.

В рамках совершенствования национального законодательства планируется обновить регулирующие документы в области радиационной безопасности и обращения с РАО.

После ратификации ОК в 2010 году Казахстан прошел определенный положительный путь в обеспечении и повышении радиационной безопасности. Здесь нужно отметить, прежде всего, совершенствование нормативно-правовой базы. В 2021 году был принят основательно обновленный Экологический Кодекс [7]. В нем на новом уровне разработаны вопросы по обращению с опасными отходами. Одним из новшеств является требование по созданию и ведению Государственного Реестра исторических отходов.

Новым Экологическим кодексом предусмотрено понятие «накопление отходов». Теперь накопление отходов разрешено не только лицу, образовавшему отходы, но и лицам, осуществляющим сбор, восстановление или удаление отходов. Кодекс устанавливает максимальные сроки накопления отходов: 6 месяцев на месте образования, 3 месяца на месте сбора и 6 месяцев на месте удаления или восстановления. Для отходов горнодобывающих и горно-перерабатывающих производств максимальный срок накопления на месте их образования составляет 12 месяцев.

За нарушение сроков временного накопления отходов предусмотрена серьезная административная ответственность – штраф в размере ставки платы, предусмотренной за захоронение отходов данного вида, умноженной на количество накопленных отходов, за каждый день сверх установленного срока накопления. Таким образом, штраф приобретает характер пени, начисление которой будет прекращаться только с вывозом отходов к месту сбора, удаления или восстановления. Серьезная административная ответственность предусмотрена и за нарушение установленных лимитов накопления отходов.

Новый ЭК, в отличие от старого, не имеет части положений об обращении с радиоактивными материалами, об экологических требованиях к размещению и эксплуатации ядерных установок и объектов, предназначенных для обращения с РАО.

Новый ЭК имеет отдельную главу «Особенности управления радиоактивными отходами». В главу включены следующие статьи:

- Радиоактивные отходы и их классификация;
- Экологические требования в области управления радиоактивными отходами;
- Классификация пунктов хранения и (или) захоронения радиоактивных отходов;
- Экологические требования при хранении и захоронении радиоактивных отходов;
- Экологические требования к пунктам хранения и (или) захоронения радиоактивных отходов;
- Трансграничное перемещение радиоактивных отходов;
- Экологические требования при транспортировке радиоактивных отходов.

В настоящее время имеются некоторые противоречия в трактовках понятий о категориях РАО и обращении с РАО в целом в Экологическом Кодексе, ЗРК «Об использовании атомной энергии» и Санитарных Правилах и Нормах. Все эти противоречия можно ликвидировать, приняв новый Закон «Об обращении с РАО». Только принятие данного Закона Об обращении с РАО позволит описать полностью всю систему обращения РАО, решить все накопленные проблемы и не создавать новых. Принятие ЗРК «Об обращении с РАО» создаст правовое поле по обращению с историческими и возникающими в процессе эксплуатации предприятий атомной, нефтяной и горнорудной отраслей промышленности, позволит решить многие экологические проблемы путем планирования работы с РАО, придаст новый импульс развитию атомной энергетики и промышленности. Вопросы обращения с РАО в Казахстане, включая текущую ситуацию, политику и практики обращения с РАО в РК и мировой опыт, а также методы улучшения восприятия общественностью деятельности в области мирного использования атомной энергии, в частности, улучшения экологической ситуации в стране при безопасном обращении с РАО изложены в докладе [8].

Проект закона разрабатывается уже давно, но процесс его принятия является сложным. В последние несколько месяцев имеется значительный прогресс в продвижении ЗРК «Об обращении с РАО» после инициирования проекта данного Закона Комитетом экологии и природопользования Мажилиса Парламента РК. Принятие очень важного Закона «Об обращении с РАО» позволит Казахстану поднять решение вопросов и задач обращения с РАО на новый уровень, что напрямую скажется на улучшении экологической ситуации в стране.

Роль объединенной конвенции в сфере обращения с ОЯТ и РАО в Казахстане

Объединенная Конвенция играет существенную, определяющую роль при обращении с ОЯТ и РАО в Казахстане. Ее обязательные к исполнению положения ставят вопросы обращения с ОЯТ и РАО на более высокий уровень, давая возможность каждой стране-участнице развернуть собственную программу в рамках Конвенции, с учетом национальных особенностей.

Важные для общества вопросы обращения с опасными материалами и отходами решаются на должном, ответственном уровне. Это позволяет странам, развивающим атомную отрасль, создавать и поддерживать уверенность людей в том, что безопасность для ныне живущих и последующих поколений безусловно соблюдается.

Для государственных органов, в сферу деятельности и ответственности которых входят вопросы обращения с ОЯТ и РАО, положения ОК являются, с одной стороны, реальным механизмом управления и контроля, а с другой стороны, дисциплинируют и упорядочивают повседневную работу.

Национальные доклады других стран

Как уже указывалось выше, в ОК участвуют 88 стран. Каждая из них готовит свой национальный доклад о выполнении положений ОК. Такие национальные доклады обновляются каждые три года. Они основательно рассматриваются опытными международными экспертами, а также эксперты готовят вопросы, на которые нужно дать ответы. Затем на совещаниях в МАГАТЭ проходит подробный процесс обсуждения рассматриваемых национальных докладов [9]. За прошедшие после принятия ОК годы накоплен огромный опыт в области безопасного обращения с ОЯТ и РАО. Этот опыт широко распространяется в рамках МАГАТЭ и путем непосредственного общения стран-участниц ОК, позволяя планомерно, шаг за шагом улучшать ситуацию с ОЯТ и РАО как в отдельных странах, так и в целом в мире [10].

Выводы

1. Объединенная конвенция – это основополагающий документ, базис международной деятельности в сфере обеспечения безопасного обращения с ОЯТ и РАО, важный обязующий инструмент для развития национальных технологий и методов обращения с отходами.

2. Прошло практически уже четверть века с момента ратификации ОК в РК. Прошедшие годы ясно показали особую роль и важность этого международного документа, его позитивное влияние на улучшение положения с обращением ОЯТ и РАО в стране.

3. Хорошо структурированные национальные доклады отвечают практически на все вопросы, связанные с обращением с ОЯТ и РАО, показывая текущее состояние дел, имеющиеся сложности и проблемы, пути их преодоления и движение вперед по пути к миру, в котором вопросы обращения с радиоактивными отходами решаются адекватно и отходы не причиняют вреда окружающей среде и человечеству.

4. Это позволяет стране-участнице ОК ясно видеть те задачи, которые еще предстоит решить, их глубину и актуальность, расставить приоритеты в их исполнении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Объединенная Конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Вена, 1997.
2. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Информационный циркуляр «Правила процедуры и Финансовые правила», INFCIRC/602/Rev.5, Вена, 2014.
3. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Информационный циркуляр «Руководящие принципы, касающиеся процесса рассмотрения», INFCIRC/603/Rev.8, Вена, Австрия, 2022.
4. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Информационный циркуляр «Руководящие принципы в отношении формы и структуры национальных докладов», INFCIRC/604/Rev.4, Вена, Австрия, 2023.
5. Тулеушев А.Ж., Чакров П.В., Накипов Д.А. Вывоз отработавшего ядерного топлива исследовательского реактора ВВР-К из Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – Выпуск 4. – Дек. – 2009. – С. 9–13.
6. Бакланова Ю.Ю., Букина О.С., Коянбаев Е.Т., Бакланов В.В., Коровиков А.Г., Витюк В.А. Концептуальная схема обращения с ОЯТ высокого обогащения на примере исследовательского импульсного графитового реактора : Материалы международной конференции «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики», 14–17 ноября 2023 г., НИКИЭТ. Москва. – С. 164.
7. Экологический Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК.
8. Тажибаева И.Л., Клепиков А.Х., Романенко О.Г., Блынский А.П. Проблемы обращения с радиоактивными отходами в Республики Казахстан. Как повысить общественную приемлемость : Материалы международной конференции «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики», 14–17 ноября 2023 г., НИКИЭТ. Москва. – С. 158.
9. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Седьмое Совещание договаривающихся сторон по рассмотрению, Итоговый доклад, 27 июня – 8 июля 2022 года, Вена, Австрия.
10. Дорофеев А.Н., Уткин С.С., Мамчиц Е.Г., Дорогов В.И., Самойлов А.А., Понизов А.В., Василишин А.Л. Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, К 20-летию действия Объединенной конвенции о безопасности обращения с ОЯТ и о безопасности обращения с РАО // Радиоактивные отходы. – № 1 (22). – 2023.

О РАЗВИТИИ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПТИЦ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Акентьева Е. В.[1,2], Гаврилов А.Э.[1], Сыгаев Е.К.[3], Большакова Н.А.[3]
[1]РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК, Казахстан, г. Алматы
[2]Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
[3]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы

Аннотация. В данной статье указаны основные виды взаимодействий птиц и воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Приведены примеры положительных и негативных типов прямого взаимодействия птиц и ВЛЭП. Авторами изучено и приведено множество работ, поднимающих проблему смертности птиц на ВЛЭП и пути решения, рассмотрены птицезащитные устройства (ПЗУ), разработанные в прошлом веке и их эффективность. Приведены примеры рекомендованных к применению ПЗУ в настоящее время.

Ключевые слова: птицы, птицеопасные воздушные линии электропередач (ВЛЭП), птицезащитные устройства (ПЗУ), поражение током, столкновение с проводами.

ON THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR PROTECTING BIRDS ON OVERHEAD POWER LINES

Akentyeva E.V.[1,2], Gavrilov A.E.[1], Sygaev E.K.[3], Bolshakova N.A.[3]
[1]RSE at the REM «Institute of Zoology» CS MSHE RK, Kazakhstan, Almaty
[2]Kazakh National University named after. Al-Farabi, Kazakhstan, Almaty
[3]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty

Abstract. This article identifies the main types of interactions between birds and overhead power lines (OHPLs). Examples of positive and negative types of direct interaction between birds and OHPLs are given. The authors have studied and cited many works that raise the problem of bird mortality on overhead power lines and solutions; they have reviewed bird protection devices (BPDs) developed in the last century and their effectiveness. Examples of currently recommended BPDs are given.

Key words: birds, bird-hazardous overhead power lines (OHPLs), bird protection devices (BPDs), electric shock, collision with wires.

Интенсивное развитие воздушных систем электроснабжения, как одного из наиболее заметных элементов искусственного пространства, приводит к существенному изменению облика ландшафтов и условий среды обитания многих видов организмов [1]. Особенное влияние ВЛЭП оказывают на птиц. Такое влияние может быть позитивным (использования опор в качестве мест для гнездовых построек, присады, ночевок) (рисунок 1) [2–4], однако, нельзя отрицать колоссальное негативное воздействие на птиц (гибель от поражения электрических током, от столкновения с проводами) [2, 3, 5, 6].

Рисунок 1 – Использование опоры ВЛЭП птицами: А – места отдыха и наблюдений; Б – гнездо, устроенное на ВЛЭП (район Жанатас, 2019 год) Фото Гаврилова А.Э.

По оценкам специалистов, ежегодно в Казахстане от поражения током на ВЛЭП погибает от 35 до 40 тысяч птиц. Наиболее уязвимыми видами являются хищные птицы (орлы, канюки, соколы, коршуны, ястребы, грифы), также на опорах ВЛЭП гибнут чайки, врановые и другие крупные птицы [6–10] (рисунок 2). Достаточно крупные размеры делают их уязвимыми к поражению электрическим током. Садясь на опору или слетая с нее, птица может вызвать короткое замыкание, поскольку ее тело может замкнуть провода и заземляющую часть опоры. Риск таких коротких замыканий увеличивается при высокой влажности и в дождливую погоду [6, 11].

Наиболее птицеопасными признаны массовые трехфазные ВЛЭП 6-35 кВ на железобетонных опорах со штыревой изоляцией на заземляемых стальных траверсах с треугольным сечением расположения проводов. Именно этот вид конструкций опор с траверсами типа М-I и их модификации оказались смертельно опасными для птиц, а сами ВЛЭП данного типа получили название: ЛЭП-«убийцы птиц» [11].

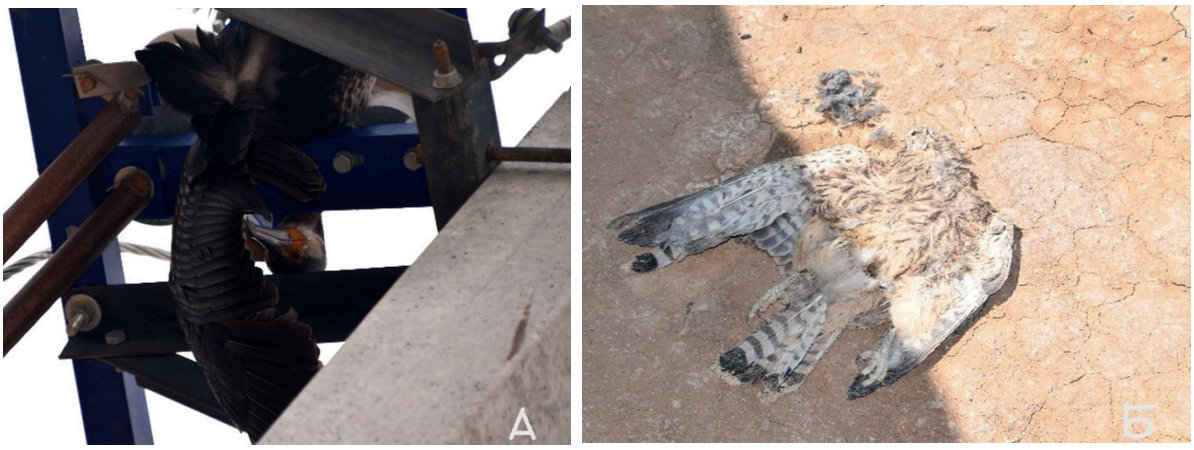


Рисунок 2 – Птицы, погибшие на ВЛЭП от поражения электрическим током: А – большой баклан (*Phalacrocorax carbo*), погибший на опоре ВЛЭП, Сузакский район, месторождение Мынкудук, 2023 г.; Б – пустельга *(Falco tinnunculus),* найденная под опорой ВЛЭП, район Жанатас, 2019 г.
Фото Гаврилова А. Э.

Другим негативным фактором ВЛЭП служит прямое столкновение птиц с проводами, что зачастую приводит к их травматизации либо гибели. Неприметность одиночных проводов, особенно в темное время суток, ухудшает ситуацию. Чаще прямому столкновению подвержены ночные хищники (совообразные) и околоводные птицы во время ночных миграций [6-9]. Однако есть предположения, что с этой проблемой могут столкнуться практически все представители авиафауны.

Проблемы смертности птиц на ВЛЭП и некоторые пути решения описаны во многих работах как зарубежных, так и местных исследователей: Markus 1972, Haas 1980, Ledger, Annegarn 1981, Ferrer, Hiraldo 1991, Bayle 1999, Janss 2000, Arhipov 2000, Guyonne et al. 2001, Adamec 2004, Karyakin et al. 2005, Karyakin, Barabashin 2005, Kariakin, Novikova 2006, Mastina 2005, Medzhidov et al. 2005; Pestov 2005, Cartron et al. 2006, Lehman et al. 2007, Harness, Gombobaatar, Yosef, 2008; Лаш У., Зербе Ш., Ленк М. 2010; Батбаяр и др. 2018. В 2018 и 2023 годах были проведены международные конференции, посвященные проблемам изучения и сохранения хищных птиц, где были выделены отдельные секции «Птицы и энергетика». Докладчики рассказали о проблеме взаимодействия птиц и ВЛЭП в разных странах и о некоторых рекомендациях по их решению [12, 13].

В 80-90-е годы прошлого века были разработаны первые рекомендации по защите птиц на ВЛЭП. Было предпринято изменение оголовка опор ВЛ 6-10 кВ со штыревой на подвесную конструкцию. В качестве решения проблемы гибели птиц на ВЛЭП была предложена установка заградительных элементов, контактно-механических средств, препятствующих посадке птиц (сетчатые экраны; кожухи; «ерши», «метелки», выполненные из распущенных отрезков металлического троса; «гребенки» из диэлектрических материалов или проволоки; вертушки) [14]. Однако такие методы оказались небезопасными и даже привели к увеличению случаев замыкания птиц. Сейчас в ряде стран такие методы запрещены законодательно.

Были предприняты попытки использования методов пассивного и активного отпугивания птиц. Применяли отпугивающие средства пассивного действия (оптические репелленты), выполненные в виде объемных специальным образом раскрашенных фигур – шаров, конусов и др. Такой метод используют по сей день в качестве маркировки проводов, для предотвращения столкновения с ними птиц (рисунок 3). Отпугивающие средства активного действия представлены в виде проволочных репеллентов, находящихся под электрическим потенциалом [15]; а также в виде источников шумовых сигналов (приводимых в действие энергией ветра; карбидных пушек и др.).

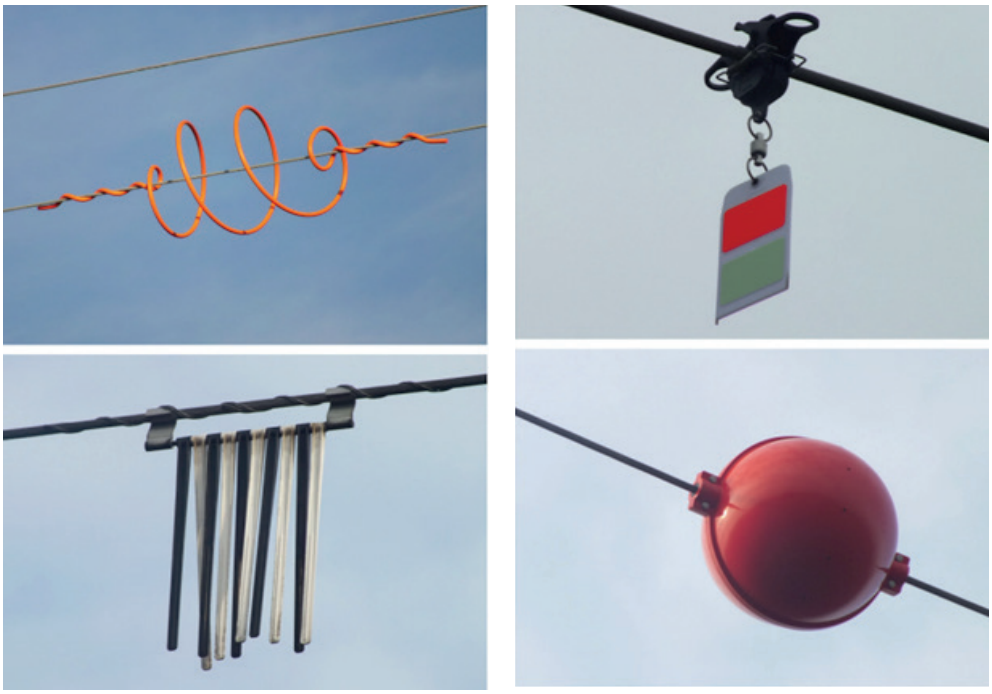


Рисунок 3 – Средства-маркеры, увеличивающие видимость ВЛЭП

Установка отвлекающих устройств на опорах ВЛЭП или на отдельных шестах как метод защиты птиц используется и сейчас. Однако, разница заключается в материале изделия. Ранее их делали из металла, что все еще могло привести к поражению птицы током. Сейчас же рекомендуют использовать диэлектрические полимерные материалы.

Для вновь создаваемых ВЛЭП в те годы предлагались следующие шаги: 1) крепление проводов на подвесных изоляторах; 2) применение полимерных траверс и стоек опор; 3) применение деревянных опор.

В XXI веке проблема гибели птиц на ВЛЭП продолжает освещаться и исследоваться. Была выявлена эффективность одних методов защиты и неэффективность других [16]. На данный момент существует ряд ПЗУ в виде колпаков из полимерных материалов, полностью закрывающих изолятор, и защитных кожухов (рукавов), изолирующих токонесущий провод в районе оголовка опоры (рисунок 4).

Рисунок 4 – Опора ВЛЭП 10 кВ, оснащенная диэлектрическими колпаками и кожухами, отвечающая требованиям орнитологической безопасности [16]

Данный тип ПЗУ, несмотря на широкое применение за рубежом, только начинает использоваться на территории стран СНГ [17]. Преимущества таких ПЗУ – это изготовление из диэлектрических материалов, простота установки, легкость в эксплуатации. Учитывая все эти преимущества, можно предположить, что данный тип защитных устройств является одним из наиболее перспективных в настоящее время. Еще одним современным методом защиты птиц на ЛЭП является использование **самонесущего изолированного провода типа «СИП-3,4».** Использование такого провода, покрытого специальной полимерной оболочкой, обеспечивает наиболее надежную защиту птиц при эксплуатации ВЛЭП 6-10 кВ.

Подводя итог, можно сказать, что проблема гибели птиц на ВЛЭП еще не решена, однако наблюдается расширение ассортимента эффективных ПЗУ и их доступность, что дает надежду на искоренение данной проблемы в ближайшие годы.

В Казахстане общая протяженность линий электропередач, находящихся на балансе электроэнергетических компаний, составляет 310,5 тысяч км:

– для напряжения 110 кВ составляет около 44,5 тысяч км;

– для напряжения 35 кВ составляет более 62 тысяч км;

– для напряжения 6-10 кВ составляет около 204 тысяч км.

Как было описано ранее, наиболее опасными для птиц являются ВЛЭП с напряжением 6-35 кВ, протяженность которых в Казахстане составляет около 266 тысяч км. Вероятность гибели птиц на данных ВЛЭП весьма высока, особенно в период сезонных миграций.

В Казахстане обитает 499 видов птиц из 20 отрядов, 57 видов относятся к редких и исчезающим (Ковшарь, 2012; ККК, 2010). Для решения проблемы гибели птиц на ВЛЭП необходимо использовать наиболее эффективные методы. Например, установка ПЗУ в виде диэлектрических колпаков, кожухов и присад снизит вероятность гибели птиц и коротких замыканий, что является экономически выгодным мероприятием для промышленных и аграрных комплексов, работа которых напрямую зависит от непрерывной подачи электроэнергии.

Стоит отметить, что в казахстанских законах и других нормативно-правовых актах в сфере охраны, воспроизводства и использования животного мира существуют требования по снижению и предотвращению гибели животных при строительстве и эксплуатации воздушных линий электропередач [18–21].

Уранодобывающие предприятия АО «НАК «Казатомпром» расположены на территориях, соседствующих с ключевыми орнитологическими территориями (КОТР): «Теликольские озера», «Низовья р. Шу», «Низовья р. Сарысу», «Западная кромка песков Каракойын и Жетиконыр». КОТР вносят существенный вклад в сохранение орнитофауны, служат местом концентрации птиц в период гнездования, линьки, на местах зимовки или отдыха во время миграций. Например, «Теликольские озера» важны для нескольких глобально угрожаемых видов (МСОП): белоглазый нырок, кудрявый пеликан, орлан-долгохвост, джек и савка. Для КОТР «Низовья реки Шу» такими видами являются серая цапля, лебедь-шипун, орлан-белохвост. Ключевая орнитологическая территория «Низовья р. Сарысу» важна как гнездовая территория хищных птиц, таких как филин, могильник, степная пустельга, курганник, степной лунь, а также для стрепета и дрофы-красотки. КОТР «Западная кромка песков Каракойын и Жетиконыр» важна как гнездовая территория для могильника и стрепета. Все эти виды относятся к глобально угрожаемым и/или внесены в региональные и глобальные списки редких животных [22]. Кроме того, низовья реки Шу находятся в пределах Арало-Ишимского участка Центрально-Азиатского пролетного пути, охватывающего важнейшие миграционные маршруты, проходящие от побережья Арктики и Сибири до Индийского субконтинента. Основное направление миграции птиц совпадает с долиной реки Шу и следует вдоль горного хребта Каратау. Периоды миграции птиц приходятся на апрель-май и сентябрь-октябрь. Птицы мигрируют вдоль экологических русел (водоемы, поймы рек, подгорные зоны).

В связи с вышесказанным, вопрос организации защиты птиц от ВЛЭП является актуальным для уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром». Первостепенно необходимо оснастить 10 кВ ВЛЭП ПЗУ (кожухами, изоляторами, антиприсадными устройствами), а также оборудовать участки разветвления ВЛЭП птицеотпугивающими средствами.

Для уточнения птицеопасных участков ВЛЭП желательно проводить обследование территорий вдоль ВЛЭП предприятий в период массовых пролетов птиц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Салтыков А. В. Орнито-экологические исследования электросетевой среды в свете общей теории технико-биотических взаимодействий // Природа Симбирского Поволжья: Сборник научных трудов. – Вып. 4. – Ульяновск: СНЦ, 2003 – С. 170–174.

2. Кухта А.Е. Москвитин С.С. Использование линий электропередач птицами. // ВЕСТНИК Естественные и сельскохозяйственные науки. – Тува, 2015/2. – С. 81–87.

3. Никитина Т.М., Рябов А.В. Положительное и отрицательное значение ЛЭП в жизни птиц : Материалы V Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум», 2013. – С. 18–20.

4. Reinert, S. E. Use of introduced perches by raptors: Experimental results and management implications. Journal of Raptor Research. – 18, 1984. – P. 25–29.

5. Karyakin I.V., Novikova L.M., Pazhenkov A.S. Electrocutions of birds of prey on power lines in the Aral Sea Area. – Raptors Conserv, 2005. – 2. – P. 31–32.

6. Demerdzhiev D. Factors Influencing Bird Mortality Caused by Power Lines within Special Protected Areas and undertaken Conservation Efforts // Acta Zoologica Bulgarica. 66, 2014. – P. 411–423.

7. Горошко О.А. Гибель птиц на ЛЭП в Даурской степи (юго-восточное Забайкалье), Россия // Пернатые хищники и их охрана. – 2011. – № 21. – С 84–99.

8. Гаджиев А.М. Гибель птиц на ЛЭП в Дербентском районе Республики Дагестан в период с 2010 по 2013 гг. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5. – С. 33–43.

9. Бакка С.В., Карякин И.В., Киселева Н.Ю. Проблема гибели птиц на ЛЭП и прогресс ее решения в бассейне средней Волги // Пернатые хищники и их охрана. – 2023. – Спецвыпуск 2. – С. 382–388.

10. Лаш У., Зербе Ш., Ленк М. Гибель пернатых хищников от поражения электротоком на линиях электропередачи в Центральном Казахстане // Пернатые хищники и их охрана. – 2010. – № 18. – С 35–45.

11. Салтыков А.В. Основы орнитологической безопасности электросетевой среды // Бранта: Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – Вып. 17. – Методика, 2014. – С. 153–160.

12. Орлы Палеарктики: изучение и охрана : Материалы II Международной научно-практической конференции, 7–10 сентября 2018 г., Россия. (https://docs.sibecocenter.ru/programs/raptors/RC-s1/RC-s1_Proc-5-8.pdf).

13. Орлы Палеарктики: изучение и охрана : Материалы III Международной научно-практической конференции, 24–29 сентября 2023 г., Алматы, Казахстан (http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/rc/S2/S2_11-16_Karyakin.pdf).

14. Салтыков А.В. Руководство по предотвращению гибели птиц на линиях электропередачи 6-10 кВ: Методическое пособие. – Ульяновск: «Венец», 1999. – 44 с., ил.

15. Миронов Г.А. Птицезащитные мероприятия на ВЛ 6-330 кВ. – М., 1988. – С. 3–6.

16. Салтыков А.В., Гугуева Е.В. Руководство по обеспечению орнитологической безопасности электросетевых объектов средней мощности на примере Волгоградской области : Методическое пособие. – Волгоград, 2017. – 76 с.

17. Мацына А.И. Краткий обзор методов защиты птиц от поражения электрическим током на линиях электропередачи // Пернатые хищники и их охрана. – 2008. – № 11. – С. 10–13.

18. Экологический кодекс Республики Казахстан от 02 января 2021 года № 400-VI ЗРК (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=39768520&pos=4;-108#pos=4;-108).

19. Об охране, воспроизводстве и использовании животного мира.Закон Республики Казахстан от 9 июля 2004 года №593-II (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1049332).

20. Электронный ресурс: (РДС РК 4.04-185-2003) https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30002371&pos=1;-16#pos=1;-16).

21. Приказ и.о. министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 18-03/158 «Об утверждении размеров возмещения вреда, причиненного нарушением законодательства Республики Казахстан в области охраны, воспроизводства и использования животного мира». (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35443733&pos=4;-108#pos=4;-108).

22. Ключевые орнитологические территории Казахстана / BirdLife International, Ассоц. сохранения биоразнообразия Казахстана / Под ред. С.Л. Скляренко [и др.]. – Алматы. – Ассоциация сохранения биоразнообразия Казахстана, 2008. – 318 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ESAP, КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КОМПАНИИ

Искаков М.М.[1], Перменев Ю.Г.[2], Панова Е.Н.[2], Агапов О.А.[2]
[1]АО «НАК «Казатомпром», Казахстан, г. Астана
[2]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы
e.panova@iht.kazatomprom.kz

ESAP ROADMAP AS A TOOL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Iskakov M.M.[1], Permenev Y.G.[2], Panova Y.N.[2], Agapov O.A.[2]
[1]NAC Kazatomprom JSC, Kazakhstan, Astana
[2]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty

Аннотация. Научная статья посвящена анализу инициатив по экологической и социальной устойчивости АО «НАК «Казатомпром». Особое внимание уделено деятельности по защите окружающей среды, управлению рисками и разработке инструментов, с помощью Дорожной карты Плана действий в экологической и социальной сферах (ESAP). Результаты научных исследований позволили оценить влияние производственной деятельности предприятий на окружающую среду и местное население с применением новых подходов в соответствии с передовыми международными практиками. В статье также представлены социальные аспекты взаимодействия с заинтересованными сторонами, программы по снижению отходов производства и планы ликвидации последствий деятельности. Перспективы реализации Программы устойчивого развития на основе ESG принципов демонстрируют стремление Компании к ответственной деятельности и повышению доверия со стороны общественности, инвесторов и других заинтересованных сторон.

Ключевые слова: устойчивое развитие, План действий в экологической и социальной сферах, окружающая среда, оценка воздействия, биоразнообразие, взаимодействие с заинтересованными сторонами, управление рисками.

Annotation. The scientific article is devoted to the analysis of initiatives on environmental and social sustainability of NAK Kazatomprom JSC. Particular attention is paid to environmental protection, risk management and the development of tools through the Roadmap for Action in the Environmental and Social Spheres (ESAP). The results of scientific research made it possible to assess the impact of production activities of enterprises on the environment and the local population using new approaches in accordance with international best practices. The article also presents social aspects of interaction with stakeholders, programs to reduce production waste and plans for eliminating the consequences of activities. Prospects for the implementation of the ESG-based Sustainable Development Program demonstrate the Company's commitment to responsible activities and increased trust on the part of the public, investors and other stakeholders.

Key words: sustainable development, Environmental and Social Action Plan, environment, impact assessment, biodiversity, stakeholder engagement, risk management.

АО «НАК «Казатомпром» (далее – Компания) имеет статус публичной компании, что налагает обязательства быть прозрачной и понятной для местных сообществ и инвесторов. Как следствие, деятельность по защите окружающей среды и заботе о местном населении должна выйти на новый уровень, соответствующий международным стандартам деятельности по обеспечению экологической и социальной устойчивости.

Компания признает влияние своей деятельности на окружающую среду, население и жизнедеятельность в зоне размещения объектов атомной промышленности и предпринимает конкретные меры для управления рисками в области устойчивого развития. С этой целью, в качестве инструмента, была разработана Дорожная карта Плана действий в экологической и социальной сферах АО «НАК «Казатомпром» (Environmental and Social Action Plan, далее – ESAP), которая была утверждена на заседании Совета директоров АО «НАК «Казатомпром». К реализации ESAP приступили в 2019 году, создав в ТОО «Институт высоких технологий» Центр экологического проектирования и мониторинга, на который были возложены задачи оператора для организации работ по Дорожной карте ESAP. План мероприятий Дорожной карты ESAP ежегодно актуализируется с учетом достигнутых ранее результатов.

Стратегия перехода Компании к управлению устойчивым развитием в соответствии с международными стандартами внесла свой вклад в проведение экологических и социальных исследований. Если до утверждения Дорожной карты ESAP деятельность уранодобывающих предприятий Компании в эколого-

социальной сфере соответствовала только нормам казахстанского законодательства, то в настоящее время применяются новые подходы:

1) расширены территории исследований, экологи вышли за границы территорий недропользования и оценили экологические риски для прилегающих территорий и местного населения. Впервые исследования проводятся на прилегающих к горным отводам территориях (в радиусе 10 км от границ горных отводов) и в ближайших населенных пунктах;

2) определены фоновые показатели состояния окружающей среды для оценки воздействия уранодобывающей деятельности, впервые исследования проводятся на эталонных участках (на расстоянии более, чем 10 км от границ горных отводов);

3) определены пути и маркеры воздействия на объекты окружающей среды (атмосферный воздух, почву, природные воды, биоразнообразие). Ведется мониторинг содержания маркерных веществ и других показателей состояния объектов окружающей среды (сбор данных 2020-2023 гг.). Впервые проведены микробиологические исследования почв, определено дыхание и фитотоксичность почв;

4) произведена оценка антропогенно-нарушенных территорий. Впервые на основе полевых исследований с применением данных дистанционного зондирования Земли проведен анализ состояния производственных и прилегающих территорий, определены площади антропогенно-нарушенных участков, установлена степень и факторы нарушенности, созданы схемы состояния почвенно-растительного покрова.

5) произведена оценка состояния биоразнообразия и его ценности на производственных и прилегающих территориях.

Одиннадцать уранодобывающих предприятий (ТОО «РУ-6», ТОО «СП «Хорасан-U», ТОО «Байкен-U», АО «СП «Заречное», АО «СП «Акбастау», ТОО «Каратау», ТОО «СП «ЮГХК», ТОО «СП «Инкай», ТОО «Аппак», ТОО «ДП «Орталык», ТОО «Казатомпром-SaUran»), АО «УМЗ», ТОО «КАР Logistic» в период с 2019 по 2023 год провели научные исследования по темам:

- «Исследование экологических и социальных воздействий производственных объектов на объекты окружающей среды и местное население», реализована в 2019-2021 годах;

- «Проведение комплексных экологических и социальных исследований в целях устойчивого развития», срок реализации 2022-2024 годы.

Результатом проведенных научно-исследовательских работ стали:

- актуализированные данные о видовом разнообразии флоры и фауны с учетом редких, краснокнижных и эндемичных видов, мониторинговыми исследованиями охвачены жизненные циклы растений и животных в весенний, летний и осенний периоды;

- данные о состоянии ихтиофауны и водных микроорганизмов (гидробионтов) в поверхностных водных объектах – р. Сырдарья и каналы, оз. Акжайкын к северу от рудников Куланды и Каратау, горных ручьях Каратау;

- исследования индикаторных видов животных (от млекопитающих – домовая мышь, от пресмыкающихся – быстрая ящурка), повсеместно обитающих в районе расположения рудников, на предмет аномального развития по сравнению с их сородичами из других регионов Казахстана;

- по материалам полевых исследований с применением данных ДЗЗ ранжированные по значимости места обитания. Выделены места обитания первой и второстепенной значимости, а также критические места обитания, исчезновение которых может повлечь за собой резкое сокращение видов и численности растений и животных. С 2020 года ведется мониторинг мест обитания, в 2023 году проведен анализ данных в динамике;

- на основе полевых исследований с применением данных ДЗЗ мониторинг видового разнообразия растительности, в 2020 году создана схема растительного покрова с учетом ландшафтных характеристик, в 2023 году проведен анализ данных в динамике.

В результате проведенных работ не выявлено воздействие уранодобывающей деятельности за пределами территории недропользования. Вместе с этим, на территории предприятий выявлены изменения состояния объектов окружающей среды, выражающиеся в нарушении состояния почвенно-растительного покрова на территории геотехнологических полигонов, местами с полным уничтожении растительности, наличии мест контакта почвы с технологическими растворами, а также нарушении состояния почвы (изменение состава и структуры почвы). Отмечены отдельные случаи наличия в подземных водах из скважин и родников, расположенных за пределами горных отводов, повышенного уровня радиации, изменение pH в кислую сторону, увеличение содержания сульфатов. Все выявленные превышения задокументированы и должны быть изучены в рамках оценки воздействия на окружающую среду, определены источники загрязнения и разработаны рекультивационные мероприятия, которые должны быть проведены при ликвидации последствий недропользования после завершения деятельности предприятий.

Проанализировав и оценив состояние биоразнообразия на территориях уранодобывающих предприятий и прилегающих территориях, установлено, что на территории рудников имеется воздействие на фауну,

заключающееся в вытеснении животных с мест обитания за пределы территории уранодобывающих предприятий, а также в беспокойстве животных, вызванном присутствием людей и работой тяжелой техники. В ходе работ определены критически важные для животных места обитания, служащие убежищами и местами кормежки, не только для постоянно обитающих и размножающихся животных, но и для перелетных птиц в периоды сезонных миграций. При этом установлено, что, благодаря производственной деятельности – озеленению на рудниках и наличию водных источников (самоизливающиеся скважины), состав фауны стал значительно богаче фоновых территорий, за счет синантропных видов животных и птиц, служащих в свою очередь источниками пищи для местных хищников.

Анализ внутренних нормативных документов и отчетности предприятий в области экологии и интегрированной годовой отчетности позволил разработать предложения по их совершенствованию, для соответствия требованиям изменившегося экологического законодательства Республики Казахстан, в связи с принятием нового Экологического Кодекса в 2021 г., а также международным стандартам и лучшими международными практиками. Полученные в результате реализации программы ESAP показатели состояния объектов окружающей среды должны быть использованы при определении критериев устойчивости данных территорий для разработки проектов рекультивации нарушенных земель и ликвидации последствий недропользования предприятий согласно требованию законодательства Республики Казахстан.

В соответствии с требованиями экологического законодательства Республики Казахстан и международных стандартов, требуется постоянная актуализация данных о состоянии объектов окружающей среды, в связи с чем мониторинговые работы, включая биоразнообразие, должны проводиться на постоянной основе с учетом сезонности, что позволит получить данные в динамике. Результаты, полученные в ходе реализации Дорожной карты ESAP, являются отражением лишь современного состояния на момент исследований.

В рамках реализации Дорожной карты ESAP проведены также социальные исследования в населенных пунктах, прилегающих к уранодобывающим территориям, с применением передовых международных практик:

- экспертные интервью с влиятельными представителями общества (акимы, крупные землепользователи, представители СМИ, неправительственных организаций);
- фокус-группы с представителями населения из разных социальных слоев (пенсионеры, студенты, наемные работники, безработные и др.);
- социологический опрос участников фокус-групп по Краткому опроснику Всемирной организации здравоохранения на предмет качества жизни.

В результате данных исследований проведена идентификации заинтересованных сторон, сформированы Карты стейкхолдеров, в деятельность предприятий внедрены Планы взаимодействия с заинтересованными сторонами.

На основе международных стандартов проведена работа по идентификации экологических и социальных рисков, экологические и социальные риски внесены в Карты рисков и Реестры рисков предприятий.

Проведенные социальные исследования позволили установить характер и уровень взаимоотношений недропользователей и заинтересованных сторон (стейкхолдеров), включая местное население, местные исполнительные и государственные органы, выявить проблемные вопросы во взаимодействии сторон и разработать порядок более тесного и плодотворного сотрудничества.

Учитывая большой объем образования производственных отходов в Компании, особое внимание в Дорожной карте ESAP уделено научным исследованиям в сфере управления отходами производства и потребления, стремлению к сокращению объемов их образования и опасности. С 2022 года реализуется корпоративная программа «Zero Waste», в рамках которой проводятся исследования по оптимизации процессов обращения с отходами на предприятиях в соответствии с Экологическим кодексом Республики Казахстан и международными стандартами, а также научно-исследовательские работы по сокращению объемов бурового шлама, составляющего более 90% объема производственных отходов на уранодобывающих предприятиях, выбору эффективных технологий повторного использования бурового шлама.

В Дорожную карту ESAP также вошли работы по актуализации планов ликвидации последствий недропользования.

Одним из примеров внедрения передовых практик является ежегодная оценка стоимости работ по ликвидации и рекультивации объектов недропользования, хотя действующее законодательство по недропользованию не требует проводить ежегодные расчеты стоимости работ. С этой целью, в соответствии с требованиями международных стандартов разработан и введен в действие на уранодобывающих предприятиях корпоративный стандарт СТ НАК 17.5-2024 «Методические указания по расчету ежегодной оценки стоимости ликвидации последствий операций по недропользованию (оценка ARO) группы предприятий АО «НАК «Казатомпром».

На сегодняшний день актуализацию планов ликвидации проводят все уранодобывающие предприятия согласно разработанному плану-графику (с учетом обновления планов ликвидации каждые 3 года).

Логичным продолжением Дорожной карты ESAP должна стать Программа устойчивого развития (ESG) группы предприятий АО «НАК «Казатомпром», в которой должны быть определены следующие приоритетные направления:

- состояние окружающей среды,
- социальная стабильность,
- корпоративное управление.

Реализация Программы ESG позволит продемонстрировать стремление к соблюдению принципов ответственного и устойчивого развития, наглядно показать, какие шаги предпринимает Компания по внедрению принципов устойчивого развития в ключевые аспекты своей деятельности, что безусловно повысит доверие местного сообщества, заинтересованных сторон и инвесторов к производственной деятельности Компании.

МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИЙ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ РУДНИКОВ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Кайрамбаев С.К.[1], Перменев Ю.Г.[2], Большакова Н.А.[2], Фалеев Д.Г.[2], Федорина О.А.[2], Байбосунова Г.Е[2].
[1]АО «НАК «Казатомпром», Казахстан, г. Астана
[2]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы
n.bolshakova@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. АО «НАК «Казатомпром» (далее – Компания) осуществляет добычу природного урана на территориях южного Казахстана. Несмотря на аридный климат территории данного региона имеют богатое разнообразие пустынно-степных видов растительности. Обеспечивая экологические основы устойчивого развития и неся ответственность за сохранение благоприятной окружающей среды в регионе присутствия, Компания уделяет должное внимание мониторингу состояния растительного покрова. В настоящей статье рассматриваются методы мониторинга (полевых эколого-ботанических исследований и ДЗЗ), применяемые при экологических исследованиях растительного покрова в рамках выполнения Дорожной карты реализации Плана мероприятий в экологической и социальной сферах деятельности (ESAP) АО «НАК «Казатомпром».

Ключевые слова: Казатомпром, ESAP, устойчивое развитие, растительный покров, уранодобывающая деятельность, эколого-ботанический мониторинг.

MONITORING OF VEGETATION COVER OF THE TERRITORIES OF URANIUM MINES OF NAK KAZATOMPROM JSC

Kairambaev S.K.[1], Permenev U.G.[2], Bolshakova N.A.[2], Faleev D.G.[2], Fedorina O.A.[2], Baybosunova G.E[2].
[1]NAC Kazatomprom JSC, Kazakhstan, Astana
[2]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty

Annotation. NAC Kazatomprom JSC (hereinafter referred to as the Company) mines natural uranium in the territories of southern Kazakhstan. Despite the arid climate, the territories of this region have a rich variety of desert-steppe vegetation species. Providing the environmental basis for sustainable development and bearing responsibility for maintaining a favorable environment in the region where it operates, the Company pays due attention to monitoring the condition of the vegetation cover. This article discusses monitoring methods (field ecological and botanical research and Earth remote sensing) used in environmental studies of vegetation cover as part of the implementation of the Roadmap for the implementation of the Action Plan in the environmental and social spheres (ESAP) of activity of NAC Kazatomprom JSC.

Key words: Kazatomprom, ESAP, sustainable development, vegetation cover, uranium mining activities, environmental and botanical monitoring.

Уранодобывающие регионы Компании представлены разными видами природных комплексов – глинистая пустыня Бетпак-Дала, песчаные массивы Мойынкум и Кызылкум, предгорья хребта Каратау, пойма р. Сырдарья, – каждый из которых имеет свое богатое разнообразие видов растительности.

Согласно литературным данным, растительность Бетпак-Далы насчитывает 831 вид, господствуют ксерофитные полыни (*Artemisia*) и галофитные солянки (*Salsola*) полукустарники. Весной после дождей песчаные или глинистые почвы покрываются на короткое время ярким ковром цветущих растений – эфемерами и эфемероидами, которых здесь насчитывается до 160 видов – широко распространены мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), катаброзочка низкая (*Catabrosella humilis*), осока толстостолбиковая (*Carex pachystylis*). В Бетпак-Дале могут встречаться до 17 краснокнижных видов растений (строгановия Траутфеттера (*Stroganowia trautvetteri*); штубендорфия тонкая (*Stubendorffia gracilis*); и ряд эндемиков (вайда пустынная (*Isatis deserti*); клоповник Ярмоленко (*Lepidium jarmolenkoi*); полыни Шренка (*Artemisia schrenkiana*) [1, 2].

Флора песчаного массива Мойынкумы насчитывает 364 вида. Наиболее многовидовыми являются сложноцветные (*Asteraceae*), маревые (*Chenopodiaceae*), бобовые (*Fabaceae*), злаковые (*Poaceae*). Среди полиморфных родов самыми крупными являются астрагалы (*Astragalus*), полыни (*Artemisia*), ферулы (*Ferula*), солянки (*Salsola*), ковыли (*Stipa*). Здесь отмечено произрастание 30 видов казахстанских эндемов (гусиный лук (*Gagea obvoluta),* ферула гладкая *(Ferula glaberrima),* астрагал *(Asragalis citoinflatus*). В долине р. Шу формируются древесно-кустарниковые заросли (лох узколистный (*Elaeagnus oxycarpa*), гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima*), чингиль (*Halimodendron halodendron*) [3-4].

В предгорьях хребта Каратау широкое распространение получили полынные сообщества – полынь белоземельная *(Artemisia terrae-albae Krasch.)*, полынь туранская (*A. turanica*), полынь лессинговидная (*A.*

sublessingiana) с участием эфемероидов из родов тюльпанов (*Tulipa*), мерендер (*Merendera*), эремурусов (*Eremurus*), ирисов (*Iris Juno*), пустынноколосников (*Eremostachys*), кузиний (*Cousinia*). Помимо полыни, из полукустарничков встречаются терескен (*Krascheninnikovia ceratoides*), биюргун (*Anabasis salsa*) и тасбиюргун (*Nanophyton erinaceum*).

Пойма р. Сырдарья насчитывает 282 вида высших растений. Наиболее многовидовыми являются семейства маревых (*Chenopodiaceae*), сложноцветных (*Asteraceae*), злаковых (*Poaceae*), бобовых (*Fabaceae*), крестоцветных (*Crucíferae)*, гречишных (*Polygonáceae*). Среди эндемичных видов: жузгун белокорый (*Calligonum plicatum*), хвойник окаймленный (*Ephedra lomatolepis*), синеголовник каратавский (*Eryngium karatavicum*). Краснокнижный вид – тополь сизолистный (туранга) (*Populus pruinosa*) [2, 5].

В песках Кызылкум господствуют белосаксаульники (*Haloxylon persicum*) и, местами, черносаксаульники (*Haloxylon aphyllum*), а также осока вздутая (*Carex physodes*), полынь сантолинная (*Artemisia santolina*), полынь Димо (*A. dimoana*), полынь песчаная (*A. arenicola*). Из числа редких видов могут быть встречены: гребенщик Андросова (*Tamarix androssowii*), мерендера коренастая (*Merendera robusta*), тюльпан Борщова (*Tulipa borszczowii),* эминиум Леманна (*Eminium lehmannii*) [4].

Учитывая ценность растительного покрова и руководствуясь требованиями отечественного экологического законодательства и рекомендациями международных стандартов в сфере охраны окружающей среды (ОС), а также обеспечивая экологические основы устойчивого развития (ESG-принципы, стандарты GRI и т.д.), Компания большое внимание уделяет оценке состояния растительного покрова в регионе присутствия и стремится к минимизации воздействия производственной деятельности на растительный покров.

В сентябре 2018 года Советом директоров Компании утверждена Дорожная карта реализации Плана мероприятий в экологической и социальной сферах деятельности АО «НАК «Казатомпром» (ESAP), в рамках которой ТОО «Институт высоких технологий» (ТОО «ИВТ») по договорам с уранодобывающими дочерними и зависимыми организациями (ДЗО) в 2020 и 2023 годах проведены исследования состояния растительного покрова производственных территорий уранодобывающих рудников и прилегающих к ним территорий. Исследования включали экспедиционные (полевые) работы с определением видового разнообразия растительности и оценкой антропогенного воздействия на растительный покров. Впервые при исследованиях территорий уранодобывающих рудников применялись данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ, космоснимки) высокого пространственного разрешения.

Экспедиционный мониторинг видового разнообразия растительности. Преимуществом данного вида исследований является сбор актуального материала по видам и жизненным формам растений непосредственно в полевых условиях, т.е. фактическое определение наличия растений, ареалов их распространения, создание фотоматериалов для архива видового состава растительности. Только при полевых исследованиях возможно обнаружить редкие, краснокнижные, находящиеся под охраной виды растений, так как произрастание их носит преимущественно точечный характер.

Результаты исследований видового разнообразия растительности в весенне-летние периоды 2020 и 2023 годов выявили в районе пустыни Бетпак-Дала (рудники Мынкудук, Жалпак, Акдала, Уванас) до 44 видов высших растений, а на западной ее окраине (рудники Инкай и Южный Инкай) – до 58 видов. На территории расположения рудников Каратау и Куланды (в степи к югу от дельты р. Шу, постепенно переходящей в пески Мойынкумы) произрастает до 62 видов растений. В долине р. Сырдарья (рудники Карамурун, Хорасан) зафиксировано до 50 видов растений. Наиболее многовидовыми оказались территории расположения рудников Канжуган и Мойынкум (пески Мойынкум, предгорная долина Каратау) – до 73 видов растений и территории восточной окраины песков Кызылкум (рудник Заречное) – до 105 видов (рисунки 1, 2).

Рисунок 1 – Белоземельнополынно-эфемеровая ассоциация (район рудника Инкай) (слева) и разреженные растительные ассоциации (район рудника Центральный Мойынкум) (справа). Автор фото – Федорина О.А., 2023 г.

Рисунок 2 – Злаково-сорнотравная ассоциация (предгорная долина хребта Каратау, район рудника Канжуган) (слева) и кусты саксаула на геотехнологических полях (справа). Автор фото – Федорина О.А., 2023 г.

Из краснокнижных видов встречены сизый тополь (туранга) (*Populus pruinosa*) в районе рудника Хорасан и эндемики – полынь каратавская (*Artemisia karatavica*) в районе рудника Канжуган и тюльпан Бема (*Tulipa behmiana*) в районе рудника Южный Инкай (рисунок 3).

Рисунок 3 – Тополь сизолистный (*Populus pruinosa*) (район рудника Хорасан) (слева) и каратавскополынно-типчаково-эфемеровые сообщества на склонах гор Каратау (район рудника Канжуган) (справа). Автор фото – Федорина О.А., 2023г.

Применение данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения позволяет значительно расширить возможности при осуществлении полевых исследований, путем площадной оценки состояния растительного покрова, создания более точной схемы распространения видов растительности в соответствии с ландшафтными структурами. На космоснимках четко идентифицируются границы песчаных массивов, водных объектов и околоводных территорий, солончаки, а также антропогенно-измененные территории. Преимуществом применения данных ДЗЗ также является их актуальность и свободный доступ к ресурсам архивов данных ДЗЗ (за исключением ДЗЗ высокого пространственного разрешения), необходимых для оценки изменения состояния растительности на основе многолетних данных.

На основе полевых материалов с применением данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения и доступных ресурсов данных ДЗЗ, для территорий большинства рудников созданы картограммы видового разнообразия растительного покрова с учетом ландшафтов исследуемых территорий, фрагмент одной из таких картограмм представлен на рисунке 4.

Мониторинг воздействия антропогенного фактора на растительный покров. Данный вид мониторинга включает сочетание двух основных методов исследований: 1) метод полевых эколого-ботанических исследований и полевого дешифрирования и 2) метод идентификации антропогенно-нарушенных территорий с помощью данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Сильной стороной данного подхода являются площадная оценка и полный охват исследуемых территорий по сравнению с исследованием (только) в мониторинговых точках, а также возможность создания точной схемы нарушенных в разной степени территорий и определения площадей нарушенных участков. На основе космоснимка создаются цифровые картограммы нарушенного растительного покрова, а во время полевых выездов проводится их верификация, уточняются факторы и степень воздействия.

Рисунок 4 – Фрагмент картограммы видового разнообразия растительного покрова (картограмма выполнена Байбосуновой Г.Е., 2023 г.)

По результатам исследований антропогенной нарушенности растительного покрова установлены основные виды антропогенного воздействия на растительный покров – выпас скота, нерегламентированные сети полевых дорог (рисунок 5), образовавшиеся в результате осуществления хозяйственной деятельности и коммуникационных связей местного населения, а также уранодобывающая деятельность (техногенное воздействие).

Рисунок 5 – Прилегающие к рудникам территории: дорожная дигрессия (слева) и нарушения растительного покрова в результате выпаса скота (справа). Автор фото – Федорина О.А.

Несмотря на то, что добыча природного урана на предприятиях Компании осуществляется одним из экологичных на сегодняшний день способом подземного скважинного выщелачивания, отмечено прямое механическое воздействие на почвенно-растительный покров, обусловленное проведением строительно-монтажных, буровых и земляных работ, нарушающих целостность почвенных горизонтов и естественный растительный покров. Воздействие характеризуется угнетением жизненного состояния растений, снижением показателей проективного покрытия почвы растительностью, замещением коренных и хозяйственно-ценных видов растений сорными видами, изменением вертикальной и горизонтальной структуры растительных сообществ.

В результате экспедиционных исследований на действующих геотехнологических полях установлены факты очень сильной нарушенности растительного покрова, вплоть до полного его отсутствия (рисунок 6). Вместе с тем, на отработанных добычных блоках, где техногенная нагрузка значительно уменьшилась или отсутствует, отмечено самовосстановление растительного покрова единичными однолетниками,

эфемерово-сорнотравной и эфемерово-солянковой растительностью от разреженных группировок до ассоциаций. В 2023 году установлено увеличение проективного покрытия почвы растениями – от 1%–5% до 15%–35%, для сравнения в 2020 году аналогичные показатели составляли от 0,5–1% до 5–10%.

Рисунок 6 – Состояние растительного покрова на геотехнологических полях: полное отсутствие растительного покрова (слева) и самовосстановление растительного покрова эбелеком и полынью белоземельной вокруг скважины (справа). Автор фото – Федорина О.А., 2023 г.

При картировании антропогенного воздействия на растительный покров применялись два критерия: 1) антропогенная нарушенность, характеризующаяся степенью механического воздействия, ухудшением жизненного состояния, морфологическими изменениями органов растений, снижением задернованности почвы, способностью к самовосстановлению растительного покрова; 2) антропогенная трансформация, характеризующаяся трансформированием коренных видов растительности в сорные, интразональные виды (растительность визуально не нарушена, но виды растительности изменены). На рисунках 7 и 8 представлены фрагменты картограмм антропогенного воздействия на растительный покров.

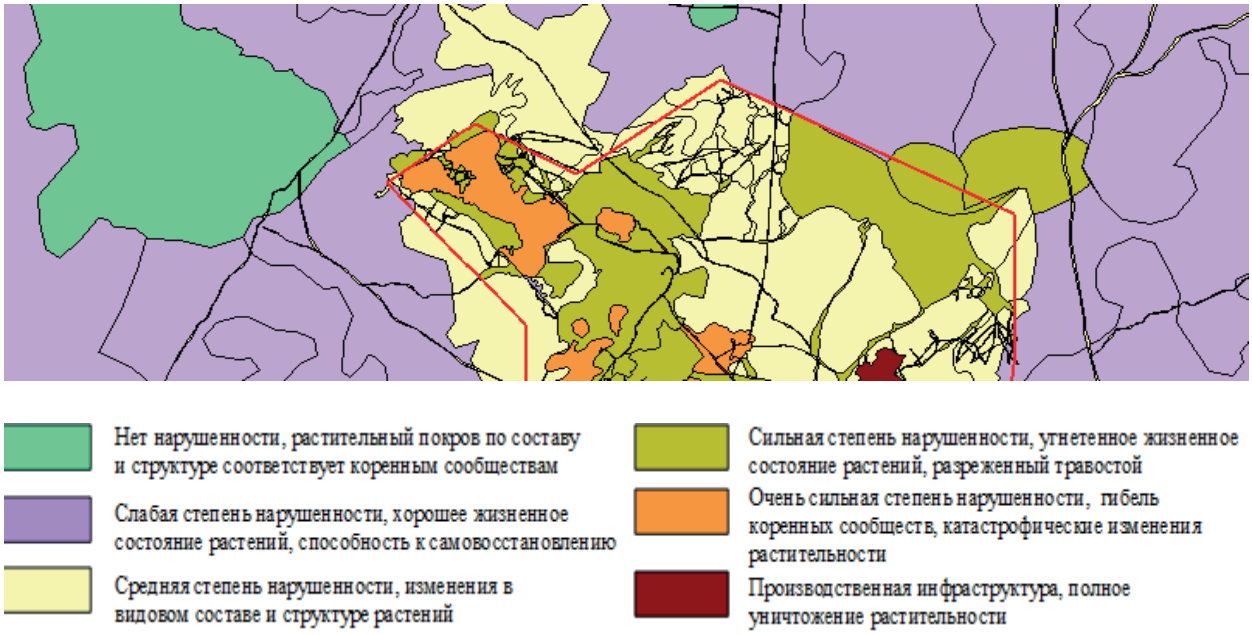


Рисунок 7 – Фрагмент картограммы антропогенной нарушенности растительного покрова, созданной на основе космоснимка и полевых материалов 2022 года (картограмма выполнена Федориной О.А.)

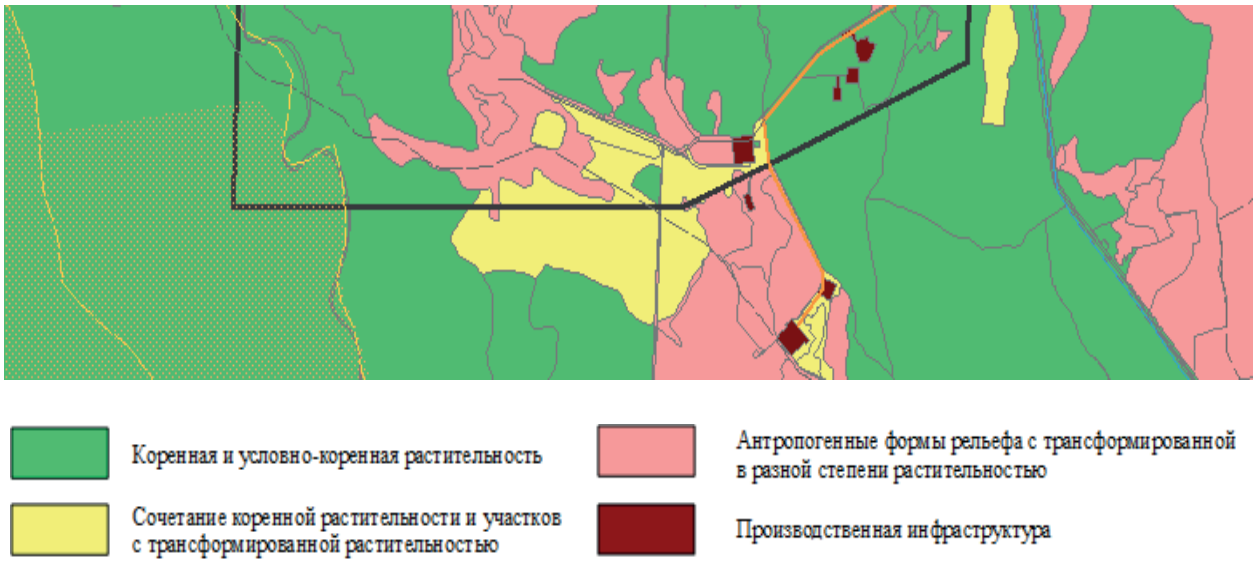


Рисунок 8 – Фрагмент картограммы антропогенной трансформации растительного покрова, созданной на основе космоснимка и полевых материалов 2023 года (картограмма выполнена Байбосуновой Г.Е.)

Для сохранения растительного покрова, несмотря на способность растительности к самовосстановлению, а также учитывая аридный климат и влияние Аральской проблемы в регионе, необходимы мероприятия по ускорению его восстановления, так как на почвах без растительности существуют риски трансформации растительного покрова и развития процессов эрозии почв. На уранодобывающих ДЗО с этой целью предусмотрены прогрессивная ликвидация последствий воздействия на ОС и рекультивация техногенно-нарушенных территорий, которые предусматривают проведение рекультивации, не дожидаясь окончательной ликвидации последствий добычных работ. Для дальнейшего мониторинга эффективности рекультивационных работ и оценки воздействия производственной деятельности на растительный покров разработан и внедрен корпоративный стандарт СТ НАК 17.6-2022 «Методические указания по оценке биоразнообразия на урановых месторождениях производственных объектах и прилегающих к ним территориях».

Результаты мониторинга состояния растительности в 2020 и 2023 годах собраны, систематизированы и хранятся в геоинформационной базе данных, созданной в Центре экологического проектирования и мониторинга (ТОО «ИВТ»), а также отправлены в отчетных материалах на уранодобывающие ДЗО. В будущем база данных будет пополнятся результатами новых экологических исследований состояния растительного покрова.

Выводы

Растительный покров является частью ОС, а его состояние – индикатором благополучия ОС. Обеспечивая экологические основы устойчивого развития и неся ответственность за сохранение благоприятной ОС в регионе присутствия, Компания уделяет внимание мониторингу состояния растительного покрова и стремится к сохранению видового разнообразия растительности, особенно редких и охраняемых видов.

Неизбежно, соблюдая технологические регламенты добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания, уранодобывающие ДЗО нарушают почвенно-растительный покров на геотехнологических полях во время строительных и буровых работ, но в то же время, в целях его восстановления, проводят ликвидационные и фиторемедиационные работы на отработанных участках, не дожидаясь окончания производственной деятельности, вместе с тем дополнительно создавая условия для самовосстановления растительного покрова.

Уранодобывающие ДЗО Компании соседствуют с землепользователями, осуществляющими хозяйственную деятельность (отгонное животноводство) на прилегающих к рудникам территориях. Растительный покров данных территорий имеет большое народно-хозяйственное значение, видовой состав растений включает кормовые виды, необходимые для развития пастбищного животноводства. В целях устойчивого развития и укрепления взаимодействия с местными землепользователями было бы целесообразно при проведении ремедиации и реабилитации техногенно-нарушенных земель рассмотреть возможность воссоздания пастбищных угодий, например, посадками многолетних видов растений (саксаул черный, изень, кейреук).

Мониторинг растительного покрова с использованием методов полевых эколого-ботанических

исследований в комплексе с методами ДЗЗ из наиболее результативных подходов к оценке состояния биологического разнообразия и качества природоохранных мероприятий. Применяемые в ТОО «ИВТ» методы мониторинга состояния растительного покрова направлены на получение актуальных, объективных данных по состоянию растительных сообществ, степени антропогенного воздействия на растительность и разработку природоохранных мероприятий на основе полученных данных.

Как показали результаты исследований состояния растительного покрова в весенне-летний периоды 2020 и 2023 годов не все, опубликованные в литературных источниках, виды растительности зафиксированы на исследуемых территориях. Это может объясняться локальностью исследуемых территорий в обширных природных комплексах, а также особенностями климатических условий, приуроченных к 2020 и 2023 годам исследования (недостаточное увлажнение в осенний период, продолжительный холодный период (зима, весна) и др.). На этот вопрос может дать ответ только дальнейший мониторинг растительного покрова с включением не исследованных ранее территорий и расширением сезонов исследования.

Дальнейший мониторинг растительного покрова, сочетающий в себе методы полевых эколого-ботанических исследований и ДЗЗ, позволит существенно расширить оценку состояния растительного покрова районов уранодобывающей деятельности, выявить особенности динамики его развития, обусловленной комплексом воздействий природно-климатических факторов, антропогенной, в том числе техногенной трансформации ОС, а также разработать эффективные природоохранные мероприятия. Созданный банк цифровой экологической информации позволит оценивать воздействия уранодобывающей деятельности на ОС, использовать для коммуникаций с заинтересованными сторонами по экологическим вопросам, разработки рекомендаций и реализации мероприятий по минимизации негативного воздействия на ОС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кубанская З.В. Растительность и кормовые ресурсы пустыни Бетпак-Далы. – Алма-Ата, 1956. – 266 с.
2. Красная книга Казахстана. – Т.2. – Ч.1. Растения. – Астана, 2014. – 452 с.
3. Бижанова Г., Курочкина Л.Я. Антропогенные смены пастбищ Мойынкумов и их картирование. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 164 с.
4. Курочкина Л.Я. Псаммофитная растительность пустынь Казахстана. – Алма-Ата, 1978. – 272 с.
5. Быков Б.А. Ареалы некоторых эндемов Казахстана // Бот. мат-лы Герб. Ин-та бот. АН КазССР. – Алма-Ата, 1966. – Вып.4. – С. 3015.

PROVEDENIYE TERAPEVTICHESKOY YADERNOY MEDITSINY V SHVEYTSARII S ISPOL'ZOVANIYEM RADIOMETALLOV: OBZOR

Nikolas P. van der Meylen[1,2], Robert Eykhler[1,3]
[1]Laboratoriya radiokhimii, Institut Paulya Sherrera, Filligen-PSI, Shveytsariya
[2]Tsentr radiofarmatsevticheskikh nauk ETH-PSI-USZ, Institut Paulya Sherrera, Filligen-PSI, Shveytsariya
[3]Kafedra khimii, biokhimii i farmatsii. Bernskiy universitet, Bern, Shveytsariya

Kontseptsiya «teranostiki» v yadernoy meditsine v ideale predpolagayet diagnostiku i lecheniye patsiyent ispol'zuyet radioizotopy odnogo i togo zhe elementa, mechennyye odnim i tem zhe biologicheskim agentom natselivaniya, dlya obespechit' boleye tochnuyu vizualizatsiyu togo, chto lechitsya. V nastoyashcheye vremya etu kontseptsiyu realizuyut sredstva diagnostiki 68Ga s posleduyushchey targetnoy radionuklidnoy terapiyey s ispol'zovaniyem 177Lu-radiofarmpreparaty.

Issledovateli realizuyut ideyu ispol'zovaniya odnogo i togo zhe khimicheskogo elementa, no raznykh radioizotopov.

ikh dlya diagnostiki i terapii. Za posledneye desyatiletiye v Pole bylo provedeno mnogo issledovaniy.

Sherrera s radioizotopami skandiya i terbiya sootvetstvenno. Radioterapiya printsip byl prodemonstrirovan s ispol'zovaniyem 44Sc (a takzhe 43Sc), poluchennogo na tsiklotrone, dlya lecheniya opukholey.

diagnoz, a 47Sc byl proizveden dlya doklinicheskikh issledovaniy terapii. Chetyre radioizotopa terbiya schitayetsya interesnym dlya yadernykh meditsinskikh tseley: 152Tb i 155Tb mozhno ispol'zovat' v diagnosticheskikh tselyakh.

s pomoshch'yu pozitronno-emissionnoy tomografii (PET) i odnofotonnoy emissionnoy komp'yuternoy tomografii (OFEKT), sootvetstvenno, a 149Tb i 161Tb predstavlyayut soboy interesnyye terapevticheskiye radionuklidy iz-za ikh a- i b-vybros sootvetstvenno.

Rassmatrivayemyye radionuklidy na razlichnykh stadiyakh razvitiya

НОВОЕ УДОБРИТЕЛЬНО-МЕЛИОРИРУЮЩЕЕ СРЕДСТВО ИЗ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Саинова Г.А.[1], Кожамбердиев Е.М.[2], Акбасова А.Д.[1], Юлдашбек Д.Х.[1], Ибраимов У.К.[2]
[1]Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
г. Туркестан, Казахстан
[2]ТОО «СКЗ-U», Жанакорганский район, Кызылординская область, Казахстан

Аннотация. В статье приведены результаты утилизации серного кека сернокислотного производства ТОО «СКЗ-U» с получением нового препарата, обладающего удобрительно-мелиоративным свойством. Исследовано применение данного препарата при выращивании корнеплодных культур (картофель, свекла, морковь) на сероземных почвах Туркестанской области. Выявлено повышение урожайности исследуемых культур и улучшение качественного состава товарных фракций при внесении 15-20 т/га данного удобрительно-мелиорирующего состава.

Ключевые слова: утилизация, серосодержащий отход, удобрительно-мелиорирующий препарат, корнеплодные культуры, урожайность.

В настоящее время на предприятиях многих отраслей Республики Казахстан накопилось огромное количество неутилизированных отходов. Это требует принятия неотложных и технологически эффективных мер для ликвидации негативных экологических ситуаций.

Накопленный опыт показывает, что применение техногенных отходов в качестве сырья является одним из наиболее рациональных способов их утилизации. С одной стороны такой подход позволяет снизить экологическую нагрузку на природную среду, с другой стороны – обеспечить более рациональное использование дефицитных и невозобновляемых природных ресурсов, заменяя первичное сырье на вторичное.

С целью создания устойчивого равновесия в природных экосистемах, увеличения биологической продуктивности и сохранения видового разнообразия генофонда растительного и животного мира, включая человека, в XXI веке необходимо обратить усиленное внимание, как на создание безотходных производств, так и на предотвращение загрязнений природной среды различными видами отходов.

Решение любых задач по уменьшению антропогенного воздействия на наземные экосистемы, а также разработка научных мероприятий и методов регулирования этого воздействия с целью предотвращения нежелательных изменений и обеспечения экологической безопасности с каждым годом приобретает особую актуальность.

Нами активно ведутся научно-исследовательские работы по разработке новых «зеленых» технологий, позволяющие переработать производственные отходы с получением товарных продуктов, или их трансформированных форм, удобных для применения в качестве вторичного сырья для других отраслей.

С участием магистрантов, докторантов, научных работников НИИ «Экология» и сотрудников ТОО «СКЗ-U» осуществлены работы, расширяющие «производственный симбиоз» между различными отраслями народного хозяйства (нефтяная промышленность → химическая промышленность → сельское хозяйство, строительная индустрия и т.д.) (рисунок 1).

В данной работе рассмотрена возможность утилизации серосодержащего отхода, образующегося на сернокислотном предприятии ТОО «СКЗ-U» с получением препарата, обладающего удобрительно-мелиорирующим свойством.

Как видно из рисунка 1 на сернокислотном заводе ТОО «СКЗ-U» в качестве сырьевого материала для производства серной кислоты используется серный отход нефтяной промышленности, образованный при очистке высокосернистой нефти. На 1 тонну добываемой нефти приходится около 70 кг серы. Как показали результаты экспериментальных исследований, в серном отходе кроме серы в свободном виде в качестве примесей содержатся следующие серосодержащие компоненты: меркаптаны (до 0,09 мас.%), сульфиды, дисульфиды (до 0,2 мас.%), сероводород (до 1 мас.%).

На заводе ТОО «СКЗ-U» для получения серной кислоты предварительно проводят очистку серного отхода нефтяной промышленности от золы и других посторонних нежелательных примесей. При наличии этих примесей в исходном сырье снижается активность ванадиевого катализатора (V_2O_5), используемого в контактном методе на стадии получения из оксида серы (IV) и оксида серы (VI) (рисунок 2).

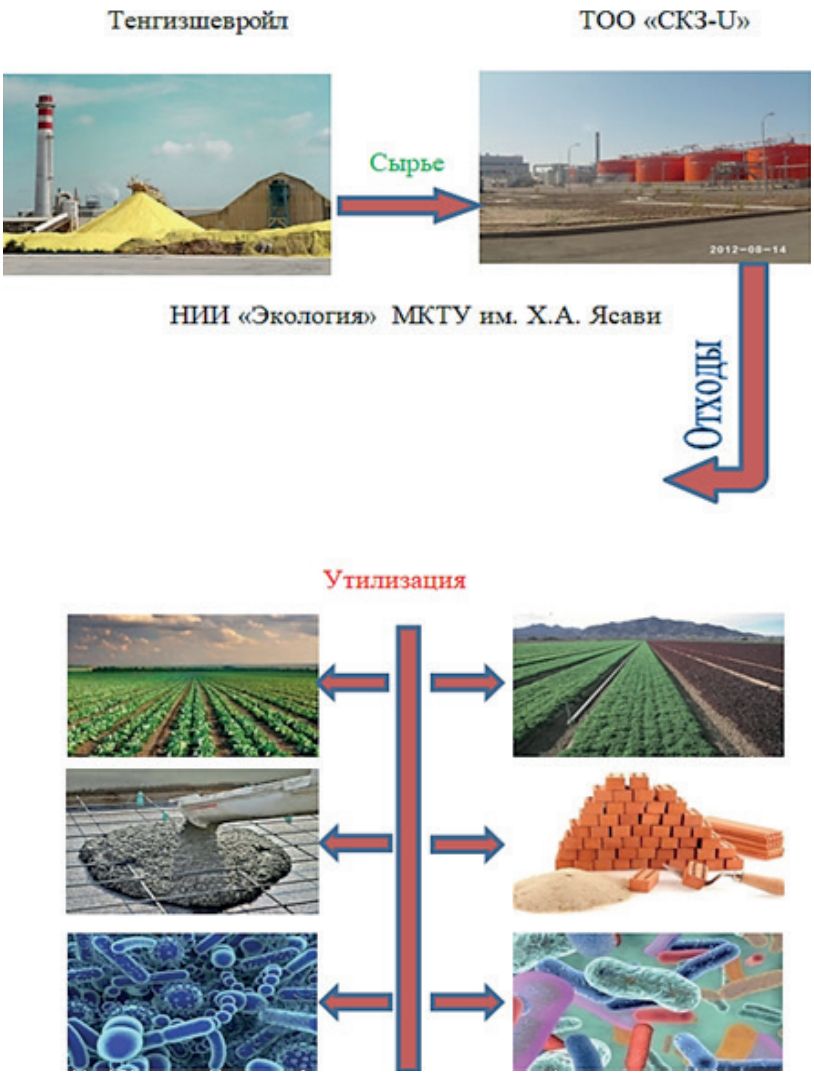


Рисунок 1 – Основные пути реализации серосодержащих отходов

Рисунок 2 – Блок схема технологического процесса

Для проведения процесса очистки от примесей пары расплавленной серы пропускают через фильтрационный материал. В качестве исходного фильтрационного материала применяется смесь перлита, карбоната и гидроксида кальция. Затем фильтрационный осадок высушивается при помощи пара. После технологического цикла фильтрационный материал превращается в спекшую серую кускообразную массу (серный кек), в составе которой кроме исходных компонентов дополнительно появляются различные соединения серы. В образованном отходе общее содержание серы, включая ее соли, варьируется от 40%

до 60%. Данный отход относится к IV классу опасности. Несмотря на содержание в своем составе ряда ценных компонентов, отход пока не является в широком масштабе востребованным на рынке.

Утилизация серосодержащего отхода сернокислотного производства является неотложной задачей, так как при хранении на полигоне предприятия под действием солнечной энергии и других природно-климатических факторов протекают различные химические преобразования, что приводит к загрязнению объектов окружающей среды (атмосферы, почвы, грунтовых вод) различными токсичными веществами (меркаптаны, H_2S и др.).

В связи с этим с целью охраны окружающей среды и рационального использования природных средств нами проведен поиск эффективных путей утилизации фильтрационного отхода с получением инновационных товарных продуктов.

Для снижения вредных выбросов в атмосферный воздух и расширения областей применения данного отхода предложены следующие 2 метода утилизации:

1) обработка отхода при различных температурах водой с получением твердой и жидкой фаз;

2) рециклинг на основе «промышленного симбиоза», то есть использование в качестве вторичного сырья в других областях производства.

Средний химический состав исходного отхода ТОО «СКЗ-U» представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание компонентов в серосодержащем отходе, полученном после очистки серы

№ п/п	Название компонентов	Содержание, %
1	Гипс	4,9 ± 0,0019
2	Зольный остаток	29,5 ± 0,0044
3	Известь	2,7 ± 0,0036
4	Органика	1,4 ± 0,0011
5	Перлит	1,5 ± 0, 0013
6	Соединения серы	60 ± 0,0053

Как в Казахстане, так и в других странах, свойства рассматриваемого нами отхода сернокислотного производства практически никем не изучены и его применение в сельском хозяйстве не исследованы.

Каждый из компонентов, входящие в состав данного отхода в отдельности достаточно изучены. Например, перлит, широко используется в различных отраслях народного хозяйства, включая и сельское [1–2].

Применение гипса, извести, серы и ее соединений в качестве мелиорантов также известны. Известь широко применяется в агрохимии для снижения кислотности почвы. Эффективность смеси гипса и серы в качестве мелиоранта солонцовых почв отмечены в работе [3]. Авторами установлено не только улучшение физических и физико-химических свойств солонцов, но и повышение подвижности и усвояемости растениями основных питательных элементов: азота, фосфора и калия.

Сера – необходимый элемент питания растений, входит как обязательный компонент в белковую молекулу, т.е. в состав аминокислот: метионина, цистина и цистеина. Эти аминокислоты принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в клетках растений. Сера входит также в состав других аминокислот (глутатион, тиамин и др.), являющихся активаторами ферментов, которые играют важную роль в углеводном и азотном обмене в растениях [4–5]. Обычно в почвах количество доступных для питания растений минеральных соединений серы невелико, поэтому серосодержащие соединения в отходах могут пополнить эти недостающие части и тем самым удовлетворить потребность растений в сере.

Учитывая положительные качества составляющих, нами составлена смесь из серного кека и органического удобрения вермикомпоста.

В таблице 2 приведен состав вермикомпоста, являющегося продуктом утилизации отходов животноводства и растениеводства. Вермикомпост получен в производственном цехе НИИ «Экология» при МКТУ имени Ходжи Ахмеда Ясави,

Таблица 2 – Химический состав вермикомпоста

№	Наименование показателей состава	Содержание, %
1	Сухой остаток	50–65
2	Гумусовые вещества	25–37
3	Влажность	35–40

4	pH	6,5–7,1
5	Азот общий	1,0–3,0
6	Фосфор общий (P_2O_5)	1,3–2,8
7	Калий общий (K_2O)	1,2–2,4
8	Кальций	4,0–6,0
9	Магний	0,5–2,3
10	Железо	0,5–2,5
11	Марганец	60–80 мг/кг
12	Тяжелые металлы	ниже ПДК для почв
13	Патогенная микрофлора	отсутствует
14	Яйца гельминтов	отсутствует

Вермикомпост представляет собой сухую органическую, рыхло-сыпучую, мелко гранулированную массу почти черного цвета с размером гранул 1-3 мм. Вермикомпост содержит антибиотики, витамины, ферменты и большое количество гумусовых веществ (до 37% на сухой вес), поэтому обладает высокими агрохимическими и ростостимулирующими свойствами, повышает количество питательных веществ (азота, фосфора, калия) и микроэлементов в почве, улучшает ее структуру, защищает растительность от сорняков и вредителей в течение всего вегетационного периода, обеспечивает стабильный высокий экологически чистый урожай с отличными вкусовыми качествами.

На основе экспериментальных исследований подобраны оптимальные их массовые соотношения (отход : вермикомпост = 1,5 : 1).

Данный удобрительно-мелиорирующий состав (УМС) испытан в полевых условиях на землях Сауранского и Отрарского районов Туркестанской области при выращивании корнеплодных культур (картофеля, свеклы, моркови и др,).

Экспериментально полученные в полевых условиях данные при выращивании корнеплодных сельскохозяйственных культур представлены в таблицах 3–4.

Таблица 3 – Влияние удобрительно-мелиорирующего состава на урожайность картофеля «Шортанды»

Варианты опыта, сельский округ	Урожай-ность картофеля, т/га	Прибавка урожая		Фракционный состав урожая, т/га			Содержание в корнеплоде		
		т/га	%	товар-ный	семен-ной	не товар-ный	сухой остаток, %	крах-мал, %	нитрат, мкг/г сырой массы
Контроль (вода)	19,1	-	-	8,2	7,6	3,3	21,0	14,0	8,6
УМС (Шорнак)	26,0	6,9	36,1	13,3	9,5	3,8	22,9	14,9	4,2
УМС (Когам)	24,5	5,4	28,3	12,8	9,1	2,6	23,0	15,1	3,9

Таблица 4 – Результаты производственных испытаний по влиянию удобрительно-мелиоративного препарата «УМС» на формирование урожайности свеклы и моркови

Вариант	Свекла		Морковь	
	общая урожайность	товарность, %	общая урожайность	товарность, %
Контроль	51,2	90,7	37,2	83,4
УМС, 20 т/га (Шорнак)	54,7	92,4	38,2	86,0
УМС, 20 т/га (Когам)	53,9	93,0	39,0	85,9

На основе анализа результатов видно повышение выхода товарной фракции урожая корнеплодных культур при внесении в сероземную почву 15-20 т/га удобрительно-мелиорирующего состава.

Качественный состав урожая культур также свидетельствует о получении экологически чистой продукции. Например, содержание нитратов в товарной фракции картофеля не превышает нормативных значений ПДК (80 мг/кг).

СПИСОК ИСПОЛЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Akbasova A.D., Sainova G.A, Aimbetova I.O. and Baiseitova B.A. Influence of Mixture Vermicompost and Sulfur Per Liter Containing Waste On the Growth and Development of Potato. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2016. – V.7. – Iss. 5. – P. 2064–2069.

2. Ayşe Gül., Deniz Eroğul., Ali Rıza Ongun. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce // Scientia Horticulturae, 2005. – V. 106. – Iss. 4. – P. 464–471.

3. Moura, E.G.; Sena, V.G.L.; Sousa, C.C.M.; Silva, F.R.; Coelho, M.J.A.; Macedo, V.R.A.; Aguiar, A.C.F. Enhancement of the rootability of a structurally fragile tropical soil using gypsum and leguminous residues to increase the maize yield. Soiluse Manag, 2016. – № 32. – P. 118–126.

4. Сулейманов И. Р. Агрохимическая оценка эффективности применения серосодержащих удобрений на серой лесной почве Предволжья Республики Татарстан: Дисс. …канд. сельскохозяйственных наук. – Казань, 2011. – 248 с.

5. Слюсарев В.Н. Сера в почвах Северо-Западного Кавказа: агроэкологические аспекты: Дисс. …доктора сельскохозяйственных наук. – Краснодар, 2008. – 347 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОБЫЧИ УРАНА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ГРАЧЕВСКОЕ» НА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ПОСЕЛКА СОУМАЛКОЛЬ

Субботин С.Б.[1], Кривицкий П.Е., Ларионова Н.В, Айдарханова А.К., Мамырбаева А.С., Тлеуканова Ж. Е., Александрович И.А., Скрипников М.В., Бачурина И.А., Ермакова Р.Г.
[1]Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Аннотация. В работе приводятся данные по выявлению причин образования локальных участков с повышенными значениями МЭД на территории поселка Соумалколь. Для выявления причин их образования проведено радиационное обследование на объектах, являющихся возможными источниками поступления радиоактивных материалов на территорию поселка. Такими объектами являются: законсервированное уранодобывающее предприятие (ЗУДП) «Грачевское» и действующий карьер по добыче строительных материалов. По результатам обследования было установлено, что почвы поселка Соумалколь подвержены техногенному влиянию со стороны разрабатываемого карьера. Данный факт был установлен по результатам анализа характера площадного распространения значений МЭД.

Ключевые слова: ЗУДП, карьер строительных материалов, радиоэкологическая обстановка, участки с повышенными значениями МЭД

ASSESSMENT OF THE POSSIBLE IMPACT OF URANIUM MINING AT THE ‘GRACHEVSKOYE’ DEPOSIT ON THE RADIOECOLOGICAL SITUATION OF THE SOUMALKOL’ VILLAGE

Abstract. The paper provides data to identify why local spots with elevated EDR values were formed in the Soumalkol village. To identify why they appeared, a radiation survey was conducted at objects that are possible sources of radioactive materials entering the settlement. Such objects are: the mothballed uranium mining facility (MUMF) ‘Grachevskoye’ and the operating building material quarry. According to the survey results, it was found that the Saumalkol village soils are exposed to man-made influence from the quarry being developed. This fact was established based on the analytical results of the areal distribution pattern of EDR values.

Keywords: MUMF, quarry of building materials, radioecological situation, spots with elevated EDR values.

Основные запасы урана эндогенных месторождений сосредоточены в Северном Казахстане, где до середины 90-х годов осуществлялась отработка 12 урановых месторождений. К середине 90-х годов, вследствие обвального падения цен на продукцию уранодобывающих предприятий и последовавшей затем остановки производства, практически все пункты хранения отходов предприятий (рудников), осуществлявших горношахтную отработку урановых месторождений, оказались безнадзорными. В результате подземной добычи урановых руд на территории региона скопилось, по последним данным, около 61 млн.тонн радиоактивных отходов с общей суммарной активностью 168,4 тысяч Ku. Радиоактивные отходы с неконтролируемым выбросом выбросы становятся постоянными техногенными факторами радиационного воздействия на население, проживающее вблизи уранодобывающих предприятий. Одним из пострадавших от последствий разработки урановых месторождений является районный центр поселок Соумалколь. По данным областного комитета санитарно-эпидемиологического контроля в поселке были установлены участки с повышенными значениями МЭД. Одной из причин образования участков радиоактивного загрязнения рассматривались последствия разработки уранового месторождения «Грачевское». Дело в том, что в 5-ти километрах к северо-западу от поселка находится законсервированное уранодобывающее предприятие (ЗУДП) «Грачевское». Месторождение «Грачевское» входит в состав Грачевского рудного узла и по существующему административному делению, находится в Северо-Казахстанской области. На ЗУДП «Грачевское» добыча урановой руды производилась подземным шахтным способом. Далее проводилось частичное обогащение руды методом кучного выщелачивания, после чего в контейнерах по железной дороге транспортировалось на Степногорский горно-металлургический завод.

Кроме этого, одним из возможных источников радиоактивного загрязнения рассматривался карьер строительных материалов (щебня), расположенный на северной окраине поселка.

Таким образом, для выявления источника поступления радиоактивных материалов на территорию

поселка, было проведено радиоэкологическое обследование: территории расположения поселка, ЗУДП «Грачевское», а также карьера по добыче щебня.

Выявление источника проводилось на основе данных значений МЭД.

На территории расположения ЗУДП «Грачевское» гамма-съемка показала зональный характер распределения значений МЭД. Для центральной части участка, а также для восточной и западной окраин характерны фоновые значения. Зоны с максимальными значениями имеют локальный характер, где МЭД достигает 14 мкЗв/час. Результаты измерений МЭД на территории карьера и поселка показали, что значения МЭД расположены в диапазоне от 0,09 до 0,8 мкЗв/ч при фоне, характерном для данной местности – 0,09 мкЗв/ч. Аномальные значения гамма-поля отмечены в пределах строительного карьера и в четырех локальных пятнах на территории поселка. Для оценки природы аномальных участков на территории поселка проведен анализ характер распределения МЭД на данных объектах. Результаты измерения МЭД были нанесены на график анализ которого показал, что характер распределения МЭД в поселке – бимодальный. Левая мода соответствует фоновым значениям региона, а правая мода совпадает с модой в распределении МЭД на строительном карьере. Мода распределения МЭД на руднике находится в диапазоне от 0,13 до 14 мкЗв/ч. Приведенные предварительные данные свидетельствуют, что локальные пятна с повышенными значениями МЭД в поселке обусловлены использованием щебня из карьера при проведении строительных работ.

К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ШЛАМОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ НА УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Панова Е.Н.[2], Кайрамбаев С.К.[1], Перменев Ю.Г.[2], Омарова А.К.[2]
[1]АО «НАК «Казатомпром», Казахстан, г. Астана
[2]ТОО «Институт высоких технологий», Казахстан, г. Алматы
a.omarova@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. После завершения операций по недропользованию на отработанных урановых месторождениях возникает необходимость проведения ликвидационных мероприятий последствий производственной деятельности. Целью ликвидации является возврат контрактной территории или ее части, а также затронутых недропользованием земель в состояние, обеспечивающее безопасность жизни и здоровья населения, охрану окружающей среды в порядке, предусмотренном законодательством Республики Казахстан. В связи с чем, актуальным вопросом является ликвидация технологических накопителей отходов (шламонакопителей) горнодобывающих предприятий, утилизация нерадиоактивных буровых шламов и восстановление нарушенных территорий. В работе впервые изучена возможность выращивания зеленых насаждений в почвогрунте на основе отходов буровых шламов, которые составляют более 90 % объема производственных отходов уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром».
Ключевые слова: ликвидация предприятий, рекультивация нарушенных территорий, утилизация отходов, буровые шламы, почвогрунты, биоудобрения.

TO THE ISSUE OF DISPOSAL OF DRILLING CUTTINGS IN RESPONSE TO THE CONSEQUENCES OF SUBSOIL USE AT URANIUM MINING ENTERPRISES NAK KAZATOMPROM JSC

Panova Y.N.[2], Kairambaev S.K.[1], Permenev Y.G.[2], Omarova A.K.[2]
[1]NAC Kazatomprom JSC, Kazakhstan, Astana
[2]LLP «Institute of High Technologies», Kazakhstan, Almaty

Annotation. After the completion of subsoil use operations at spent uranium deposits there is a need to carry out liquidation measures of the consequences of production activity. The purpose of liquidation is the return of the contract territory or its part, as well as the lands affected by subsoil use in a state that ensures the safety of life and health of the population, environmental protection in the manner prescribed by the legislation of the Republic of Kazakhstan. In this connection, the urgent question is liquidation of technological accumulators of wastes of mining enterprises (drilling mud storage), utilization of non-radioactive drilling cuttings and restoration of disturbed territories. In the work for the first time studied the possibility of growing green plants in the soil on the basis of drilling cuttings waste, which make up more than 90% of the volume of production waste of uranium mining enterprises of NAC Kazatomprom JSC.
Key words: liquidation of enterprises, remediation of disturbed territories, waste utilization, drill cuttings, soil, biofertilizers.

По специфике добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) основными видами работ по ликвидации предприятий, после демонтажа и удаления оборудования, строений является рекультивация нарушенных земель и восстановление или удаление отходов. Реализация мероприятий по рекультивации позволит привести участок нарушенных земель в состояние, пригодное для дальнейшего использования. В перспективе после ликвидации предприятия рекультивированные земли можно использовать по санитарно-гигиеническому направлению – для строительства зданий и сооружений, в качестве расширения земель ближайших населенных пунктов, а также по сельскохозяйственному и лесохозяйственному направлениям – для использования земель под пашню, для выпаса скота и расширения земель лесного фонда [1].

Работы по рекультивации осуществляются в два последовательных этапа: технический и биологический. Основной целью технического этапа является создание рекультивационного (плодородного) слоя почвы со свойствами, благоприятными для биологической рекультивации. Биологический этап включает в себя комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, восстановление плодородия нарушенных земель – превращение рекультивационного слоя почвы в плодородный слой, обладающий благоприятными для роста растений физическими и химическими свойствами. В каждом конкретном случае определяются этапы рекультивации земель, с учетом следующих основных факторов: агрохимических свойств пород,

природных и социальных условий, ценности земли, перспектив развития и географического расположения района нарушенного участка [2].

Обзор литературных данных, показал, что многими авторами исследованы способы утилизации буровых шламов (БШ) от деятельности нефтедобывающих предприятий, в том числе получение техногенных грунтов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель и воздействие буровых отходов на почвенный и растительный покров [3]. Наряду с этим, требует изучения, альтернатива использования в качестве почвогрунтов нерадиоактивный БШ уранодобывающих предприятий для восстановления нарушенных земель при лквидации последствий деятельности по недропользованию.

Химический состав БШ зависит от геологических условий территории, исходных компонентов буровых растворов, технологического процесса очистки бурового раствора, а также от глубины и интервалов бурения.

В рамках Дорожной карты по реализации Плана действий в экологической и социальной сферах (ESAP – Environmental and Social Action Plan) АО «НАК «Казатомпром» в 2018–2023 годы проводились исследования отходов бурения до рудного горизонта, на участках деятельности уранодобывающих предприятий, расположенных в Туркестанской и Кызылординской областях.

В ходе комплексных исследований установлено, что состав БШ идентичен минералогической характеристике фоновой почвы, отобранной за пределами участков деятельности предприятий по добыче и переработке урана. Современный минералогический состав БШ представлен в основном кварцем, монтмориллонитом, гипсом и альбитом, где остальные минеральные образования составляют менее 10%. Месторождения урановых руд расположены, в основном, в пустынных и степных ландшафтах, с не плодородной почвой и скудной растительностью, поэтому при рекультивации земель потребуется применять дополнительные меры для улучшения качества грунтов.

Переработка нерадиоактивного БШ в грунт для рекультивации и повышения плодородия представляет собой процесс перемешивания БШ с различными добавками в заданных соотношениях. Определение фитотоксичности полученных почвогрунтов на основе БШ проводится согласно [4]. Данный стандарт описывает метод оценки качества почв различного происхождения, содержащих неизвестные загрязнения. Оценка угнетения развития и хронической фитотоксичности основана на определении параметров прорастания и вегетационного роста растений.

При экспериментах по оценке фитоксичности использовали семена трех видов:

- двудольные растения – горчица белая (Sinapis alba);
- однодольные растения – пшеница (Tríticum), ячмень (Hordeum vulgare);
- многолетние растения – клевер белый (Trifolium repens).

Степень фитотоксичности почвогрунтов оценивали по ингибированию/ стимулированию роста и развития молодых растений на исследуемых образцах БШ относительно фоновой почвы, отобранной с поверхностного горизонта в районе расположения девяти уранодобывающих предприятий. Для получения почвогрунта к навеске БШ добавляли биоудобрение (навоз) в количестве 10 % от массы пробы бурового шлама. Полученную пробу грунта тщательно перемешивали и увлажняли разбавленным водой концентратом биоактивированного гумусного удобрения. Параллельно для сравнительного анализа брали фоновую почву, отобранную в районе расположения предприятий, и черноземную почву без добавки биоудобрения и органоминерального удобрения.

Перед посадкой семена клевера белого, горчицы белой, пшеницы, ячменя выдерживали в течении суток в разбавленном водой в соотношении 1:5 универсальном органоминеральном удобрении гумат калия + фосфор. После посадки семян в пробы подготовленного БШ, фоновой почвы и чернозема, сверху также увлажнили разбавленным водой универсальным органоминеральным удобрением.

По результатам наблюдений в образцах БШ пяти уранодобывающих предприятий, расположенных в Туркестанской области, показано, что способность прорастания семян клевера белого и горчицы белой при применении биоудобрения значительно повышается в фоновой почве до 90% и в среде БШ до 90% по сравнению с черноземом (50%).

Прорастание семян пшеницы при добавлении биоудобрения отмечаются:

- на фоновой почве Туркестанской области до 53%;
- на образцах БШ в пределах 6,7–100%;
- на сравнительной почве (чернозем) до 33%.

Результаты всхожести семян ячменя при добавлении биоудобрения составляют на образцах БШ до 60% и в фоновой почве до 40%.

Экспериментальные результаты на образцах шламов двух уранодобывающих предприятий, расположенных в Кызылдординской области, показали, что в пробах БШ и фоновой почве всхожесть семян клевера белого и горчицы белой составили до 90% и 20% соответственно, а в контрольной почве (чернозем) – 50%.

Прорастание семян пшеницы при добавлении биоудобрения происходит в следующей динамике, с проростанием:

- на фоновой почве Кызылординской области до 80%;
- на образцах БШ до 46 %;
- на сравнительной почве (чернозем) до 33%.

Таким образом, впервые проведены исследования с применением биоудобрения на образцах БШ уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром», расположенных в Туркестанской и Кызылординской областях. Показано, что по сравнению с зерновыми культурами (пшеница, ячмень), гораздо лучше произрастают неприхотливые растения-сидераты (клевер белый и горчица белая).

Полученные результаты позволяют решить, одновременно, проблему утилизации отходов бурения уранодобывающих предприятий, а также на этапе биорекультивации предоставляют возможность получения на основе буровых шламов плодородные почвогрунты, для качественного восстановления нарушенных территорий при ликвидации последствий недропользования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 17.5.1.02-85. Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации. (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30039536).

2. Приказ министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 2 августа 2023 года № 289 «Об утверждении Инструкции по разработке проектов рекультивации нарушенных земель» (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=32098985).

3. Гаевая Е.В. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации: монография / Е.В. Гаевая, С.С. Тарасова, Л.В. Рудакова. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. – 96 с. (https://tsaa.ru/nauka/setevye-izdaniya/2024/gaevaya.pdf)

4. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений (https://docs.cntd.ru/document/1200077669).

РЕМЕДИАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Перменев Ю.Г.[1], Кайрамбаев С.К.[2], Фалеев Д.Г.[1], Агапов О.А.[1], Федорина О.А.[1], Муханбетжанов Ж.Т.[1]
[1]ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Казахстан.
[2]АО «НАК «Казатомпром», Казахстан, г. Астана.
dfaleev@iht.kazatomprom.kz

Аннотация. Экологические проблемы пустынных и полупустынных экосистем сложные, многогранные и соответственно их решение, в свете техногенного воздействия, требует глубокого, разностороннего изучения вопроса, комплексного подхода. Необходимо учитывать местные природно-климатические условия, каждого из урановых месторождений. На поглощение растениями-ремедиантами естественных радионуклидов оказывают влияние многие факторы: вид растения, почвенная микрофлора, pH, содержание в почве влаги, органики, Fe, Mn, K, S, P и т.д. Деляночные опыты по ремедиации территорий подверженных воздействию уранодобывающей деятельности, проведенные специалистами ТОО «ИВТ» на производственной территории АО «НАК «Казатомпром», показали, что в качестве растений-ремедиантов могут быть рекомендованы тростник, амарант, дурнишник, верблюжья колючка, лебеда. Тростник южный один из наиболее рентабельных, продуктивных видов, аккумулятор радионуклидов, в частности ^{238}U. Результаты НИР и НИОКР технологий ремедиации могут найти применение в ходе реализации природоохранной деятельности АО «НАК «Казатомпром».

Ключевые слова: ремедиация, растения-ремедианты, аридные территории, уранодобывающая деятельность, охрана природы, естественные радионуклиды, Phragmites australis.

REMEDIATION OF THE AREA OF SOUTHERN KAZAKHSTAN, AFFECTED BY URANIUM MINING TOUCHED: PROBLEMS AND PROSPECTS

Permenev U.G.[1], Kairambaev S.K.[2], Faleev D.G.[1], Agapov O.A.[1], Fedorina O.A.[1], Mukhanbetzhanov J.T.[1]
[1]Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty.
[2]«NAC «Kazatomprom» JSC, Kazakhstan, Astana.
dfaleev@iht.kazatomprom.kz

Abstract. The ecological problems of desert and semi-desert ecosystems are complex, multifaceted and, accordingly, their solution, in the light of technogenic impacts, requires a deep, comprehensive study of the issue, an integrated approach. It is necessary to take into account the local climatic conditions of each of the uranium deposits. The absorption of natural radionuclides by remediant-plants is influenced by many factors: plant species, soil microflora, pH, soil moisture content, organics, Fe, Mn, K, S, P, etc. Field experiments on remediation of territories exposed to uranium mining activities, conducted by specialists of «IHT» LLP on the production territory of «NAC «Kazatomprom» JSC, showed that reed, amaranth, durnishnik, camel thorn, quinoa can be recommended as remediant plants. Southern reed is one of the most cost-effective, productive species, a battery of radionuclides, in particular ^{238}U. The results of research and R&D of remediation technologies can be used in the implementation of environmental protection activities of JSC NAC Kazatomprom.

Keywords: remediation, remediant plants, arid territories, uranium mining activities, nature conservation, natural radionuclides, Phragmites australis.

Ремедиация техногенно нарушенных земель в ходе эксплуатации и ликвидации урановых месторождений – одни из приоритетных задач в области охраны окружающей среды АО «НАК «Казатомпром». Основные задачи ремедиации – восстановление и сохранение почвенного и растительного покровов, биологического разнообразия.

При разработке технологий ремедиации необходимо учитывать местные природно-климатических условия. Так, для Южного Казахстана, в пределах которого расположены большинство урановых месторождений, характерны недостаток влаги и органики в почвах, засоление воды и почвы, высокие показатели pH, короткий период вегетации растений, обусловленные температурным режимом, количеством и режимом увлажнения, инсоляции.

Экологические проблемы пустынных и полупустынных экосистем сложные, многогранные и соответственно их решение, в свете антропогенного, техногенного воздействия, требует глубокого, разностороннего изучения вопроса, комплексного подхода, так как любая экосистема сложна и разнообразна, пронизана огромным количеством взаимосвязанных между собой взаимодействий.

В этой связи необходимо понимать, что нет одного средства, метода для решения всех этих сложных

задач ремедиации, и любой из объектов биотехнологии ремедиации, как бы он не был хорош и эффективен, не станет универсальным инструментом, решающим все проблемы техногенного воздействия. Кроме того, необходимы такие технологии ремедиации, которые будут рентабельными, эффективными, позволят существенно ускорить восстановление и реабилитацию техногенно нарушенных земель и их возврат в хозяйственный оборот. Важно, что отдельные приемы и методы разработанных технологий ремедиации могут найти применение в народном хозяйстве республики в ходе восстановления пастбищных и пахотных угодий аридных территорий, способствуя решению экологических, социальных проблем и проблем продовольственной безопасности как региона, так и республики в целом.

На поглощение естественных радионуклидов из почвы растениями оказывает влияние множество факторов: подвижность радионуклидов в почвах и их химические свойства, содержание в почве органических веществ, Fe, Mn, K, S, P и т.д., ее pH, влажность, гранулометрический состав, видовая принадлежность почвенных микроорганизмов и растений, и т.д. [1-3].

Целью данной работы явилось рассмотрение проблем и перспектив ремедиация территорий Южного Казахстана подверженных воздействию уранодобывающей деятельности.

Среди способов восстановления техногенно нарушенных территорий, на основе интенсивности проводимых мероприятий и соответственно результатов (сроками реализации, степенью технологизации и вложения затрат) можно выделить следующие основные стратегии восстановления: пассивную (самовосстановление нарушенных экосистем), экстенсивную (с минимальными затратами) и интенсивную (высоко технологичная, эффективная и максимально сжатая во времени, направленная на возврат техногенно нарушенных земель в хозяйственную деятельность, с целью создания агроэкосистем). В ходе проведения НИР в рамках данной работы мы ориентировались на интенсивную стратегию ремедиации техногенно нарушенных территорий.

В рамках общей стратегии ремедиации, с целью ускорения проводимых мероприятий и повышения их эффективности необходимо использование не только видов местной флоры, но и культурных растений-гипераккумулятров, отличающихся от дикорастущих видов высокой рентабельностью (быстрым ростом, высокими показателями фитомассы, устойчивостью к радионуклидам, способностью к их гипераккумуляции). В ходе использования в качестве основных объектов ремедиации культурных или чужеродных дикорастущих растений, которые плохо приспособлены к аридным условиям и требуют к себе повышенного внимания: культивирование, полив, удобрение и т.д., но при этом активно поглощают естественные радионуклиды.

В связи с этим, можно выделить 3 основных этапа высокоинтенсивной, рентабельной технологии ремедиации:

1. Высокоинтенсивная биотехнология ремедиации техногенно нарушенных территорий подверженных воздействию уранодобывающей деятельности с использованием растений-гипераккумуляторов естественных радионуклидов [4].

Для оптимизации и ускорения процессов ремедиации необходимо, на первом этапе, использовать растения-гипераккумуляторы в сочетании с использованием полива и методов влагосбережения, почвенной микрофлоры, способствующей извлечению радионуклидов из почвы (например, грибов-микоризообразователей [5]).

2. Интенсификация процессов почвообразования с использованием почвенных мелиорантов, биопрепаратов, органо-минеральных удобрений и растений-мелиорантов.

Комплексное применение почвенных мелиорантов (опилки, вермикулит, нерадиоактивные буровые шламы, перлит, и др.), биопрепаратов (вермигумус [5], азотфиксирующие бактерии, инокулюм микромицетов, почвенных водорослей, арбускулярных-микоризных грибов [5] и т.д.), органо-минеральных удобрений (компосты органических отходов [6]) и растений-мелиорантов (бобовые, сложноцветные, злаки и т. д. [6]) для ускорения процессов закрепления грунтов, формирования почвенного покрова, в частности повышения содержания органики, обогащения почвенной микрофлорой.

3. Замещение растений-ремедиантов и -мелиорантов элементами местной аридной флоры.

На третьем этапе ремедиации, растения-мелиоранты после прекращения культивирования (полива, внесения удобрений) перестают активно расти, уступая со временем место аборигенной пустынной растительности. Формирование таких природоподобных сообществ в условиях пустынь и полупустынь, требует технологизации, затрат ресурсов на организацию культивирования, они лишены автономности и практически не могут в аридных условиях существовать самостоятельно, но они необходимы, так как существенно сокращают сроки ремедиации, реабилитации техногенно нарушенных земель урановых месторождений и их возвращение в хозяйственный оборот.

В настоящее время в ходе проведения экологического мониторинга сотрудниками Центра экологического проектирования и мониторинга (ЦЭПМ), ТОО «Института высоких технологий» (ТОО «ИВТ») накоплен достаточно большой опыт, знания, собраны массивы данных по свойствам вод и почв, растител-

ного покрова, территорий подверженных воздействию уранодобывающей деятельности Южного Казахстана, которые могут быть положены в основу разрабатываемых технологий ремедиации, рекультивации и реабилитации техногенно нарушенных территорий.

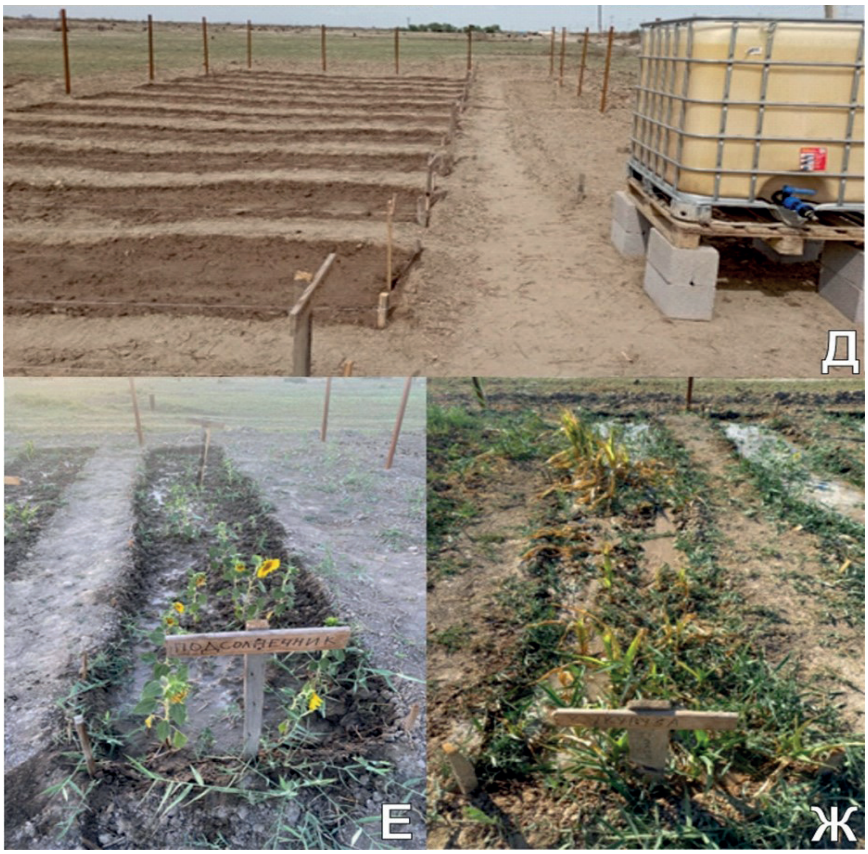
Специалистами ЦЭПМ, ТОО «ИВТ», на территории рудника «Карамурун», ТОО «РУ-6», АО «НАК «Казатомпром», в 2022 г. проведен модельный эксперимент по изучению накопления естественных радионуклидов (в частности ^{238}U) растениями-ремедиантами (рисунок). В ходе проведения эксперимента были исследованы 12 видов растений относящихся к 11 родам и 6 семействам: *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. – Тростник обыкновенный (южный), *Zea mays* L. – Кукуруза сахарная, *Sorghum sp.* – Сорго (сем. Poaceae – злаки); *Xanthium strumarium* L. – Дурнишник обыкновенный, *Helianthus annuus* L. – Подсолнечник однолетний (сем. Asteraceae – сложноцветные); *Amaranthus sp.* – Амарант (Щирица) (сем. Amaranthaceae – Амарантовые (Щирицевые)); *Suaeda altissima* (L.) Pall. – Сведа высочайшая (сем. Chenopodiaceae – Маревые); *Sinapis alba* L. – Горчица белая, *Raphanus raphanistrum subsp. sativus* (L.) Domin – Редька посевная (сем. Cruciferae– Крестоцветные), *Melilotus officinalis* (L.) Lam. – Донник лекарственный (желтый), *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC. – Сферофиза солонцовая, *Alhagi pseudalhagi* (M.Bieb.) Desv. – Верблюжья колючка обыкновенная (каз. жантак) (сем. Fabaceae – Бобовые). Растения были выбраны с использованием данных лабораторных исследований, проведенных ранее совместно с РГП «Институт биологии и биотехнологии растений».

В ходе проведения эксперимента получены данные по накоплению ^{238}U в надземных органах и корнях опытных растений: тростник (*Phragmites australis*), амарант (*Amaranthus sp.*), сферофиза (*Sphaerophysa salsula*), сорго (*Sorghum sp.*), кукруза (*Zea mays*), подсолнечник (*Helianthus annuus*), дурнишник (*Xanthium strumarium*), лебеда (*Amaranthus sp.*), верблюжья колючка (*Alhagi pseudalhagi*).

Деляночные опыты по рекультивации показали, что одними из наиболее перспективных растений в ходе проведения рекультивационных работ, в качестве растений-ремедиантов могут использоваться тростник, амарант, дурнишник, верблюжья колючка, лебеда. Тростник южный один из наиболее рентабельных, продуктивных видов – быстро набирает зеленую массу, осваивает нарушенные земли, обладает высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, хорошо переносит засоление, местный вид-космополит и эврибионт, аккумулятор радионуклидов, в частности ^{238}U.

Кроме того, необходимы дополнительные исследования по накоплению естественных радионуклидов (^{238}U, ^{226}Ra и др.) в различных частях растений, в частности верблюжьей колючки, дурнишника, подсолнечника, лебеды, амаранта как одних из наиболее перспективных ремедиантов. При этом необходимо отметить, что уран малоподвижный элемент, накапливался значительно больше в корневой системе всех исследованных нами растений. Полив оказывает положительное воздействие на подвижность урана в почве и повышает его поглощение растениями-ремедиантами.

Локализация извлекаемого из почвы вещества в корневой системе растения-ремедианта осложняет технологию фиторемедиации, так как требуется извлечение корней растений из почвы, освобождение от земли. Тем не менее, в отдельных случаях, на ограниченных территориях возможно использование технологии и в таком виде. Кроме того, не исключено, что в будущем разработка и внедрение методов увеличивающих подвижность естественных радионуклидов позволит увеличить накопление в надземной части растений-ремедиантов и таким образом оптимизировать технологию ремедиации, повысив ее рентабельность.



Этапы проведения эксперимента: А – Б – распашка, боронование; В – дозиметрический контроль; Г – посев семян растений-ремедиантов; Д – опытные площадки; Е – Ж – растения-ремедианты: подсолнечник (Helianthus annuus L.), кукуруза (Zea mays L.).

Рисунок 1 – Постановка эксперимента на территории рудника «Карамурун» ТОО «РУ-6» по изучению поглощения естественных радионуклидов растениями-ремедиантами

Таким образом, деляночные опыты, проведенные специалистами ЦЭПМ ТОО «ИВТ» на территории рудника «Карамурун», АО «НАК «Казатомпром», показали, что одними из наиболее перспективных растений в ходе проведения рекультивационных работ, в качестве растений-ремедиантов, могут использоваться тростник, амарант, дурнишник, верблюжья колючка, лебеда. Тростник южный (*Phragmites australis*) один из наиболее рентабельных, продуктивных видов – быстро набирает зеленую массу, осваивает нарушенные земли, обладает высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, хорошо переносит засоление, местный вид-космополит и эврибионт, аккумулятор радионуклидов, в частности ^{238}U.

В рамках общей стратегии ремедиации, с целью ускорения проводимых мероприятий и повышения их эффективности необходимо использование не только видов местной флоры, но и культурных растений-гипераккумулятров, отличающихся от дикорастущих видов высокой рентабельностью (быстрым ростом, высокими показателями фитомассы, устойчивостью к радионуклидам, способностью к их гипераккумуляции). В ходе использования в качестве основных объектов ремедиации культурных или чужеродных дикорастущих растений, которые плохо приспособлены к аридным условиям и требуют к себе повышенного внимания: культивирование, полив, удобрение и т.д., но при этом активно поглощают естественные радионуклиды.

В связи с этим, можно выделить 3 основных этапа высокоинтенсивной, рентабельной технологии ремедиации:

1. высокоинтенсивная биотехнология ремедиации техногенно нарушенных территорий подверженных воздействию уранодобывающей деятельности с использованием растений-гипераккумуляторов естественных радионуклидов,

2. интенсификация процессов почвообразования с использованием почвенных мелиорантов, биопрепаратов, органо-минеральных удобрений и растений-мелиорантов,

3. замещение растений-ремедиантов и -мелиорантов элементами местной аридной флоры.

Задачи охраны окружающей среды затрагивают многие аспекты функционирования экосистем, в связи с чем требуют тщательного изучения и комплексного подхода в ходе их решения. Дальнейшие

исследования в области разработки технологии ремедиации территорий подверженных воздействию уранодобывающей деятельности на территории Южного Казахстана имеют большое прикладное значение. Технологии ремедиации тесно связаны с такими направлениями природоохранной деятельности как экологический мониторинг, рекультивация и реабилитация техногенно нарушенных территорий, сохранение биологического разнообразия. Результаты НИР и НИОКР технологий ремедиации могут найти применение в ходе реализации проектов природоохранной деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шапошникова Л.М. Основные факторы, влияющие на поглощение урана, радия и тория растениями // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2017. – № 3 (201). – С. 49–57.

2 Бугенов Е.С., Василевский О.В., Школьник В.С. Теория и практика производства урана и его соединений. – Алматы, КазНТУ, Казатомпром, 2012. – 336 с.

3 Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А. и др. Геотехнология урана. – Алматы, Қазақ университеті, 2017. – 328 с.

4 Нуржанова А.А. Растения-фиторемедианты казахстанской флоры. – Алматы, 2019. – 228 с.

5 Касымбеков Б.К., Фалеев Д.Г. Устойчивость растений к антропогенным факторам окружающей среды: влияние эндомикориз // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2011. – №6(52). – С. 88–91.

6 Титов И.Н., Богуспаев К.К. Вермикультура: научные основы, достижения и перспективы. – Алматы, НИИ проблем экологии КазНУ им. аль-Фараби, 2019. – 366 с.

APPROACHING EFFECTS OF GREEN ENERGY TRANSITION: CHINA, KAZAKHSTAN, AND THE GLOBAL SOUTH

Weishen Zeng (University of Oxford)

Short Abstract:
The energy transition from the traditional fossil fuel system to a green, efficient, and modern system creates winners and losers. My presentation presents emerging research clarifying the links between global climate action and their political, social, economic, and ecological impacts across development contexts.

Long Abstract:
Carbon emission has long-term, negative effects on the climate, and on life of millions of people. From 1792 to 2020, the landscape of global carbon emissions changed dramatically. Several leading developing countries are now emitting more than the entire developed world combined. China, for example, emitted almost 30 per cent of the world's greenhouse gas in 2019.

However, the energy transition from the traditional fossil fuel system to a green, efficient, and modern system creates winners and losers. While appearing to be an effective policy tool to curb the emission, the social, political, and economic effects of energy transitions have been brought to many places, people, and institutions across the world – 'injustice' seems to be inevitable in energy transitions, as many have argued.

My presentation presents emerging research clarifying the links between global climate action and their political, social, economic, and ecological impacts across development contexts. Two case studies will be briefly introduced. The first one is based on my fieldwork in 2022, which looks at the building of 'the world's largest desert PV power base' in Inner Mongolia, China. The second one is my ongoing research, which looks at 'Zhanatas Wind Power Project' in Kazakhstan.

I seek to explore how the impacts of climate action intersect with existing 'Southern' systems and conditions to affect many people, places, and institutions. This will speak to one of our themes, sustainable development issues of the nuclear industry functioning.

TECHNOLOGICAL INNOVATION AND STRUCTURAL TRANSFORMATION IN KAZAKHSTAN: THE ROLE OF INDUSTRIAL POLICY AND FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN CRITICAL RAW MATERIALS

Nurjaz Akylbek

As globalization deepens, critical raw materials play an important role in the global economy, especially in high-tech products. Kazakhstan possesses rich reserves of critical raw materials, yet their potential has not been fully tapped. In this context, traditional mining countries face the challenge of enhancing competitiveness and transforming their economic models. Our goal is to provide an understanding of the industrial upgrading and technological development of mining countries. This study will explore how Kazakhstan can reposition itself within the global value chain and how the country can utilize foreign investment effectively to develop more robust industrial policies to strengthen its overall capacity. How can technological advancements be achieved to meet the goals of energy transition and sustainable development? This study aims to explore the role of foreign direct investment and industrial policy in fostering innovation-based industrial competitiveness through a case study of Kazakhstan's critical raw materials.

This research selects the social state as the theoretical framework to explain the industrial competitiveness of Resource-Abundant States, the role of different stakeholders, and the changes in Kazakhstan's industrial competitiveness through the implementation of industrial policy, innovation, and foreign direct investment.

Based on these research objectives, we pose the following research questions. What strategies has Kazakhstan formulated for energy transition and attracting foreign direct investment? How does the geopolitical landscape influence the development of industrial policy? What are the roles of the government, businesses, and joint ventures? How do foreign direct investment and industrial policy alter the developmental path of the critical raw materials industry? How have innovation-based regional development levels evolved?

The type of this study is descriptive and explanatory. For this, data from multiple sources such as surveys and semi-structured interviews will be collected and analyzed. Additionally, case studies and statistical analysis will be conducted to identify any trends or patterns in the data. Researchers will focus on engaging with stakeholders and practitioners during the research process, including local governments, community organizations, and businesses.

This research is part of the larger European Research Council Starting Grant on Green Industrial Policy in the Age of Rare Metals (no. 950056)

GRIP-ARM

International Institute of Social Studies, Erasmus University Rotterdam, Netherlandsakeerbieke@iss.nl +31 628844677

OBTAINING OF SILICONNANOCLUSTERS BY THE PECVD METHOD

S.S Ussenkhan[1], A.T. Zhunisbekov[1], Y. Yerlanuly,[2] A.U. Utegenov[2], [*]S.A. Orazbayev[2], T.S. Ramazanov[1,3], L. Boufendi[1], H.Vach[4]

[1] Al-Farabi Kazakh National University, 71/23 Al-Farabi ave., 050040, Almaty, Kazakhstan

[2] Institute of Applied Sciences and Information Technologies, 280 Bayzakov str., 050038, Almaty, Kazakhstan

[3] Kazakh Physical Society, Almaty, 050040, Kazakhstan

[4]Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces, CNRS, École Polytechnique, IP Paris, 91128 Palaiseau, France

[(*)] sagi.orazbayev@gmail.com

Currently, due to the intensive development of nanotechnology, there is an increased interest in the study of nano-sized objects such as quantum wells, quantum wires, quantum dots, *etc*. In such nanoscale objects, the de Broglie wavelength of the electron is commensurate with the size of the object in one or more dimensions, which causes quantum mechanical effects in contrast to bulk materials. These effects are well manifested in the optical, electronic, and magnetic properties [1] of semiconductor materials. Consequently, they find many applications in microelectronics, medicine, solar energy, *etc*. Silicon is the most widely used semiconductor material in modern electronics and microelectronics. Therefore, research on the formation and modification of the parameters of silicon nanostructures is a very urgent task. Silicon nanoparticals exhibit quantum properties at temperatures up to room temperature, which is of practical interest [2] in the implementation of devices based on these materials.

In the present work, silicon nanocrystals were obtained in a pulsed dust-forming plasma generated in a high-frequency capacitive Ar + SiH_4 discharge at low pressure (figure 1). The experimental setup includes a vacuum reactor, a high-frequency generator, a matching device, and DC power supplies for the generation of an electric field during deposition. The obtained results were analyzed using AFM, SEM, TEM, XPS, UPS, and UV-VIS spectroscopy. The self-bias voltage was used to control the orientation of the nanoparticles just before their deposition. The dependence of the work function of the resulting substrate material on the size of the deposited nanoparticles will be discussed in detail during our presentation.

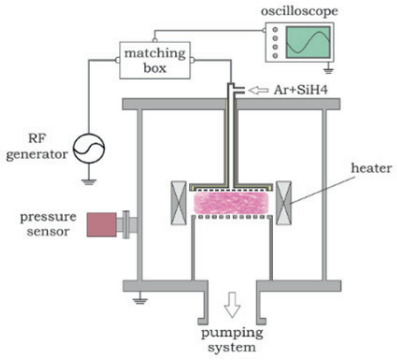


Figure 1. Schematic of an experimental setup for the obtaining of silicon nanoclusters

1. Fatme Jardali at all. *J. ACS Applied Nano materials* 2021 4 (11), 12250-12260.
2. S. Ussenkhan at all. *Heliyon* 10 (2024) e23844
3. Jardali, F.; Tran, J.; Liège, F.; Florea, I.; Leulmi, M.E.; Vach, H. *J. Nanomaterials* 2023, 13, 2169.

ЖАҢА КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫН ҚАЛДЫҚТАРДАН АЛУ МЕН ӨНДІРІСКЕ ЕНГІЗУ

Саинова Г.Ә., Азиханова Д.К.
Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қаласы, Қазақстан
E-mail: dil_ya2019@mail.ru

Аңдатпа. Жалпы өндірілетін өнімнің көлеміне қарағанда өндірістен шығатын қалдықтардың көлемі жоғары қарқынмен жинақталуда. Өндіріс қалдықтарын кәдеге жаратудың ең тиімді жолы ретінде шикізаттың орта есеппен 40 пайыз қажеттілігін қамтамасыз ететін және өндірістің маңызды салаларының бірі құрылыс материалдарын алуға пайдалану. Өндіріс қалдықтарын пайдалану барысында құрылыс материалдарын жасау шығынын 10-30 пайызға дейін төмендетуге мүмкіндік береді.
Кілтсөз: шикізат, құрылыс материал, клинкерлі қалдық, виброүстел, пигмент.

Abstract. The volume of production waste is accumulating at a higher rate than the volume of the total production. The most effective way to dispose of production waste is to use it to obtain building materials, which provides an average of 40 percent of raw materials and is one of the most important areas of production. During the use of production waste, it is possible to reduce the cost of building materials by 10-30 percent.
Keyword: raw materials, construction material, clinker waste, vibrating table, pigment**.**

Жаңа құрылыс материалдарын алу үшін негізгі шикізат ретінде өндірістік қалдықтарды қолдану материалдардың жұмсалуын төмендету бағыттарының бірі болып табылады. Құрылыс материалдарының өнеркәсібі қазіргі кезде басқа өнеркәсіп салаларының қалдықтарын үлкен көлемде пайдаланады. Құрылыс материалын және ерітіндіні дайындау үшін ұсақ толтырғыш ретінде құм, әртүрлі ұсақталған табиғи және табиғи-жасанды, өндіріс қалдығы пайдаланылады.

Құрылыс материалдарын дайындаудың технологиялық процестері. Пластификатор және бояуды ең алдымен толықтай жылы суда ерітіп алу қажет, содан соң бетонды қоспаға қосылады. Алынған массаны қалыпқа құяды, ары қарай виброүстелде нығыздайды. Вибрацияның ұзақтығы шамамен 4-5 минутқа созылуы керек. Алынған өнім қалыпта 1 тәулік ішінде кебеді, содан кейін атмосфералық ортада қалыпты жағдайда 7 тәулік аралығында кебуі үшін қалыптан түсіреді. Одан соң бетонның беріктілігін ИПГ- 400 құралымен өлшейді.

Тас шикізаттың құрылысы – тығыз, кеуек құрамды, ауыр, базальт тәрізді. Зерттеу үшін алынған шикізаттың ірілігі 10-150 мм шегіне дейін өзгереді. Қалдықтың тығыздығы 3200 кг/см^3-тан 1800 кг/см^3-қа дейін ауытқиды. Сүзгілі қалдықтың орташа салмағы табиғи тас материалдарға ұқсас және 2,2-2,6 г/см^3 құрайды.

Құрылыс материалдарына гранулометриялық құрамның әсері. Тығыздығы мен беріктілігі жоғары қоспа алу үшін қоспаның гранулометриялық құрамын дұрыс таңдау қажет. КПҚ, АПҚ түйіршікті құрылымды болып келеді, оның цементпен байланыстыру кезінде жоғары беріктілікке ие және кеуектілігі аз материал алуға болады.

Қалдықтың құрылымдық өлшемін реттеу барысында халық шаруашылығының барлық талаптарына жауап беретін құрылыс материалының оптимальды құрамын алуға болады.

Гранулометриялық құрамын іріктеу минимальды кеуекті қоспаны алудан, сонымен қатар ең төменгі көлемдік салмағын алудан тұрады. Барлық қоспаны салмағы бойынша қойылған рецептураға сәйкес мөлшерлейді.

Негізгі физикалық-техникалық қасиеттерінің гранулометриялық масса құрамына әсерін келесідей жіктеуге болады:

1. 1,0-0,1 мм шамасында қолданылатын КҚҚ мен клинкерлі қалдық өлшемі термиялық тұрақтылығы мен материалдың жылуөткізгіштігіне, тығыздығына іс жүзінде әсер етпейді;

2. Екінші, үшінші фракцияға сәйкес КҚҚ мен клинкерлі қалдық өлшемі материалдың көрсетілген шегінде материалдың қасиетінің айқын өзгеруі болмайды.

3. КПҚ түйіршіктер өлшемінің ұсақ болуы механикалық беріктілігінің пропорциональды өсуіне әкеледі және материалдың майдалану кедергісіне (тозу) сәйкес келеді, бірақ алынатын өнімнің өзіндік құны жоғарлайды;

Зерттеуге алынған әртүрлі гранулометриялық құрамды композициялық материалдардың физика-техникалық қасиеттерін (термотұрақтылық, жылуөткізгіштік және т.б.) сақтау кезінде майдалану кедергісі және механикалық беріктілігі ең жоғарғысына түйіршігі 1,0 –ден 0,1 мм-ге дейін өлшемді материалдар ие болып келеді.Барлық зерттелген материалдар жоғары механикалық беріктілікке ие, жаяужол тақтайшалар рецептурасы үшін ұсынылуы мүмкін.

КПҚМ мен АПҚМ физика-механикалық қасиеттерін зерттеу. Берілген жұмыстың мақсаты жаяужол тақтайшалартақтайшаларды және басқа да құрылыс материалдарын алу болып табылады, олардың құрамын өңдеу кезінде және технологиялық параметрлерін алуда ұқсас материалдардың физико-техникалық көрсеткіштерін регламенттейтін нормаларына және стандартты талаптарға сәйкес келуіне бағытталуы керек. Көрсетілген стандарт келесі негізгі нормалар көрсеткіштерін береді 1- кестеде:

Кесте 1 – Нормативтік көрсеткіштер

Сипаттама	Өлшемдік мәні
Сығымдау кезіндегі беріктілігі, МПа	10,0-35,0
Су сіңіргіштігі, %	6,0-10,0
Аязға төзімділігі, цикл	2-3

КПҚМ мен АПҚМ алу үшін басқа да шикізат компоненттерінің жарамдылығын бағалау кезінде негізгі критерийлер: механикалық беріктік, су сіңіргіштік және аязға төзімділігі жоғарыда келтірілген.

Алынған тәжірибелік нәтижелерге сүйеніп, келесідей қорытынды жасауға болады:

- алынған КПҚМ, АПҚМ келесі көрсеткіштерге ие: механикалық беріктілігі (эрозиялық-шыдамдылығы, жылу алмасу мөлшері 15-23); нормалар шегінде су сіңіргіштігі ($\leq 6\%$);

- ҚҚҚ мен клинкерлі қалдық айтарлықтай мәнде (35% масс. жоғары) оның физико-механикалық қасиеттерін анықтайтын жүйенің құрылымын түзуші элементі болып табылады.

- пластификатор айтарлықтай мәнде ($\leq 2\%$) композицияның пластикалық құрылымын қамтамасыз ете отырып, суды тұтынуды азайтады, тез қатуға негіз болып табылады.

- сынамалар негізі жоғары термиялық өңдеуден тұрады, ары қарай цементтің қатуы (ұсынылатын мөлшерде) өзінің физикалық-химиялық қасиеттерін, ал оның ішінде беріктілігін сақтайды. КПҚМ, АПҚМ композициялық құрамының байланысы кептіру процесіне байланысты.

Сынамалар кептіру барысында олардың отыруы еш байқалмайды. Ірі түйіршікті түзілген құрылымның қаттылығына байланысты сынамаларды кептіру негізінен барлық жүйенің отыруына іс жүзінде әсер етпейді. Жүйенің жалпы көлемі мен кеуектілігі іс жүзінде өзгеріссіз қалады. Жабық кеуектіліктің салыстырмалы түрде жоғарлауы және нығыздалу көлемінде заттың ішінара қайта бөлінуі мүмкін.

Түсті және химия өндірістерінің қалдықтары негізінде жасалынған композициялық құрылыс материалдарына сипаттама

Күкірт құрамды қалдықтар мен клинкерлі қалдықтар негізінде ауыр, жеңіл, ірі-кеуекті, сонымен қатар сәнді түсті бетондар құрамдары жасалынған. Күкіртті және клинкерлі қалдықты бетондар жалпы композициялық материалдардың классификациясы бойынша ең алдымен байланыстырғыш, модификациялаушы қоспалар, толтырғыштар және қоспадағы олардың өзара үйлесуінің өзіне сәйкес белгіленген орны бар.

Мұнай өндірісіндегі күкіртті қосылыстар құрамы 7-9%-ға дейінгі массаны құрайды. Мұнайда күкірт элементарлы күкірт, күкіртті сутек, меркаптандар, сульфид, дисульфид, циклдық байланыс және олардың гомологтары түрінде кездесетіні -ші суретте көрсетілген.

Мұнайдың құрамында негізінен күкірт және оның қосылыстары еріген күйде кездеседі, меркаптанды күкірт құрамы оның жалпы құрамының 15 % массалық бөлігін құрайды. Меркаптандар бензин фракциясында, сульфидтер – бензинді және лигроин-керосинде, дисульфидтер – керосинді-газойлды фракцияларда жинақталады.

Шикі мұнайда күкірт меркаптандар, сульфидтер және дисульфидтер түрінде, ал термиялық өңдеуден соң ароматты гетероциклді қосылыстардың құрамына кіреді.

Клинкерлі қалдықтар – ауыр, құрамында түрлі металлдары бар шлак түрдегі ашық жатқан қалдықтар. Клинкерлік қалдықтар – Ащысай мырыш кенінің клинкерінің ашық жатқан техногенді қалдықтары шамамен 4,7 млн.т . Қалдықтардың құрамы келесідей мас.%: Pb-0.05, Zn-0.98, $BaSO_4$ -2.2, FeS_2 -3,4, $S_{барл.}$ -1,8, Ag-7,6, Fe_2O_3 -30,4, $Fe_{барл.}$-22,8, қалғаны – су.

Портландцемент – әктас пен балшықтан құрастырылған қоспаны 1450°С-та күйдіру арқылы алынатын, негізінде кальций силикаттарынан тұратын клинкерге біраз гипс қосып, ұнтақтап өндіретін гидравликалық байланыстырғыш зат.

Цемент құрамының оның қасиеттеріне тигізетін әсері. Клинкер деалит минералы көбейген сайын алғашқыдан алынатын цемент тез қатаяды да, соңғысының маркасы жоғары болады. Үшкальцийлі алюминат көбейседе цемент тез қатаяды, бірақ беріктілігі азаяды. Құрамында екі кальцийлі силикат көбейсе, цемент баяу қатаяды, сөйте тұра уақыт өткен сайын, оның беріктілігі арта түседі. Қорыта айтқанда, цемент минералдарының ең тиімдісі – үшкальцийлі силикат (Ca_3S).

Құрылыс құмы – кремний құрамды құм кремнеземнің ұсақ жеке бөлігінен тұратын, табиғи түйіршіктелген материал болып табылады.

Кремнезем – бұл кремнийдің диоксиді немесе SiO_2. Құмның майда бөлшектері, диаметрінің ең аз мөлшері 625 микронға тең (1/16 мм), ал ең жоғарғы шекті диаметрі 2 мм-ге тең.

Бояғыш заттар – құрылыс материалдарын бояу үшін табиғи және синтетикалық пигменттерді, сонымен қатар олардың қоспасы бояғыш заттардың пигменттері негізінде пайдаланылады.

Табиғи пигменттер – бұл кен өндірісіндегі әртүрлі металдардың тотығы. Синтетикалық бояғыштар әдетте болат құю өнімдерінің қалдықтарынан, темір тұздарының негізінде бетонды, ерітіндіні бояу үшін келесі пигменттер қолданылады: ақ – титан диоксиді; сары – темір оксиді; қызыл – темір оксиді; қара – темір оксиді және күйе; жасыл – хром оксиді; қоңыр – темір оксиді және умбра және т.б.

Сурет 1 – Әртүрлі беттік жаяужол тақтайшаларға арналған қалыптар

Сурет 2 – Құрылыс материалдарын бояуға арналған пигменттер

Жоғарыда келтірілген барлық пигменттер суда аз еритін болып табылады және цемент ерітіндісінің барлық ингредиенттерін жауып, бетонды бояйды. Беткі бөліктегі бояудың қанықтығы мен қою болуы көптеген параметрлерге пигменттің ерітіндідегі көлеміне, беткі бөлік ауданына, араластыру процесінің эффективтілігіне, беткі бөліктің сипатына байланысты болып келеді.

Цементтің мөлшері 10% болған кезде, пигменттің (бояудың) ерітіндідегі орташа мөлшері 3-5% -ды құрайды.

Мұндай мөлшерлеу кезінде қату уақытының кішкене артуына және бетонның сығылу кезіндегі беріктілігі аздап төмендеуі пайда болады.

Модификациялық толтырғыштар - күкіртті және клинкерлік қалдықтаркомпозиттердің қасиеттерін реттеу үшін модификациялық толықтырғыштарды қолданады. Модификациялаушы толтырғыштар ретінде органикалық және бейорганикалық қосылыстарды пайдаланады.

Модификациялаушы толтырғыштар функционалды бағыттары бойынша: пластификаторлық; тұрақтандырғыштар; газ және ауа толықтырғыштар; биотұрақтылық пен отқа төзімділікке тұрақтылығы бар толықтырғыштарға бөлінеді.

Пластификаторлық толықтырғыштар ретінде: нафталин, парафин, дицилпентадиен, тиокол және т.б пайдаланылады .

Толтырғыштар – күкіртті және клинкерлік қалдықтар композициялық материалдардың физикалық-химиялық қасиеттері толтырғыштардың түрлерімен табиғатына байланысты болып келеді. Толтырғыштардың рөлі алуан түрлі. Олар күкірт материалдарының қасиеттерін өзгерте алады: нығайтады, тұрақтандырады, беріктілігін өзгерте алады және т.б. Толтырғыштар ретінде дисперстілігі жоғары ұнтақ минералдар, тау жыныстары және жасанды материалдар: андезит, гипс, кірпіш қиыршықтары, минералдық құрамы түрлі балшықтар, графит, доломит, әктас, кварц, мәрмәр, слюда, тольк, трепел, шамот және т.б пайдаланылады. Сондай-ақ әртүрлі органикалық талшықтар: асбестті талшықтар, нейлондар, полиэфирлі, металдық, шыны талшықтар, полиметафосфатты полипропиленондар және т.б. Сондай-ақ толтырғыштар бетондардың көптеген техникалық қасиеттерін жоғарлатады. Толтырғыштардың ірілігімен, ұсақ түрлерінің таңдалуы эксплуатация жағдайындағы түрлеріне байланысты.

Сурет 3 – Жаяужолды тақтайшалардың – өнектелуі

Жеңіл күкіртті және клинкерлік қалдықты бетондар үшін ірі толтырғыштар ретінде: керамзиттерді, шунгизиттерді, аглопоритты қиыршықтастарды, азериттерді, термолиттер мен ағаш үгінділерін пайдаланады. Ұсақ толтырғыштар қарапайым күкіртті бетон жасауда қолданады. Оларға кварц құмдары, сонымен бірге тау жыныстары мен минералды тастардың ұсақталған түрлері жатады.

Жасалыну барысы; «Ащполиметалл» клинкерлі қалдықтары негізінде жаяужол тақтайшаларын алуға, төменде көрсетілген компоненттерді қамтитын қоспадан тұрады , массалық ара-қатынасы % :

«Ащполиметалл» клинкерлі қалдық	22,2 ;
құм	18,4;
портландцемент	24,6;

қиыршық тас	25,2;
пластификатор С-3	0,37;
пигмент	2,7;
су	қалғаны.

Құрылыс өнімдерін өндіру процесі келесі ретпен жүзеге асырылады. Алдымен құрғақ қоспадан тұратын құм – 734г, портландцементі – 978г, алдын ала гранулометрялық құрамы 0,1-5мм ге дейін езілген «Ащполиметалл» клинкерлі қалдық – 885г. Барлық масса біркелкі араластырылады, пластификатора С-3 –15г жылы сумен араластырылып құрғақ қоспаға қиыршық тас – 1002г, пигмент – 109г мен бірге қосып біркелкі етіп араластырылады. Дайын қоспа пластикалық формаларға құйылып, виброүстел көмегімен жоғары дірілдету нәтижесінде 5-10минутқа қойылады. 24 сағаттан кейін қалыптан алынып, 7 күн бойы атмосфералық ауада кептіріледі. Кептірілгеннен кейін физикалық-химиялық қасиеті, анықтап айтқанда, иілу сығу кезіндегі беріктілігі, су сіңіргіштігі, қаттылығы, жылу өткізгіштік қабілеттері анықталады.

Дайын композициялық жаяужол тақтайшаларының физикалық-химиялық қасиеттері, иілу кезінде жоғары механикалық беріктілігі ГОСТ 17608-91 қа сәйкес тексеріледі.

Композициялық декоративтік жаяужол тақтайшалары мен жиектастардың, экологиялық-экономикалық тиімділігі жоғары, әрі атмосфераға шығарылатын зиянды заттарды жою арқылы қоршаған ортаны жақсартуға мүмкіндік береді, қалдықтарды кәдеге жарату, жерлерді қалдықтардан босатуға мүмкіндік арта түседі.

Қорытынды.

Тәжірибелік зерттеулер негізінде жаңа декоративті қасиетке ие, беріктілігі жоғары құрылыс материалдары күкірт қышқылы өндірісінің күкірт-перлит құрамды қалдықтары мен полиметалл өндірісінің клинкерлі қалдықтарынан алынды. Күкірт қышқылын алу өндірісінде күкірт-перлитті қалдықтары мен клинкерлі қалдықтарды әртүрлі құрамды құрылыс материалдарын алуға қолдану, алынатын өнімнің уытсыз болуын және сығымдау кезіндегі беріктілігінің жоғары болуын қамтамасыз етеді. Өндіріс қалдықтары мәселесінің экономикалық және экологиялық тұрғыдан, сонымен бірге ресурстарды үнемдеу бойынша ең тиімді шешу жолы ретінде күкірт қышқылы өндірісінің күкірт-перлит құрамды қалдықтары мен клинкерлі қалдықтарын құрылыс материалдарын алуға қолдану болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1.Методы утилизации с использованием технологии газификации и оценка энергетического потенциала твердых бытовых отходов // Материалы XV Республиканского форума молодых ученых «путь навстречу». Часть 4: СГУ им. Шакарима. – Семей, 2012. – 226 с. Койбагаров С.Х., Жумагажинов А.Т., Толеуов С.Е., Тлеубердин К.Ж.

2.Статистический сборник: «Регионы Казахстана в 2010 г.», Национальный обзор применения экологических показателей. – Астана, 2010. – 43 с.

3.Фархутдинов И.З., Высторобец Е.А. Проблемы развития экологической политики и права в Республике Казахстан // Евразийский юридический журнал. – 2013. – № 7. – С. 23–24.

4.Машкевич В.А. Оценка состояния переработки твердых бытовых отходов и тенденции развития. – М.: АТ «Промпроект», 2013. – 223 с.

5.www.google.kommunalnoe-gosudarstvennoe-predpriyatie-na-prave.kz

6.Акбасова А.Д., Колушпаева А.Т. Серосодержащие отходы нефтяной и химической промышленностей – ценные сырьевые продукты // Bulletin d'Eurotalent-Fidjip. – 2015. – №3. – С. 68–72.

7.Отчет о научно-исследовательской работе. Испытание в производственных условиях патентованных продукций (удобрение-мелиорант, строительные материалы), полученных на основе отходов ЖШС «СКЗ-U»№17/569 от 17.04.2017 г.

8.Martin-Sanchez, Juan M.; Raimondi, Angelo; Favela, Antonio; Estrada, Raul; Nevado, Antonio;Gracin, Edgar. Adaptivepredictive control of the sulfur recovery process at Pemex Cadereyta refinery // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. 2012. Vol. 26. №10-P.961-975.

9.Горная Энциклопедия: Ачисайский полиметаллический комбинат. –1996. – 271 с.

10. Геологическая Энциклопедия на "Академике". – 1986. – Т.2. – 180 с.

11. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления : Учебное пособие. – Тверь: Издательство ТГТУ, 2004. – 107 с.

12. Геология СССР. – Т. 41. Восточный Казахстан. Полезные ископаемые / Гл. ред. В.Сидоренко. – М.,1974.

13. Козлов В.В. Сухие строительные смеси. – М: АСВ, 2000. – 271с.

14. Королев Е.В., Прошин А.П., Баженов Ю.М., Соколова Ю.А Радиационно защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы. – М.: Палеотип, 2006. – 272 с.

15. ГОСТ 25051.3-83 Установки испытательные вибрационные. Методика аттестации (с Изменением N 1)

16. Гиллер Я.А. Таблицы межплоскостных расстояний. – М.: Недра, 1986. – Т.2. – 180 с.

ПОДДЕРЖКА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АО «САМРУК-КАЗЫНА»

Жумадилова Ж.А., Шокобаев Б.А.
Фонд «Центр научно-технологических инициатив «Самгау», г. Астана, Казахстан
z.zhumadilova@csti.kz, b.shokobayev@csti.kz

Аннотация. Рассмотрены состояние и статус научно-исследовательской деятельности в Казахстане. Приведены основные причины низкого уровня коммерциализации отечественных научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. Представлен комплекс мер, предпринимаемых Фондом «Центр научно-технологических инициатив «Самгау» для систематизации и повышения эффективности научно-исследовательской деятельности в группе компаний АО «Самрук-Казына».

Ключевые слова: научно-исследовательская деятельность, инновационно-технологическая диагностика, взаимодействие науки и производства, недропользователи, коммерциализация, результаты научной или научно-технической деятельности.

SUPPORT OF RESEARCH ACTIVITIES IN “SAMRUK-KAZYNA” JSC

Zh. Zhumadilova, B. Shokobayev
Center for Scientific and Technological Initiatives “Samgau” Foundation, Astana, Kazakhstan

Abstract. The state and status of scientific research activities in Kazakhstan are considered. The main reasons for the low level of commercialization of domestic research and development are given. A set of measures taken by the “Center for Scientific and Technological Initiatives “Samgau” Foundation” to systematize and improve the efficiency of research activities in the “Samruk-Kazyna” JSC group of companies is presented.

Key words: research activities, innovative and technological diagnostics, interaction between science and production, subsoil users, commercialization, results of scientific or scientific and technical activities.

Одним из основных факторов экономического роста на протяжении последних десятилетий является научно-техническое развитие страны. Научные открытия, новые технологии, поддержка научно-исследовательской деятельности на настоящий момент являются важным условием конкурентоспособности в мировой экономике.

В международной практике уровень научно-технического развития страны оценивается по нескольким критериям, одними из наиболее часто используемых являются глобальный инновационный индекс (ГИИ) и доля затрат на науку от ВВП страны.

Всемирная организация интеллектуальной собственности в конце сентября опубликовала данные по ГИИ за 2023 год. В нем оцениваются 132 страны по 7 компонентам, охватывающим более 80 показателей. Самой инновационной страной мира стала Швейцария, за ней следуют Швеция, США, Великобритания и Сингапур. Казахстан за год улучшил свои позиции в рейтинге, поднявшись с 83-го в 2022 году до 81-го места в 2023 году. Странами-соседями Казахстана по рейтингу стали Беларусь (80) и Узбекистан (82). При этом в группе стран Центральной и Южной Азии Казахстан занимает 3 место, уступая Индии и Ирану. Основной вклад в успех обеспечили результаты креативной деятельности.[1]

В качестве сильных сторон Казахстана эксперты ГИИ отмечают:

- государственные онлайн-сервисы,
- индекс вовлеченности граждан в деятельность электронного правительства,
- соотношение учеников и учителей в среднем образовании,
- работающие женщины с ученой степенью,
- охват высшим образованием,
- экспорт высоких технологий и другие.

К слабым сторонам страны можно отнести:

- низкие расходы на НИОКР,
- низкое количество венчурных инвесторов и получателей венчурного капитала,
- низкий уровень расходов на программное обеспечение,
- отсутствие технологических компаний-единорогов страны.

Рисунок 1 – Казахстан в Глобальном инновационном индексе (GII)

Показатели по расходам на НИОКР рассматриваются в рейтинге мировой конкурентоспособности и ГИИ. В рейтинге 2023 года по общим расходам на НИОКР Казахстан занял 57 место из 60 стран со значением 0,13% от ВВП (257 млн долл. США), опережая лишь Перу (0,12%), Монголию и Кувейт (0,10%).

В последние годы в развитых и развивающихся странах наблюдается стабильный рост затрат на НИОКР. Лидерами являются Южная Корея и Израиль с показателями более 4% от ВВП страны, при этом по данным ООН за 2020 год, среднее значение для 67 стран составило 1,3%.

В развитых странах наука в большей степени поддерживается частным сектором. Так, в странах ОЭСР бизнес, наряду с государством, играет важную роль в развитии НИОКР, около 70 % от общего объема НИОКР выполняется частными или государственными предприятиями. Например, в Южной Корее процент участия частного капитала в затратах на НИОКР составляет 77%, в Израиле – 69%, в Сингапуре – 83%.

По показателю «Расходы бизнеса на НИОКР» Казахстан занял 56 место из 59 стран со значением 0,05% от ВВП (90 млн долл. США), опережая лишь Перу и Индонезию (0,02%), а также Монголию (0,01%) [2].

Доля внутренних затрат на НИОКР от ВВП также не превышала 0,13% в период с 2017 по 2021 годы (в 2022 году – 121,6 млрд тенге). При этом в Казахстане наблюдается перекос в финансировании в сторону научных исследований и разработок (НИР) в ущерб опытно-конструкторским разработкам. Так, по удельному весу затраты на опытно-конструкторские разработки занимают всего 13,7% общего объема финансирования (в 2022 году – 16,6 млрд тенге). И в процентном соотношении удельный вес этих затрат за последние три года уменьшился на 3,8%.

Результаты НИР, не доведенные до экспериментальных разработок, остаются в виде отчетов и не реализуются в виде опытных образцов, прототипов, продукции. Как правило, отечественные НИР не представляют интереса для производственных предприятий по двум основным причинам:

− тематики НИР не согласуются с запросами, потребностями реального бизнеса, индустрии;

− НИР не доходят до стадии опытно-конструкторских разработок и прототипов, завершаются отчетом или публикацией без дальнейшего внедрения результатов научной или научно-технической деятельности (РННТД).

Таким образом, основными причинами низкой степени коммерциализации РННТД являются недостаточное финансирование научных исследований и низкая зантересованность со стороны бизнеса, индустрии.

В этой связи, учитывая тот факт, что казахстанская научная система находится в отрыве от реальных потребностей индустрии, а также особую значимость и приоритетность научно-инновационной составляющей в современных условиях развития, возникает необходимость разработки комплекса мер, направленных на повышение статуса и эффективности НИОКР.

В 2022 году с целью консолидации и систематизации научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) недропользователей, входящих в группу АО «Самрук-Қазына», в рамках исполнения ежегодных обязательств, а также в соответствии с поручением Главы государства от 5 января 2022 года № 21–5204–3, 21-3184, АО «Самрук-Қазына» был создан Фонд «Центр научно-технологических инициатив «Самгау» (далее – ЦНТИ Самгау).

Создание ЦНТИ Самгау в рамках исполнения недропользователями обязательств по финансированию НИОКР зафиксировано пунктом 9 Дорожной карты «По повышению прозрачности отчислений, а также распределения исходя из общенациональных научных приоритетов средств в размере 1% от затрат на добычу полезных ископаемых, направляемых недропользователями на финансирование поддержки и развития науки и технологий» (далее – Дорожная карта), утвержденной Заместителем Премьер-Министра Республики Казахстан, а также предусмотрено в «Концепции развития науки Республики Казахстан на

2022-2026 годы», утвержденной постановлением Правительства Республики Казахстан от 25 мая 2022 года №336 (далее – Концепция развития науки).

Определение ЦНТИ Самгау в качестве единого оператора для администрирования средств, перечисляемых недропользователями, направлено на создание эффективной и прозрачной системы отбора и реализации научно-технических и инновационных инициатив для повышения конкурентоспособности отечественной науки и индустрии, формирования наукоемкой экономики, способствующей повышению благосостояния населения.

Направления деятельности ЦНТИ Самгау определяются целями организации:

Цель 1. Выстроить устойчивую систему взаимодействия науки и производства

В рамках создания системы взаимодействия науки и производства ЦНТИ Самгау разработан эффективный и прозрачный процесс отбора проектов, направленных на решение технологических запросов предприятий.

В дальнейшем планируется создание и запуск цифровой платформы, на которой будут размещаться технологические запросы предприятий, при этом научные организации будут возможность получить финансирование на разработки, в реализации которых будут заинтересованы предприятия. Тем самым, наука и индустрия будут вовлечены в решение реальных задач предприятий, сократится путь от разработки до коммерциализации РННТД.

Цель 2. Развитие инновационной культуры в группе компаний Фонда

Выявление и формирование технологических приоритетов и запросов предприятий будет осуществляться ЦНТИ Самгау путем проведения инновационно-технологической диагностики (ИТД). Согласно мировой практике, сам подход ИТД позволит предприятию в первую очередь, оценить потери, связанные с технологическими факторами, а также спрогнозировать выгоды от внедрения новых решений. Для проведения ИТД будут привлекаться опытные отраслевые эксперты и работники профильных научных организаций.

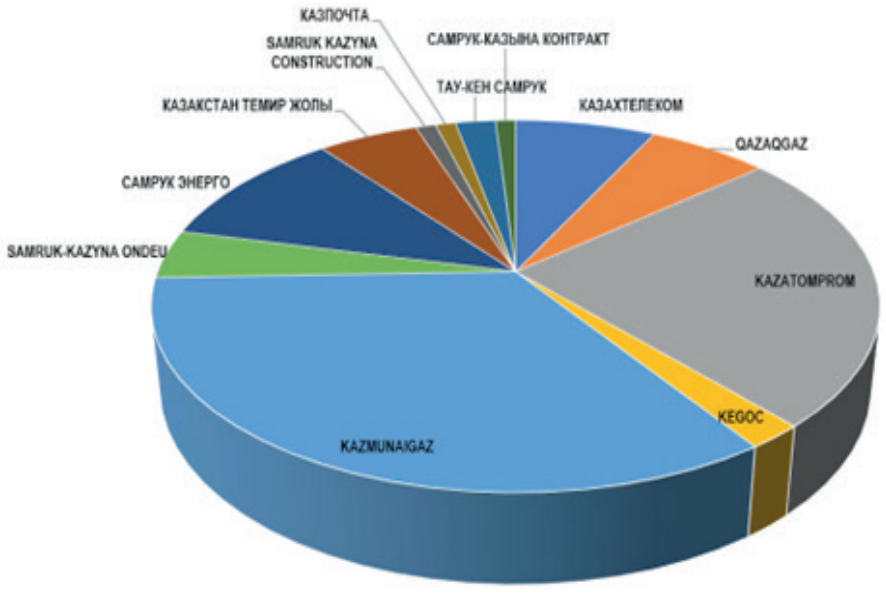
Для формирования инновационной культуры планируется проведение мероприятий, направленных на повышение компетенций по вопросам управления интеллектуальной собственностью, трансферу технологий и управлению проектами, посредством проведения мастер-классов, вебинаров и информационных сессий, с привлечением, при необходимости, профильных организаций и экспертов.

Сформировав и обобщив технологические задачи и поступающие предложения, ЦНТИ Самгау на ежегодной основе планируется проведение работ по технологическому прогнозированию и предоставление организациям группы компаний Фонда информации по имеющимся решениям и отраслевым трендам для того, чтобы компании могли разрабатывать и корректировать свои инновационные стратегии.

В рамках инновационно-технологической диагностики (ИТД) организаций АО «Самрук-Казына» было проведено анкетирование и определен уровень научно-технического потенциала, инновационной активности и уровень материально-технической базы в компаниях Самрук-Казына.

ЦНТИ «Самгау» в рамках изучения статуса научно-технической деятельности и готовности к инновациям в организациях АО «Самрук-Казына» было проведено анкетирование.

В анкетировании приняли участие 94 организации из 11 портфельных компаний АО «Самрук-Казына».



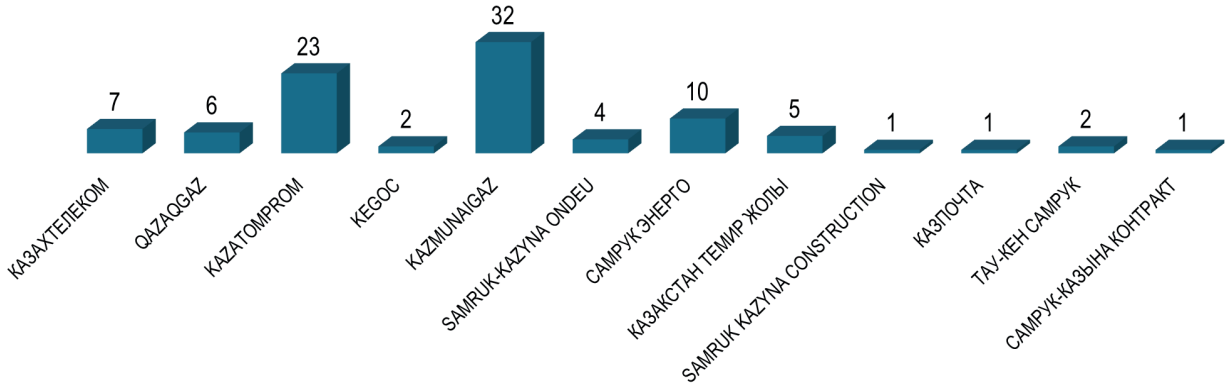


Рисунок 2 – Количество опрошенных организаций

В рамках анкетирования изучались уровень инновационной активности предприятий, готовность к внедрению инноваций и оценивались такие факторы как кадровый потенциал, состояние материально-технической базы, научно-технический потенциал.

Научно-технический потенциал организаций оценивался по следующим критериям:
– Наличие отдела по НИОКР и инновациям;
– Опыт работы с интеллектуальной собственностью (ИС);
– Количество проектов за последние 3 года;
– Сотрудничество с НИИ и ВУЗами.

Согласно полученной информации, отделы по работе с НИОКР и инновациями есть только у 23% организаций. Работа с ИС ведется только у 7 портфельных компаний.

Рисунок 3 – Отдел по работе с НИОКР и инновациям в организациях.

По результатам анкетирования были определены компании для запуска пилотной программы ИТД, получены первые технологические запросы организаций. На данный момент отрабатываются подходы и механизмы работы по технологическим запросам предприятий.

На настоящий момент ЦНТИ Самгау выстроена система рассмотрения, отбора и реализации НИОКР.

Финансирование предоставляется на конкурсной основе, в рамках приоритетных направлений, определенных Министерством энергетики Республики Казахстан, на реализацию научных и инновационных проектов прикладного характера и не предусматривает финансирование фундаментальных исследований.

Основной целью финансирования НИОКР является поддержка научно-исследовательской и инновационной деятельности, нацеленной на решение технологических задач индустрии для повышения ее конкурентоспособности и построения наукоемкой экономики.

Основные требования к проектам:
– срок реализации проекта не должен превышать 36 месяцев;
– заявителем может являться юридическое лицо, входящее в состав группы компаний АО «Самрук-Қазына»;
– исполнителем проекта может быть юридическое лицо, аккредитованное МНВО РК в качестве субъекта научной или научно-технической деятельности;
– в рамках реализации проектов финансируются следующие статьи затрат:

- фонд оплаты труда;
- командировочные расходы;
- приобретение оборудования и нематериальных активов;
- услуги сторонних организаций;
- приобретение расходных материалов;
- прочие расходы.

Процедура рассмотрения и отбора проектов включает следующие стадии:

1. Прием и валидация предварительных заявок

ЦНТИ Самгау проводит валидацию предварительной заявки на предмет соответствия приоритетным направлениям и критериям, предъявляемым к НИОКР. В случае соответствия предварительной заявки требованиям валидации, Заявитель направляет полную заявку.

2. Прием заявок

Заявитель должен предоставить заявку и бюджетный план со всеми подтверждающими материалами.

3. Экспертиза заявок

Заявки направляются на научно-техническую и финансовую экспертизу.

Проекты, соответствующие стадии 3 (промышленные исследования и прототипирование) проходят также этап финансово-экономической экспертизы.

Заявки, получившие положительное заключения экспертиз, направляются на рассмотрение Научно-Технического Совета АО «Самрук-Казына».

Окончательное решение о финансировании проекта принимает Научно-технический совет АО «Самрук-Казына».

В рамках рассмотрения и отбора проектов ЦНТИ Самгау было получено 97 заявок. Валидацию на соответствие требованиям НИОКР прошли 35% заявок.

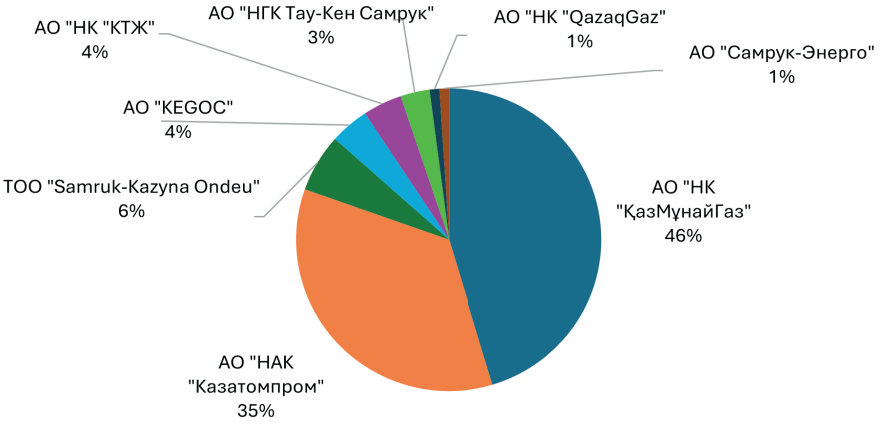


Рисунок 4 – Количество поданных предварительных заявок на финансирование от Портфельных Компаний в %.

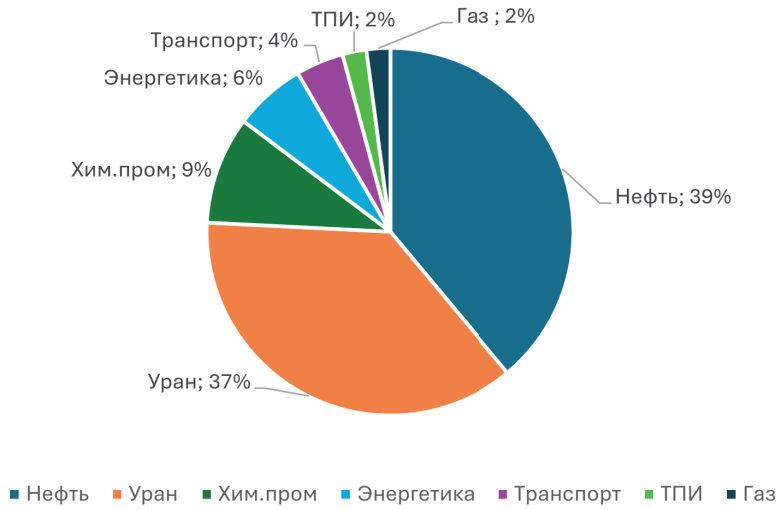


Рисунок 5 – Категории и направления поданых заявок.

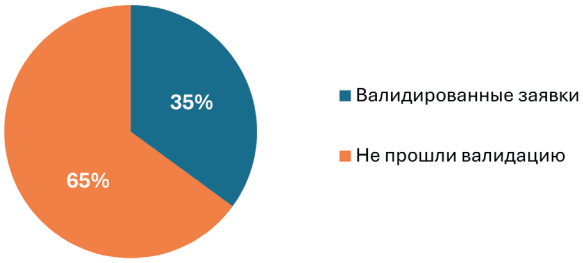


Рисунок 6 – Процентное соотношение заявок, прошедших валидацию, от *общего количества.*

Рисунок 7 – Направления валидированных заявок

Активное привлечение таких научно-исследовательских организаций, как НАО «Назарбаев Университет», Казахстанско-Британский технический университет (в т.ч. институты КБТУ: АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им.Д.В.Сокольского» и АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова) и Satbayev University в качестве исполнителей заявок на финансирование НИОКР в нефтегазовой сфере свидетельствует о высоком уровне их компетенций и потенциала в этой области.

Это также отражает стремление Казахстана к развитию своего научно-технического сектора и обеспечению конкурентоспособности в сфере нефтегазовой промышленности. Участие в таких проектах способствует не только научным исследованиям, но и инновационному развитию, повышению производительности и снижению экологического воздействия этой отрасли.

Мероприятия, проводимые ЦНТИ Самгау по проведению ИТД и поиску технологических решений направлены на привелчение научно-исследовательских организаций и в другие отрасли.

Этот тренд также может способствовать развитию международного научного сотрудничества и обмену опытом между Казахстаном и зарубежными партнерами. Такие партнерства могут принести взаимные выгоды и ускорить развитие инноваций и технологий.

Рисунок 8 – Список университетов, задействованных в проектах группы компаний АО «Самрук Казына»

Результаты деятельности ЦНТИ Самгау показывают необходимость проведения мероприятий, направленных на систематизацию и консолидацию научно-исследовательской деятельности в АО «Самрук-Казына». Деятельность ЦНТИ Самгау по отбору проектов направлена на обеспечение открытого и прозрачного процесса финансирования НИОКР, увеличение финансирования прикладных исследований, решение технологических задач предприятий. Инновационно-технологическая диагностика направлена как на определение актуальных технологических запросов предприятий, так и на обеспечение доступа научных организаций к решению актуальных задач индустрии, что позволит повысить уровень взаимодействия научного сообщества и производства. Весь комплекс мер, предпринимаемых ЦНТИ Самгау, включая повышение компетенций в области управления проектами НИОКР, технологическое прогнозирование позволят повысить уровень коммерциализации и внедрения РННТД в реальных секторах экономики, обеспечит прозрачность расходования средств недропользователей на НИОКР, повысит общий уровень научно-исследовательской деятельности в группе компаний АО «Самрук-Казына».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Институт экономических исследований. (2023, July 18). "О чем говорят показатели рейтингов?" https://economy.kz/ru/Novosti_instituta/id=5809/arch=2023_7#:~:text=%D0%9D%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D1%8F%20%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%20%D0%B1%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0,%D1%81%202018%20%D0%BF%D0%BE%202022%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B.

2. Александра Молчановская, Jusan Analytics (2023, October 2). Казахстан занял 81 место в Глобальном инновационном индексе 2023 года. Digital Business. https://digitalbusiness.kz/2023-10-02/kazahstan-zanyal-81-mesto-v-globalnom-innovatsionnom-indekse-2023-goda/

ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ДОБЫЧЕ УРАНА

Кайрамбаев С.К., Юшков Е.С.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Российская Федерация, г. Москва,
samat.kairambayev@gmail.com

Аннотация.Основными особенностями современного этапа развития экономики являются ее глобализация и преимущественная ориентация на результаты интеллектуальной деятельности. В этих условиях особую значимость приобретают мотивационные механизмы эффективного использования интеллектуальных ресурсов, направленные на доведение нематериальных результатов интеллектуальной деятельности до материализованных рыночных продуктов, удовлетворяющих различные потребности общества.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность (ИС), объекты интеллектуальной собственности (ОИС), уранодобывающая промышленность, этапы управления ОИС.

STAGES OF MANAGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY OBJECTS AT A URANIUM MINING ENTERPRISE

Kairambayev S.K., Yushkov E.S.
National Research Nuclear University «MEPhI»
(Moscow Engineering Physics Institute), Russian Federation, Moscow
samat.kairambayev@gmail.com

Annotation. The main features of the current stage of economic development are its globalization and a predominant focus on the results of intellectual activity. Under these conditions, motivational mechanisms for the effective use of intellectual resources, aimed at bringing the intangible results of intellectual activity into materialized market products that satisfy the various needs of society, acquire special significance.

Key words: intellectual property (IP), intellectual property objects (IPO), uranium-mining industry, stages of IPO management.

В современной экономике, основанной на знаниях, интеллектуальная собственность (ИС) становится важнейшим ресурсом для предприятий, включая компании, занимающиеся добычей урана [1]. Эффективное управление ИС позволяет повысить конкурентоспособность, обеспечить защиту инноваций и технологий, а также получить экономическую выгоду от интеллектуальных активов [2]. В данной статье рассмотрены особенности управления объектами ИС на предприятиях по добыче урана, включая идентификацию, оценку, защиту и коммерциализацию интеллектуальных ресурсов.

Специфика ИС в урановой промышленности

Урановая промышленность характеризуется высокими технологическими требованиями и необходимостью постоянных инноваций для повышения эффективности добычи и переработки урана [3]. В этой связи, объекты ИС, такие как патенты, ноу-хау, товарные знаки и промышленный дизайн, играют важную роль в обеспечении конкурентного преимущества и устойчивого развития уранового предприятия.

Этапы управления ИС

1. Идентификация и классификация: Определение и классификация объектов ИС по видам (патенты, ноу-хау, товарные знаки и др.)
2. Оценка ценности и потенциала: Определение стоимости ИС, ее вклада в общую стоимость предприятия, оценка перспектив использования.
3. Разработка стратегии использования и защиты: Формирование стратегии использования ИС, определение путей ее монетизации (лицензирование, коммерциализация и др.), защита прав на ИС.
4. Управление лицензированием и сотрудничеством: Установление партнерских отношений, лицензирование ИС, контроль за соблюдением условий лицензионных соглашений.
5. Мониторинг и обновление: Слежение за изменениями в законодательстве, обновление прав на ИС, мониторинг конкурентов и рынка.

Особенности управления ИС на предприятиях по добыче урана

• Высокая стоимость НИОКР: Разработка новых технологий и оборудования для урановой промышленности требует значительных инвестиций в НИОКР, что повышает важность защиты ИС для обеспечения возврата инвестиций.

• Сотрудничество с научными организациями: Урановые предприятия активно сотрудничают с научными организациями и университетами для проведения НИОКР и создания новых технологий.

• Международные аспекты: Урановая промышленность имеет международный характер, что требует учета особенностей патентного законодательства разных стран [4] и заключения международных соглашений о сотрудничестве.

• Конфиденциальность: Некоторые технологии и ноу-хау в урановой промышленности могут быть связаны с секретными разработками, что требует особых мер по защите конфиденциальной информации.

Заключение

Эффективное управление ИС на предприятиях по добыче урана является важным фактором обеспечения конкурентоспособности и устойчивого развития. Применение системного подхода, учет специфики отрасли и использование современных инструментов, таких как имитационное моделирование, позволяет оптимизировать управление интеллектуальными ресурсами и получить максимальную экономическую выгоду от использования ИС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юшков Е.С., Белова Е.В. Управление интеллектуальной собственностью в высшем учебном заведении. М. Полиграфикс РПК, 2009. – 96с.

2. Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС). (2022). Интеллектуальная собственность и малые и средние предприятия. https://www.wipo.int/sme/ru/

3. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). 2021. Технологические тенденции в урановой промышленности. https://www.iaea.org/publications/15419/technological-trends-in-the-uranium-industry

4. Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО). https://www.un.org/disarmament/wmd/nuclear/npt/

УПРАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ: СТРАТЕГИИ И ПРАКТИКИ

Магистранты:
Сабитова Шолпан Маратовна
Кигай Сергей Робертьевич

Аннотация. Данная статья исследует стратегии и практики управления материальными ресурсами в уранодобывающих компаниях.

Обеспечение эффективного управления материальными ресурсами играет ключевую роль в обеспечении устойчивости и конкурентоспособности компаний в этом секторе.

Анализируя основные аспекты управления материальными ресурсами, такие как планирование запасов, оптимизация закупок, управление запасами, а также применение передовых технологий и методов для повышения эффективности добычных операций.

Основываясь на обзоре литературы и анализе практик уранодобывающих компаний Казахстана, статья предлагает рекомендации по совершенствованию стратегий управления материальными ресурсами с целью повышения операционной эффективности и снижения затрат.

Введение

Управление материальными ресурсами в уранодобывающей промышленности играет важную роль в обеспечении бесперебойной добычи и обработки урана, улучшении операционной эффективности и минимизации издержек.

В настоящей статье мы рассмотрим ключевые аспекты управления материальными ресурсами в уранодобывающей компании и предложим рекомендации по оптимизации этого процесса.

Планирование запасов

Планирование запасов играет важную роль в обеспечении непрерывного производства и минимизации рисков нехватки материалов. В уранодобывающей компании необходимо разработать стратегии планирования запасов, учитывая особенности добычи урана, его химические свойства и потребности производства.

Рекомендация: Внедрение современных методов прогнозирования потребностей и использование информационных технологий для оптимизации планирования запасов.

Оптимизация закупок

Эффективное управление закупками материалов и оборудования играет ключевую роль в снижении издержек и обеспечении качества продукции. В уранодобывающей компании необходимо разработать стратегии закупок, ориентированные на обеспечение надежных поставок, соблюдение сроков и контроль качества поставляемых материалов.

Рекомендация: Установление долгосрочных партнерских отношений с надежными поставщиками и применение методов анализа стоимости жизненного цикла для выбора оптимальных вариантов закупок.

Управление запасами

Эффективное управление запасами является ключевым аспектом операционной деятельности уранодобывающей компании. Необходимо разработать стратегии управления запасами, направленные на минимизацию излишков и снижение затрат на хранение и обработку материалов.

Рекомендация: Применение методов ABC-анализа для классификации запасов и определения приоритетов управления запасами, а также использование современных систем управления запасами для автоматизации процессов складирования и контроля запасов.

Применение передовых технологий и методов

Внедрение передовых технологий и методов играет важную роль в повышении эффективности добычных операций и снижении затрат на производство.

Уранодобывающая компания должна активно внедрять инновационные технологии, такие как автоматизация производственных процессов, применение геоинформационных систем для оптимизации разведочных работ и применение методов искусственного интеллекта для анализа данных и прогнозирования производственных показателей.

Рекомендация: Создание инновационной культуры в компании, стимулирование сотрудничества с научными и исследовательскими организациями для разработки и внедрения передовых технологий.

Заключение

Управление материальными ресурсами в уранодобывающей компании является ключевым аспектом обеспечения операционной эффективности и конкурентоспособности компании на рынке.

Применение современных методов и технологий, а также разработка инновационных стратегий управления материальными ресурсами позволит компании повысить эффективность добычных операций, снизить затраты и улучшить качество продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Li, X., & Fung, R. Y. (2015). Strategic Management of Mineral Resources: A Case Study of Mineral Resources Management in China. Resources, 4(4), 1195-1211.

2. Musingwini, C., & Sengani, F. (2017). A review of operational research in mine planning and grading. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 31(7), 441-469.

3. Agarwal, R. K., & Hacifazlioglu, M. (2016). A comprehensive review on the applications of coal mine planning and optimization. International Journal of Coal Geology, 154, 103-133.

4. Makó, C., & Szabó, J. (2019). Industrial application of optimization methods in the mining industry. Resources Policy, 63, 101417.

КӘСІПОРЫН ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ӘЛЕУЕТІН ДАМЫТУ

Алтынбек Ақмұрат Дүйсенбайұлы
«Семізбай-U» ЖШС, г. Астана қ., Қазақстан Республикасы
altynbek-a@semyzbay-u.kazatomprom.kz

Аннотация. Қазақстан Республикасының тау-кен, металлургия саласында өндіруші күш болып табылатын уран саласының мекемелері қызметкерлерінің өнертабыстық, зияткерлік әлеуетін дамыту, артыру бірден-бір маңызды іс болып табылады. Баяндамада «Семізбай-U» ЖШС қызметкерлерінің ғылыми-техникалық, рационализаторлық, зияткерлік даму сатылары соңғы он жыл аясында көрсетілген.

Кілт сөздер: Рационализаторлық қызмет, зияткерлік меншік объектілері, патент, ұсыныс, уран, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік конструкторлық жұмыстар

Аннотация. Развитие, наращивание изобретательского, интеллектуального потенциала работников учреждений урановой отрасли, являющихся добывающей силой в горнорудной, металлургической отраслях Республики Казахстан, является важнейшим делом. В докладе отражены этапы научно-технического, рационализаторского, интеллектуального развития работников ТОО» Семизбай-U " за последние десять лет.

Ключевые слова: Рационализаторская деятельность, объекты интеллектуальной собственности, патент, предложение, уран, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

Annotation. The only important thing is to develop and increase the inventive, intellectual potential of employees of uranium industry institutions, which are a productive force in the mining and metallurgical industry of the Republic of Kazakhstan. The report reflects the stages of scientific, technical, rationalization, intellectual development of employees of Semizbay-U LLP within the framework of the last ten years.

Key words: Rationalization activities, intellectual property objects, patent, proposal, uranium, research and development works

Қазақстан Республикасының тау-кен, металлургия саласында өндіруші күш болып табылатын уран саласының мекемелері қызметкерлерінің өнертабыстық, зияткерлік әлеуетін дамыту, артыру бірден-бір маңызды іс болып табылады. Баяндамада «Семізбай-U» ЖШС қызметкерлерінің ғылыми-техникалық, рационализаторлық, зияткерлік даму сатылары соңғы он жыл аясында көрсетілген.

«Семізбай-U» жауапкершілігі шектеулі серіктестігі (бұдан кейін – Кәсіпорын) қызметкерлердің ғылыми-шығармашылық, зияткерлік әлеуетін дамыту және қызметкерлердің зияткерлік меншік объектілерін жасау, қорғау барысында Қазақстан Республикасының Патент Заңы – Қазақстан Республикасының 1999 жылғы 16 шілдедегі N 427 Заңы (бұдан кейін – Заң, Патенттік заң) [1], «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ-ның (бұдан кейін – Корпоративтік орталық) стандарттары [2, 3] мен Кәсіпорын ішкі нормативтіктік актерін [4, 5] басшылыққа алады. Патенттік заң негізінде өнеркәсіптік меншік объектілерін жасауға, құқықтық қорғау мен пайдалануға байланысты мүліктік, сондай-ақ оларға байланысты жеке мүліктік емес қатынастар реттеледі.

Патенттік заңның 1-бабы 3)-тармағына сай зияткерлік меншік объектілері (бұдан кейін – ЗМО) – зияткерлік шығармашылық қызмет нәтижелері және азаматтық айналымға қатысушыларды, тауарларды, жұмыстарды және қызмет көрсетулерде дараландыру құралдары болып табылады. Тиісінше Патенттік заңның 1-бабы 4)-тармағы негізінде қорғау құжаттары – өнертабыстарға, өнеркәсіптік үлгілерге және пайдалы модельдерге осы Заңға сәйкес берілген патенттер патент иеленушіге табысталады. Ал, Патенттік заңның 1-бабы 7)-тармағы бойынша өнеркәсіптік меншік объектілері – өнертабыстар, пайдалы модельдер және өнеркәсіптік үлгілер есептелінеді.

Кәсіпорында ЗМО жасаудың негізгі көздері ретінде ғылыми-зерттеу және тәжірибелік конструкторлық жұмыстардың (бұдан кейін – ҒЗТКЖ) нәтижелері мен рационализаторлық ұсыныстар болып табылады. Сонымен қатар жалпы алғанда рационализаторлық қызмет Қазақстан Республикасында мемлекеттік деңгейде заңнамалық актермен реттелмеген. Дегенмен, қызметкерлердің зияткерлік, рационализаторлық, ғылыми-техникалық бағыттардағы озық бастамалары мен идеяларын қолдау мен дамыту Кәсіпорын басшылығы үшін өте маңызды іс болуы тақылдауды қажет етпейтіні сөзсіз.

Рационализаторлық қызметті тұрақты түрде қолдау мен дамытуда Кәсіпорын Корпоративтік орталықтың №30-2020 СТ ҰАК стандартын басшылыққа ала отырып ішкі нормативтіктік актін, яғни рационализаторлық қызметті реттейтін регламент жасап, тиісінше өзектендірілуде.

Кәсіпорынның негізі 2006-жылы қаланғанына қарамастан, Кәсіпорында рационализаторлық қызметтің

дамуы 2013–2014-жылдары қолға алынса, ЗМО заңды түрде рәсімдеу мен қолдау жұмыстары 2015-жылдан басталды деп айтуға болады.

1-кескінде көрсетілген графиктен байқайтынымыз рационализаторлық ұсыныстарды жасау және беру қарқыны 2013–2015 жылдар аралығындағы алғашқы даму кезеңінен (33-тен 187 Ұсынысқа дейін) 2016-2019-жылдарғы үдемелі өсу деңгейіне жеткенін (323-тен 876-ке дейін берілген Ұсыныс аралығы, орта көрсеткіш – 573 Ұсыныс), ал 2020–2022-жылдары орта көрсеткіш – 512 Ұсыныс шамасында тұрақталса, 2023-жыл қорытындысы бойынша барлығы 717 Ұсыныс берілді.

Кәсіпорын бойынша рационализаторлық ұсыныстарды жасау, қарастыру, комиссиялық қабылдау, тиісті нәтижеге жеткізу бойынша жасалынған ішкі нормативтік актердің қызметкерлер үшін қолайлы, түсінікті және ынталандыру мақсатындағы маңызы зор болып тұрғанын рационализаторлық қызметтің даму динамикасы жыл сайын тұрақты түрде өсуінен 1-кескіннен көруге болады.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Жетілдірімдер	32	24	117	193	380	535	274	262	419	431	528
Әлеуметтік немесе басқа эффекттері бар Ұсыныстар	0	4	43	69	53	109	37	64	27	48	74
Экономикалық эффекттері бар Ұсыныстар	1	6	16	18	22	24	24	25	22	36	40
Қабылданбады, қайта жасау үшін			11	43	66	208	245	88	44	71	75
БАРЛЫҚ берілгені	33	34	187	323	521	876	580	439	512	586	717
Жиынтық экономикалық эффект,мың тг	2175	4838	11388	28532	97505	67735	81282	97539	60322	44296	84098

1-кескін – «Семізбай-U» ЖШС бойынша 2013-2023-жылдардағы рационализаторлық қызметтің даму динамикасы.

2013–2023-жылдар аралығында Кәсіпорын қызметкерлері 4808 рационализаторлық ұсыныс берген болса, оның 3957 қабылданып, өз кезегінде олардың 65% өндіріске енгізілген. Рационализаторлық ұсыныстарды жасауда жыл сайын Кәсіпорынның қызметкерлерінің 60–75% қатысуда.

Рационализаторлық ұсыныстардың бағыты уранды ұңғымамен шаймалау әдісі арқылы қазу өндірісінің барлық қызмет түрлеріне қатысты берілуде. Ұсыныстар төмендегі көрсетілген қызмет түрлерін қамтиды:

- кен денелерін ашу;
- уранды қазу;
- пайдалы ерітінділерді өңдеу;
- ұңғымаларды жерасты жөндеу;
- әртекті механикалық құрылғылар мен қондырғылар;
- энергетикалық жабдықтар мен энергия үнемдеу;
- шаруашылық, әлеуметтік сала істері, өндірістік эстетика;
- еңбек қорғау, экология қызметтерін жетілдіру;
- уран өндірісіне сандық технологияларды енгізу, қолдану аясын жетілдіру, өндірісті автоматтандыру, роботтық техниканы енгізу.

Кәсіпорын қызметкерлерінің кең ауқымда жасалынатын рационализаторлық ұсыныстардың озықтығы мен уақыт талабына сай келетіндігі – Корпоративтік орталықтың жыл сайын ұйымдастыратын рационализаторлық қызмет бойынша конкурсының (бұдан кейін – Қоғам конкурсы) бүкіл номинациялары бойынша қатысуы мен қатысысушылар саны жыл сайын 50 қызметкерден кем болмайтындығы.

Барлық қызметкерлердің рационализаторлық қызметтегі жемісі ретінде Кәсіпорынның 2020, 2022-жылдары Корпоративтік орталық конкурсының «Жылдың үздік кәсіпорны» номинациясы бойынша жеңімпаз болуын атауға болады.

Жоғарыда аталған Корпоративтік орталық конкурсының бірнеше номинациялары бойынша Кәсіпорын қызметкерлері жүлделі орындарды иеленгенін де атап өту жөн.

2020-жылы жеңіп алынған жүлделі орындар:

• «Семизбай-U» ЖШС – «Жылдың үздік кәсіпорны»;

• «Әлеуметтік немесе өзге әсер жасайтын үздік рационализаторлық ұсыныс» номинациясы бойынша 1-орын;

• «Green Mindset» жасыл ойлау» бастамасы шеңберінде 2-орын;

• «Өндірістегі үздік цифрлық шешім» номинациясы бойынша 2-орын.

2021-жылы жеңіп алынған жүлделі орындар:

• «Green Mindset» жасыл ойлау» бастамасы аясында 3-орын;

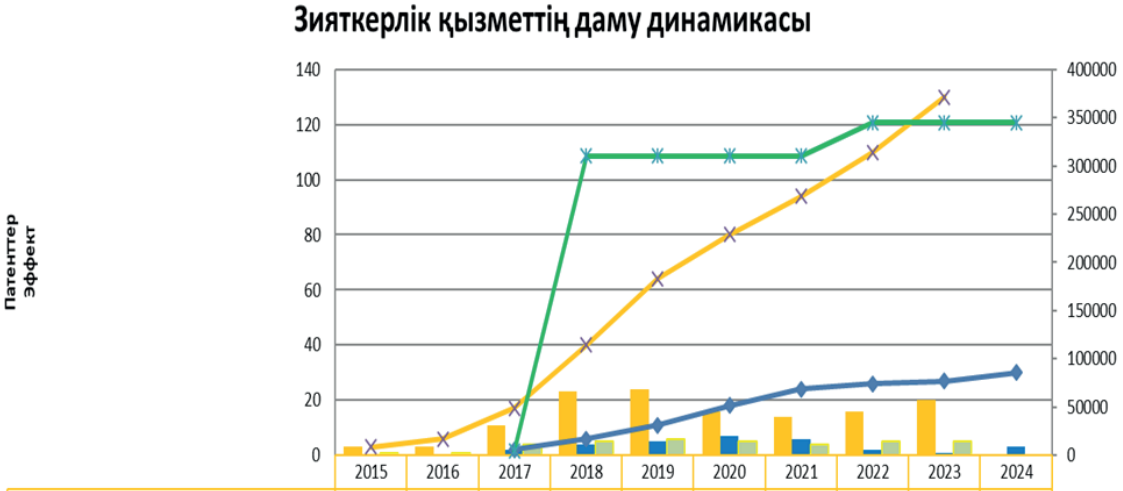
• "Үздік рационализатор" номинациясы бойынша 3-орын.

2022-жылы жеңіп алынған жүлделі орындар:

• «Семизбай-U» ЖШС – «Жылдың үздік кәсіпорны»;

• «Өндірістегі үздік цифрлық шешім» номинациясы бойынша 1-орын;

• «Үздік рационализатор» номинациясы бойынша 3-орын.



	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Авторлар саны (Кәсіпорын бойынша)	3	3	11	23	24	16	14	16	20	
Өнертабысқа, Пайдалы модельге патент			2	4	5	7	6	2	1	3
ЗМО тапсырыс	1	1	4	5	6	5	4	5	5	
Барлық алынған патент			2	6	11	18	24	26	27	30
Авторлар санының жыл сайын өсуі	3	6	17	40	64	80	94	110	130	
Жиынтық экономикалық эффект,мың тг			4060	310060	310060	310060	310060	345060	345060	345060

2-кескін – «Семізбай-U» ЖШС бойынша 2015-2023-жылдардағы зияткерлік қызметтің даму динамикасы.

Кәсіпорын иеленіп отырған ЗМО алынған патенттер халықаралық патенттік жіктеу бойынша тізілімдегі A, B, C, E, G жататын сәйкесінше адамның өмірлік қажеттіліктерін қанағаттандыру, әртүрлі технологиялық процестер; тасымалдау, химия; металлургия, құрылыс және тау-кен, физика бөлімдерін қамтиды. Ал осы аталған халықаралық патенттік жіктеу бойынша тізіліміне сай патенттер тауарлар мен қызметтердің 26-дан астам түріне қатысты. Олардың ішіне A62C 27/00; B01D 11/04; B01D 15/04; B01D 21/01; B01D 61/00; B03B 5/02; B03B 5/48; B07B 1/18; B08B 3/00; B29C 31/00; C02F 1/58; C02F 1/26; C09K 8/467; C09K 8/40; C22B 3/02; C22B 3/08; C22B 3/18; C22B 3/26; C22B 60/02; E03B 3/18; E21B 33/13; E21B 37/00; E21B 37/08; E21B 43/08; E21B 43/28; G01N 1/20 тәрізді тауарлар мен қызметтердің кодтары кіреді. Осы жылдар аралығында алынған 30 патентің 13 ҒЗТКЖ-ның оң нәтижесінен бастау аласа, қалған 17 патенттің қайнары қызметкерлердің рационализаторлық ұсыныстары.

Авторлардың сапалық құрамын талдауға келсек: 2015-2023-жылдар аралығында Кәсіпорыннан барлығы 130 автор болса (24 қызметкер 2 не одан да көп ЗМО авторы), оның ішінде: инженер-техникалық қызметкерлер – 112, жұмысшылар – 18.

Жалпы алғанда, мемлекеттік заңнамалық актердің, Корпоративтік орталық пен Кәсіпорынның ішкі құжаттарын басшылыққа ала отырып жұмыс жасау, дер кезінде зияткерлік меншікті қорғауға Қазақстан Республикасының сенім білдірген өкілдерімен етене іс-әрекет ету зияткерлік меншікті қорғауда маңызды орын алады.

Алдағы уақытта атқарылатын жұмыстар болып, Кәсіпорын иелігіндегі ЗМО патенттеріне лицензиялық шарттар негізінде тау-кен саласы мекемелерімен, Корпоративтік орталыққа еншілес және тәуелді ұйымдармен жұмыстар атқарылса Кәсіпорын қызметкерлерінің зияткерлік әлеуеті арта түседі.

ДЕРЕККӨЗДЕР

1. Қазақстан Республикасының Патент Заңы Қазақстан Республикасының 1999 жылғы 16 шілдедегі N 427 Заңы.

2. «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ-ның СТ ҰАК 30-2020 Стандарты «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ рационализаторлық қызмет».

3. «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ-ның ережелері «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ зияткерлік қызмет нәтижелерін патенттеу және өнеркәсіптік меншік объекттерін пайдалану. Ережелер.».

4. «Семізбай-U» ЖШС-нің регламенті «Семізбай-U» ЖШС-дегі рационализаторлық қызмет. Регламент Р-802-22».

5. «Семізбай-U» ЖШС-нің ережелері «Семізбай-U» ЖШС-де зияткерлік қызмет нәтижелерін патенттеу және пайдалану. Ережелер. Е Семізбай-U 08-02».

РЕШЕНИЯ MATRIZ OFFICIAL И PRIZ GURU INC. ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ

Затолокин В.И.
MATRIZ Official, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Реализация государственных и отраслевых программ инновационного развития и технологической (цифровой) трансформации предприятий высоких переделов и базовых отраслей казахстанской экономики является актуальнейшей проблемой.

Спрос на эффективные методологии и инструменты для решения проблем в проектах разработки и внедрения инноваций в Казахстане и других странах мира растет в геометрической прогрессии.

Методология и инструменты ТРИЗ (Теория решения изобретательских задач), встроенные в интеллектуальную информационную платформу PRIZ Guru Platform, интегрированную с искусственным интеллектом (ИИ) превосходят любую другую методологию и инструментарий, предоставляя самую современную автоматизированную инновационную экосистему, упрощающую решение самых сложных технических, организационных и управленческих проблем, помогая раскрыть скрытые возможности бизнеса и повышая эффективность хозяйственной деятельности.

Комплексная настройка инструментов и процессов PRIZ Guru Platform поддерживает и совершенствует инженерное и творческое (изобретательское) мышление, одновременно способствуя беспрепятственному общению между всеми заинтересованными сторонами инновационного проекта.

Ключевые слова: управление инновациями, управление талантами, ТРИЗ, PRIZ Guru Platform, инженерное творческое (изобретательское) мышление

SOLUTIONS MATRIZ OFFICIAL AND PRIZ GURU INC. FOR INNOVATION MANAGEMENT

Zatolokin V.I.
MATRIZ Official, Almaty, Kazakhstan

Annotation. The implementation of state and industry programs for innovative development and technological (digital) transformation of high value-added enterprises and basic sectors of the Kazakh economy is a pressing problem.

The demand for effective methodologies and tools for solving problems in projects for the development and implementation of innovations in Kazakhstan and other countries of the world is growing exponentially.

The TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) methodology and tools, built into the PRIZ Guru Platform, an intelligent information platform integrated with artificial intelligence (AI), are superior to any other methodology and tools, providing the most modern automated innovation ecosystem that simplifies the solution of the most complex technical, organizational and managerial problems, helping to reveal hidden business opportunities and increasing the efficiency of business activities.

The comprehensive customization of PRIZ Guru Platform tools and processes supports and enhances engineering and creative (inventive) thinking, while facilitating seamless communication between all stakeholders of an innovation project.

Key words: innovation management, talent management, TRIZ, PRIZ Guru Platform, engineering creative (inventive) thinking.

Президент Казахстана Касым-Жомарт Токаев 2 июня 2022 года, поздравляя участников торжественного собрания с 75-летием Национальной Академии Наук отметил следующее [1] :

1. Развитие науки, техники и инноваций является одним из ключевых
направлений повышения конкурентоспособности страны

2. Satbayev University – единственный национальный исследовательский технический университет, флагман технического образования Казахстана. Поэтому он должен стать научно-производственной базой для новых технических вузов. Необходимо утвердить программу развития главного технического университета страны и создать на его базе научно-исследовательский хаб новых технологий в инженерном образовании и науке.

3. Для увеличения нашего потенциала и достижения прогресса надо ставить перед собой высокие цели, стремиться к новаторству и повышать эффективность работы. В XXI веке сила и мощь государства, его авторитет на международной арене измеряются научно-техническими достижениями.

4. При Фонде «Самрук-Казына» создан Центр научно-технологических инициатив. В его задачи входит системное сотрудничество с научным сообществом для внедрения научных разработок в производство.

5. Настало время для эффективного долгосрочного планирования научно-технического развития, предоставления более широких налоговых и инвестиционных преференций для частных инвестиций в НИОКР и создание новых научных центров

6. Необходимо вовлечение в научно-исследовательскую деятельность местных исполнительных органов, которые могли бы тоже финансировать НИОКР.

7. Наука на местах должна быть преимущественно направлена на решение тех проблем, которые стоят в центре внимания экономики регионов.

8. Необходимо не только увеличивать вклад науки в национальную экономику, но и усиливать интеграцию с мировым научным пространством.

9. В обществе, где есть научное понимание объективных законов развития, нет места всякого рода деструктивным взглядам, там должен царить культ знаний и прогресса.

10. Одним из главных факторов успеха в современном мире является атмосфера свободы и творчества, рождающая новые идеи

На наш взгляд, в тезисах Президента РК в полной мере отражена научно-управленческая проблематика проводимых в 2018 – 2024 годах основных и специальных мероприятий 1-го – 7-го Евразийских саммитов лидеров цифровой экономики, что были разработаны Казахстанским институтом управления проектами и/или Международной ассоциацией MATRIZ Official в партнёрском сотрудничестве с Ассоциацией ВУЗов РК, AlmaU, АУЭС, КБТУ, университетом ТУРАН, Satbayev University, АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Аэрокосмического комитета МЦРИАП РК при информационной поддержке Администрации Президента РК и Правительства РК и реализованы без привлечения бюджетных средств.

Фокус программ и проектов в рамках 7-го – 9-го Евразийских саммитов лидеров цифровой экономики в 2024 – 2026 годах связываем, как и в прошлые годы:

- с развитием **школьного и студенческого технологического предпринимательства** по организационно-правовой схеме **«Школа (колледж) – ВУЗ – Работодатель (высокотехнологичный)»**

- с методологическим обеспечением и профессиональной подготовкой (переподготовкой) управленческих кадров высшего и среднего звена управления по тематикам ТРИЗ, онтологическому (ре) инжинирингу, мульти-агентным системам и технологиям в проектах становления в Казахстане цифровой (технологической) экономики в русле приоритетов №1 - **цифровизация отраслей промышленности** и №4 - **развитие человеческого потенциала** Программы «Цифровой Казахстан» с применением в проектах отраслевых инноваций интеллектуальной информационной платформы PRIZ Guru Platform.

Так, в первом полугодии 2024 года при поддержке частного бизнеса (**Банк ЦентрКредит и Profland / Inspations**) уже провели несколько специальных мероприятий 7-го Евразийского саммита лидеров цифровой экономики, включая:

- 5-ый Национальный финал одной из наиболее престижных для студентов – предпринимателей международной премии Global Student Entrepreneur Awards

- 3-ой Международный конкурс по космическим технологиям и технике Kazakhstan Smart Space и 2-ая Международная конференция «Космические технологии и их роль в цифровизации базовых отраслей экономики», посвященных юбилейным мероприятиям в честь 90-летия Satbayev University и 125-летия со дня рождения академика К. И. Сатпаева.

Лучшие команды получили приглашение войти в экосистему инициативной индустриально-инновационной и научно-образовательной программы «Международное космическое сетевое сообщество (МК2С - образование - наука – предпринимательство)» и принять участие в бизнес-проектах «Алматинский завод творческого машиностроения», Инженерно-космическая школа ХАКСПЕЙС и «Космопорт Байконур».

При этом, в конкурсе были как студенты, так и талантливые школьники вместе с инженерами от бизнеса, что заинтересованы в совместном научном творчестве и технологическом предпринимательстве в сфере высоких технологий.

Впервые в рамках **Конкурса с 27 марта по 10 апреля 2024 года** прошли Первые Недели Космоса в Алматы, включавшие мастер-классы, телемосты экспертов, презентации стажировок, акселерационных образовательных программ и инновационных заданий от Аэрокосмического комитета МЦРИАП РК, АО «Республиканский центр космической связи», СП «Байтерек», других партнерских предприятий космической индустрии, которые дополнили программу конкурса, делая его еще более ярким и масштабным.

Апофеозом Недель космоса стал специальный международный турнир для капитанов команд Space Cup KZ Smart Space 2024 на звание «Лучший юный проектный менеджере в сфере SpaceTech».

Это грандиозное для Казахстана мероприятие в Satbayev University стало запоминающимся событием

для всех участников и выполнило свою главную миссию, связанную с поиском и отбором юных научных, инженерных и предпринимательских талантов Казахстана и других стран мира, которые увлечены научными и инженерными задачами и проектами в быстро растущей индустрии SpaceTech.

2-ой Международный турнир "ТРИЗ. ПРИЗ. КОСМОС. ДЕТИ" для учащихся учебных заведений на звание "Лучший юный проектный менеджер в сфере SpaceTech" и переходящий "Космический кубок" Space Cup KZ Smart

Space – Осень 2024 проводим в период с 10.04.24 по 10.10.24, финал на неделе с 4 по 10 октября 2024 года в рамках Всемирной Недели Космоса и соревнований NASA International Space Apps Challenge в Кызылорде и/или Байконуре.

Этим выступлением в рамках XI Международной конференции «Развитие урановой и редкометальной промышленности» хотел бы поделиться как нашим опытом в поиске и отборе юных талантов для аэрокосмической отрасли, так и предложить масштабировать его на предприятия АО «Казатомпром» через запуск специальной партнерской программы, что видится в нескольких форматах проектных команд нацеленных на прорывные инновации:

1) 10-18 + лет – проектные команды с участием школьников, студентов, преподавателей Вузов и инженеров / менеджеров Казатомпрома для решения проблем предприятий атомной отрасли Казахстана
2) 22+ – проектные команды с участием инженеров / менеджеров Казатомпрома, специалистов предприятий космической и других отраслей для решения межотраслевых проблем
3) Инженерные классы Казатомпрома (как пилотные проекты на базе нескольких школ и колледжей Казахстана в Алматы и других регионах присутствия Казатомпрома) с наполнением:

- уроков «Технология» по модулям Казатомпрома по Электронике, Электромонтажу, Искусственному интеллекту, Инженерному (изобретательскому) мышлению
- проектных работ по темам Казатомпрома (технологические и ESG -проекты), в которых инженеры Казатомпрома участвуют в оценке результатов проектной деятельности
- программы обучения и повышения квалификации по тематике ТРИЗ и обучение/сертификация, включающая в себя решение задач развития творческого и критического мышления у сотрудников всех возрастных категорий, независимо от сферы деятельности.

Термин «инновации» подразумевает, прежде всего, нововведения различного рода (техника, технологии, модели организации и управления, инструменты и методы совершенствования социальной и экологической сфер и других), в основе которых лежат новейшие достижения НТП и научно-технической практики [2].

Понятно, что повышение эффективности реализации инновационной политики требует поиска принципиально новых путей и механизмов решения проблемы методов внедрения инноваций в работу компаний.

Вот что говорит Елена Егорова-Кириллова, Заместитель генерального директора – директор блока методологии и развития, АНО «Корпоративная академия Росатома» [3]:

«Нет никаких сомнений, что работа с будущими сотрудниками должна начинаться с детства. И здесь огромную роль играет взаимодействие работодателя с родительским сообществом и школьными учителями. Именно от них во многом зависит пробуждение у ребят интереса к естественным наукам и инженерному творчеству. В контуре Госкорпорации школьники могут сделать первые шаги в выборе будущей траектории развития в рамках движения «Юниоры Росатома», которое дает им возможность примерить на себя различные профессии атомной отрасли.

Следующей ступенью пути в Госкорпорацию становится Студсовет Росатома, задача которого – объединить студентов, наладить их коммуникацию с сотрудниками предприятий и оказать содействие в организации производственных практик и трудоустройстве.

Узнавая о возможностях, предоставляемых Росатомом, сами студенты становятся примером для потенциальных абитуриентов профильных вузов, в том числе через личные истории успешного взаимодействия с атомной отраслью. «Такое взаимодействие с ребятами через сообщества юниоров, студентов и далее Отраслевого совета молодежи, участники которых сами становятся амбассадорами Росатома и профориентируют своих сверстников, помогает нам осуществлять бесшовный переход молодого человека от школы к предприятиям отрасли через вуз и на каждом этапе этого пути получать обратную связь о том, что необходимо усовершенствовать в работе с молодежью»

Теперь несколько слов о методологии ТРИЗ, которая позволяет уверенно решать сложные изобретательские задачи[4].

Теория ТРИЗ создана Г.С. Альтшуллером (советский ученый, патентовед, изобретатель, писатель) и впервые была изложена в 1956 году в книге «О психологии изобретательского творчества».

Работа родилась как результат осмысления общих закономерностей при детальном анализе огромного количества патентов (более 40 тыс. работ).

Во главу угла был поставлен процесс рождения новых идей, применимых к инженерным задачам.

Отдельные увлечённые специалисты стали применять ТРИЗ на своих предприятиях и добиваться успехов. В 1980-х годах книги по ТРИЗ были переведены на несколько языков: английский, японский, немецкий, болгарский, финский, вьетнамский и польский. Поэтому с 1990-х годов методология получила известность за пределами Советского союза.

Можно ли стандартизировать творческий процесс? Конечно, нельзя ввести стандарты там, где их нет и быть не может. Но можно научиться мыслить системно и использовать этот подход для решения любых задач, в том числе творческих. Как раз в том и была задумка теории ТРИЗ – дать готовый инструмент (алгоритм), который поможет. Это полная противоположность хаотичному поиску решений, который характерен для метода проб и ошибок.

Как теория ТРИЗ может применяться в работе над проектами? Креативная у вас идея или просто мегасложная, алгоритму АРИЗ всё равно.

Общий алгоритм решения любой проблемы (противоречия) в ТРИЗ разделён на следующие части:

Анализ задачи. Это не просто описание задачи или её правильная формулировка. Это составление минимальной и максимальной модели. А также переход к более общей картине за счёт избавления от специальных терминов. Чем понятнее и проще изложена цель, тем проще будет найти решение для неё в других отраслях знаний.

Анализ модели задачи. Тут нужно сконцентрироваться на ограничениях ресурсов: времени, финансов, физических процессов и т.п. Определение идеального конечного результата и физических противоречий. На выходе нужно получить то, как должно выглядеть идеальное решение задачи и что конкретно будет мешать её реализации.

Предметное моделирование (официально шаг называется Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов). На этом шаге начинается переход от формулирования задачи к поиску ответа. Фактически это тестирование наиболее вероятных путей решения на конкретных примерах (в теории говорится о маленьких человечках).

Использование базы знаний (информационного фонда). Эта часть применяется в том случае, когда на 4 этапе не было найдено подходящего решения. Тогда его можно подсмотреть в других проектах (на примере задач-аналогов).

Изменение задачи. Фактически это процесс корректировки и переформулирования, если предыдущих этапа не помогли с решением.

Анализ способа устранения противоречий. Тут собраны шаги для проверки качества решения. Оптимальное решение лучше проверить заранее в теории, чем потом терпеть все неудобства, которые не были учтены при исходном формулировании решения («Лучше час потерять, и потом за 5 минут долететь»).

Применение ответа. Тут есть шаги для возможной оптимизации всей системы или доработки отдельных процессов. Ведь правильный ответ может на многое в итоге повлиять.

Анализ хода решения. Всё как в классической теории менеджмента: новое записать и учесть, опыт накапливать и использовать в последующих проектах.

Если совсем минимизировать подход ТРИЗ, то можно вывести следующие тезисы:

Проводится анализ имеющейся ситуации. Моделируется идеальная картинка решения (как надо или как должно быть). Предлагаются варианты решения или решений, которые устроят клиента (заказчика), исполнителя (команды) - как в планировании управления ожиданиями стейкхолдеров).

7

MATRIZ Official — некоммерческая организация, действующая по всему миру и официально зарегистрированная в Брюсселе, Бельгия, как Международная официальная ассоциация ТРИЗ (MATRIZ Official). Следуя традиции распространения знаний ТРИЗ по всему миру, MATRIZ Official продолжает сертификацию специалистов ТРИЗ разных уровней. Сертификация охватывает все уровни знаний и навыков ТРИЗ: от новичка (уровень 1) до мастера ТРИЗ (уровень 5). Вся сертификационная деятельность осуществляется Аттестационным комитетом и Мастер ТРИЗ сертификационным комитетом MATRIZ Official.

PRIZ Guru Inc. использует методологию и инструментарий ТРИЗ с применением встроенного в систему искусственного интеллекта, предоставляя руководителям и специалистам всех уровней, школьникам, студентам, педагогам и преподавателям современную автоматизированную инновационную платформу, которая упрощает решение проблем и помогает раскрыть скрытые возможности для бизнеса, науки и образования. Благодаря комплексной экосистеме инструментов и процессов PRIZ поддерживает и совершенствует инженерное и управленческое мышление, одновременно способствуя беспрепятственному общению между всеми заинтересованными сторонами.

Обзор инструментов и продуктов платформы PRIZ Innovation Platform:

Creative thinking tools - Cause and Effect Chain (CEC), Process Functional Modeling, System Functional

Modeling, Perception Mapping, 40 Inventive Principles, Round-Robin Ranking, Urgency – Importance Matrix (UIM), 5+ Whys, Action Preventing Action, 9 Windows Thinking, Effective Brainstorming

AI-assisted facilitation - Streamlining Engineering Thinking Processes, Fostering Continuous Improvement and Growth, Embrace the Future of Facilitation with AI Assistance

Project management - Project Management for Problem Solving and Innovation Projects, Enhancing Collaboration and Communication

Collaboration - Fostering Open Communication, Leveraging Collaborative Problem-Solving

Automatic reporting - Simplifying the Reporting Process, Unlocking Engineer's Potential

Idea management – Transparent and Collaborative Idea Generation, Efficient Evaluation and Decision-making

Вы ищете платформу, которая поможет вам генерировать инновационные идеи и решения во всей организации? Не смотрите дальше. Благодаря мощной функциональности **PRIZ Innovation Platform** предоставляет предприятиям и организациям инструменты, необходимые для развития творчества, сотрудничества и прозрачности на протяжении всего жизненного цикла проекта разработки и внедрения инноваций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Президент Казахстана К.-Ж.Токаев выступил с программной речью перед учеными страны -

Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – 3- изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2018. – С. 155.

Росатом принял участие в деловой программе Российской энергетической недели -

Что такое ТРИЗ, и причём тут управление проектами

BIBLIOGRAPHY

1. President of Kazakhstan K.-Zh.Tokayev made a keynote speech to the country's scientists -

2. Raizberg B.A., Lozovsky L.Sh., Starodubtseva E.B. Modern economic dictionary. – 3rd ed., revised. and additional – M.: INFRA-M, 2018. – P. 155.

3. Rosatom took part in the business program of the Russian Energy Week -

4. What is TRIZ, and what does project management have to do with it

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

[1,2]А.С. Баймагамбетова, [1,2]Е. Тилеуберди, [1]Е.К. Онгарбаев, [3]А.А. Шарипова, [1]Е. Иманбаев, [1]Е. Канжаркан, [1,2]К. Садыков

[1]Институт проблем горения, г. Алматы, Казахстан

[2]Казахский Национальный Педагогический Университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

[3]ТОО «Samruk-Kazyna Ondeu», г. Астана, Казахстан

aigul_bs@mail.ru

Аннотация. Актуальной проблемой предприятий по производству серной кислоты является утилизация отходов сернокислотного производства. Авторами статьи был разработан метод решения проблемыи утилизации отходов и экологической проблемы, процесса производства серной кислоты, используемой в урановой промышленности. Чтобы повысить показатели безопасности для окружающей среды необходимо качественно утилизировать производственные отходы и уменьшить отстойники серного кека. То есть найти применение шламу сернокислотного производства, а также поиска альтернативных путей применения серы с целью получения целевого продукта. Идея нашего решения заключается в химическом модифицировании серы, серного кека и получении на их основе нового химического продукта.

Ключевые слова: сера, серный кек, серобетон, серная кислота, урановая промышленность.

PROCESSING OF SULFURIC ACID WASTE USED BY THE URANIUM INDUSTRY

[1,2]A.S. Baimagambetova, [1,2]E.Tileuberdi, [1]E.K. Ongarbaev, [3]A.Sharipova, [1]E. Imanbaev, [1] E. Kanzharkan, [1,2]K. Sadykov.

[1]Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

[2]Kazakh National Pedagogical University named after. Abay, Almaty, Kazakhstan

[3]Samruk-Kazyna Ondeu LLP, Astana, Kazakhstan

aigul_bs@mail.ru

Abstract. An urgent problem for enterprises producing sulfuric acid is the disposal of waste from sulfuric acid production. The authors of the article developed a method for solving the problem of waste disposal and environmental problems, the production process of sulfuric acid used in the uranium industry To improve environmental safety indicators, it is necessary to efficiently dispose of industrial waste and reduce sulfur cake settling tanks. That is, to find a use for the sludge of sulfuric acid production, as well as to search for alternative ways of using sulfur in order to obtain the target product. The idea of our solution is to chemically modify sulfur and sulfur cake and obtain a new chemical product based on them.

Key words: sulfur, sulfur cake, sulfur concrete, sulfuric acid, uranium industry.

Общеизвестно, что в урановой промышленности при производстве урана используется серная кислота. На первом этапе исследований образцы урансодержащего шлама подвергли «классическому» методу выщелачивания серной кислотой, варьируя концентрацию кислоты, температуру и время. Было установлено, что наиболее эффективно выщелачивание урана из отходов происходит при концентрации серной кислоты 200 г/л и поддержании температуры раствора на уровне 80 °С в течение четырех часов. В этом случае степень извлечения урана достигает максимальных значений и составляет 99,98%. На втором этапе образцы полученного урансодержащего раствора серной кислоты пропустили через ионообменные смолы различных промышленных марок. Затем смолу промыли дистиллированной водой и провели десорбцию урана из насыщенного ионита смешанным раствором серной кислоты и нитрата аммония. Благодаря этому концентрация урана выросла в 3-8 раз.

В свою очередь используемая серная кислота в Казахстане производится на Степногорском сернокислотном заводе. На заводе используется современная и перспективная технология производства серной кислоты из комовой серы. Установка основана на технологии сухой двойной абсорбции/двойного преобразования (ДКДА). Эта технология является современной и эффективной – переход сырья в целевой продукт достигает 93%. При этом технология безопасна для окружающей среды с точки зрения экологии.

Чтобы повысить показатели безопасности для окружающей среды необходимо качественно утилизировать производственные отходы и уменьшить отстойники серного кека. То есть найти применение шламу сернокислотного производства, а также поиска альтернативных путей применения серы с целью получения целевого продукта. Идея нашего проекта заключается в химическом модифицировании серы и серного кека и получении на их основе нового химического продукта.

В работе исследованы физико-химические характеристики модифицированной серы. При модифицировании серного кека с добавкой готовых мономеров происходит реакции полимеризации с образованием новых кристаллических структур в составе серного кека. Относительно невысокая температура приводит к разрушению полициклических структур серы в составе серного кека, который может свидетельствовать о протекании реакции сополимеризации, что приводит к образованию сетчатых или разветвленных структур, имеющих боковые полисульфидные ответвления.

Использование композиций позволит улучшить свойства материалов и предоставит возможность реализовывать дополнительные объемы серы на внутреннем рынке, что послужит снижению последствий избыточного производства и экологической нагрузки от долгосрочного хранения серосодержащих отходов.

Продолжая изучать возможные способы утилизации серосодержащих отходов, невозможно было не обратить внимание на технологии сульфидных композиционных материалов. На сегодняшний момент, применение серы для производства инновационных строительных (композиционных) материалов, таких как серобетон и изделия из него, а также сероасфальтобетон, является наиболее перспективным. Стройматериалы с добавлением серы обладают высокими прочностными характеристиками, повышенной износо-, корозионно- и химической стойкостью, низкой водопроницаемостью, большой устойчивостью к резким перепадам температур, кроме того, экономичны и экологически безопасны. Эти выводы сделаны на основе опыта применения этих материалов, начиная еще с 1970-х годов, в США, Канаде, Франции и Польше. И если возможность получения серобетонов с использованием серы с модифицирующими добавками в качестве вяжущего хорошо изучена, то вопрос с возможностью получения серобетона с использованием в качестве одного из компонентов кека предстояло изучить.

По исследованиям, содержание серы в бетоне делает его более прочным и морозостойким. Так, даже незначительное наличие серы в бетонных смесях увеличивает морозостойкость и истираемость изделий в 1,5 раза. В ходе проведенной работы по приготовлению тротуарного камня из серобетона, показана возможность использования серного шлама в качестве диспергатора для бетонных смесей, тем самым минимизируя отходы производства серной кислоты.

ВКЛАД АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» В ПОДДЕРЖАНИЕ УРОВНЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА

Боковая Н.Н., Ниханова Д.У.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

Аннотация. Целью данной статьи является предоставление базовой информации и принципах поддержания уровня квалификации персонала АО «НАК «Казатомпром».

Ключевые слова: Казатомпром, компания – АО «НАК «Казатомпром», ДЗО – дочерние и зависимые организации АО «НАК «Казатомпром».

CONTRIBUTION OF NAC KAZATOMPROM JSC IN MAINTAINING THE LEVEL OF PERSONNEL QUALIFICATIONS

N. Bokovaya, D. Nikhanova
Kazakhstan, Astana, NAC Kazatomprom JSC
nbokovaya@kazatomprom.kz, dnikhanova@kazatomprom.kz

Abstract. The purpose of this article is to provide basic information and principles for maintaining the level of qualifications of personnel of NAC Kazatomprom JSC.

Keywords: Kazatomprom, company – NAC Kazatomprom JSC, SDCs - subsidiaries and dependent organizations of NAC M Kazatomprom JSC.

1. АО «НАК «Казатомпром»

Вся промышленная деятельность в Казахстане в атомной сфере осуществляется в Казатомпром.

Казатомпром был образован в 1997 году указом Президента Республики Казахстан в качестве национального оператора Республики Казахстан по импорту–экспорту урана, редких металлов, ядерного топлива для атомных электрических станций.

С момента своего создания Казатомпром строго придерживался принципов безопасного, надежного и мирного использования атомной энергии, осуществляя поставки добытого урана и произведенной из него продукции только при условии предоставления гарантий об использовании продукции Компании исключительно в мирных целях.

Казатомпром является крупнейшим в мире производителем урана с добычей природного урана, пропорционально долям участия Компании, в размере около 20% от совокупной мировой первичной добычи урана в 2023 году. Казатомпром вместе с дочерними, зависимыми и совместными организациями ведет разработку 26 месторождений, объединенных в 14 уранодобывающих предприятий из которых:

- 2 дочерние организации (100% долей участия) по добыче урана, работающие на 5 урановых месторождениях/участках;
- 12 совместных уранодобывающих компаний по добыче урана, работающие на 21 урановых месторождениях/участках.

Местоположение минеральных активов и объектов по добыче

Все уранодобывающие предприятия расположены на территории Республики Казахстан и при добыче урана применяют технологию подземного скважинного выщелачивания.

2. Кадровый потенциал Казатомпром

Работники играют ключевую роль в производственных процессах и являются основным драйвером достижения успеха Казатомпрома. Компания стремится поддерживать комфортные условия труда и обеспечивать возможности для роста всех сотрудников, а также выстраивать открытые и прозрачные внутренние взаимоотношения.

Постоянное улучшение условий труда, социальная поддержка, возможность карьерного роста и профессионального развития, внимание к интересам и потребностям каждого работника имеют наивысший приоритет при формировании системы управления Компании, в частности кадровой и социальной политики.

Кадровая политика Казатомпрома на 2018-2028 годы является одним из важнейших инструментов достижения стратегических целей и призвана обеспечивать мотивацию работников, достижение высокой эффективности труда, тщательно учитывая их интересы и возможности, стимулировать активное участие персонала в жизни Компании.

Более 20 000 человек составляет общая списочная численность персонала Казатомпрома, включая совместные и зависимые организации

3. Поддержание уровня квалификации персонала в Казатомпром

Казатомпром, являясь национальным оператором Республики Казахстан по импорту–экспорту урана, редких металлов, ядерного топлива для атомных электрических станций осуществляет свою деятельность в строгом соответствии с требованиями Закона Республики Казахстан от 12 января 2016 года "Об использовании атомной энергии" (Закон).

В соответствии с требованиями Закона Казатомпром обязан обладать необходимыми организационными, финансовыми, материально-техническими ресурсами и иметь квалифицированный персонал для безопасной эксплуатации и технического обслуживания объектов использования атомной энергии (уранодобывающие рудники, перерабатывающие комплексы и т.д.) в течение всего периода жизненного цикла, а также осуществлять подготовку, поддержание квалификации и своевременную аттестацию персонала, занятого на объектах использования атомной энергии.

В соответствии с Правилами повышения квалификации персонала, занятого на объектах использования атомной энергии, утвержденных Приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 20 января 2016 года № 13, Казатомпром обеспечивает возможность подготовки, переподготовки и повышения квалификации с помощью широкого спектра обучающих программ, курсов, тренингов и семинаров: от дистанционных курсов до стажировки за рубежом.

При проведении работ по поддержанию уровня квалификации персонала Компании используются как внутренние резервы- филиал ТОО «ИВТ» КЯУ, так прямые контакты с иными образовательными центрами Казахстана и зарубежными высшими учебными заведениями. Кроме того, в Компании широко практикуется передача знаний и компетенций «от сотрудника к сотруднику» (наставничество, клуб внутренних тренеров, круглые столы и т.д.), что способствует сохранению знаний в Компании и обеспечивает преемственность поколений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://kazatomprom.kz/ru

УДК 338.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА «АЗТМ»

Альтаев Т.Т., магистрант кафедры «Мировая и национальная экономика»

Аннотация. Статья рассматривает проблемы и пути их решения в усовершенствовании производственных процессов на примере завода «АЗТМ». Основное внимание уделено оптимальному использованию активов, активизации заёмных средств и управлению нестабильными производственными процессами. Обсуждаются стратегии завода в рамках тендерной системы и логистические решения.

Ключевые слова: управление финансовыми ресурсами, снижение себестоимости, производственная модернизация, тендеры и производственное планирование, оптимизация использования активов, заемные средства, производственные мощности, эффективность производства

Аңдатпа. Мақалада «АЗТМ» зауытының мысалында өндірістік процестерді жетілдіру мәселелері мен шешім жолдары қарастырылады. Өндірістік активтерді тиімді пайдалану, қарыз қаражаттарын белсенді пайдалану және тұрақсыз өндіріс процестерін басқару мәселелері талқыланады. Зауыттың тендерлік жүйе аясындағы өндірістік стратегиялары мен логистикалық шешімдеріне баса назар аударылады.

Abstract. The article discusses the issues and solutions in improving production processes at the «AZTM» plant. It focuses on optimal asset utilization, active use of borrowed funds, and managing unstable production processes. The plant's strategies within the tender system and logistical decisions are highlighted.

These summaries encapsulate the key points of the article, providing a clear overview of its content in different languages.

Текущее положение дел на рассматриваемом предприятии позволяет сформулировать следующие проблемы и предложить ряд рекомендаций по оптимизации производственного процесса.

1. Проблема определения оптимальной границы между удерживаемой вблизи частью активов и той частью, что должна активно работать и приносить прибыль.

Значения показателей общей (текущей) и абсолютной ликвидности имеют очень большой запас прочности, значительно превышающий оптимальную величину. В частности коэффициента текущей ликвидности 4,67; коэффициента абсолютной ликвидности 2,38. Такой избыточный запас прочности может свидетельствовать о том, что компания недостаточно энергично использует свои активы. Задача любого бизнеса состоит в том, чтобы все деньги работали, чтобы весь имеющийся в распоряжении капитал был в деле, в движении, чтобы работал, приносил прибыль. Искусство предпринимателя заключается в том, чтобы найти оптимальную границу между сберегаемыми на всякий случай деньгами и работающей частью капитала.

2. Проблема более активного использования заемных средств в интересах модернизации производства, постепенного обновления основных производственных фондов.

Коэффициент финансового рычага $К_5$=0,14 на наш взгляд является низким для компании. Коэффициент финансового рычага (Debt-to-Equity Ratio) показывает соотношение между заемными и собственными средствами компании. Значение 0,14 означает, что на каждый тенге собственного капитала приходится всего 14 тиын заемных средств.

Безусловно, оптимальный диапазон коэффициента финансового рычага может варьироваться в зависимости от отрасли. Но для отраслей с высоким уровнем капиталоемкости, таких как завод «АЗТМ», более высокий коэффициент финансового рычага может быть нормой. Коэффициент 0,5 может быть оптимальным для компании, так как он показывает, что на каждый тенге собственного капитала приходится 50 тиынов долга, что указывает на умеренное использование заемных средств. Это всего лишь рекомендация, но компании следует оценивать свои инвестиционные цели и потребности в финансировании, чтобы определить, соответствует ли такой низкий коэффициент их стратегическим задачам.

3. Проблема относительной нестабильности производственного процесса в условиях невозможности формировать долговременную производственную программу.

Основные заказчики крупногабаритной продукции завода крупные комбинаты и нефтегазовые гиганты как правило предпочитают выбор поставщика производить на конкурсной основе проводя тендеры, что не позволяет заводу выстроить серьезную и стабильную производственную программу. Бизнес-процесс

становится прерывистым, «пунктирным». Это проблема. Действительно, конкурсная основа тендеров создает неопределенность для производственных предприятий, так как не гарантирует постоянный поток заказов. Это затрудняет долгосрочное планирование и оптимизацию производственных мощностей.

Одним из важных последствий такой ситуации являются ограниченные сроки договоров:

- Тендеры обычно предполагают заключение договоров на определенный срок, порою меньше года, что может быть несовместимо с необходимостью долгосрочного планирования производства, особенно для предприятий выпускающих сложное технологическое оборудование, требующих значительных вложений в оборудование и подготовку кадров.
- Также неопределенность с заказами может привести и приводит к прерывистости производственного процесса, что влечет за собой нерациональное использование ресурсов и простои оборудования, увеличение издержек и снижение эффективности производства.

В условиях, когда поставки и заказы не гарантированы и не имеют долгосрочного характера, заводу требуется гибкость и способность быстро адаптироваться к изменениям в объемах заказов. Это предполагает необходимость резервирования производственных мощностей, что может быть неэффективным с точки зрения затрат, и требует постоянной готовности к изменениям в производственном планировании. Это потери, лишние расходы.

Для уменьшения рисков, связанных с неопределенностью тендеров, компании следует разработать гибкие производственные планы, которые можно быстро корректировать в зависимости от результатов тендеров.

Очевидно необходимо стремиться к диверсификации клиентской базы, рекомендуется не полагаться только на один крупный заказ или устоявшийся круг клиентов, а искать разные рынки и заказчиков, чтобы снизить зависимость от нестабильных источников дохода. В этой связи сама сложившаяся обстановка требует укрепления и усиления маркетинговой службы завода.

Необходимо также рассмотреть целесообразность создания запасной производственной мощности, которая может быть быстро активирована при получении заказов, что снижает риски простоев и способствует непрерывности производственного процесса.

Суммируя вышеизложенное можно обобщить: подход к управлению заказами и производственными процессами на основе тендеров требует от производственных предприятий особой гибкости и стратегического подхода к планированию. Ключевыми являются гибкость, диверсификация и эффективное управление производственными мощностями.

4. Транспортно-логистическая проблема.

Существование этой проблемы однозначно: основная масса как поставщиков, так и потребителей находится на значительном, измеряемом тысячами километров расстоянии от завода. Поскольку в заводских расходах за 2022 год на долю материалов и полуфабрикатов приходится до 80%, то основную массу этих материалов приходится транспортировать, причем на значительные расстояния. В этой связи будут целесообразны мероприятия для снижения стоимости доставки, что позволит частично снизить себестоимость конечной продукции. Лучшие практики предлагают разработать региональные логистические центры. Например завод может установить один крупный логистический центр на западе республики для обслуживания основных нефтедобывающих регионов и коммуникации с партнерами в европейской части Российской Федерации.

5. Проблема сокращения себестоимости покупного сырья, материалов и полуфабрикатов поскольку затраты на материалы и полуфабрикаты составляют 80% от общих затрат в целом по заводу.

В этой связи предлагается рассмотреть целесообразность воссоздание ранее ликвидированного чугунолитейного подразделения для обеспечения внутренних потребностей производства вместо закупа чугунных материалов на стороне. Также следует обратить внимание на значительные затраты электроэнергии на заводе. Например, основными потребителями электроэнергии являются:

Сталелитейный цех	31%
Цех механообработки (5 участков)	19%
Компрессорная станция	15%
Участок термообработки	10%
Оставшиеся подразделения	25%
	100%

Здесь предлагается провести энергетический аудит на предмет соблюдения всех установленных требований эксплуатации

Энергетический аудит — это процесс анализа энергопотребления здания, предприятия, организации

или системы с целью определения мероприятий для улучшения энергоэффективности. Основной целью энергетического аудита является выявление возможностей для снижения энергозатрат и углеродных выбросов, а также улучшение общей экономической эффективности использования энергоресурсов.

Проверенными практикой, общепризнанными, эффективными способами снижения себестоимости продукции являются:

1. Увеличить масштабы производства продукции.
2. Повысить производительность труда.
3. Снизить производственные затраты.
4. Уменьшить цены закупки сырья и материалов для производства.
5. Сократить технологические потери и производственный брак.
6. Оптимизировать производственные процессы.

Таким образом, управление производственными процессами на заводе «АЗТМ» требует комплексного подхода и адаптации к меняющимся условиям рынка. Эффективное использование заёмных средств и активов, а также гибкость в производственном планировании, позволит предприятию повысить свою конкурентоспособность и оптимизировать затраты. Разработка гибких производственных стратегий и диверсификация клиентской базы являются ключевыми шагами в устойчивом развитии завода. Наконец, постоянное внедрение инноваций и улучшение управленческих практик помогут «АЗТМ» не только выдерживать конкуренцию, но и обеспечивать высокое качество своей продукции.

Секция 7
Цифровизация, автоматизация и роботизация в атомной отрасли
Section 7
Digitalization, automation and robotization in the nuclear industry

ПРОГРАММА ДЛЯ ДОКУМЕНТАЦИИ КЕРНА

Иркитбаев Ч.А.
Satbayev University, Институт геологии и нефтегазового дела, г. Алматы, Казахстан
chinaus@mail.ru

Аннотация. Описание формы в VBA Excel для документации керна и интерпретации геологической колонки в WellCAD.
Ключевые слова: Документация керна, автоматизация, цифровизация, VBA для Excel, WellCAD, портативный планшет.

CORE DESCRIPTION PROGRAMME

Irkitbayev C.A.
Satbayev University, Institute of Geology and Petroleum Engineering, Almaty, Kazakhstan
chinaus@mail.ru

Annotation. Description of a form in VBA Excel for core description and geological column interpretation in WellCAD.
Keywords: Core documentation, automation, digitalisation, VBA for Excel, WellCAD, portable tab.

При проведении геолого-разведочных работ обязательным этапом является документация кернового материала для составления геологической колонки и паспорта скважины. Документация керна представляет собой письменный ввод геологической информации в полевой журнал, такой как: данные рейса, номер ящика, глубина проходки керна, цвет, структура, текстура, минеральный состав, включения в литологическом интервале, радиоактивный промер. Далее, письменная геологическая информация оцифровывается, печатным вводом заносится из буровых журналов на персональный компьютер. В среднем на 1 скважину с длиной керна 60 м. (15 ящиков) может понадобиться один рабочий день, чтобы описать керн и оцифровать информацию. При большом объеме работ, частичном отсутствии персонала, геологу приходится торопиться, что может привести к различным ошибкам.

Данная статья описывает новую программу, разработанную в 2023 году на языке Visual Basic Application (VBA) для быстрого ввода геологической информации в полевых условиях. Программа представляет собой интерактивную форму для ввода различной геологической информации: литология, цвет, структура, текстура, включения, реагирование с соляной кислотой, проникновение бурового раствора, радиоактивный промер, глубины и др. (рисунок 1). Геолог, используя переносной планшет выбирает из библиотеки формы нужную информацию, которая автоматически преобразуется в текст и сохраняется в таблицах Excel (Рисунок 2). Далее, цифровая информация с описанием керна экспортируется в программу WellCAD для интерпретации и увязки керна с каротажом. При этом геологу уже не нужно печатать весь текст. Полевой журнал сохраняется в цифровом виде, и в случае необходимости, может быть распечатан на принтере.

При использовании программы для документации керна, геолог экономит значительное количество времени (до 60%) при описании и вводе цифровой информации на ПК. Данный продукт будет актуален для всех компаний, кто занимается как поисковой, так и эксплуатационной разведкой с бурением скважин с отбором керна. Возможна адаптация к существующему продукту системы «Рудник» для экспорта/импорта и интерпретации геологических колонок.

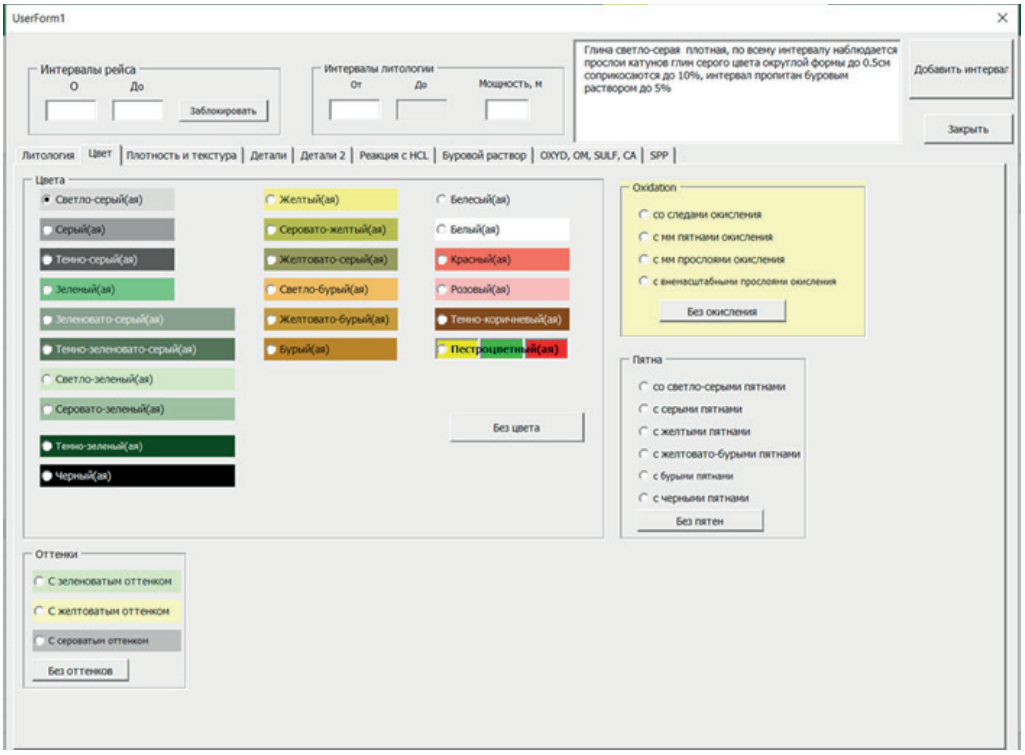


Рисунок 1 – интерфейс формы для документации керна (вкладка «Цвет»)

Рисунок 2 – документация керна при помощи планшета

Программа WellCAD компании ALT является удобным средством для цифровой интерпретации каротажа, посадки керна, составления геологических колонок, планов опробования и расчета различных данных, например содержания урана. В отличие от старого метода интерпретации каротажа, геологу уже не нужно тратить время, чтобы нанести геолого-геофизическую информацию на кальку и потом производить

посадку керна. В программе WellCAD заносятся как данные гамма каротажа, так и радиоактивный промер керна сцинтилляционным детектором (СРП или SPPy), что повышает качество интерпретации каротажа.

На рисунке 3 изображен пример интерпретации каротажа и посадки керна в программе WellCAD, где красная кривая – гамма каротаж, и синяя кривая – радиоактивный промер керна прибором SPPy. В правой части расположены геологические данные по первичным глубинам (по данным буровиков), в левой части интерпретированная смещенная геологическая информация по данным каротажа.

В программе WellCAD существую инструменты для интерпретации каротажа. Все манипуляции по сдвигу керна вверх или вниз производятся в секунды, за счет VBS скрипта, где геологу нужно лишь указать два значения: глубину срезки и расстояние, на которое нужно сдвинуть керн. В среднем, на интерпретацию одной скважины в программе WellCAD может понадобиться от 0.5 до 2 часов работы.

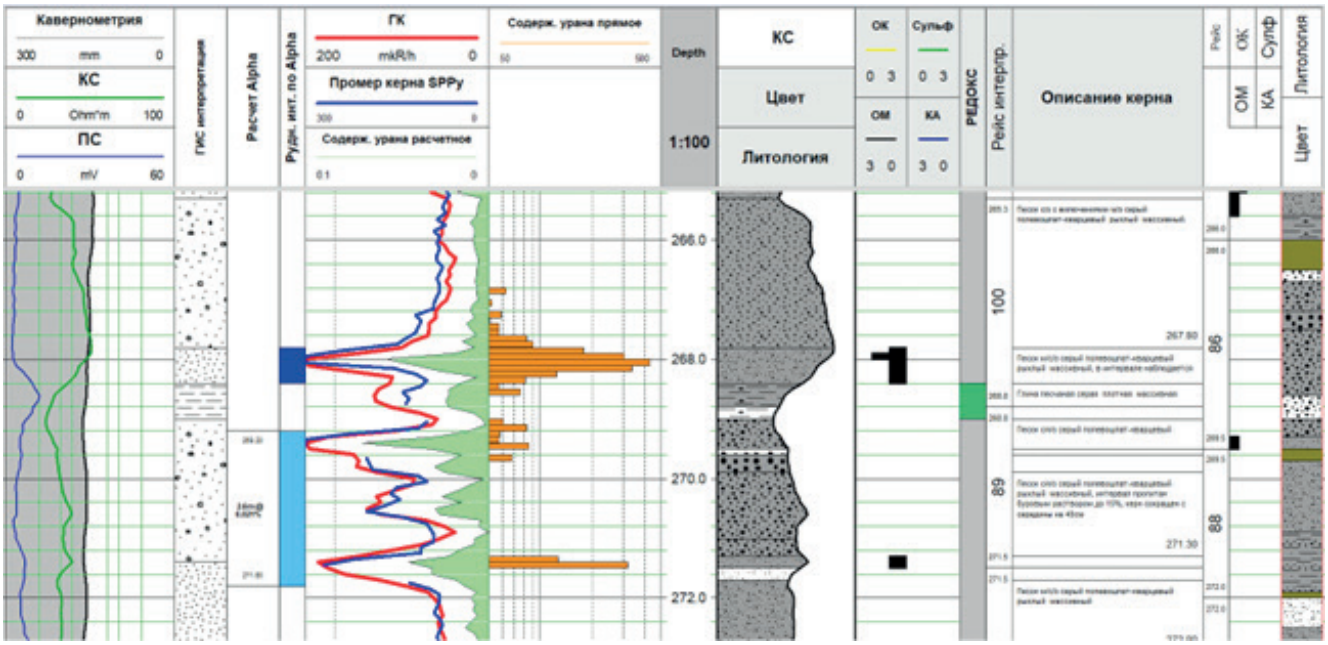


Рисунок 3 – интерпретация каротажа (посадка керна) в программе WellCAD

Заключение. Сегодня, цифровизация геолого-геофизических данных, как на примере данной статьи по документации кернового материала и интерпретации каротажа на компьютерных программах, позволяет геологу работать быстрее и качественнее. Бумажные носители информации и письменный ввод информации потихоньку уходят в сторону. Все это позволяет быстрее и качественнее производить проверку и утверждение геолого-геофизических данных, создавать паспорта скважин, геологические профиля и 3Д геологические модели для оценки запасов. Инженер, должен тратить меньше времени на рутинную ручную работу, и больше времени на качественную интерпретацию данных и анализ, а задачей руководства является обеспечить всеми лучшими имеющимися средствами работников.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА INTERSECT

А. Нуркас, Е.Умурзаков, А. Мейманова, Б. Амангалиев
«Отдел разработки месторождений», компания SLB, г. Астана, Казахстан
Abatu2@slb.com, YUmurzakov@slb.com

Уран является основным сырьем ядерного топлива и Казахстан обеспечивает примерно 45% мировых поставок урана. На месторождении представленном в этой статье для добычи урана используется процесс подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Более 60% урана во всем мире производится при помощи ПСВ. ПСВ предполагает закачку в геологические пласты выщелачивающего агента для растворения оксидов урана и добычи водного раствора минерала на поверхности. Повышение коэффициента охвата пласта закачиваемой кислотой коррелирует с увеличением выщелачивания урана.

Кроме того, оптимизация объемов утилизируемой кислоты на количество добытого урана при одновременном снижении воздействия на окружающую среду и потенциальных рисков требует разработки передовых методов повышения эффективности закачки кислоты для стимулирования роста добычи урана. Стратегия, направленная на оптимизацию схемы закачки кислоты для увеличения добычи урана, может быть тщательно оценена с использованием методов геологического и численного моделирования. Учитывая специфику горнодобывающих процессов, крайне важно комплексное решение, способное отразить сложную динамику транспортировки, присущую процессам ПСВ.

Прежде всего, в этой статье представлено уникальное решение, разработанное с использованием модели минерализованной жидкости в программном обеспечении INTERSECT (Brine Fluid Model), которая моделирует схему закачки кислоты путем введения отслеживающего компонента (трассера), который точно воспроизводит объемы закачиваемой кислоты. INTERSECT позволяет использовать специализированный скрипт Python для задания схем закачки выщелачивающего раствора. Этот скрипт обеспечивает плавный переход между различными схемами закачки кислотных растворов, например, закачка смешанных растворов с завода и рециркулируемых растворов с добывающих скважин, которые также можно распределять по различным группам нагнетающих скважин. Более того, INTERSECT обеспечивает полный контроль и регулировку концентрации закачиваемой кислоты, а также реализацию различных сценариев закачки. Такая гибкая и настраиваемая система позволяет отслеживать движение закачиваемой кислоты из нагнетательных скважин через пласт в добывающие скважины.

Кроме того, авторы первыми настроили решение INTERSECT для расчета показателей, специфичных для урановой отрасли, включая степень кислотности пластовой воды (pH), соотношение жидкости к твердой породе (L/S) и соотношение количества кислоты к количеству урана для различных зон пласта. В качестве доказательства концепции, концентрация добываемой кислоты в гидродинамической модели была преобразована в так называемый «трассерный pH» на уровне добывающей скважины. Этот параметр является динамическим и служит эталоном, описывающим движение кислоты в подземных условиях без учета реакции кислоты с глинами и минералами. Моделируемые значения pH достаточно точно воспроизводят фактически замеренные pH пластовой воды. Это свойство может служить хорошим индикатором качества выщелачивания, а также может использоваться для оценки различных сценариев прогнозирования.

Модель Brine Fluid реализованная в INTERSECT, позволяет провести комплексную оценку эффективности охвата закачиваемой жидкости, объема закачиваемой воды, поступающей в добывающие скважины, и количества добытой кислоты. Достоверность модели подтверждена последовательным воспроизведением наблюдаемых замеров pH. Возможность столь детального воспроизведения процесса ПСВ в модели позволяет нам оптимизировать стратегию закачки кислоты, чтобы увеличить степень контакта кислоты с минералами, тем самым улучшая добычу урана.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПСВ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Алдамжаров Б.А., Ильясов Н.Р.
ТОО «СП «Инкай», г. Шымкент, Казахстан
baldamzharov@inkai.kz

Аннотация. В статье обсуждается применение 3D-моделирования в программном комплексе GeoStat для планирования горных работ. Моделирование позволяет получить более точные прогнозы кривых извлечения урана по сравнению с традиционными методами, учитывает влияние регламента подачи реагента, баланса растворов, геологических и химических факторов. Однако его применение в планирование горных работ имеет трудоёмкий процесс подготовки данных и может занимать длительное время, что создает трудность, когда надо несколько раз моделировать, например, при поиске оптимальных параметров. Данная статья дает рекомендации по применению 3D-моделирования в планировании горных работ, а также по улучшению производительности 3D-моделирования.

Ключевые слова: 3D-моделирование ПСВ, прогноз добычи урана, планирование горных работ, прогнозные кривые извлечения, GeoStat

USING 3D-MODELING IN URANIUM MINE PLANNING

Aldamzharov B.A., Ilyassov N.R.
JV Inkai LLP, Shymkent, Kazakhstan.

Abstract. The article discusses the application of 3D modeling in the GeoStat software package for mine planning. By taking into account the influence of reagent feed schedule, solution balance, geological, and chemical factors, the modeling enables more accurate forecasts of uranium recovery curves compared to traditional methods. However, using modeling in mine planning presents challenges, including the time-consuming nature of the process and the laborious data preparation involved. These challenges become particularly significant during certain instances, such as when multiple modeling iterations are required to determine optimal parameters. This article provides recommendations for the application of 3D modeling in mine planning, as well as for improving the performance of 3D modeling.

Keywords: 3D modeling, mine planning, forecasting uranium recovery curves, GeoStat

На добывающих предприятиях ежегодно составляется ПРГР основной частью которого является прогнозирование отработки технологических блоков. Для этого применяется практика построения кривых извлечения, основанных на кинетическом уравнении для необратимой реакции 1-го порядка:

$$C - C_0 e^{kt} \quad (1)$$

где C – действующая концентрация вещества в момент времени t,
C_0- исходная концентрация вещества,
k – константа скорости реакции.

На практике, на добывающих предприятиях используются разные виды уравнения для построения проектных кривых извлечения. Один из них:

$$C = \frac{C_0}{1 + A \times e^{-V \times (L/S - \frac{d}{L/S})}} \quad (2)$$

где C – извлечение урана (г/т ГРМ),
C_0- исходное содержание урана в блоке (г/т ГРМ),
A, V, d – поправочные коэффициенты, с помощью которых формируется кривая извлечения,
L/S – текущее значение Ж/Т.
Другое уравнение в виде:

$$e = A \times (1 - e^{-V \times (L/S - dL/S)}) \times \ln(1 + V \times (L/S - dL/S) \quad (3)$$

где e – извлечение, в долях единицы,
A – параметр масштаба вовлечения руд в отработку (изменяется в реальных условиях от 0,25 до 0,6),
V – кинетический параметр (изменяется в реальных условиях от 1 до 5),
L/S – текущее значение Ж/Т,

dL/S – Ж/Т завершения закисления (обычно Ж/Т = 0,15 – 0,25).
Есть и другие виды уравнения.
Зная прогнозный объем ПР, рассчитывается Ж/Т и, далее, степень извлечения урана, рисунок 1.

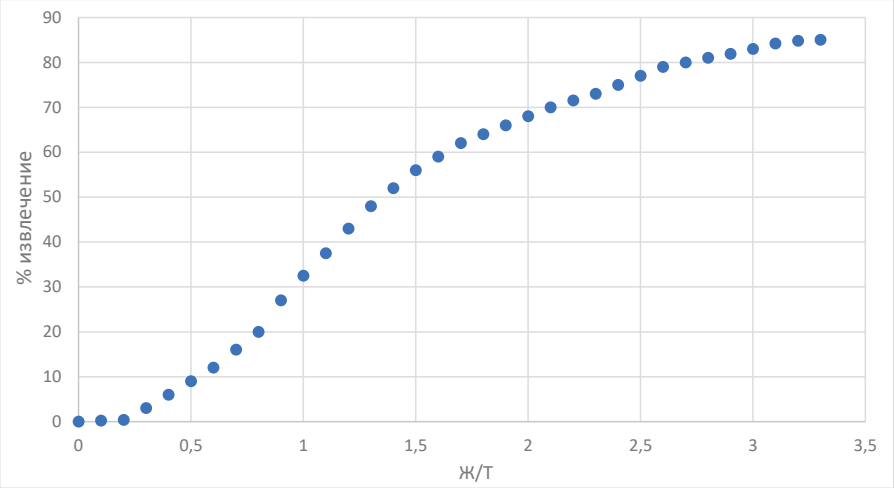


Рисунок 1 – Пример прогнозной кривой извлечения

Таким образом, при планировании развития горных работ, кривые извлечения каждого технологического блока рассчитывается отдельно. Однако данный метод имеет свои недостатки. Во-первых, окончательный подбор кривой извлечения по блоку возможен, в большинстве случаев, после 4–6 месяцев от начала закисления и появления фактических данных по работе блока. Во-вторых, нет возможности прямой оценки зависимости интенсивности отработки блока от применяемого регламента подачи реагента и баланса растворов ввиду большого количества факторов, влияющих на эффективность технологического процесса.

Альтернативно к данному методу прогнозирования можно использовать симулятора GeoStat, совместно разработанного специалистами ТОО «ИВТ» и КазНУ им. Аль-Фараби, позволяющего рассчитывать трехмерные гидродинамические модели процесса ПСВ. Для добывающих предприятий, моделирование процесса ПСВ на настоящий момент является наиболее совершенным методом прогнозирования технологических свойств блоков и предоставляет такие возможности, как построение моделей, анализ, прогнозирование и управление процессом добычи урана.

Моделирование в GeoStat состоит из следующих этапов: загрузка и формирование входных данных; создание расчетной сетки; построение геологической модели; построение гидродинамической модели на основе интерполированных фильтрационных данных и данных о дебитах/приемистости; построение модели кинетики выщелачивания на основе данных о кислотности растворов. По заданным координатам осуществляется создание структурированной, регулярной трехмерной расчетной сетки. Все числовые вычисления производятся в узлах этой расчетной сетки. Точность результата прямо зависит от размерности ячеек. В GeoStat размерность ячеек определяется указанием количества узлов по каждой из координат, рисунок 2.

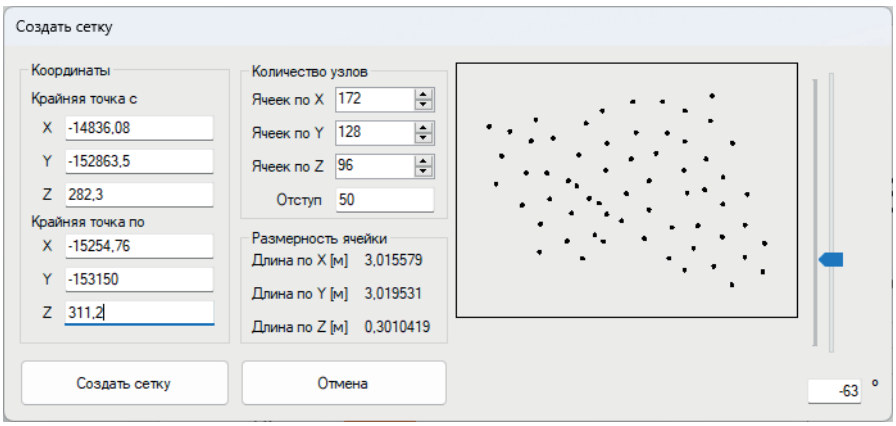


Рисунок 2 – Окно создания сетки в GeoStat

Для интерполяции используются методы геостатистики: Кригинг и метод обратных взвешенных расстояний. В Программном комплексе также есть возможность для импортирования готовой геологической модели, построенной в других программах (например, Micromine). С помощью модуля кинетики химических процессов в 3D вычисляется динамика распределения концентрации урана в ПР, концентрации кислоты в ВР и содержание остаточного урана в руде в зависимости от времени.

На рисунке 3 представлено сравнение расчетов кривых извлечения одного технологического блока, полученных от GeoStat, с фактическими данными.

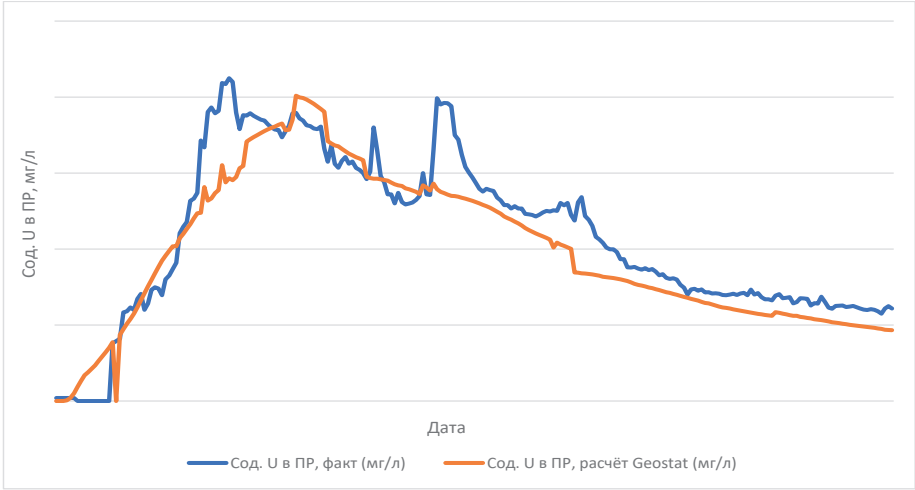


Рисунок 3 – Диаграмма сравнения содержания урана в ПР между фактом и расчётом GeoStat

Для достижения более точного результата моделирования одного технологического блока рекомендуется загружать данные соседних блоков, так как есть влияние растекания растворов между блоками. Но это увеличит количество узлов и моделируемых дней, что, в свою очередь, увеличит время расчета. Используемые алгоритмы массопереноса в каждой точке ГРМ (в каждом узле) требуют вычисления огромного количества промежуточных значений различных параметров в трехмерной модели ГРМ блока. Данное моделирование заняло около 23,5 часов. Для моделирования данного блока были загружены дебиты и приёмистость за 238 суток. Количество созданных узлов составляло 2 795 520 узлов. В таблице ниже расписано затраченное время (в часах) в четырёх разных моделированиях.

Таблица 1 – Сравнение длительности по времени моделирования.

Количество узлов	Количество дней дебитов скважин	Создание сетки и интерполяция (ч)	Гидродинамика (ч)	Кинетика (ч)	Общее (ч)
2 795 520	238	0,5	8	15	23,5
1 572 864	1275	1	14	49	64
2 113 536	117	0,5	10	13	23,5
3 630 690	949	5	19	207	231

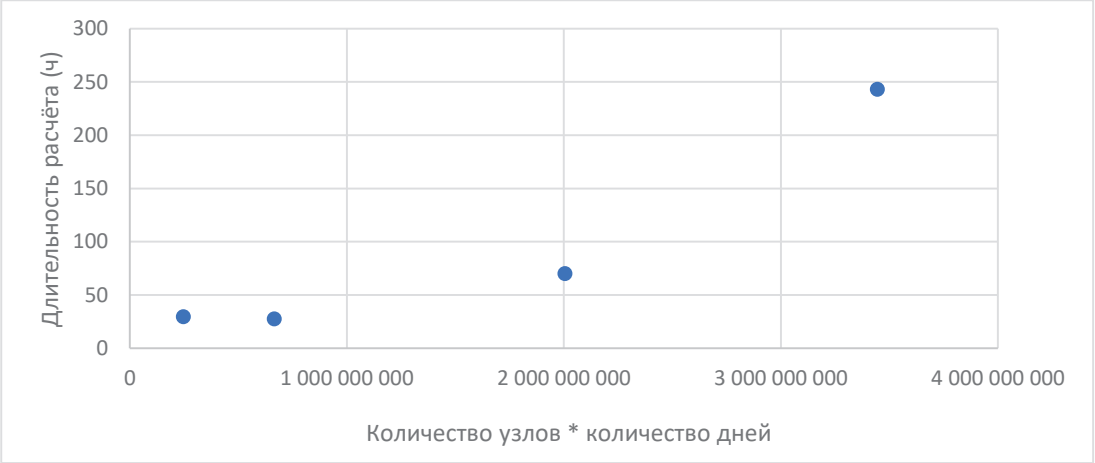


Рисунок 4 – Зависимость длительности расчёта от количества узлов и дней

Рисунок 4 демонстрирует что основные параметры, влияющие на длительность моделирования, — это количество узлов и количество дней.

Анализируя вышеизложенное, можно выделить достоинства и недостатки использования трёхмерного моделирования в планировании развития горных работ:

Достоинства:

• Моделирование позволяет получить более точные прогнозы кривых извлечения.

• Является инструментом, имеющим алгоритмы построения зависимостей интенсивности отработки блока от применяемого регламента подачи реагента и баланса растворов.

• Результаты моделирования имеют глубокую детализацию. Например, есть возможность учитывать проведение ремонтно-восстановительных работ отдельных скважин.

• Для разных технологических блоков можно проводить симуляцию с разными наборами настроек геохимических показателей массопереноса (скорости основных и вспомогательных химических реакций, карбонатность пород, степень окисления урана и т.д.), доступных для использования в моделировании.

Недостатки:

• Значительная трудозатратность при подготовке исходных данных для моделирования. Использование первичных данных по скважинам для моделирования требует переработки и загрузки значительных объемов данных.

• Моделирование требует значительного времени. Если моделировать рудник в целом со всеми технологическими блоками с целью получения более точных прогнозов, продолжительность моделирования может занять чрезмерно много времени, что может быть нецелесообразно.

• Имеющиеся настройки, такие как скорости химических реакций, содержания дополнительных компонентов (железо, карбонаты, отношение четырехвалентного урана к шестивалентному урану и т.д.) имеют определяющее влияние на результат моделирования, однако точно задать верные исходные данные для каждой скважины и в каждый шаг моделирования (дату) представляет собой сложную задачу, ввиду отсутствия этих измерений и неоднородности их по эффективной мощности моделируемого блока.

Для улучшения программного модуля и повышения его производительности следует рассмотреть следующие рекомендации:

• Использование вычислительных ресурсов GPU (графических процессоров) может значительно ускорить выполнение программы за счёт вовлечения специальных вычислительных мощностей, предназначенных для параллельной обработки данных. Это особенно полезно при выполнении сложных вычислений, таких как расчёты в области гидродинамики и кинетики.

• Использовать современные мощные компьютерные процессоры.

• Автоматизировать процесс подготовки входных данных для моделирования из существующих систем хранения данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А., Поезжаев И.П. Оптимизация процесса добычи урана с использованием 3D-моделирования. Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов, вып.14, 2019 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». – Нур-Султан, 2019. ISBN 9965- 32-597-9. С. 32-38.

2. Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А. Применение 3D-моделирования для анализа процесса добычи урана методом ПСВ. Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов, вып.17, 2022 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». – Астана, 2022. ISBN 9965- 32-597-9. С. 30-38.

3. Демехова Ю.В., Ибраева Б.М., Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А., Панова Е.Н., Буленова К.Ж., Карманов Е.М., Блынский П.А., Битовт О.А. Геотехнология урана: Учебное пособие. – Алматы, 2017. ISBN 978-601-04-2988-8.

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ

Гуцул М.В.[1], Ежуров Д.О.[2], Кадыров К.К.[2], Кеслер А.Г [1], Курасова Ю.Д.[2], Лавров А.С.[2], Носков М.Д.[1], Сакирко Г.К.[1], Скляр Л.А.[2], Чеглоков А.А.[1]
[1]Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск, РФ
[2] АО «Далур», село Уксянское, РФ
e-mail: MVGutsul@mephi.ru

Аннотация. Рассмотрена информационная система для формирования и представления виртуальной модели процесса добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания. Описаны принцип работы информационной системы и функциональные возможности входящих в неё модулей. Рассмотрены инструменты взаимодействия с виртуальной моделью в различных режимах.

Ключевые слова: добыча урана, подземное скважинное выщелачивание, программное обеспечение, виртуальная реальность.

VIRTUAL MODEL OF THE PROCESS OF URANIUM MINING USING THE ISR METHOD

Gutsul M.V.[1], Ezhurov D.O.[2], Kadyrov K.K.[2], Kesler A.G.[1], Kurasova YU.D.[2], Lavrov A.S.[2], Noskov M.D.[1], Sakirko G.K.[1], Sklyar L.A.[2], CHeglokov A.A.[1]
[1]Seversk Technological Institute National Research Nuclear University MEPhI, Seversk, Russian Federation
[2]JSC Dalur, Uksyanskoye village, Russian Federation
e-mail: MVGutsul@mephi.ru

Abstract. An information system for the formation and presentation of a virtual model of the uranium mining process using the underground borehole leaching method is considered. The operating principle of the information system and the functionality of its modules are described. Tools for interacting with a virtual model in various modes are considered.

Key words: uranium mining, in-situ leaching, software, virtual reality.

Введение

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) является перспективным методом добычи полезных ископаемых, при котором добыча полезного компонента осуществляется с помощью системы технологических скважин. Через нагнетательные скважины подается выщелачивающий раствор, который растворяет полезный компонент, после чего продуктивный раствор поднимается на поверхность через откачные скважины. При добыче урана шахтным или карьерным методом можно видеть, как располагается рудное тело и, в соответствии с этим, управлять процессом добычи. При разработке месторождений урана методом ПСВ единственной информацией о процессах, происходящих в продуктивном горизонте, являются данные исследования скважин и состава поднимаемых на поверхность технологических растворов. Для обеспечения эффективной добычи урана методом ПСВ целесообразно иметь целостную картину состояния продуктивного горизонта и технологических скважин. Для этого можно использовать технологии виртуальной реальности. В настоящей работе представлена виртуальная модель (VR) процесса ПСВ.

Принципы работы системы виртуальной реальности

В качестве исходных данных для формирования VR модели используется трехмерная геологическая геофильтрационная модель залежи; трехмерная геотехнологическую модель процесса подземного выщелачивания, а также технологические данные по откачным и закачным скважинам. Геолого-математическая модель строится в горно-геологической информационной системе [1, 2] и включает данные о структуре проницаемых и непроницаемых пропластков продуктивного горизонта, полученные при геофизическом исследовании скважин, распределении исходного содержания урана (Рис.1, а). Источником данных для геотехнологической модели отработки является 3D-модель процесса сернокислотного выщелачивания в продуктивном горизонте [3,4]. Геотехнологическая модель включает данные по скорости движения технологических растворов, распределения остаточного содержания урана в породе, концентрации урана, серной кислоты и сульфат иона в технологических растворах (Рис.1, б). К технологическим данным относятся: координаты устья и забоя скважин; положения фильтров; рудные интервалы и пересечения; контура геологических блоков; данные об установленных на скважинных насосных агрегатах; величины концентрации урана и кислоты; дебиты скважин; геологические колонки. Технологические данные поступают из информационной системы добычного комплекса [5].

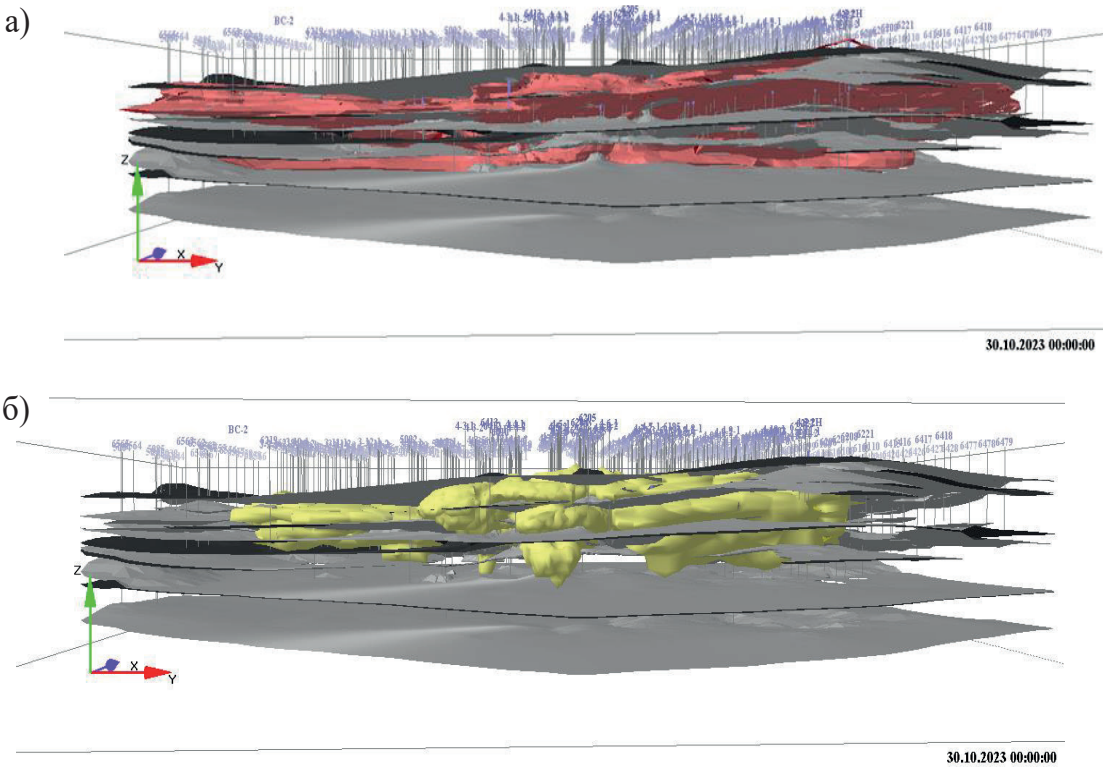


Рисунок 1 – 3D-модель состояния продуктивного горизонта. а- рудное тело, б – распределение урана в технологических растворах. Серым цветом показаны непроницаемые пропластки

Для представления модели процесса добычи урана в виртуальном пространстве были разработаны два программных модуля: модуль формирования VR модели и модуль взаимодействия с VR моделью. Модуль формирования VR модели предназначен для просмотра и импорта из базы геологических данных трехмерных геолого-гидрогеологических моделей; определения набора данных, составляющих VR модель; формирование файла с данными VR модели. Модуль взаимодействия с моделью предназначен для представления объектов в виртуальном пространстве; вывода информации и взаимодействия с объектами виртуального пространства. Программные модули предназначены для применения на персональных компьютерах под управлением ОС MS Windows.

Модуль формирования VR модели разработан на языке C++ в среде разработки Embarcadero RAD Studio 10.4, с использованием объектно-ориентированного подхода. Взаимодействие модуля с базами данных осуществляется на основе клиент-серверной технологии с помощью языка запросов Transact-SQL. Данные VR модели формируются в виде JSON файлов. Модуль взаимодействия с моделью разработан в среде разработки Unity на языке C#. Схема формирования VR модели представлена на рисунке 2. В качестве аппаратных средств для работы с VR моделью используются персональный компьютер; шлем виртуальной реальности HTC Vive (Cosmos, Cosmos Elite); контроллеры для виртуальной реальности HTC Vive (Cosmos, Cosmos Elite); базовые станции HTC Vive, обеспечивающие точность позиционирования.

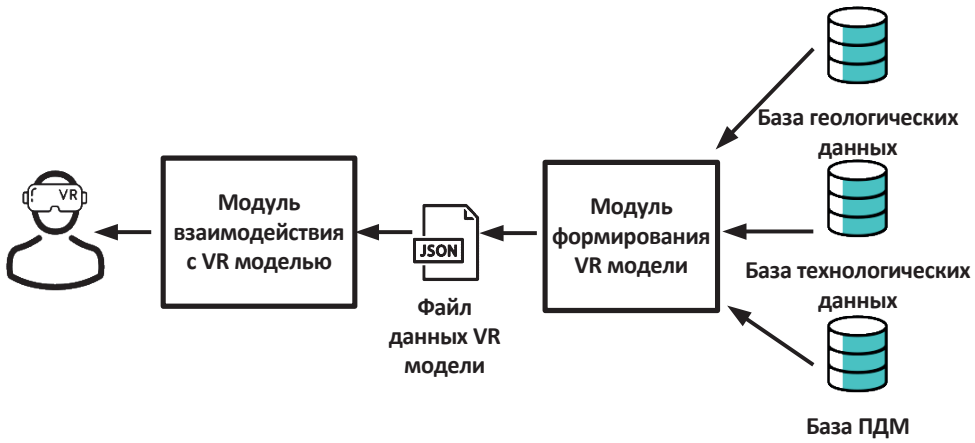


Рисунок 2 – Схема формирования VR модели

Инструменты взаимодействия с виртуальной моделью

Модуль взаимодействия с VR моделью позволяет осуществлять взаимодействие с виртуальной моделью в двух режимах («Горизонт» и «Стол»). Рассмотрим представление технологических объектов в VR пространстве. При запуске модуля пользователь попадает в виртуальную комнату, в которой может осуществить выбор интересующей VR модели, а так же режима представления данных.

При выборе режима «Горизонт» пользователь оказывается внутри продуктивного горизонта, он располагается в проницаемом слое, сверху и снизу него расположены непроницаемые слои. Для каждого слоя созданы соответствующие текстуры. В этом режиме пользователь может: перемещаться в пространстве виртуальной модели; просматривать информацию по виртуальным объектам; просматривать контур рудного тела, распределения концентрации урана, кислоты и сульфат иона; строить геологические модели; изучать направление движение технологических растворов между скважинами. Внешний вид виртуального окружения в режиме «Горизонт» представлен на рисунке 3.

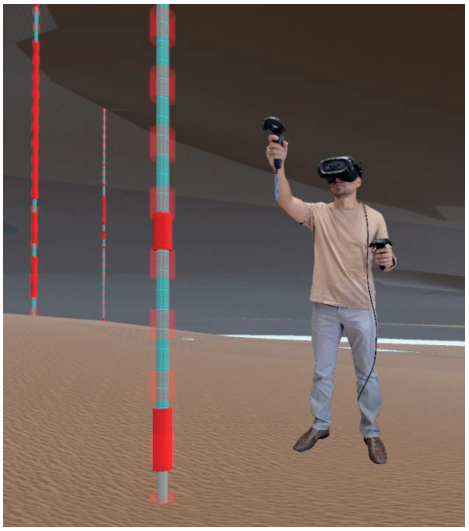


Рисунок 3 – Виртуальное окружение в режиме «Горизонт»

При выборе режима «Стол» виртуальная модель залежи располагается над плоскостью виртуального стола. Пользователь находится рядом со столом и может видеть всю модель целиком. В этом режиме пользователь может осуществлять следующие действия: осуществлять поворот и наклон стола; пропорционально раздвигать пропластки продуктивного горизонта, для анализа внутренней структуры; просматривать контур рудного тела, распределения концентрации урана, кислоты и сульфат иона; строить геологические разрезы; просматривать геологическую колонку по скважинам. Внешний вид виртуального окружения в режиме «Стол» представлен на рисунке 3.

В обоих режимах присутствует возможность настройки VR пространства с помощью меню настройки отображения, где можно скрыть или показать объекты виртуального пространства, изменить масштаб модели и т.д.

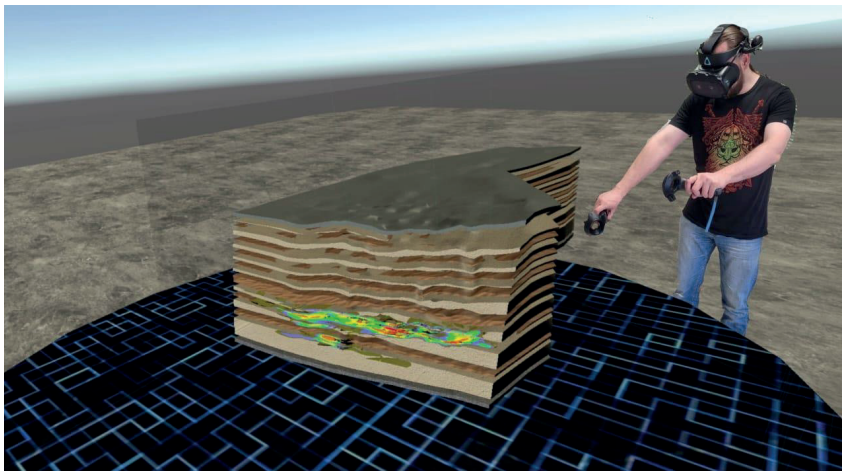


Рисунок 4 – Виртуальное окружение в режиме «На столе»

В режиме «Горизонт» для перемещения пользователя в интересующую область есть несколько вариантов: с помощью телепорта в области видимости, с помощью плана залежи, перемещение внутри игровой зоны и полет (с изменяемой скоростью). Для ориентации пользователя в пространстве присутствует инструмент «План залежи», на котором отмечено положение пользователя на плане, направление его взгляда, а также положение по вертикали (относительно рудного горизонта).

Скважины в виртуальном пространстве содержат такие структурные элементы как: ствол, фильтр, гравийную обсыпку, рудные интервалы и рудные пересечения. Так же у технологических скважин присутствует анимация направления движения растворов (для откачных скважин красным цветом, для закачных синим). В программе существует возможность провести декомпозицию скважины, для изучения ее структуры. Так же имеется возможность открыть геологическую колонку по скважине, которую можно позиционировать с помощью VR контроллеров.

Рудное тело и распределения физических величин в виртуальном пространстве отображаются в виде поверхностей с равным содержанием или концентрацией. Цвет изоповерхности зависит от выбранного значения величины. Контура геологических блоков в модуле отображаются в виде гексагональной сетки, ограничивающей блок. Кроме того, когда пользователей оказывается внутри контура блока, перед ним появляется сообщение с названием блока. Пользователь может получать информацию по скважинам в табличном виде, либо в виде геологической колонки.

Для анализа структуры рудного тела в виртуальном пространстве, присутствует инструмент «секущая плоскость», он позволяет строить геологические разрезы, как бы отсекая часть залежи невидимой плоскостью. В результате, на срезе можно видеть, как располагается рудное тело внутри продуктивного горизонта.

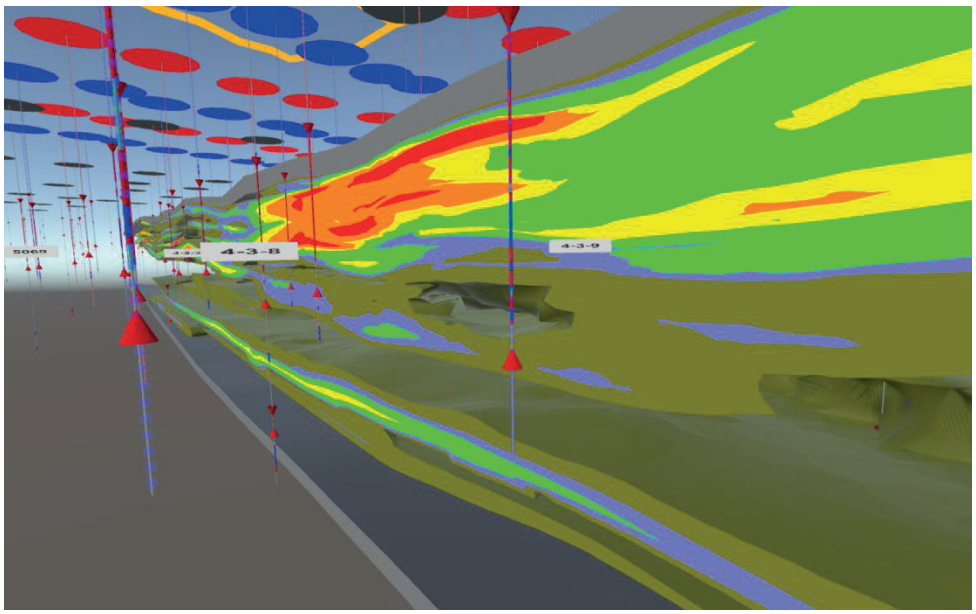


Рисунок 5 – Построение геологического разреза в виртуальном пространстве

Для анализа движения растворов в модуле присутствует инструмент «движение растворов». Этот инструмент, на основе данных о скоростях движения растворов, полученных в результате 3D геотехнологического моделирования, позволяет строить ленты тока между откачными и заказными скважинами. В процессе построения цвет лент тока изменяется в соответствии с концентрацией урана в определенной точке продуктивного горизонта.

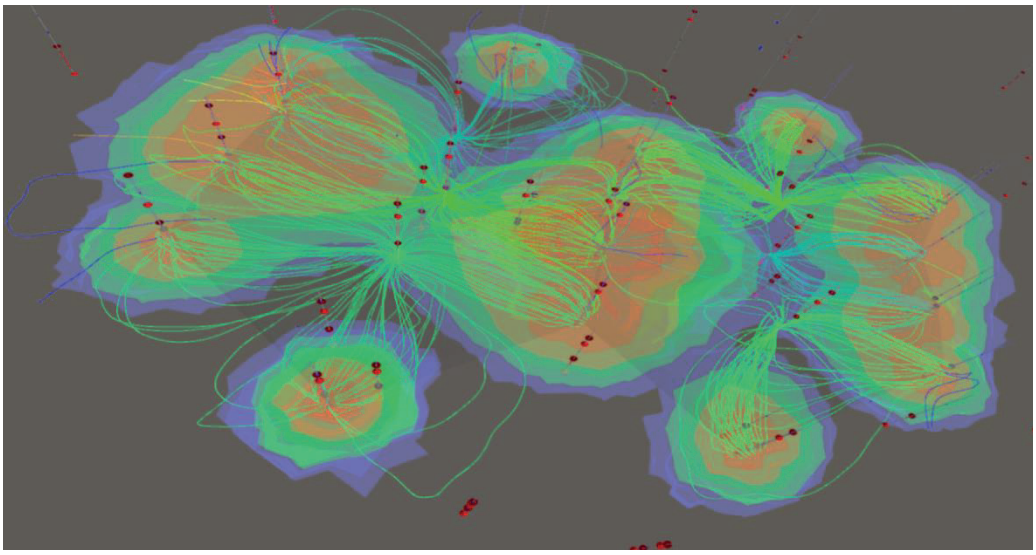


Рис. 6 – Построение лент тока в виртуальном пространстве

Так же в модуле присутствует инструмент «фотоаппарат» который позволяет сделать снимки виртуального окружения, которые помещаются в определенную папку на компьютера и могут быть использованы для дальнейшего анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технологии виртуальной реальности для изучения пластового инфильтрационного месторождения урана позволяет повысить качество управленческих решений при проектировании и отработке эксплуатационных блоков за счет: получения целостного представления о структуре продуктивного горизонта за счет эффекта присутствия внутри геологической среды; оперативного доступа к геологической, гидрогеологической и геотехнологической информации о морфологии рудных тел, фильтрационном строении продуктивного горизонта, интервалах посадки фильтров технологических скважин и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Истомин А.Д., Ладейщиков А.В., Лаптев Ю.И., Носков М.Д., Чеглоков А.А. Опыт применения геолого-математического моделирования пластово-инфильтрационных систем на примере Далматовского месторождения урана // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 1. – С. 22–26.

2. Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А. Горно-геологическая информационная система для месторождения, разрабатываемого методом скважинного подземного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 7. – С. 178–183.

3.Валитов С.Н., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носков М.Д. Трехмерное моделирование скважинного подземного выщелачивания урана // Известия вузов. Физика. – 2017. – № 11-2. – Т. 60. – С. 3–7.

4.Теровская Т.С., Кеслер А.Г., Носков М.Д. Математическая модель изменения состояния продуктивного горизонта при серно-кислотном скважинном выщелачивании урана // Известия вузов. Физика. – 2021. – № 12-2. – Т. 64. – С. 119–124.

5. Истомин А.Д., Бабкин А.С., Носков М.Д., Чеглоков А.А., Попонин Н.А. Технологическая информационная система для контроля и управления добычным комплексом предприятия по добыче урана методом подземного выщелачивания // Цветные металлы. – 2012. – №1/3. – С.16–22.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «СКВАЖИНА» ДЛЯ ПОЛЕВОГО ПЕРСОНАЛА ДОБЫЧНОГО ПОЛИГОНА ПСВ УРАНА

Березин А.А.[1], Гуцул М.В.[1], Ежуров Д.О.[2], Истомин А.Д [1], Кадыров К.К.[2], Лавров А.С.[2], Носков М.Д.[1], Сербин А.В.[1], Чеглоков А.А.[1]
[1]Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск, РФ
[2]АО «Далур», РФ

Аннотация. Представлено мобильное приложение для оперативного доступа полевого персонала к информации о состоянии скважины и оборудования в полевых условиях на добычном комплексе предприятия по добыче урана методом подземного скважинного выщелачивания.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание, технологическая скважина, добыча урана, информационная система, мобильное приложение.

MOBILE APPLICATION “WELL” FOR FIELD PERSONNEL OF THE URANIUM ISL GROUND

Berezin A.A.[1], Gutsul M.V.[1], Yezhurov D.O.[2], Istomin A.D.[1], Kadyrov K.K.[2], Lavrov A.S.[2], Noskov M.D.[1], Serbin A.V.[1], Cheglokov A.A.[1]
[1]Seversk Technological Institute National Research Nuclear University MEPhI, Seversk, Russian Federation
[2] Dalur, JSC, Russian Federation

Abstract. A mobile application is presented for field personnel to quickly access information about the condition of the well and equipment in the field at the mining complex of a uranium mining enterprise using the in-situ leaching method.

Key words: Underground In-Situ Leaching, Borehole Mining, Technological well, uranium mining, information system, mobile application.

Введение

В настоящее время на горнодобывающих предприятиях активно применяются цифровые технологии, которые все чаще переносятся на мобильные платформы. Работникам предприятия необходимо получать доступ к актуальным данным и сохранять новую информацию, не имея доступа к персональным компьютерам. В настоящее время на рынке программного обеспечения существует большое количество мобильных приложений для работы геологов и геодезистов в полевых условиях [1–6]. Однако готовые мобильные решения для предприятий по добыче урана методом подземного скважинного выщелачивания отсутствуют.

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) – это процесс извлечения полезных ископаемых с помощью систем технологических скважин. Полигон ПСВ включает в себя сотни откачных и закачных скважин, требующих в процессе своей эксплуатации регулярного технического обслуживания и контроля работы. На скважинах с помощью применения специального оборудования проводятся геофизические исследования, мероприятия по восстановлению дебита откачных и приемистости закачных скважин, замена и установка насосных агрегатов, ремонт обсадных колонн и др. [7]. Часто при выполнении работ персоналу необходимо иметь доступ к информации о состоянии скважины и оборудования, которая хранится в базах геологических и технологических данных предприятия. Для решения этих задач было разработано мобильное приложение, работающее на мобильных устройствах под управлением операционной системы Android.

Функциональные возможности мобильного приложения

Мобильное Android-приложение обеспечивает информационную поддержку работы персонала с геологическими и технологическими данными в полевых условиях. Программное обеспечение позволяет пользователю оперативно получать актуальную информацию о скважине на геотехнологическом полигоне, а также вводить новые данные по насосным агрегатам, работе откачных и закачных скважин, проведенных ремонтно-восстановительных работах (РВР), событиям и замечаниям, относящимся к скважине или блоку.

Выбор скважины производится с помощью сканирования специальной метки (QR-кода) или выбором скважины из списка. Положение выбранной скважины отображается на плане месторождения.

При работе с приложением используемые технологические и геологические данные хранятся в локальной базе данных мобильного устройства. Для обеспечения актуальности информации производится импорт данных из геологической и технологической баз данных предприятия в локальную базу, а новая информация экспортируется в базы данных предприятия.

Принципы работы мобильного приложения для полевого персонала на добычном полигоне ПСВ урана показаны на рисунке 1.

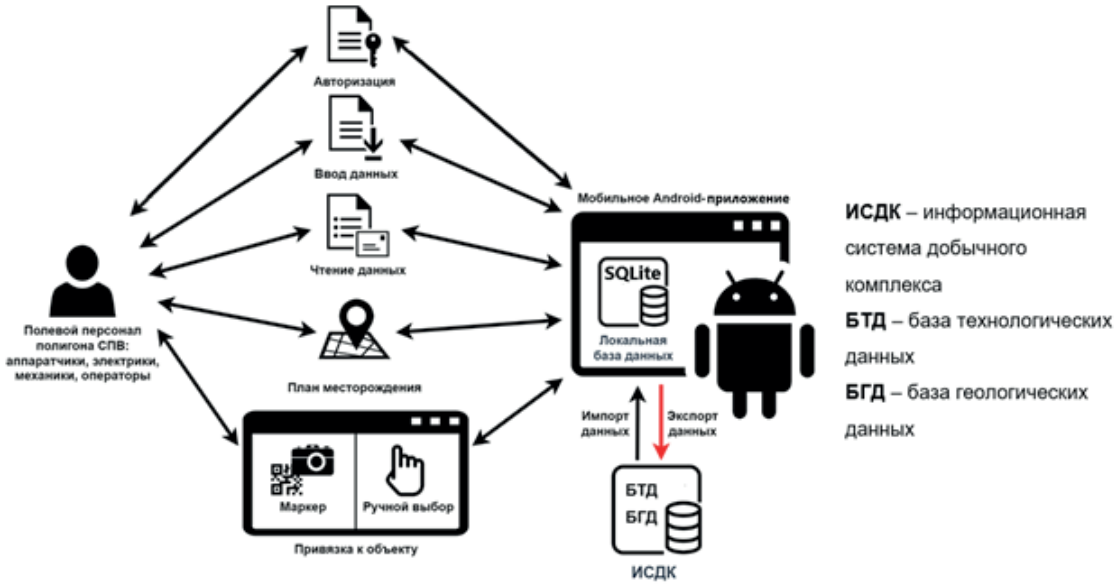


Рисунок1 – Принципы работы мобильного приложения

Перечень данных, связанных с технологическими и наблюдательными скважинами, который доступен полевому персоналу при работе с мобильным приложением, представлен на таблице 1.

Таблица 1 – Предоставляемые данные по типам скважин

Данные	Закачные скважины	Откачные скважины	Наблюдательные скважины
Номер скважины	+	+	+
Координаты скважины	+	+	+
Геологические данные	+	+	
Конструкция скважины	+	+	
Дебит скважины, зависимость дебита от времени		+	
Уровень раствора в скважине			+
Приемистость скважины, зависимость приемистости от времени	+		
Результаты химических анализов		+	+
Данные по насосным агрегатам		+	
Данные геофизического исследования скважины (ГИС)	+	+	
Данные ремонтно-восстановительных работ (РВР)	+	+	
Данные событий и замечаний	+	+	+

Программное обеспечение разработано на основе модульного подхода, позволяющего разбить приложение на независимые друг о друга компоненты, каждый из которых обеспечивает определенную функциональность. Использование данного подхода позволяет легко расширять приложение и менять отдельные компоненты без влияния на работу всего приложения.

Структурная схема мобильного приложения представлена на рисунке 2.

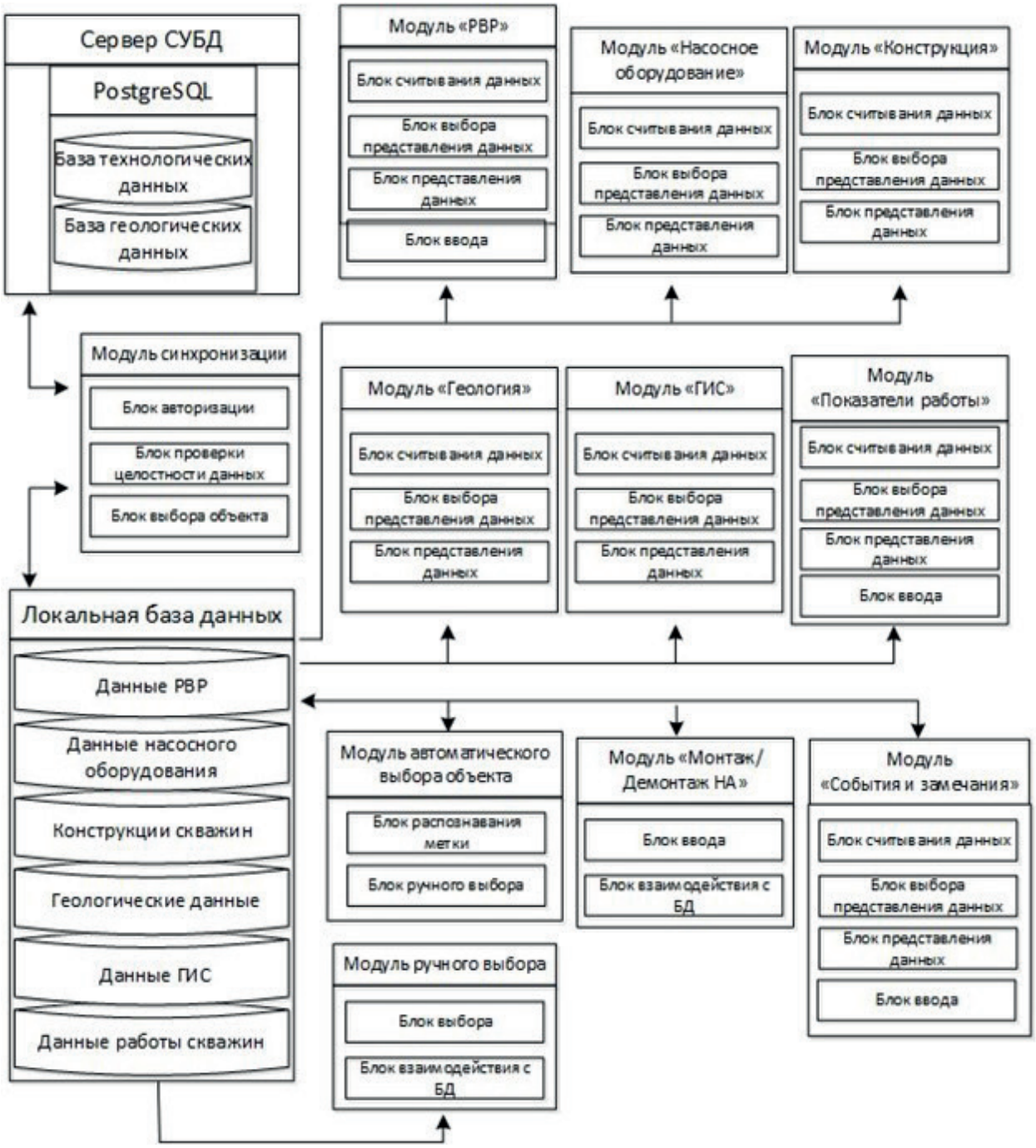


Рисунок 2 – Структурная схема мобильного приложения

Реализация мобильного приложения

В качестве аппаратного обеспечения применяется мобильные устройства (телефон или планшет) под управлением ОС Android 9.0 и выше. Данная ОС выбрана в связи с тем, что Android лидирует среди всех операционных систем на мировом рынке и установлен на 69% мобильных устройств [8]. В России среди смартфонов Android составляет 70% устройств и 68% устройств среди планшетов [9]. Также Android является ОС с открытым исходным кодом.

Программное обеспечение создано с использованием языков программирования Java и Kotlin в среде разработки Android Studio. Для хранения и загрузки данных используется система управления базами данных SQLite. Реализованы модули для взаимодействия с базами данных Microsoft SQL и PostgreSQL. Также в приложении используется среда управления Glide для работы с изображениями [10], набор инструментов ML Kit для сканирования QR-кода [11] и библиотека Android.Speech для записи аудиофайлов [12].

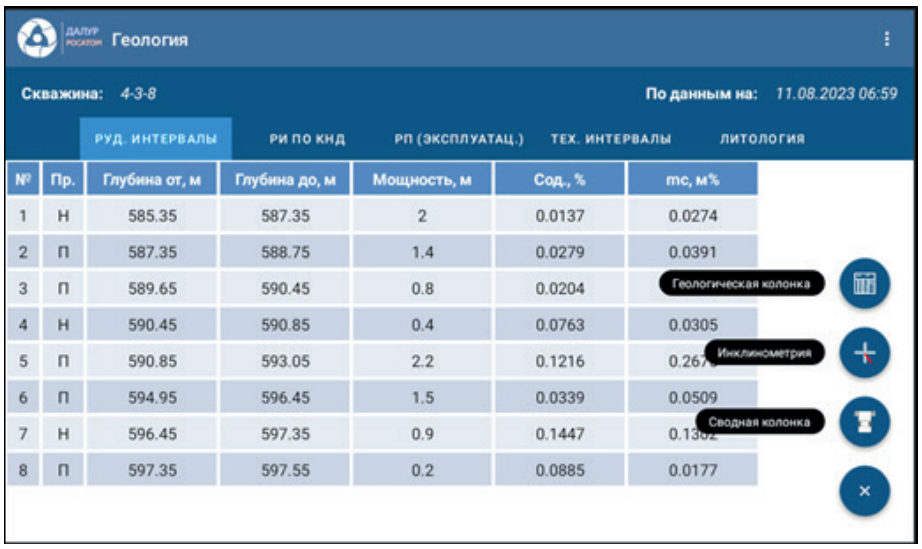
Так как полевой персонал работает в поле весь год при различных условиях, в качестве аппаратного решения был выбран промышленный Android-планшет серии MIG, являющийся ударопрочным, морозостойким и водонепроницаемым (прошел сертификацию на степень защиты IP67) [13].

Модуль синхронизации отвечает за импорт и экспорт данных между мобильным устройством и предприятием. При импорте загружаются только часть данных, необходимых для работы на указанном пользователем добычном полигоне предприятия. При экспорте базы выполняется инкрементный экспорт данных. При этом у пользователя имеется возможность исправления экспортируемых данных.

Выбор скважины осуществляется двумя способами: вручную и автоматически. Ручной выбор осуществляется путем выбора скважины непосредственно из списка. Автоматический выбор скважины осуществляется путем сканирования специальной метки (QR-кода), находясь в непосредственной близости с объектом. На рисунке 3 представлен пример расположения QR-кода на скважине.

Рисунок 3 – Расположение QR-кода на скважине

Модуль «Геология» предназначен для отображения геологических данных по скважинам таких как: рудные интервалы, рудные пересечения, технологические интервалы, литология. Интерфейс модуля «Геология» представлен на рисунке 4. Также модуль позволяет открыть дополнительные вкладки: «Инклинометрия», «Геологическая колонка» и «Сводная колонка».



№	Пр.	Глубина от, м	Глубина до, м	Мощность, м	Сод., %	mc, м%
1	Н	585.35	587.35	2	0.0137	0.0274
2	П	587.35	588.75	1.4	0.0279	0.0391
3	П	589.65	590.45	0.8	0.0204	
4	Н	590.45	590.85	0.4	0.0763	0.0305
5	П	590.85	593.05	2.2	0.1216	0.267
6	П	594.95	596.45	1.5	0.0339	0.0509
7	Н	596.45	597.35	0.9	0.1447	0.13
8	П	597.35	597.55	0.2	0.0885	0.0177

Рисунок 4 – Интерфейс модуля «Геология»

Модуль «Конструкция» позволяет получить доступ к данным конструкции скважины (описание скважины, конструктивные элементы скважины). Модуль позволяет открыть дополнительные вкладки «Сводная колонка», «Геологическая колонка» и «План месторождения», на котором отображается полный план месторождения с указанием выбранной скважины. Пример плана залежи представлен на рисунке 5.

Рисунок 5 – План месторождения

Модуль «Насосное оборудование» позволяет получить доступ к данным насосного оборудования скважины: история замены насосного оборудования, информация об насосе и двигателе, установленных на скважине.

Модуль «Монтаж/демонтаж НА» позволяет вводить новые данные по операциям с насосным оборудованием (монтаж/демонтаж насосного оборудования; замена насоса/двигателя). Также модуль отображает историю операций с насосным оборудованием.

Модуль «Показатели работы» предназначен для отображения данных, характеризующих работу скважины за время ее эксплуатации. Отображаемая информация разделена на следующие вкладки:

• контроль работы;
• дебиты (таблица\графики);
• состав раствора (таблица\графики).

Окно вкладки «Состав раствора (графики)» представлено на рисунке 6.

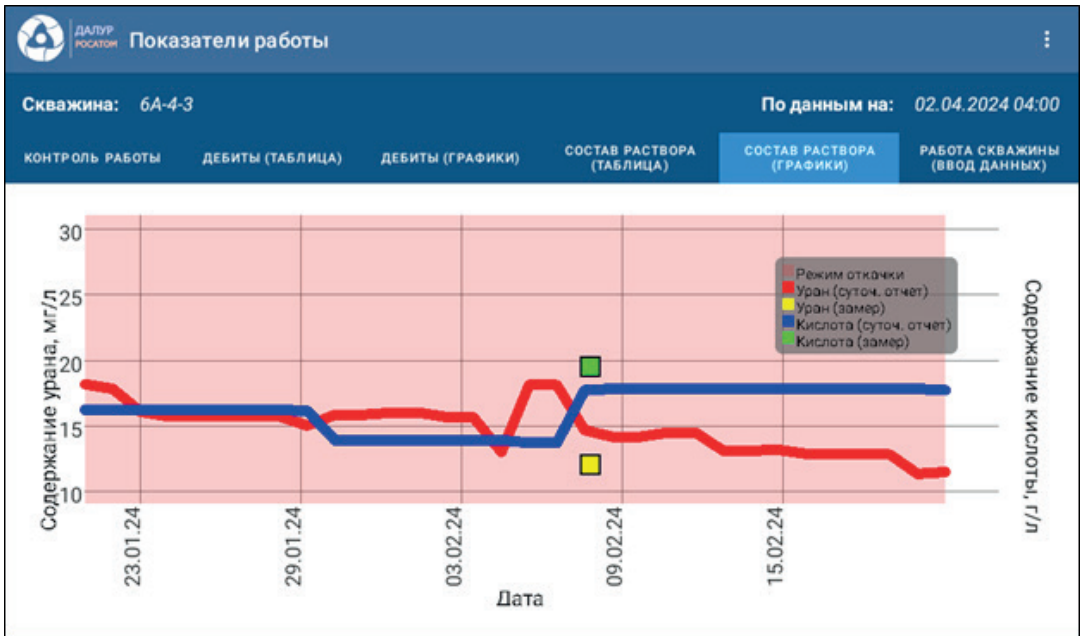


Рисунок 6 – Окно вкладки «Состав раствора (графики)»

Модуль «ГИС» позволяет получить доступ к данным геофизического исследования скважины. Содержит две вкладки: «Каротажи» и «Отчеты». Окно вкладки «Отчеты» представлено на рисунке 7.

Рисунок 7 – Окно вкладки «Отчеты»

Модуль «РВР» предназначен для отображения данных по всем проведенным ремонтно-восстановительным работам на скважине. Отображаются такие данные, как дата проведения РВР, тип РВР, дебиты до и после проведения РВР, абсолютная и относительная эффективности проведенных РВР.

Модуль «События и замечания» предназначен для просмотра записей событий и замечаний по скважине или технологическому блоку, а также внесения новых или редактирования уже имеющихся записей. Модуль предоставляет возможность сохранения замечаний в виде аудиозаписей или фотографий.

Заключение

Разработанное мобильное приложение повышает эффективность работы полевого персонала за счет оперативного доступа к геологической и технологической информации, необходимой для выполнения работ на скважинах. Исключение промежуточных записей при вводе актуальных данных по скважинам в технологическую базу данных экономит время, снижает риск ошибок и предотвращает потерю информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мобильные приложения для геологов и геодезистов: инструменты для полевых работ. [Электронный ресурс]. URL: https://applications.kz/article-mobilnye-prilozheniya-dlya-geologov-i-geodezistov-instrumenty-dlya-polevyx-rabot.html (дата обращения: 02.04.2024).

2. Mappt [Электронный ресурс]. URL: https://mappt.com.au (дата обращения: 03.04.2024).

3. ArcGIS Collector Resources | Tutorials, Documentation, Videos & More [Электронный ресурс]. URL: https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-collector/resources (дата обращения: 03.04.2024).

4. rockd [Электронный ресурс]. URL: https://rockd.org (дата обращения: 03.04.2024).

5. Trimble Catalyst | GNSS Systems | Trimble Geospatial [Электронный ресурс]. URL: https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-catalyst (дата обращения: 03.04.2024).

6. Avenza Maps - Avenza Systems Inc. [Электронный ресурс]. URL: https://www.avenza.com/avenza-maps (дата обращения: 03.04.2024).

7. Акимова И.Д., Бабкин А.С., Воронцова О.М. и др. Геотехнология урана (российский опыт) – М.: КДУ, 2017. – 576 с.

8. StatCounter Global Stats. Mobile OS Market Share Worldwide. [Электронный ресурс]. URL: https://gs.statcounter.com/os-market-share/ mobile/worldwide (дата обращения: 02.04.2024).

9. StatCounter Global Stats. Mobile OS Market Share in Russian Federation. [Электронный ресурс]. URL: https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/russian-federation (дата обращения: 02.04.2024).

10. Glide v4 Fast and efficient image loading for Android [Электронный ресурс]. URL: https://bumptech.github.io/glide (дата обращения: 04.04.2024).

11. ML Kit [Электронный ресурс]. URL: https://developers.google.com/ml-kit/guides (дата обращения: 04.04.2024).

12. android.speech | Android Developers [Электронный ресурс]. URL: https://developer.android.com/reference/android/speech/package-summary (дата обращения: 04.04.2024).

13. Купить защищенный планшет MIG T8X с мощным аккумулятором [Электронный ресурс]. URL: https://m-infogroup.ru/oborudovanie/planshetnye-kompjutery/1108-promyshlennyj-planshet-mig-t8x-arm (дата обращения: 03.04.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Цой Дана, Дайнеко Евгения, Болатов Жигер, Туржанов Үмітхан
Международный университет информационных технологий
г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Ядерная промышленность обладает огромным потенциалом, однако требует щепетильного обращения и тщательной подготовки. Неумелое использование ядерных технологий может привести к катастрофическим последствиям. По этой причине возможность тренировок и моделирования разнообразных случаев с помощью иммерсивных технологий – отличное решение для снижения рисков разного рода. Данная статья является обзором на примеры использования иммерсивных технологий в обучении персонала, проектировании, моделировании и планировании в разных видах промышленности.

Ключевые слова. Иммерсивные технологии, обучение, симуляторы, виртуальная реальность

Введение

Ежегодно иммерсивные технологии (дополненная AR и виртуальная VR реальности) захватывают все новые сферы и демонстрируют широкий спектр применения [1, 2]. Применение VR и серьезных игр в промышленности привлекает все больше внимания благодаря своей эффективности и потенциалу для улучшения производственных процессов, снижения затрат и повышения безопасности.

В свою очередь ядерная промышленность также является одной из самых технологически продвинутых и строго регулируемых отраслей в мире. В такой среде использование передовых технологий не только стимулирует инновации, но и играет критическую роль в обеспечении безопасности и соблюдении стандартов.

В этой статье мы рассмотрим, каким образом иммерсивные технологии внедряются в различные аспекты промышленности, сфокусировавшись на их воздействии на обучение персонала, проектирование, обслуживание и безопасность операций.

Сложность ядерной энергетики требует постоянного совершенствования и современных подходов. В связи с этим, исследование и реализация иммерсивных технологий представляют собой обнадеживающий шаг в направлении более безопасного, эффективного и устойчивого будущего для ядерной промышленности.

Иммерсивные технологии используются в самых разных сферах включая маркетинг, образование, военную индустрию, индустрию развлечений, а также промышленность в целом. Использование технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности делают возможным реализацию новых механик обучения персонала, проектирования, моделирования и планирования.

Например, в компании Honeywell была предложена программа обучения на базе виртуальной реальности для операторов на нефтегазовых платформах. Эта программа позволяет имитировать различные сценарии и аварийные ситуации, обучая операторов реагировать на них эффективно и безопасно [3].

Опыт компании Siemens показал, что ВР позволяет позволяет обнаруживать и исправлять потенциальные проблемы на ранних стадиях проектирования, внедрив VR-платформу, которая позволяет инженерам и дизайнерам взаимодействовать с трехмерными моделями оборудования и объектов [4].

Также ВР находит применение в области логистики. Например, компания UPS использует VR для обучения своих сотрудников погрузке и разгрузке грузов. Это позволяет сотрудникам практиковать эффективные методы работы, минимизируя ошибки и увеличивая производительность [5].

Использование иммерсивных технологий в ядерной промышленности определена на рисунке 1. Так, например ВР и ДР позволяют симулировать реальные рабочие сценарии внутри ядерных реакторов или на ядерных объектах без риска для безопасности. Персонал может практиковать процедуры обслуживания, реагирования на аварии и другие критические навыки в виртуальной среде.

Иммерсивные технологии позволяют создавать трехмерные модели реакторов, что помогает инженерам и операторам лучше понимать динамику реакторных процессов и прогнозировать поведение систем в различных сценариях.

ДР может использоваться для предоставления операторам информации о состоянии и технических характеристиках оборудования в реальном времени. Это может упростить процессы обслуживания и устранения неполадок, улучшая эффективность и безопасность работ.

ВР-симуляции могут помочь обучать персонал реагированию на аварийные ситуации в условиях, максимально приближенных к реальности. Это помогает улучшить подготовку персонала к критическим ситуациям и снижает риск возникновения человеческих ошибок.

ВР-моделирование может быть использовано для проектирования новых ядерных установок, позволяя инженерам и дизайнерам взаимодействовать с будущими объектами на ранних стадиях проектирования и выявлять потенциальные проблемы или улучшения.

Иммерсивные технологии могут быть использованы для обучения персонала правилам безопасности и соблюдения регулирующих норм в ядерной промышленности, что способствует снижению риска возникновения инцидентов и повышению профессионального уровня работников.

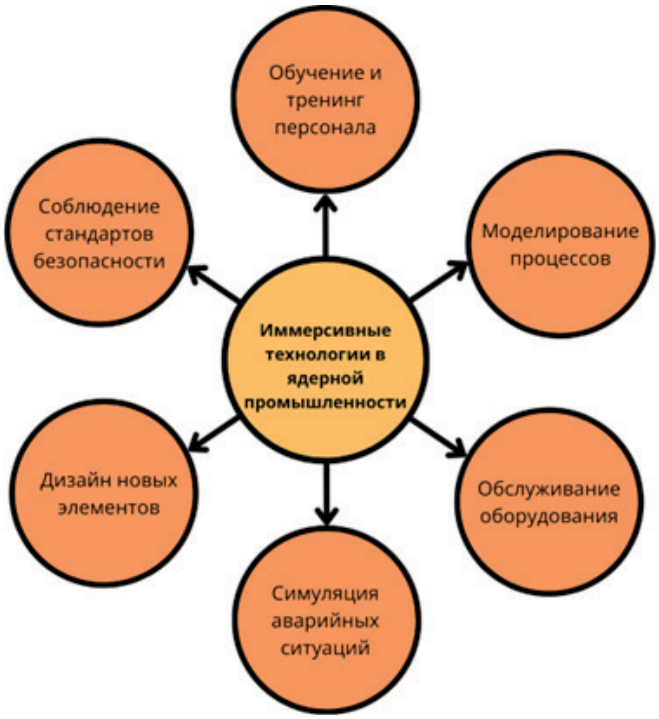


Рисунок 1 – Сферы внедрения иммерсивных технологий в ядерной промышленности

Многие компании, работающие в данной области, уже имеют опыт внедрения иммерсивных технологий в свой рабочий цикл. Так, например, авторы в статье [6] описывают применение виртуальной реальности и серьезных игр в контексте обучения персонала ядерной промышленности, обсуждают их эффективность и потенциальное влияние на безопасность и эффективность операций.

В статье [7] авторы провели анализ применения ВР и серьезных игр в ядерной промышленности. На примере симуляторов, использующихся для обучения персонала, были рассмотрены как общие принципы ВР, так и специфические приложения для тренировки в ядерной сфере. Авторы проанализировали эффективность таких подходов и привели примеры успешного использования этих технологий в ядерной промышленности.

Операторов ядерных установок также обучают с использованием иммерсивных технологий [8]. Это позволило повысить уровень безопасности и эффективности сотрудников.

Компания Governova также занимается разработкой симуляторов ВР, которые согласно их исследованиям, на 76% являются более эффективными по сравнению с традиционными методами. Кроме того, они позволяют имитировать разные, сложные сценарии, проходить их неограниченное количество раз, что содействует понять реакции людей в данных условиях, обучить правильному алгоритму действий в критических ситуациях [9].

Неограниченный спектр использования ВР в ядерной промышленности также описывается в [10]. Помимо эффективности и нетривиального подхода к обучению отмечается масштрабирумость подобных решений, а также относительная дешевизна симуляторов виртуальной реальности по сравнению с реальными установками.

Заключение

Иммерсивные технологии представляют собой неотъемлемый элемент современной промышленности, обеспечивая новые возможности для обучения, проектирования и обслуживания. В данной статье мы рассмотрели различные аспекты применения виртуальной и дополненной реальности в этой отрасли, их влияние на безопасность, эффективность и профессиональное развитие персонала.

Отметим, что использование иммерсивных технологий в ядерной промышленности не только повышает уровень безопасности и качество операций, но и способствует инновациям и развитию отрасли в целом. Постоянное совершенствование и внедрение передовых технологий являются ключевыми факторами для обеспечения устойчивого и ответственного развития ядерной энергетики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Samala, A.D., Usmeldi, Taali, Daineko, Y., Indarta, Y., Nando, Y.A., Anwar, M., & Jaya, P. (2023). Global Publication Trends in Augmented Reality and Virtual Reality for Learning: The Last Twenty-One Years. International Journal of Engineering Pedagogy, 13(2), 109–128.
2. Nasdaq: сайт. – URL: https://www.nasdaq.com/articles/virtual-reality-ventures:-3-stocks-pioneering-immersive-technology (дата обращения: 5.04.2024)
3. Virtual reality ventures in oil and gas industry: сайт. – URL: https://news.microsoft.com/ru-ru/features/neftegas/ (дата обращения: 10.04.2024)
4. Siemens (2023): VIROO VR Platform сайт. – URL: (дата обращения: 4.04.2024)
5. UPS (2023): Virtual reality helping to create safety for UPS drivers. сайт. – URL: (дата обращения: 5.04.2024)
6. Roy S., Singh S. XR and digital twins, and their role in human factor studies //Frontiers in Energy Research. – 2024. – Т. 12. – С. 1359688.
7. Gibson J. et al. A Review of Applications of Virtual Reality and Serious Games in Nuclear Industry Training Scenarios.
8. Popov, O. et al. (2021): Application of virtual and augmented reality at nuclear power plants. In Systems, Decision and Control in Energy II (pp. 243-260). Cham: Springer International Publishing.
9. Governova (2024). Virtual Training Simulator for Nuclear Industry. сайт. – URL: (дата обращения: 4.04.2024)
10. Foronuclear.org (2024): Virtual Reality in the Nuclear Industry. сайт. – URL: https://www.foronuclear.org/en/updates/in-depth/virtual-reality-in-the-nuclear-industry/(дата обращения: 4.04.2024)

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ РУДНИКА ПСВ

Гуцул М.В.[1], Ежуров Д.О.[2], Истомин А.Д.[1], Кадыров К.К.[2], Лавров А.С.[2], Носков М.Д.[1], Сакирко Г.К.[1], Сербин А.В.[1], Чеглоков А.А.[1]

[1]Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск, Российская Федерация

[2]АО «Далур», Российская Федерация

MVGutsul@mephi.ru

Аннотация. Рассматривается информационная система планирования и контроля работы рудника подземного скважинного выщелачивания. Информационная система обеспечивает внесение плановых и фактических показателей работы предприятия; выявление отклонений плановых и фактических показателей; визуализацию данных в табличном и графическом представлениях; регистрацию проблемы и оповещение ответственного персонала в случае выявления отклонений; контроль за жизненным циклом проблем.

Ключевые слова: добыча урана, подземное скважинное выщелачивание, информационная система, программный комплекс, производственное планирование и контроль, план-фактный анализ, управление проблемами.

SOFTWARE PACKAGE FOR PLANNING AND CONTROLLING THE OPERATION OF THE IN-SITU MINE

Gutsul M.V.[1], Ezhurov D.O.[2], Istomin A.D.[1], Kadyrov K.K.[2], Lavrov A.S.[2], Noskov M.D.[1], Sakirko G.K.[1], Serbin A.V.[1], Cheglokov A.A.[1]

1 Seversk Technological Institute NRNU MEPhI, Seversk, Russian Federation

2 JSC «Dalur», Russian Federation

MVGutsul@mephi.ru

Abstract. An information system for planning and monitoring the operation of an in-situ leaching mine is considered. The information system provides input of planned and actual performance indicator values of the enterprise; identifying actual indicator value deviations from planned one; visualization of data in tabular and graphical representations; registration of the problem and notification of responsible personnel in case of deviation detection; control over the life cycle of problems.

Key words: uranium mining, in-situ leaching, information system, software package, production planning and control, plan-fact analysis, problem management.

Введение

Добыча урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) представляет собой совокупность сложных производственных и бизнес процессов, в которые вовлечены различные подразделения геотехнологического предприятия [1–2]. Эффективность управления работой предприятия напрямую зависит от своевременного получения руководством разнородной информации о деятельности предприятия, выявления отклонений плановых и фактических показателей с последующим проведением корректирующих мероприятий. В настоящее время на рынке программного обеспечения существует большое количество систем класса ERP (Enterprise Resource Planning), предназначенных для учета, планирования и контроля деятельности предприятия [3–6]. Однако готовые решения не всегда возможно эффективно интегрировать в уже существующую информационную экосистему управления предприятием, а их функциональные возможности могут не полностью соответствовать задачам, стоящим перед руководством предприятия. В настоящей работе представлена специализированная информационная система производственного планирования и контроля для предприятия, ведущего добычу урана способом ПСВ.

Структура программного комплекса

Информационная система производственного планирования и контроля представляет собой комплекс клиентских программ, отвечающих за решение следующих задач:

− внесение плановых и фактических показателей работы предприятия;
− выявление отклонений плановых и фактических показателей с помощью метода план-фактного анализа;
− визуализация данных в табличном и графическом представлениях;
− регистрация проблемы и оповещение ответственного персонала в случае выявления отклонений;
− контроль за жизненным циклом проблем, решаемых подразделениями предприятия.

В состав комплекса входят программы для проведения план-фактного анализа показателей работы предприятия («Сбор данных» и «Представление и анализ данных») и программы, предназначенные для управления проблемами предприятия («Карточка проблемы» и «Панель управления проблем») (рис. 1). Программный комплекс осуществляет обмен информацией с хранилищем данных предприятия. В хранилище входят базы геологических, технологических и экономических данных, а также базы данных план-фактного анализа и управления проблемами.

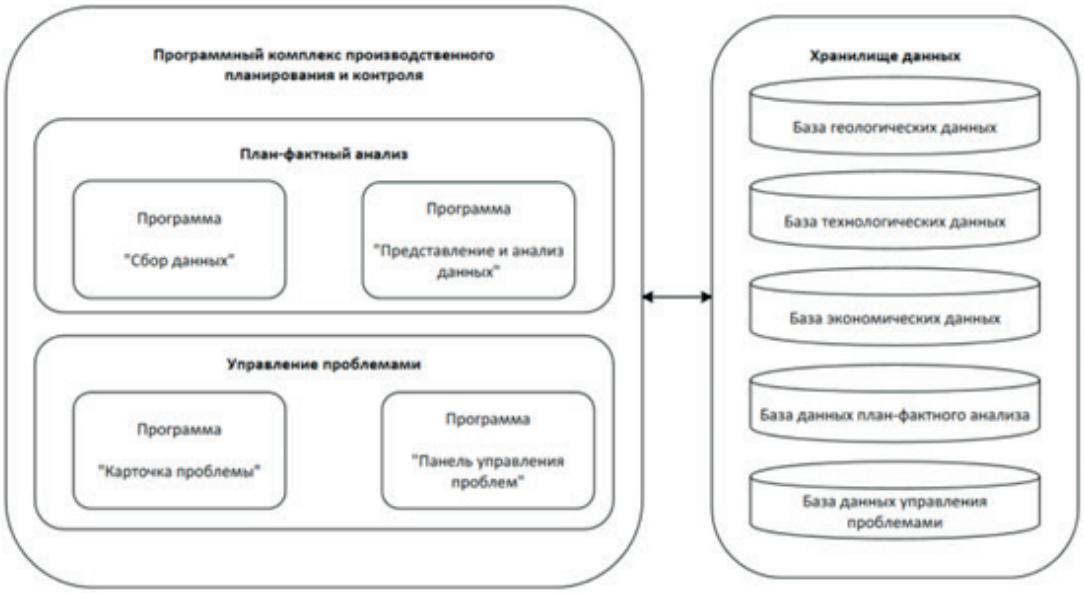


Рисунок 1 – Структурная схема программного комплекса производственного планирования и контроля

Программный комплекс создан в среде разработке Embarcadero RAD Studio на языке C++ с использованием паттернов и принципов объектно-ориентированного программирования. Графический интерфейс разработан с помощью компонентов визуальной библиотеки VCL. Взаимодействие программного комплекса с хранилищем данных осуществляется с помощью системы управления базами данных (СУБД) PostgreSQL на основе клиент-серверной технологии. Рассылка электронных писем для уведомления ответственного персонала осуществляется с помощью SMTP-сервера.

Сбор данных

Программа «Сбор данных» предназначена для внесения плановых и фактических данных о показателях работы добычного и перерабатывающего комплексов, запасам химических реагентов, экономическим показателям предприятия. Во время работы программа взаимодействует базами технологических, экономических данных и с базой данных план-фактного анализа.

Программа позволяет осуществлять сбор данных следующими способами:
− загрузка данных из всей информационной экосистемы предприятия;
− ручной ввод данных с помощью пользовательского интерфейса;
− экспорт готового набора данных из Excel-файла.

Пример рабочего окна для ввода данных приведён на рисунке 2.

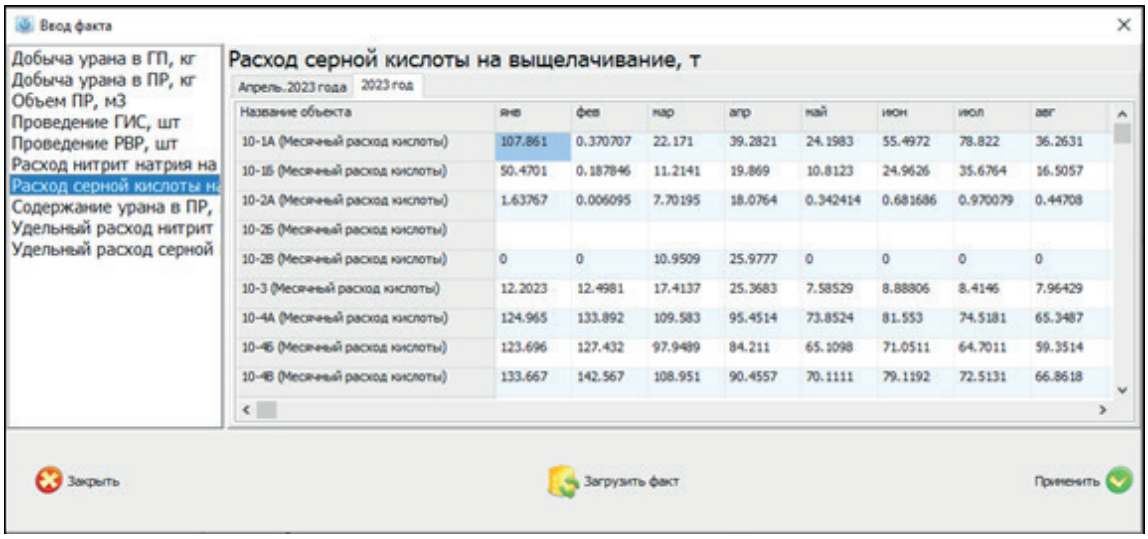


Рисунок 2 – Окно ввода данных

Геотехнологические данные по объектам добычного комплекса могут вноситься посуточно и помесячно для блока, залежи, участка и предприятия в целом. Помимо ввода плановых и фактических значений показателей предприятия, с помощью программы также можно вносить данные по контрольным сериям, необходимым для выявления отклонений фактических данных. Каждому показателю соответствует свой набор контрольных серий. Все внесенные данные по показателям и контрольным сериям сохраняются в базе данных план-фактного анализа.

Представление и анализ данных

Программа «Представление и анализ данных» предназначена для оперативного доступа к введенным данным по показателям работы добычного и перерабатывающего комплексов, запасам химических реагентов, экономическим показателям предприятия. Программа осуществляет визуализацию данных по показателям предприятия в виде наборов плиток, сгруппированных по группам показателей (рис. 3). Представление данных в программе формируется динамически на основе информации о настройке пользовательского интерфейса, хранящегося в базе данных план-фактного анализа. Пользовательский интерфейс программы разработан и адаптирован под мониторы с сенсорным экраном и имеет поддержку взаимодействия программой с помощью интерактивных жестов.

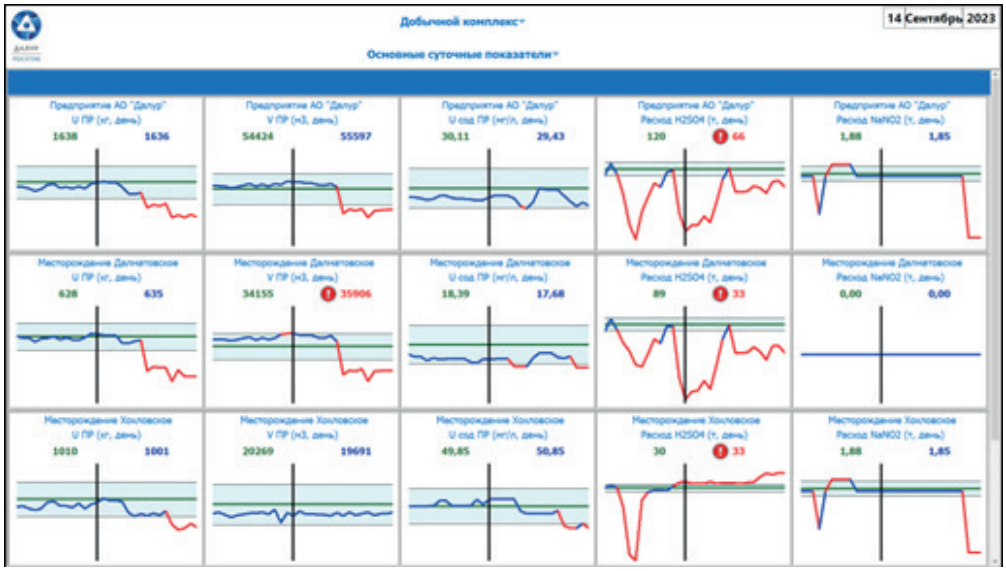


Рисунок 3 – Представление данных по показателям

Помимо функционала представления данных, программа осуществляет выявление отклонений фактических значений показателей с помощью метода план-фактного анализа. Принцип данного метода базируется на сравнении фактических данных показателя с плановыми значениями за выбранный период времени.

В зависимости от показателя, фактические значения могут сравниваться помимо заданного плана с другими контрольными сериями. Например, для анализа данных по запасам химических реагентов используются такие контрольные серии, как страховой запас, точка заказа и верхний лимит. Верхний лимит и точка заказа образуют коридор допустимых значений фактических данных. В случае, если фактические значения показателя выходят за пределы коридора, они фиксируются как отклонения (рис. 4).

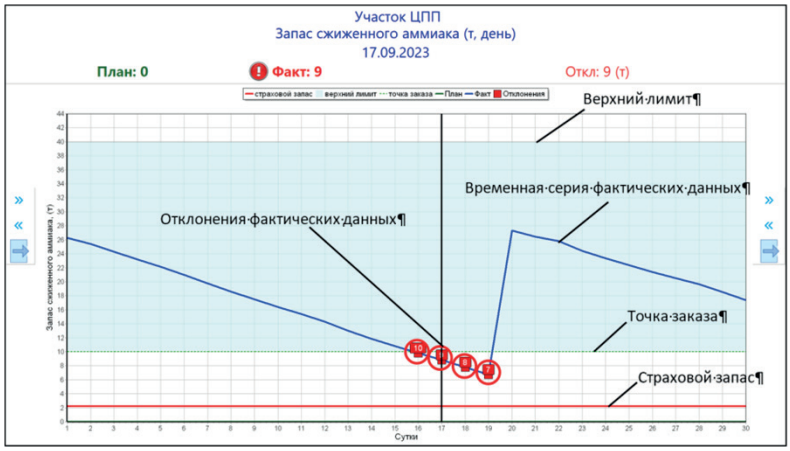


Рисунок 4 – План-фактный анализ суточных данных по запасам сжиженного аммиака

Для своевременного уведомления ответственного персонала в случаях выявления отклонений фактических значений показателей, реализована автоматическая рассылка электронных писем на корпоративную почту. Рассылка осуществляется с помощью SMTP сервера. Внутри СУБД PostgreSQL реализованы хранимые процедуры, отвечающие за периодическую проверку наличия отклонений фактических данных, формирование текста сообщения и определение адресатов писем.

Карточка проблемы

Программа «Карточка проблемы» предназначена для управления жизненным циклом решения проблемы, выявленной в результате проведения план-фактного анализа. Схема бизнес процесса решения проблемы приведена на рисунке 5.

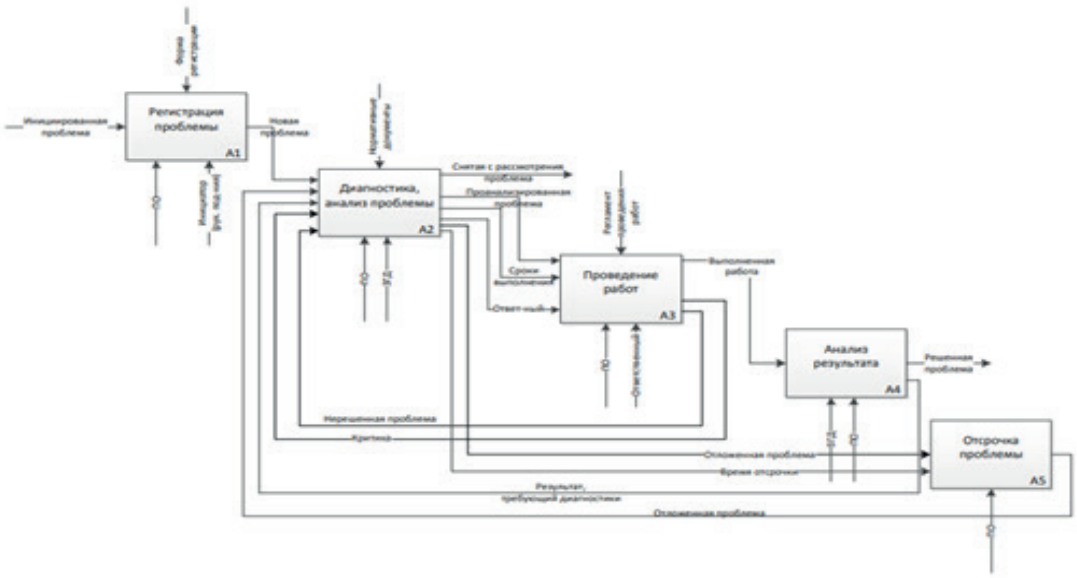


Рисунок 5 – Диаграмма жизненного цикла решения проблемы

Программа в процессе работы взаимодействует с базой данных управления проблемами и позволяет просматривать список текущих и уже решенных проблем подразделений предприятия, регистрировать новые проблемы, фиксировать прогресс решения проблемы, просматривать историю решения выбранной проблемы (рисунок 6).

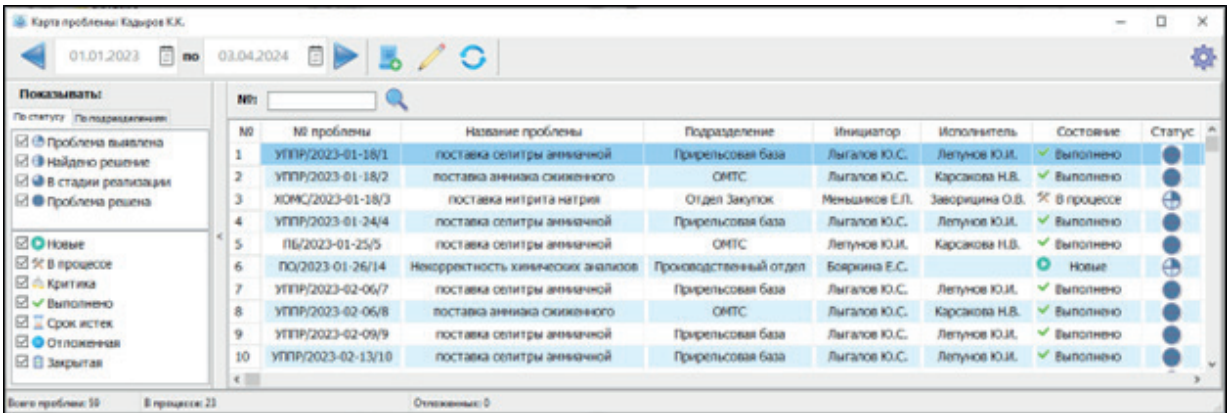


Рисунок 6 – Сводная информация о проблемах предприятия

При регистрации новой проблемы вносятся такие данные, как название, краткое описание, возможные пути решения, статус и состояние, ответственное за решение подразделение, а также сроки решения. Прогресс в решении проблемы отражается путем изменения ее статуса и состояния. Проблема может иметь один из четырех статусов (проблема выявлена, найдено решено, в стадии реализации, проблема решена) и одно из семи состояний (новые, в процессе, критика, выполнено, срок истек, отложенная, закрытая). Вся информация, появляющаяся в процессе решения проблемы, заносится в рабочее окно карточки проблемы (рисунок 7).

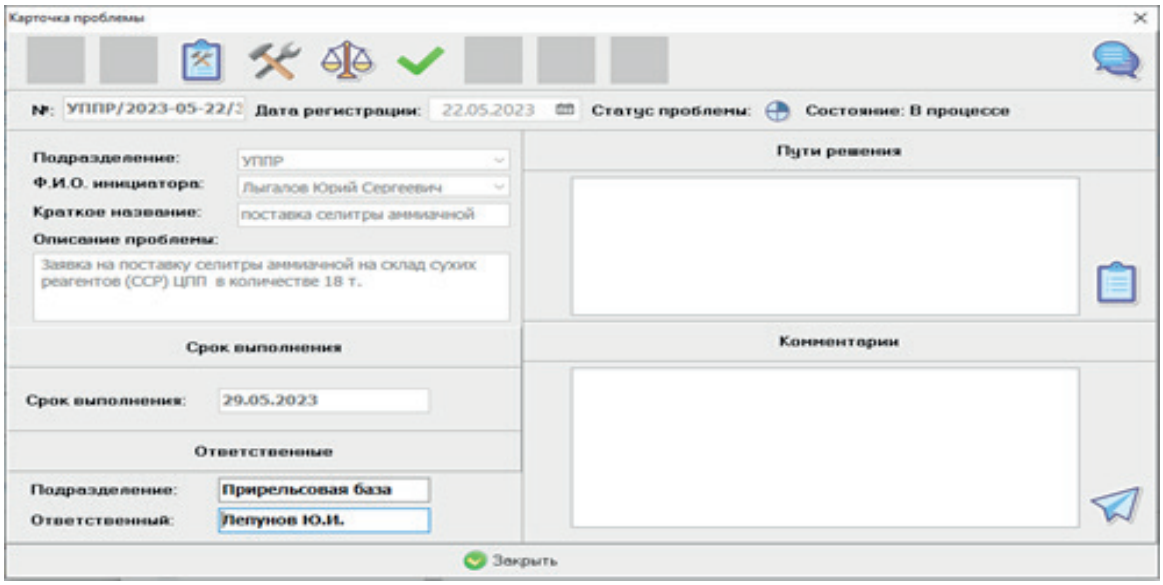


Рисунок 7 – Карточка проблемы.

Панель управления проблем

Панель управления проблемами предназначена для контроля за процессом решения актуальных проблем всех подразделений геотехнологического предприятия. Пользовательский интерфейс программы адаптирован под мониторы с сенсорным экраном и имеет поддержку взаимодействия с программой с помощью интерактивных жестов.

Информация о проблемах отображается в виде интерактивной таблицы (рис. 8). Строке таблицы соответствует подразделение предприятия, а столбцу состояние проблемы. Ячейка таблицы содержит в себе список проблем, соответствующих ответственному подразделению и текущему состоянию проблем.

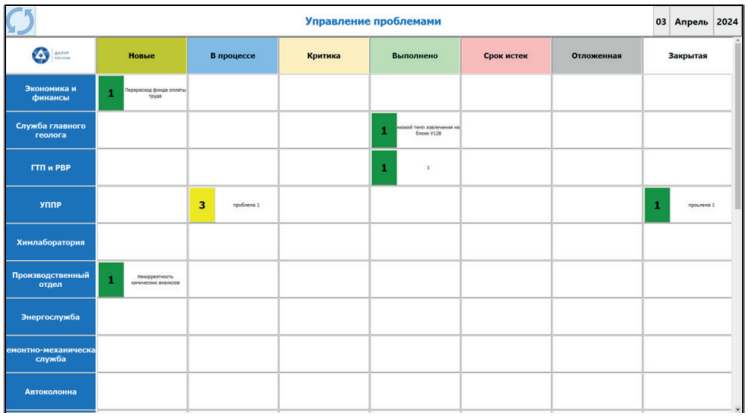


Рисунок 8 –Панель управления проблемами

При выборе интересующей проблемы в ячейке отображается история процесса ее решения с момента регистрации по текущий момент времени в виде маршрута (рисунок 9).

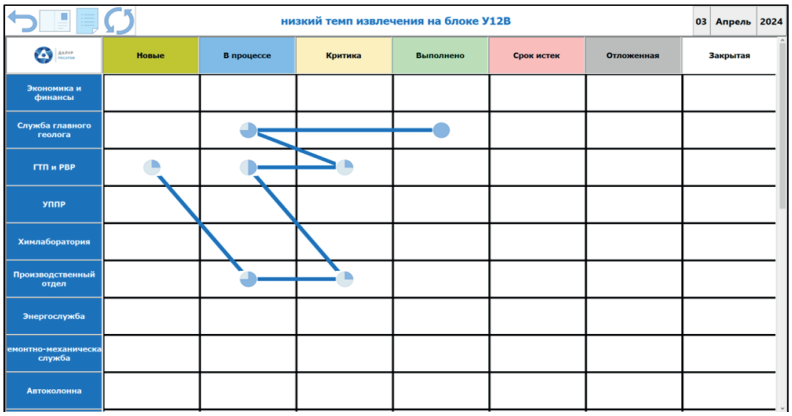


Рисунок 9 – Визуализация процесса решения проблемы

Каждая точка маршрута содержит в себе информацию по проблеме в момент времени, когда она имела соответствующее состояние и подразделение. Отображение информации осуществляется с помощью карточки проблемы (рисунок 7).

Заключение

Применение информационной системы планирования и контроля работы рудника подземного скважинного выщелачивания способствует повышению качества управленческих решений за счет обеспечения оперативного доступа к актуальной информации о работе предприятия, своевременного выявления отклонений показателей работы предприятия и уведомления персонала и контроля за жизненным циклом всех решаемых проблем на предприятии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белецкий В.И., Богатков Л.К., Волков Н.И. и др. Справочник по геотехнологии урана. – М.: Энергатомиздат, 1997. – 672 с.
2. Акимова И.Д., Бабкин А.С., Воронцова О.М. и др. Геотехнология урана (российский опыт) – М.:КДУ, 2017. – 576 с.
3. Зуева К.И. Системы производственного планирования от MRP до ERP систем / Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. – Поволжский государственный технологический университет, 2019. – С. 51–54.
4. Скалецкий М.А., Кирлич Е.О. Системы производственного планирования промышленных предприятий / Материалы I Всероссийской научной конференции: в 2 частях. – Часть 2. – Министерство образования и науки Российской Федерации; Тольяттинский государственный университет, 2017. – С. 229–223.
5. Афанасьева Е.В. Модель производственного планирования и оптимизации запасов в условиях интеграции ERP-системы / Научная дискуссия: инновации в современном мире. Учредители: Общество с ограниченной ответственностью «Интернаука». – 2017. – С. 27–33.
6. Петрова И.Е., Мазур Е.П., Петров И.Г., Жукова А.Г. Научные подходы к построению системы производственного планирования / Инновации. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ООО «Трансфер-Инновации». – 2010. – С. 92–96.

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ ПЕРСОНАЛОМ И ОПЕРАЦИЯМИ. ЛАБОРАТОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МЕНЕДЖМЕНТ-СИСТЕМА (LIMS)

Слатин А.С.[1], Абдрахманов А.Е.[1]
[1]ТОО «findexIT», г. Астана, Республика Казахстан
slatin@findexit.kz

Аннотация. Предиктивная аналитика – это интеллектуальное решение для анализа активов, которое может обеспечить раннее предупреждение и диагностику проблем оборудования за несколько дней, недель или месяцев до отказа.

Система управления мобильным персоналом и операциями предназначена для ускорения и поддержки процесса повышения оперативных показателей и является ключевым элементом эффективной деятельности оперативного управления предприятием, позволяет гарантировать постоянное соблюдение оптимальных рабочих и управленческих процедур, сбор данных с неоснащенного контрольными приборами цехового оборудования, регулярное выполнение мобильным персоналом своих обязанностей по контролю состояния и режимов работы оборудования.

Лабораторная информационная менеджмент система (LIMS) предназначена для получения достоверной информации по результатам испытаний и оптимизации полученной информации с целью ее использования для управления производством, решает вопросы цифровой трансформации рабочих процессов лабораторий в эпоху Индустрии 4.0.

PREDICTIVE ANALYTICS. MOBILE PERSONNEL AND OPERATIONS MANAGEMENT SYSTEM. LABORATORY INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM (LIMS)

Slatin A.S.,
findexIT LLP, Astana city, The Republic of Kazakhstan,
slatin@findexit.kz
Abdrakhmanov A.E.,
findexIT LLP, Astana city, The Republic of Kazakhstan

Abstract. Predictive Analytics – is an intelligent asset analytics solution that can provide early warning and diagnosis of equipment problems days, weeks or months before failure.

The Mobile personnel and operations management system is designed to accelerate and support the process of increasing operational performance and is a key element of effective enterprise operational management, ensuring constant compliance with optimal work and management procedures, collecting data from workshop equipment not equipped with control devices, and regular performance of their duties by mobile personnel for monitoring the condition and operating modes of equipment.

The Laboratory Information Management System (LIMS) is designed to obtain reliable information based on test results and optimize the information received for the purpose of using it for production management; it solves the issues of digital transformation of laboratory work processes in the era of Industry 4.0.

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА

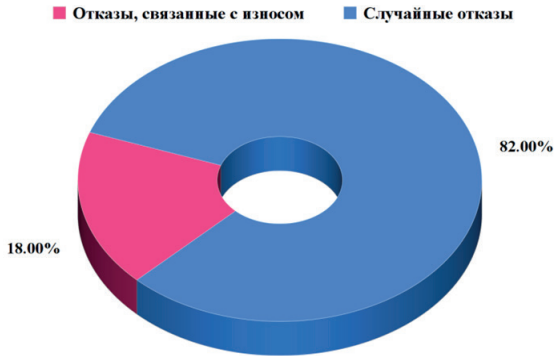
Предиктивная аналитика – это интеллектуальное решение для анализа активов, которое может обеспечить раннее предупреждение и диагностику проблем оборудования за несколько дней, недель или месяцев до отказа.

Предиктивная аналитика – это переход от традиционного технического обслуживания к проактивному.

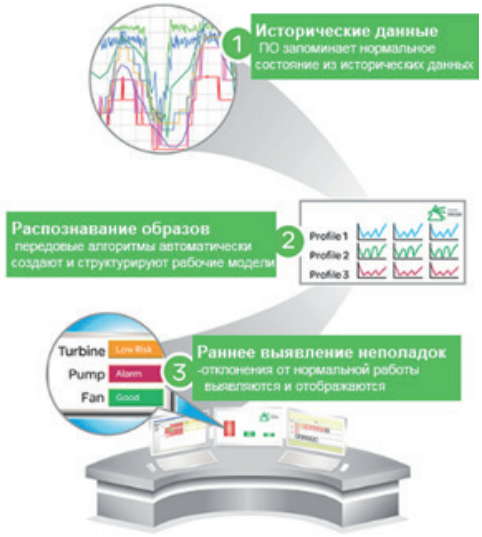
Целевое оборудование: двигатели, насосы и прочее оборудование с вращающимися частями.

Исследования ARC[1] показывают, что только 18% отказов вызваны износом. Основываясь на этом, превентивное обслуживание приносит выгоду только в 18% случаях. Обслуживание на базе прогноза (предиктив) рекомендуется для предотвращения остальных повреждений (82%).

[1] ARC Advisory Group - Аналитическая компания, которая проводит исследования по широкому кругу тем, включая индустриальную цифровизацию и трансформацию, IOT и Industry 4.0, датчики и сенсоры, АСУТП, системы измерения, Управление Операциями, Управление Активами, цепочками поставок и логистикой, а также широкий круг вопросов по консалтингу всех отраслей для разных предприятий, министерств, государственных и коммерческих структур



Переход к проактивному обслуживанию позволяет организовать процесс технического обслуживания, используя интеграцию и комбинацию умных активов, датчиков, связи, программного обеспечения и предиктивный подход.



Программное обеспечение для предиктивного анализа состояния оборудования:

– программное обеспечение на основе моделирования оборудования, с использованием правил и передовых методов распознавания образов;

– использование исторических данных для описания нормальной работы оборудования и построения модели;

– постоянный мониторинг поведения оборудования в режиме реального времени;

– сигнализация в случаях, когда показатели отличаются от исторической нормы;

– раннее определение проблем в работе агрегатов;

– расширенные возможности анализа, включая диагностику неисправностей.

Текущая ситуация на предприятиях: телеметрия по оборудованию собирается не в полном объеме, не используется в анализе.

К чему это приводит, нет целостной картины состояния оборудования, в результате отказы фиксируются по происшествию и ТОиР[2] проводится по регламентам изготовителя.

Решение:

– внедрить предиктивную диагностику динамического оборудования (двигателя, насосы, и прочее оборудование с вращающимися частями);

– осуществить вторичную обвязку необходимыми сенсорами.

Результаты:

– ремонт по состоянию, сокращение затрат на ТОиР;

– минимизация простоев;

– уменьшение внеплановых ремонтов.

Система управления мобильным персоналом и операциями

Предназначена для ускорения и поддержки процесса повышения оперативных показателей и является ключевым элементом эффективной деятельности оперативного управления предприятием, позволяет

[2] ТОиР - техническое обслуживание и ремонт оборудования.

гарантировать постоянное соблюдение оптимальных рабочих и управленческих процедур, сбор данных с неоснащенного контрольными приборами цехового оборудования, регулярное выполнение мобильным персоналом своих обязанностей по контролю состояния и режимов работы оборудования.

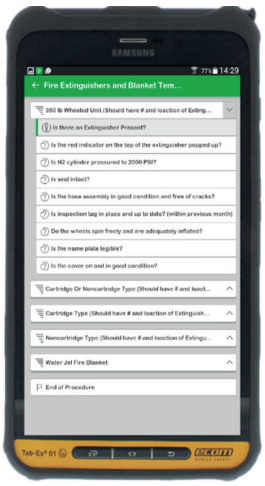
Система включает интегрированные мобильные аппаратные и инструментальные программные средства, которые обеспечивают последовательность выполняемых действий, управление производственными процессами и решение общих задач деятельности предприятия, организацию технического обслуживания, отслеживание производства и обеспечение совместимости приложений.

Предпосылки:

– более 50% причин выхода оборудования из строя – нерегулярность получения и качество информации;
– большая протяженность маршрутов;
– дефицит кадров;
– сложность контроля персонала;
– бумажные журналы и «ручная» отчетность.

Назначение:

– планирование и назначение исполнителей заказов на осмотр объектов;
– выдача заданий исполнителям;
– учет времени исполнения заказа;
– регистрация замечаний при неисправностях или отклонениях;
– регистрация показаний измерительных приборов;
– сокращение внеплановых простоев оборудования;
– оптимизация нормативов на осмотры оборудования.



Подход:

– обходчик мобильном приложении получает наряд-заказ на ремонт/диагностику оборудования;
– идентифицирует оборудование посредством RFID/NFC метки или штрих-кода/QR-кода или выбирает из списка;
– проводит осмотр, фиксируют параметры;
– в зависимости от показателей состояния оборудования, система может рекомендовать обходчику:
 варианты диагностики/ремонта оборудования;
 добавить дополнительную информацию (фото, видео, текст и др.);
 выполнить специальные регламентные процедуры (+ документация);
 выполнить дополнительные измерения.
– с помощью внешних устройств (сканеры: вибрации/шума/температуры…) через Bluetooth фиксируют дополнительные измерения;
– с помощью данных, получаемых из внешних систем (например, АСУТП), для процедуры считываются необходимые измерения, для сокращения человеческого фактора;
– задача завершается, проставляется дата и время (автоматически);

Результаты:

– уменьшение времени ремонта;
– уровень эксплуатационной готовности до 90%;
– оптимизация и стандартизация рабочих процедур визуального инспектирования оборудования, благодаря ликвидации бумажных отчетов и интуитивно понятному интерфейсу портативных устройств;

– выявление ранней не учтенной потенциальной проблемы, устраняя необходимость каких-либо экстренных операций;
– эффективное планирование профилактического техобслуживания;
– повышенная надежность оборудования;
– сокращение затрат;
– улучшение сохранности знаний;
– улучшение соответствия нормативным требованиям.

Лабораторная информационная менеджмент система (lims)

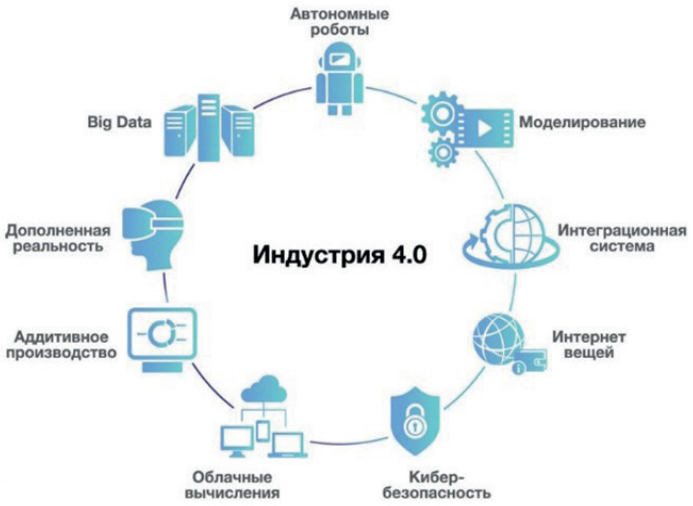
Появлению LIMS[3] на рынке предлагаемых решений в области промышленной автоматизации способствовало повышение роли аналитических лабораторий в производственном процессе в связи с общей мировой тенденцией повышения требований к качеству выпускаемой продукции. Являясь инструментом конкурентной борьбы, контроль качества представляет собой сложный процесс, пронизывающий все сферы современного предприятия. Для своего функционирования данный инструмент нуждается в оперативных и достоверных сведениях о важнейших характеристиках производимого продукта от сырья до готового товара, а единственным источником подобной информации является аналитическая лаборатория. Повышение значимости лаборатории в производственном процессе выдвинуло задачу оптимизации ее деятельности путем внедрения специализированной информационной системы, которая получила название лабораторная информационная менеджмент система, позволяющая решать многочисленные задачи, стоящие перед эксплуатационным персоналом лаборатории.

Интенсивное внедрение LIMS в аналитических лабораториях, которое наблюдается в последние 5-7 лет, связано с таким явлением сегодняшнего времени как четвертая промышленная революция или Industry 4.0.

Аналитические лаборатории промышленных предприятий – важнейшие центры формирования информации о качестве сырья, полупродуктов и готовой продукции. LIMS, являясь информационной технологией, предназначенной для получения достоверной информации по результатам испытаний и оптимизации полученной информации с целью ее использования для управления производством, решает вопросы цифровой трансформации рабочих процессов лабораторий в эпоху Индустрии 4.0.

Система использует все известные варианты развертывания, совместимый пользовательский интерфейс, единое приложение, различные устройства.

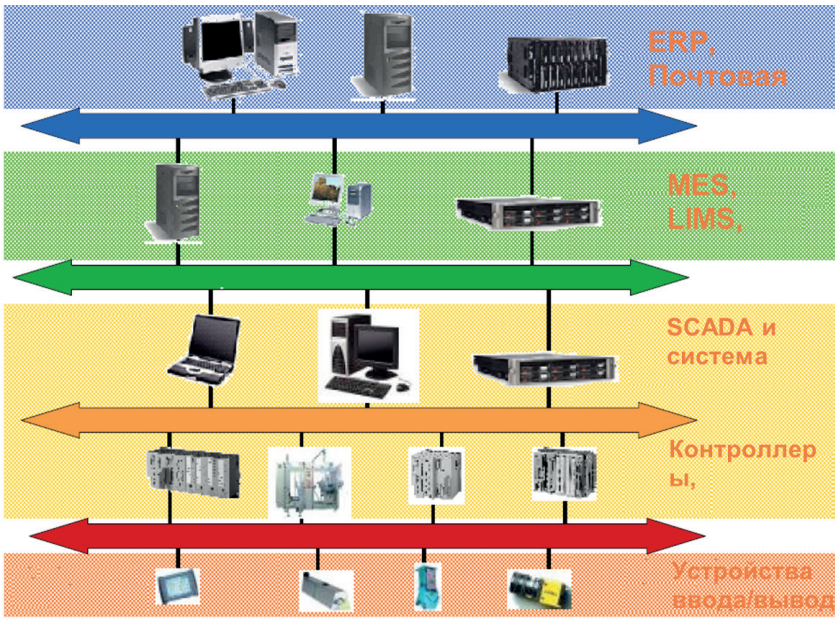
В эпоху «4.0» пристальное внимание заказчиков информационных систем приковано к использованию последними инструментов 4-й революции.



«Plug&play» AnIML (технология: включил и работай);
– Cloud & Mobile (облачные вычисления и мобильные приложения).
– Augemented Reality (AR) – glasses (дополненная реальность);
– Artificial Intelligence (AI) (искусственный интеллект).

Одной из важнейших задач, решаемых LIMS, является интеграции со смежными информационными системами предприятия для создания единого информационного поля.

[3] LIMS - Laboratory Information Management System, лабораторная информационная менеджмент система



ISA-95 – международный стандарт интеграции корпоративных производственных информационных систем (аналог ГОСТ Р МЭК 62264-5-2012).

В функции LIMS системы входит управление всеми данными, поступающими из разных источников (анализаторы, проводимые вручную измерения, бумажные документы – например, заказы на лабораторное исследование) и объединение этих данных в единую информационную базу любой лаборатории.

Краткий перечень функций LIMS:

– Регистрация материала, поступившего в лабораторию: обеспечивает регистрацию материала (образца) и его уникальную маркировку (например, наклейкой со штрих-кодом), с указанием дополнительных сведений о материале: тип, кем и когда получен материал и прочие;

– Регистрация заказа на исследование: в системе регистрируются виды тестов, анализов и исследований, заказанные для этого материала, а также направившее его подразделение (заказчик исследования);

– Получение и регистрация данных о результатах исследования материала с различных объектов лабораторного инструментария (анализаторов, оборудования, подключенных к LIMS и/или ручных методов измерений);

– Контроль за исполнителями исследований: кем и когда выполнен данный тест, а также записи результатов;

– Контроль измеряемых параметров в диапазоне норм для различных групп образцов;

– Печать результатов исследований по заказчикам или группам заказчиков и по отдельным образцам в едином стандарте;

– Контроль качества работы лаборатории: позволяет вести карты контрольных материалов, ведение базы контрольных измерений по различным параметрам и оценивать средние показатели и отклонения;

– Статистическая обработка данных. Отчеты по статистике в разрезе как заказчиков, так и исполнителей исследований (персонала лаборатории), пользователей;

– Экономические расчеты. Расчеты стоимости (цены) исследования в целом и отдельно по группам заказчиков. Оценка расхода реактивов и других расходных материалов. Оценка эффективности работы персонала лаборатории и лабораторного оборудования. Контроль работы персонала с системой;

– Лабораторный журнал. Полная копия результатов исследований лаборатории за каждый день (возможность получения результатов из LIMS как на бумажных носителях, так и в электронном виде с возможностью отправки по E-mail);

– Секретность доступа к результатам исследований, хранящихся в LIMS;

– Анонимность исследования. Работа с маркированным материалом на основе только идентификационного кода материала;

– Экспорт результатов исследований в сопряженные системы.

Что LIMS дает предприятию:

– уменьшение расходов путем учета реактивов, стандартов и расходных материалов;

– объективный учет людских ресурсов;

– сокращение времени оборота средств за счет оперативного управления материалами (образцами) – их перемещения, принятия в работу, получения и оформления результатов;

– сокращение времени проведения анализов на всех этапах производственного цикла;

– гарантированное подтверждение выполнения требований лицензирующих и инспектирующих органов;

– гарантированное подтверждение достоверности получаемых результатов;

– возможность собирать статистические данные по поставщикам сырья, количеству бракуемой на производстве продукции;

– возможность организовать работу контрольных служб и ведение документации в соответствии с требованиями государственных стандартов;

– повышение производительности труда сотрудников при работе с большим объемом документации.

Результаты:

– уменьшение количества ошибок и опечаток в результатах анализов;

– повышение надежности результатов анализа;

– осуществление оперативного контроля за выполнением анализов;

– создание и использование электронной базы данных проанализированных веществ и нормативной документации;

– осуществление быстрого поиска информации о ранее проанализированных сериях, номерах сертификатов, исполнителях и прочие;

– организация быстрого и точного формирования необходимых отчетных форм и документов.

– организация работы лаборатории и ведение документации в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Таким образом, LIMS – это то, что позволит вам управлять лабораторией, в любой момент получая оперативную информацию о ее работе, сократить непроизводительные затраты лаборатории, избавиться от рукописных журналов, следить и оценивать качество исследований и получать всю необходимую отчетную документацию.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ УРАНА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАЙРХАН (МОНГОЛИЯ)

Никитина Ю.Г., Мырзабек Г.А.
ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Для осуществления интерпретации модели в 3D осуществлена загрузка данных в программу «Micromine» на основании разработанных материалов (формуляр подсчета запасов, схемы вскрытия, база данных, гиклетов).

Создание трехмерной геологической модели урансодержащих рудных залежей месторождения Хаирхан осуществлялось для возможности корректировок и выбора оптимальных проектных технологических решений на сложных участках месторождения.

Ключевые слова: геологическая модель, моделирование, подсчет запасов, урановое оруденение, рудовмещающая порода, скважина.

MODELING OF URANIUM RESERVES FOR DESIGNING A STRIPPING SYSTEM AT THE EXPERIMENTAL SITE OF THE KHAIRKHAN DEPOSIT (MONGOLIA)

Nikitina Yu., Myrzabek G.
Institute of High Technologies LLP, Kazakhstan, Almaty

Annotation. To interpret the model in 3D, data was loaded into the Micromine program based on the developed materials (stock counting form, opening diagrams, database, giclets).

The creation of a three-dimensional geological model of uranium-bearing ore deposits of the Khairkhan deposit was carried out to make adjustments and select optimal design technological solutions in complex areas of the deposit.

Keywords: geological model, modeling, reserve calculation, uranium mineralization, ore-bearing rock, well.

Основная цель современной разработки месторождений урановых руд направлена на наиболее полное извлечение их извлекаемых запасов при максимальной экономической рентабельности. Для достижения наиболее максимального коэффициента извлечения урана необходимо повысить качество обработки имеющейся информации и её представления. Одним из ключевых направлений является использование структурного моделирования и создание трехмерной геологической модели залегания руд. Современные компьютерные технологии моделирования месторождений являются эффективным инструментом обработки и анализа геологоразведочной информации.

Работы по созданию 3D геологической модели, включающей литолого-фильтрационные характеристики рудовмещающих пород и урановое оруденение в многофункциональной горно-геологической информационной системе ГГИС «Micromine» проводились на опытном участке месторождения Хайрхан (Монголия). Месторождение Хайрхан является перспективным для добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания. Натурными опытно-технологическими исследованиями на месторождении получены данные, свидетельствующие о технологичности руд для ПВ.

ГГИС «Micromine» – представляет систему для визуализации и интерпретации различных геологоразведочных данных в 3D среде, проведения полного геостатистического анализа, построения трехмерных моделей, классификации и оценки ресурсов и запасов, проектирования горных работ.

На основании разработанных материалов (формуляр подсчета запасов, схемы вскрытия, база данных, гиклетов) была осуществлена загрузка данных в программу для осуществления интерпретации в 3D.

Создание трехмерной геологической модели урансодержащих рудных залежей месторождения Хаирхан осуществлялось для возможности корректировок и выбора оптимальных проектных технологических решений на сложных участках месторождения.

Создание модели включает следующие операции:

1. Создание и коррекция базы данных;
2. Трехмерная геологическая интерпретация и построение трехмерной компьютерной каркасной модели;

3. Анализ данных;
4. Определение параметров моделирования с использованием обратного расстояния.

Целью блочного моделирования является представление качества запасов месторождения, его границ и внутренней структуры. Данная цель достигается применением различных методов интерполяции для создания модели. Любой тип модели описывает месторождение в трехмерном пространстве. Модель представляет собой совокупность зон рудных тел, подсчетных блоков, которые рассматриваются и интерполируются отдельно. Простейший тип трехмерной модели месторождения – это прямоугольная решетка, где каждая ячейка имеет одинаковую ориентацию и содержит единственную характеристику для каждой переменной. Достоверность подсчета объема рудного тела достигается при каркасно-объемной модели геологического тела, который наиболее полно и достоверно описывает его форму. Каркасная модель позволяет создавать модели поверхности любой степени сложности. Блочная модель месторождения позволяет учитывать особенности пространственного распределения содержания полезного компонента.

Моделирование трехмерной геологической модели

Для построения геологической модели опытно-промышленного участка (ОПУ) месторождения Хайрхан использованы геологические данные, которые являются основой для моделирования и дальнейшего планирования разработки месторождения.

Геологическая модель ОПУ месторождения Хайрхан представлена в пределах выделенных стратиграфических горизонтов. Горизонты месторождения (рисунок 1) выделены в трех циклично-построенных рудоносных уровнях – A, B и C.

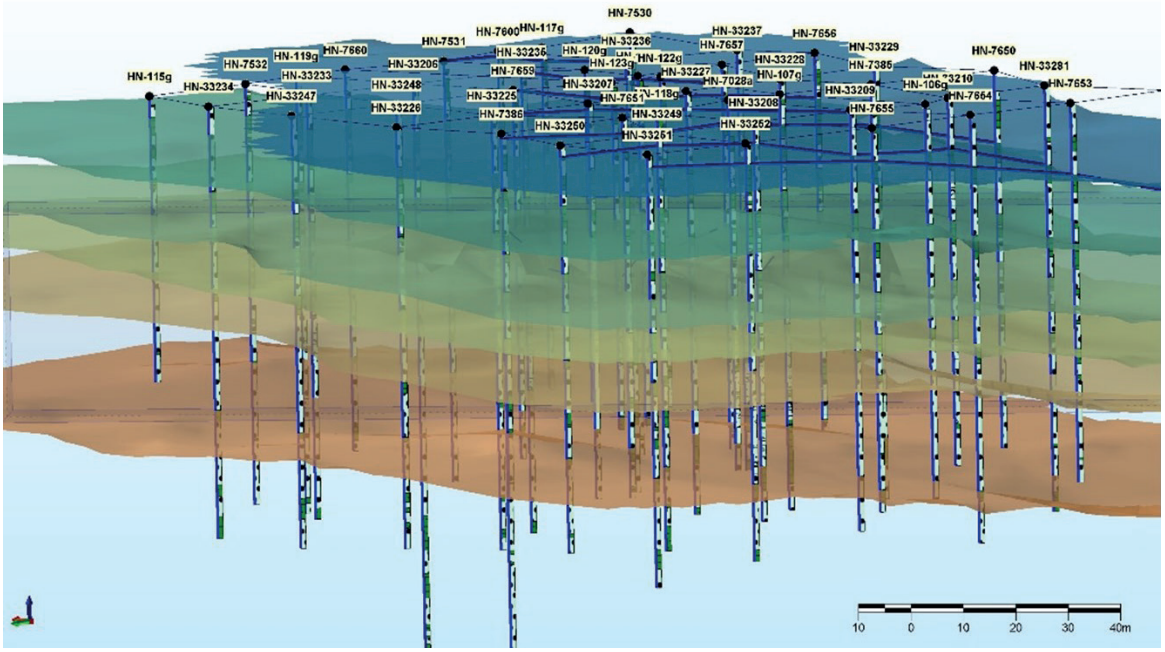


Рисунок 1 – Уровни горизонтов в пределах опытно-промышленного участка

В рамках проведенных работ была создана трехмерная геологическая модель ОПУ месторождения Хайрхан в пределах выделенных стратиграфических горизонтов.

Геологическая модель ОПУ месторождения была построена на основе литолого-фациальных разрезов.

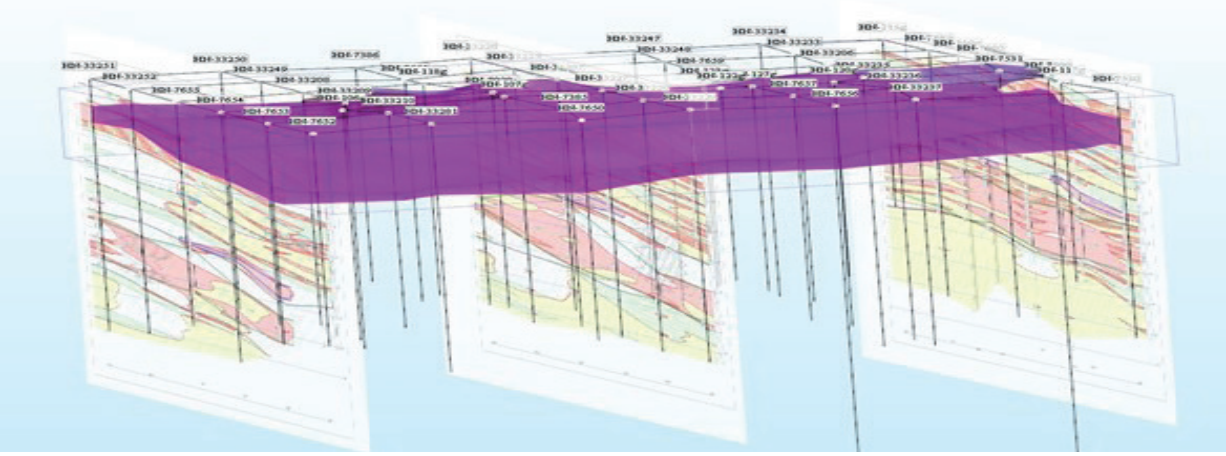
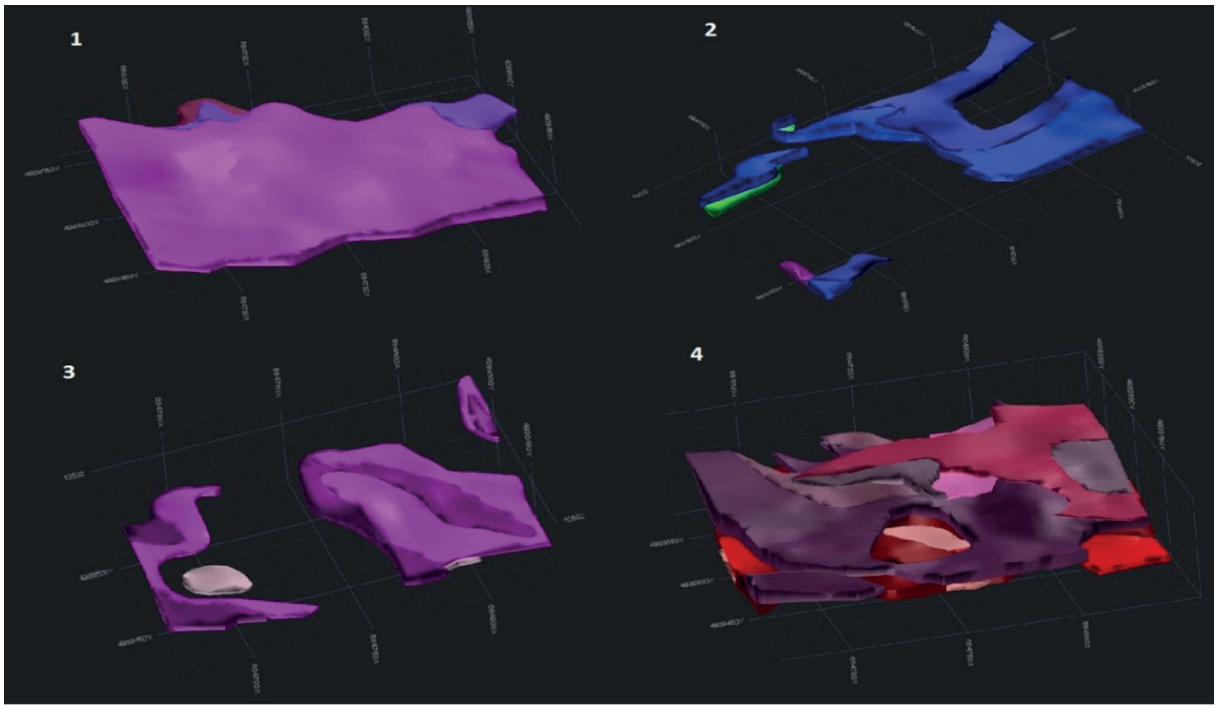


Рисунок 2 – 3D геологическая модель ОПУ на примере верхнего горизонта А

Главным требованием к оконтуриванию подсчетных блоков является их залегание в одном водоносном горизонте или подгоризонте.



1 – 3D руда горизонта А; 2 – 3D руда горизонта В1; 3 – 3D руда горизонта В3; 4 – 3D руда горизонта С (с тремя подуровнями)
Рисунок 3 – Построенные каркасы руды по горизонтам

Рудные тела были разделены в зависимости морфологического типа залегания (Мешок, Нижнее Крыло, Верхнее Крыло, Останец)

Моделирование стратиграфических пластов

В ГГИС «Micromine» модуль – «Моделирование стратиграфии» является уникальным процессом моделирования, который, в конечном счете, приводит к созданию блочной модели пласта, который является высокоэффективным инструментом для визуализации геологических слоев вместе со всеми их атрибутами.

На основе ранее проведенных работ по построению уровней залегания стратиграфических пластов были сформированы трехмерные модели залегания глин.

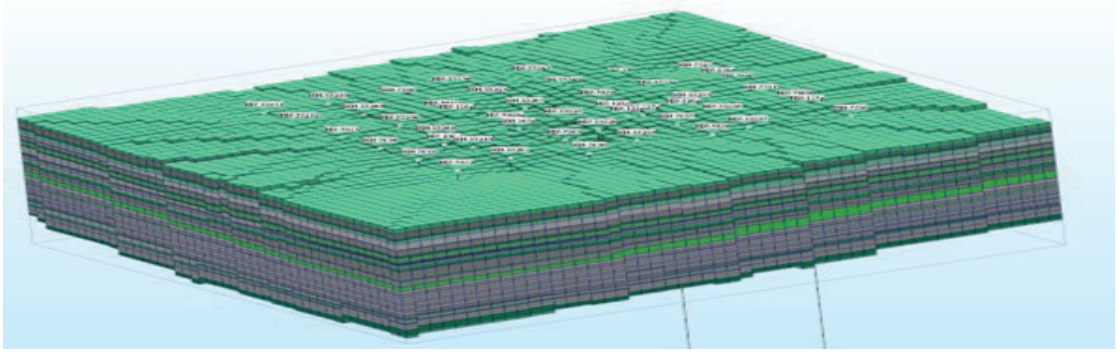


Рисунок 4 – Блочная модель стратиграфических пластов с выделением проницаемых (серовато-белый цвет) и непроницаемых пород (зеленовато-салатовый цвет)

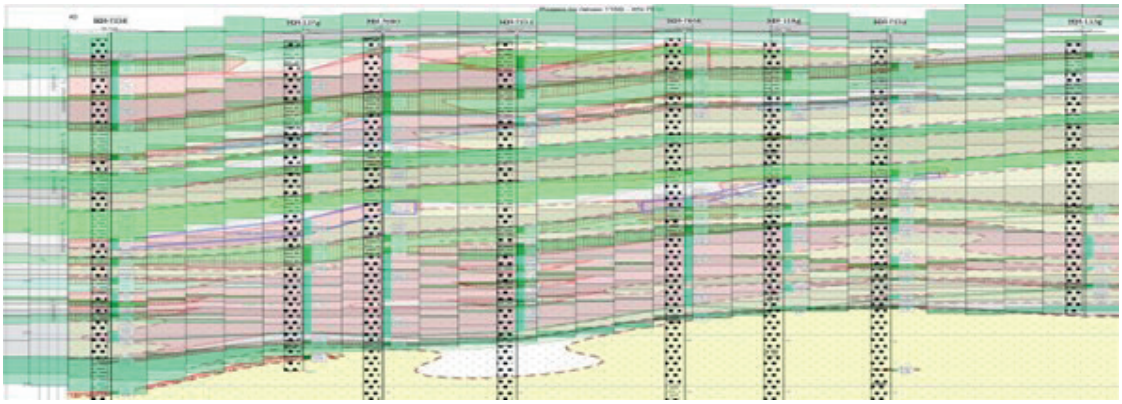


Рисунок 5 – Блочная модель стратиграфических пластов с выделением проницаемых (серовато-белый цвет) и непроницаемых пород (зеленовато-салатовый цвет) в разрезе

Следует отметить, что данная блочная модель является уникальным инструментом для проектирования и моделирования различных технологических процессов, а также позволяет значительно сократить риски, связанные проектированием технологических блоков.

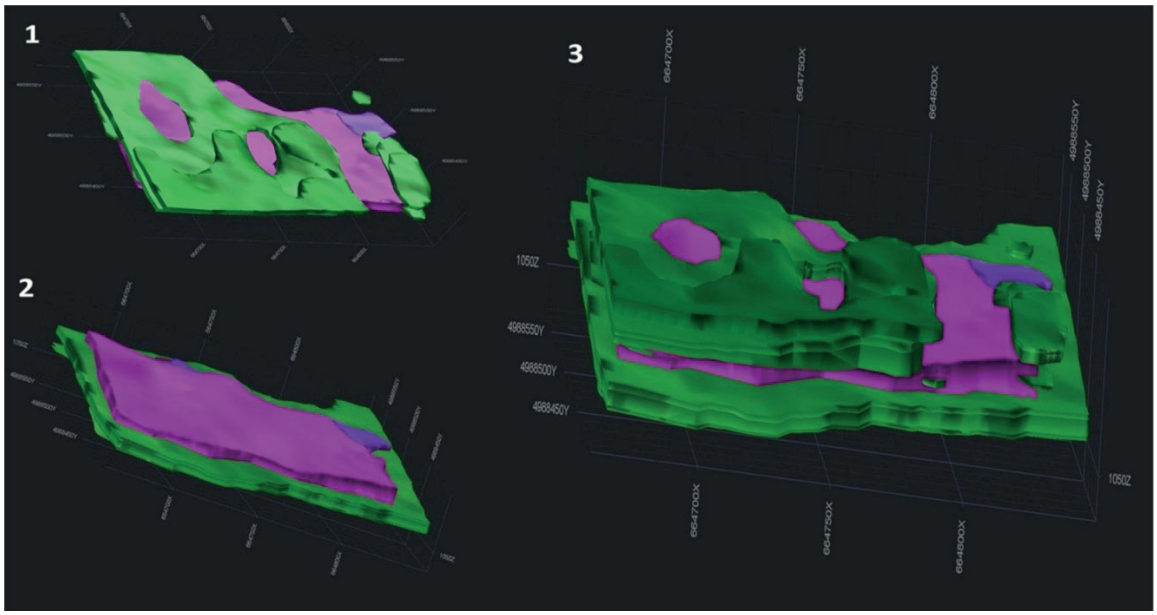
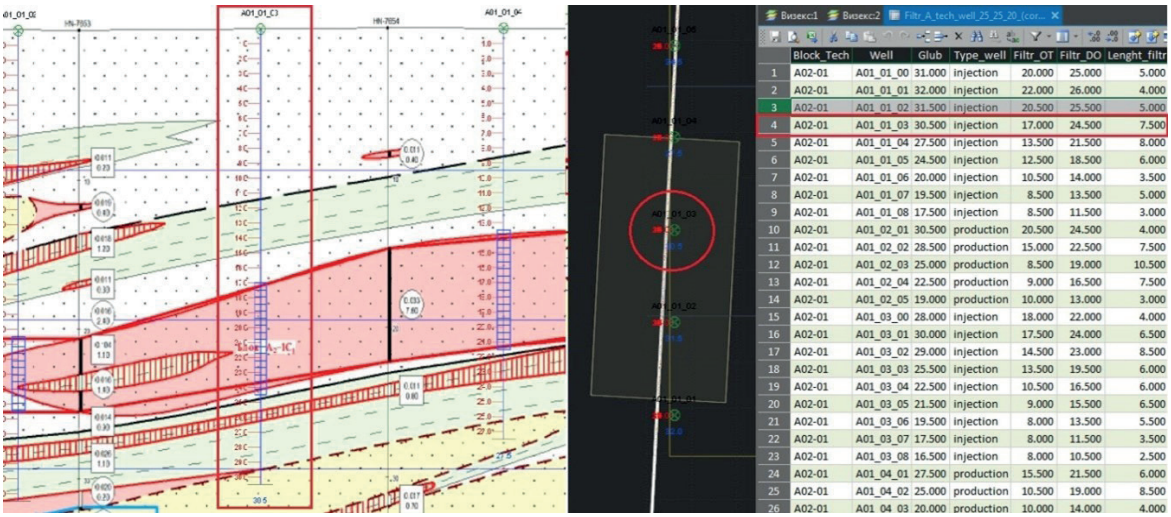


Рисунок 6 – Водоупоры горизонта А

1 – Верхний водоупор горизонта А; 2- Нижний водоупор горизонта А; 3 – Общий вид с верхним и нижним водоупором

Схема вскрытия рудоносных горизонтов на основе трехмерной геологической модели

На основе проделанной работы по построению 3D геологической модели с отбивкой непроницаемых прослоев (глин) была загружена ранее спроектированная схема вскрытия (в программе Mapinfo) по трем рудоносным горизонтам. Посадка фильтров осуществлялась непосредственно в программе «Micromine».



	Block_Tech	Well	Glub	Type_well	Filtr_OT	Filtr_DO	Lenght_filtr
1	A02-01	A01_01_00	31.000	injection	20.000	25.000	5.000
2	A02-01	A01_01_01	32.000	injection	22.000	26.000	4.000
3	A02-01	A01_01_02	31.500	injection	20.500	25.500	5.000
4	A02-01	A01_01_03	30.500	injection	17.000	24.500	7.500
5	A02-01	A01_01_04	27.500	injection	13.500	21.500	8.000
6	A02-01	A01_01_05	24.500	injection	12.500	18.500	6.000
7	A02-01	A01_01_06	20.000	injection	10.500	14.000	3.500
8	A02-01	A01_01_07	19.500	injection	8.500	13.500	5.000
9	A02-01	A01_01_08	17.500	injection	8.500	11.500	3.000
10	A02-01	A01_02_01	30.500	production	20.500	24.500	4.000
11	A02-01	A01_02_02	28.500	production	15.000	22.500	7.500
12	A02-01	A01_02_03	25.000	production	8.500	19.000	10.500
13	A02-01	A01_02_04	22.500	production	9.000	16.500	7.500
14	A02-01	A01_02_05	19.000	production	10.000	13.000	3.000
15	A02-01	A01_03_00	28.000	injection	18.000	22.000	4.000
16	A02-01	A01_03_01	30.000	injection	17.500	24.000	6.500
17	A02-01	A01_03_02	29.000	injection	14.500	23.000	8.500
18	A02-01	A01_03_03	25.500	injection	13.500	19.500	6.000
19	A02-01	A01_03_04	22.500	injection	10.500	16.500	6.000
20	A02-01	A01_03_05	21.500	injection	9.000	15.500	6.500
21	A02-01	A01_03_06	19.500	injection	8.000	13.500	5.500
22	A02-01	A01_03_07	17.500	injection	8.000	11.500	3.500
23	A02-01	A01_03_08	16.500	injection	8.000	10.500	2.500
24	A02-01	A01_04_01	27.500	production	15.500	21.500	6.000
25	A02-01	A01_04_02	25.000	production	10.500	19.000	8.500
26	A02-01	A01_04_03	20.000	production	10.000	14.000	4.000

Для дальнейших работ, а также для редактирования различных параметров была создана база данных по технологическим скважинам, которая включает в себя все параметры скважины (наименование, глубина, тип, посадка фильтра, рудный интервал, литология и т.д.).

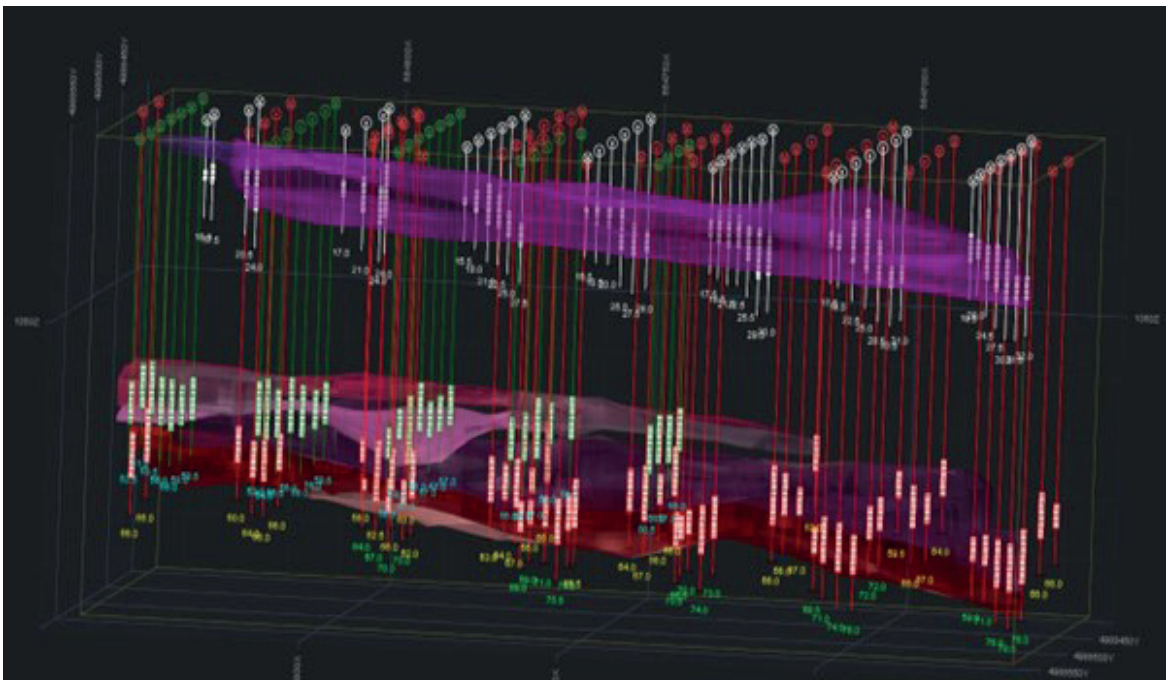


Рисунок 7 – Пример посадки фильтров на горизонте А – схема вскрытия 25*25*20 и горизонте С – схема вскрытия 25*25*20 (верхний подуровень) и комбинированная схема вскрытия 30*30*25 и 30*30 (гексагональная схема) (нижние два подуровня)

Таким образом, визуализация геологических данных и данных по технологическим скважинам в 3D формате позволить уточнять контуры технологических блоков при проектировании геотехнологического полигона для сокращения затрат на стадии ГПР, а также выявлять участки со слабопроницаемыми рудовмещающими породами, что позволит прогнозировать образование застойных зон при эксплуатации геотехнологического полигона.

ВНЕДРЕНИЕ 3Д МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК ЧАСТЬ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. ОПЫТ КАТКО

Сагатбеков Ч.Н.[1], Болат Е.[1], Куванышев А.М.[2]
[1]ТОО СП «КАТКО», [2]SLB

Аннотация. Данный доклад рассматривает опыт перевода рабочих процессов по геологическому анализу и планированию разработки урановых месторождений КАТКО в 3Д. Методы 3Д анализа и моделирования становятся все более широко применяемыми для понимания геологии, распределения рудных тел, оценки запасов и главное, планирования их извлечения.

В прошлом, в КАТКО широко применялись традиционные площадные подходы геологического изучения, подсчета запасов, планирования разведочного и технологического бурения. Однако, эти подходы не обеспечивали достаточной пространственной оценки месторождений, требовали больших трудовых ресурсов при изменении параметров расчётов, также не давали возможности дальнейшей симуляции разработки месторождений для оптимизации процессов закисления при подземном выщелачивании.

Для решения данных ограничений, в КАТКО были образованы группы геологического и гидродинамического моделирования. В качестве основных инструментов, были выбраны платформа Petrel и симуляторы SLB FrontSim и HYTEC. В результате, были проработаны новые рабочие процессы, включающие в себя пространственный 3Д анализ данных, хроностратиграфическую корреляцию, геостатистический анализ, построение и распределение свойств моделей, последующие гидродинамические расчёты. Преимущества использования 3Д моделей включают детализацию геологического строения месторождений, более точные прогнозы ресурсных запасов, оптимизацию горных работ и управления производственными процессами.

Ключевые слова: 3Д геологическое моделирование, подсчет запасов, гидродинамическое моделирование, программное обеспечение.

Введение и проблематика

Методы 3Д анализа и моделирования являются неотъемлемой частью рабочих процессов горнодобывающих компаний при разведке, геологической оценке месторождений, планировании горных работ, подсчете ресурсов и запасов, а также прогнозе и планировании их извлечения. Геологические особенности месторождений, такие как структура, литология, форма и протяженность рудных тел, содержание урана, зоны пластового окисления, фильтрационные свойства проницаемых пород, содержание и распределение вредных примесей являются критически важными при этих работах и требуют детального пространственного понимания, достижимого лишь с применением современных методов. Учитывая это, компания ТОО СП КАТКО (далее КАТКО), начиная с 2014-го года занимается внедрением и организацией работ по 3Д анализу и моделированию разведочных и разрабатываемых участков.

До внедрения 3Д рабочих процессов в КАТКО широко применялись традиционные площадные подходы. Однако, они имели ряд ограничений.

Во-первых, использование площадных методов, таких как построение 2Д карт рудоносности и геологических разрезов, не позволяло провести детальную пространственную оценку геологической обстановки на разрабатываемом участке и в месторождении в целом. Это означает, что не было возможности полноценно понять взаимосвязь между рудными телами в различных профилях, определить зоны пластового окисления, провести структурный анализ, обнаружить возможные разломы, определить распределение урана, а также провести интерполяцию непроницаемых пород, которые играют важную роль при подземном выщелачивании урана.

Во-вторых, этот процесс требует значительных временных и ресурсных затрат при оценке ресурсов и запасов эксплуатационных блоков. Начиная с анализа качества данных в базе данных, необходимо выполнить контроль за их точностью и полнотой, а при необходимости – внести исправления и обновления. Затем производится сбор и фильтрация данных, после чего выбираются рудные интервалы, участвующие в подсчете средних значений различных параметров: например, мощности, среднего содержания урана, метропроцента и т.д. Этот процесс включает в себя комплекс операций, направленных на обеспечение точности и достоверности результатов оценки ресурсов и запасов.

Также, для прогнозирования различных сценариев процесса закисления эксплуатационных блоков и их последующей оптимизации, для выявления застойных зон и контроля правильности установки фильтров как в закачных, так и откачных скважинах, в настоящее время широко применяется гидродинамическая симуляция, которая не возможна без наличия трехмерных геологических моделей.

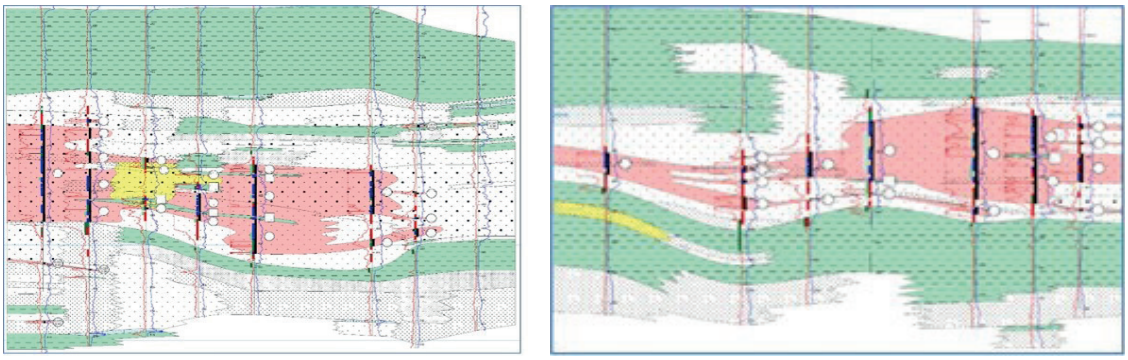


Рисунок 1 – Пример двух соседних профилей где корреляция р*удного* тела не выдержанная. (Восток(слева) – Запад(справа))

Применненные решения и внедренные инструменты

Для преодоления вышеуказанных ограничений, КАТКО прошла путь тщательного тестирования и подбора программных решений, а также оптимизации административной организации для формирования оптимальных рабочих групп. Начиная с 2014 года, КАТКО приступила к процессу интеграции различных программных продуктов с целью создания геологических моделей. В этот период прошли тестирование такие программы, как PETREL, VULCAN, ALBION, ISATIS.NEO. Для построения геологических моделей и их последующего использования в гидродинамической симуляции был выбран программный продукт компании SLB – PETREL, в силу его эффективности и функциональности. Учитывая значительный объем работы по созданию геологических моделей, КАТКО в 2019 году создала специализированную группу по геомоделированию, в которую в настоящее время входит 4 сотрудника. Кроме того, для гидродинамического моделирования и анализа результатов была создана отдельная группа, которая использует программное обеспечение Frontsim и HYTEC. Это позволяет эффективно проводить анализ процессов закисления и оптимизировать работу эксплуатационных блоков.

На сегодняшний день, в компании проработаны следующие новые интегрированные рабочие процессы.

Пространственный 3Д анализ данных

Хроностратиграфическая корреляция (Рисунок 2), основанная на корреляции одновозрастных пропластков, является критически важным шагом для последующего моделирования. В отличие от литостратиграфической корреляции или разделения разреза на прямоугольную (декартову) сетку координат без корреляции пластов (распространенный подход в горнорудной промышленности), хроностратиграфия дает возможность определения и моделирования анизотропии фильтрационных свойств породы. Таким образом, понимания в каком направлении закачиваемая кислота будет течь с наименьшим сопротивлением.

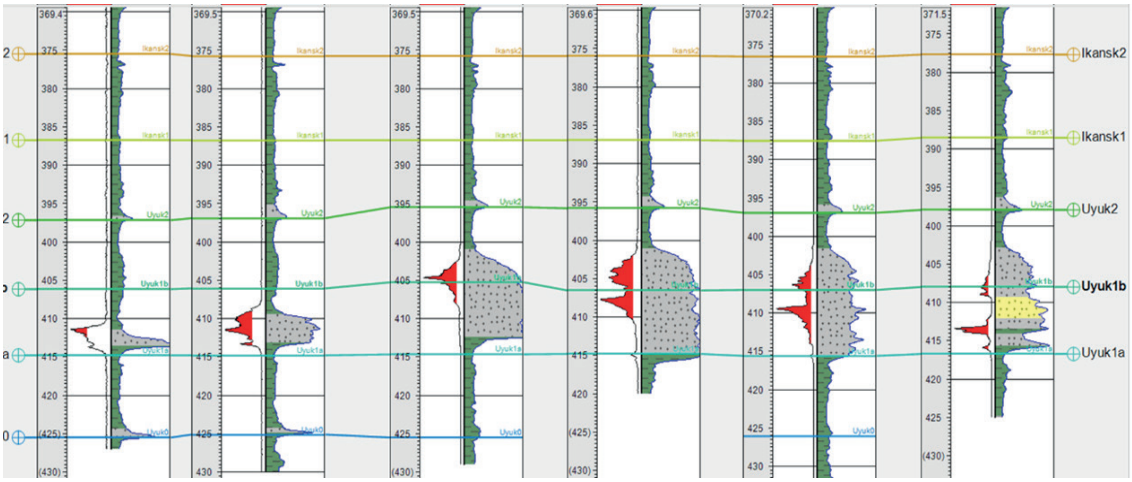


Рисунок 2 – Стратиграфическая разбивка на горизонты

На основе вышеописанных отбивок/маркеров в скважинах, построенные по ним структурные карты (карты изогипс) дают дополнительную информацию о вероятном наличии тектонических нарушений (Рис.5), либо других структурных особенностях разреза.

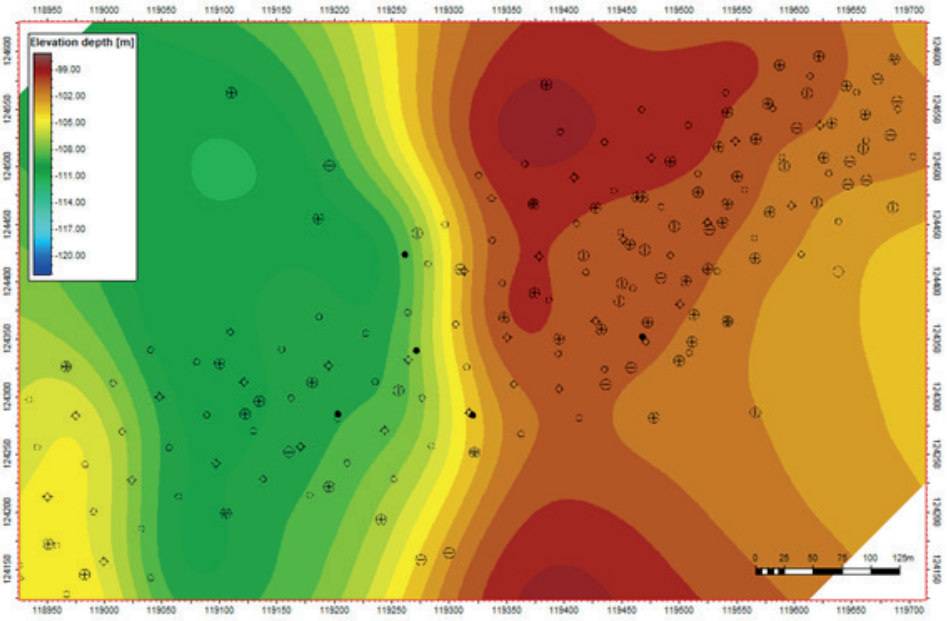


Рисунок 3 – Структурная карта поверхности, с вероятным наличием разлома в меридиональном направлении.

Далее, анализируя отношение проницаемых пород (песчаников) к глинам, также появляется возможность определить седиментологические особенности разреза, получить тренды направления палеорек (в случае КАТКО) и фильтрационных свойств результирующих пород. Полученная пространственная данные о разрезе затем сопоставляеются с точками замеров в 3Д и 2Д картами фракций, таких как руды и зонами пластового окисления. Полученная информация является важной составляющей для анализа и планирования эксплуатационных блоков и ячеек на месторождении. На её основе, в КАТКО проработаны рабочие процессы определения оптимальных местоположений для бурения скважин и размещения добычных объектов. Это, в свою очередь, способствует увеличению выхода урана и снижению затрат на добычу.

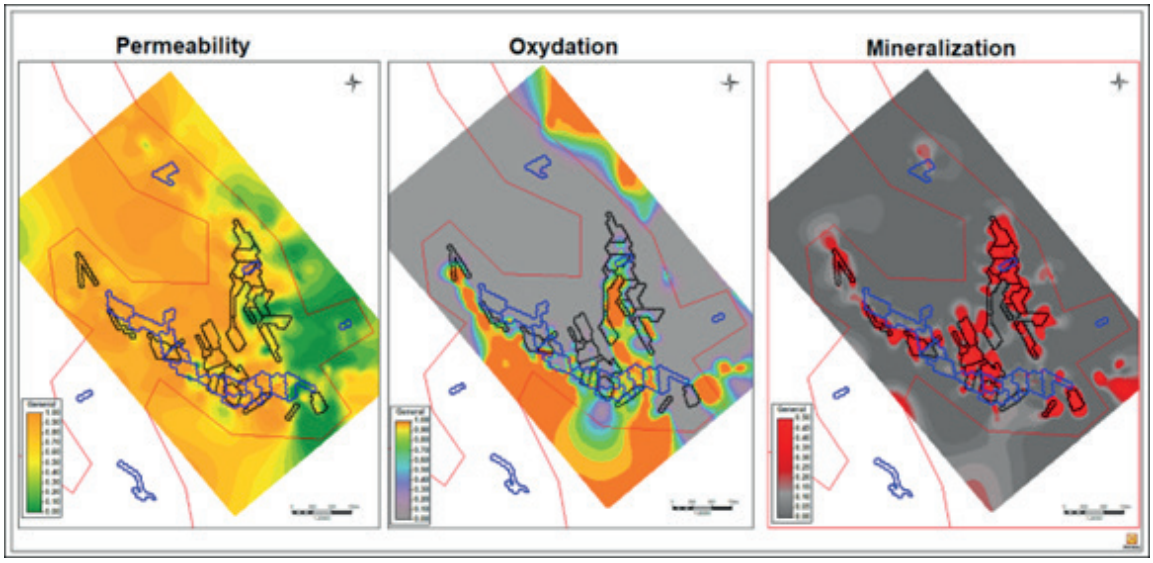


Рисунок 4 – Карта фракции построенная для каждого стратиграфического горизонта

Геостатистический анализ и 3Д моделирование.

Разработаны правила и рекомендации по построению 3Д сеток или сеточных структур, охватывающих месторождения и эксплуатационные блоки. Эти сетки не только помогают интерполировать различные свойства, такие как литология, зона пластового окисления (ЗПО), содержание руды, уровень урана и концентрация вредных примесей на основе данных, полученных в результате бурения и опробования,

но и дают возможность дальнейшего анализа вертикального распределения и анизотропии этих свойств. На основе сеток, проводится геостатистический анализ моделируемых свойств: строится геолого-статистический разрез, рассчитывается общее процентное соотношение типов пород и других дискретных свойств, оценивается анизотропия свойств с помощью вариограммного анализа.

Рисунок 5 – Пример геолого-статистического разреза для литологии (глина-зеленый, пески – белый, песчаник на карбонатном цементе – голубой).

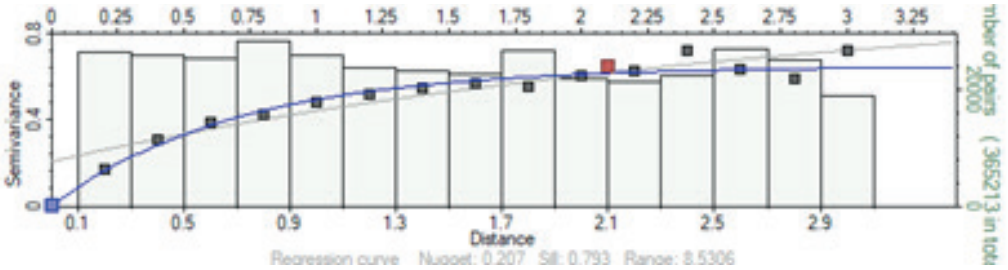


Рисунок 6 – Пример вариограммы в вертикальном направлении для свойства литологии

Далее, на основе полученных 3Д моделей, производится оценка геологической строения участка, а также распределение и запасы урана, производится поиск мест наибольшей концентрации, планируются предварительные ячейки для последующей симуляции линий тока при закачке кислоты, оцениваются геологические риски.

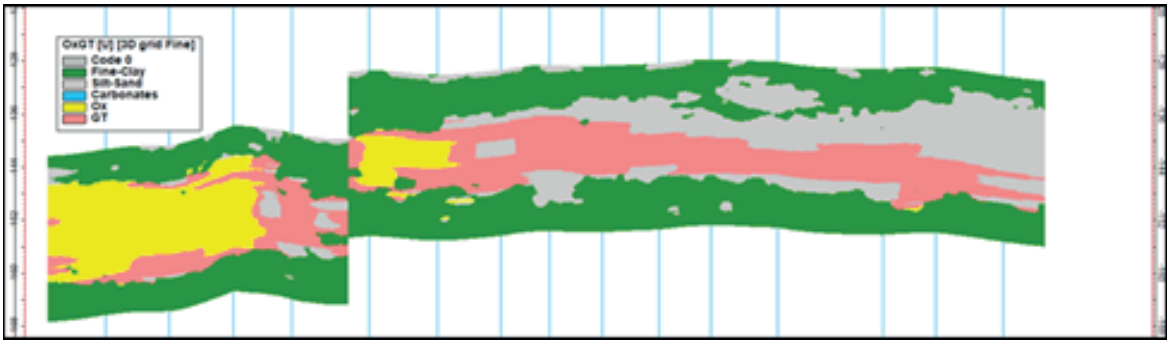


Рисунок 7 – Пример разреза через 3Д модель с отображением свойств литологии, окисления и руды.

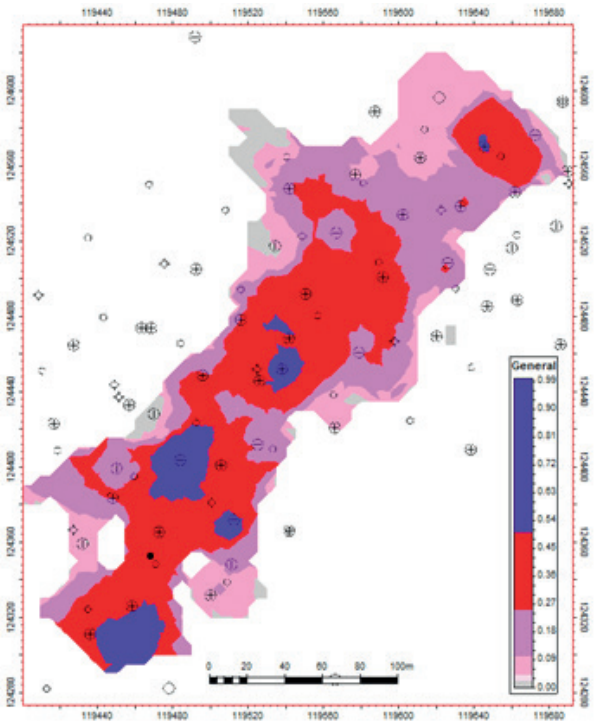


Рисунок 8 – Пример карты метропроцента урана по 3Д модели используемой при планировании эксплуатационных ячеек

Гидродинамическое моделирование.

Данный рабочий процесс представляет собой комплекс работ по уточнению геологических моделей путем их адаптации на историю разработки месторождения и последующей симуляции дальнейших решений для оценки их эффективности. Полученные результаты несут необходимую информацию для оптимизации и контроля этапов закисления. Эти процессы представлены в рамках отдельного доклада.

Сравнение результатов (подсчет запасов)

Подсчет запасов урана по традиционному методу выполняется в соответствии со стандартом АО «НАК Казатомпром» СТ НАК 32-2021, который основывается на методе геологических блоков, отображаемых на горизонтальной плоскости. Далее, мы сравнили результаты, полученные данным методом и внедренным 3Д моделированием (Рисунок 9).

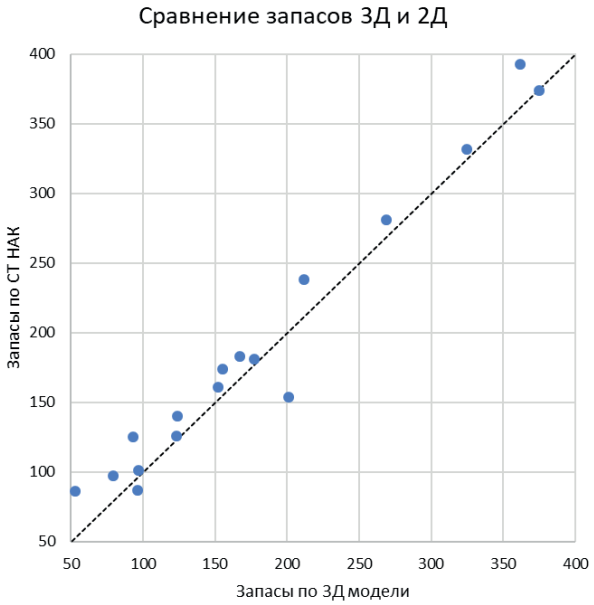


Рисунок 9 – Сравнение запасов посчитанные в 3Д и традиционным методом (2Д)

На диаграмме, представленной на Рисунке 10, мы наблюдаем систематическую разницу в большую сторону между результатами площадного метода и 3Д моделирования. Лишь на двух эксплуатационных блоках зафиксирован обратная зависимость. После детального анализа каждого метода, следующие выводы могут быть сделаны в зависимости от специфики блока:

1. При сложной геоморфологии руды, неравномерной мощности и недостаточной корреляции уровней руды между скважинами при использовании площадного метода возможна переоценка запасов. К примеру, на блоке А, при использовании площадного метода для оценки запасов урана был принят коэффициент рудоносности, равный 0.63, который определяется как отношение количества рудных скважин к общему числу скважин.

Однако, после проведения моделирования (с учетом трендов изменения мощности рудоносных интервалов, анизотропии ЗПО, статистики каждого интервала и прочих особенности разреза), результирующее соотношение рудной площади к общей составило 0.45 (Рисунок 10), что на 28% ниже рассчитанного коэффициента. Другие параметры, используемые при подсчете запасов, показали схожую разницу (Таблица 1).

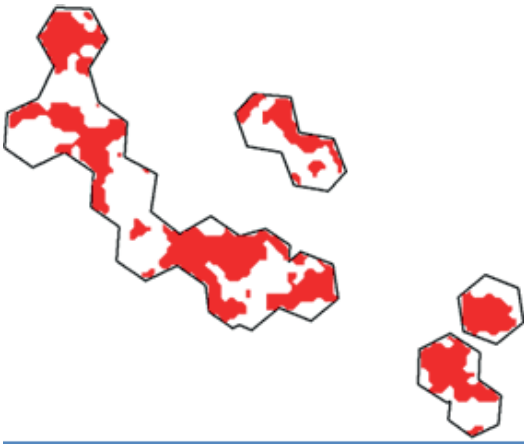


Рисунок 10 – Карта рудоносности эксплуатационного Блока А построенная 3Д моделированием.

Таблица 1 – Сравнение среднеблочных параметров двумя методами подсчета

Блок А	Площадной метод	3Д метод
Средняя мощность	2м	1.2м
Средний метро процент	0.140m%	0.100m%
Коэффициент рудной площади	0,63	0,45
Запасы	86т	53т

При простой морфологии руды, выдержанной мощности и корреляции уровней руды между скважинами (Рисунок 11) запасы посчитанные запасы двумя методами имеет близкие значения друг другу. В таблице 2 указаны результаты сравнение среднеблочных параметров подсчета запасов для Блока Б.

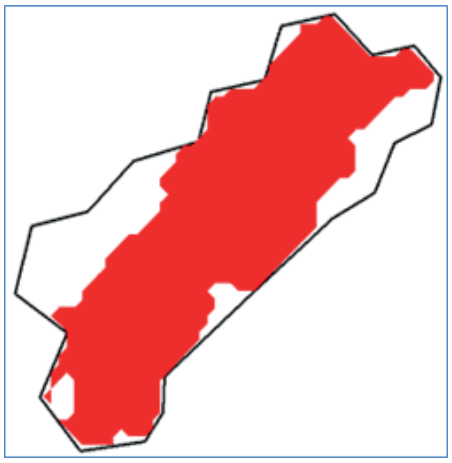


Рисунок 11 – Карта рудоносности эксплуатационного Блока Б построенная 3Д моделированием.

Таблица 2 – Сравнение среднеблочных параметров двумя методами подсчета

Блок Б	Площадной метод	3Д метод
Средняя мощность	3.8m	2.9m
Средний метро процент	0.302m%	0.260m%
Коэффициент рудной площади	0.68	0.72
Запасы	101т	97т

2. При ограниченном объеме данных существует вероятность значительного расхождения результатов оценки запасов, полученных различными методами, как в сторону занижения, так и в сторону завышения. Данные случай наблюдался на Блоке В.

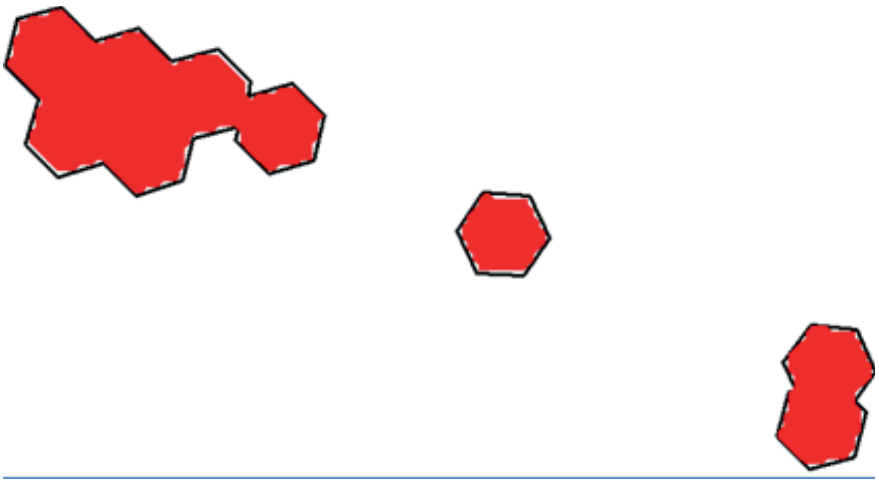


Рисунок 12 – Карта рудоносности эксплуатационного Блока Б построенная 3Д моделированием.

Таблица 3 Сравнение среднеблочных параметров двумя методами подсчета

Блок В	Площадной метод	3Д метод
Средняя мощность	3.5m	2.7m
Средний метро процент	0.255m%	0.18m%
Коэффициент рудной площади	0.62	0.92
Запасы	103т	118т

Перспективы

Публичное обнародование результатов геологоразведочных работ, оценка минеральных ресурсов и запасов является важным аспектом стратегического управления природными ресурсами. В свете этого, Республика Казахстан стала участником международной организации CRIRSCO, стремясь к гармонизации своей практики с мировыми стандартами в области геологической отчетности. В соответствии с этим, в Казахстане был разработан Казахстанский кодекс о публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсах и минеральных запасах (KAZRC), основанный на принципах и структуре, предложенных CRIRSCO. Данный кодекс предусматривает использование современных геоинформационных систем для создания каркасных и блочных моделей геологических объектов, а также для проведения оценки ресурсов и запасов.

Широкое применение геоинформационных систем значительно улучшит возможности анализа различных сценариев развития проектов и позволит оперативно корректировать стратегии. Кроме того, использование трехмерных технологий в горном планировании способствует оптимизации производственных процессов и повышению эффективности добычи полезных ископаемых. К примеру, в данный момент при наличии 3Д моделей блоков, обновление геологической модели и пересчет запасов производится в полуавтоматическом режиме, что в среднем занимает в 3-5 раз меньше времени чем при обновлении подсчетной таблицы (традиционный 2Д метод).

Заключение

Таким образом, применение трехмерных моделей приносит целый ряд преимуществ, включая более детальное изучение геологической структуры месторождений, точные прогнозы объемов ресурсов, оптимизацию горных работ и более эффективное управление производственными процессами. Однако, мы также рассматриваем вызовы и ограничения, связанные с применением трехмерного моделирования

урановых месторождений, такие как необходимость обеспечения точности данных, сложности моделирования разнообразных горных пород и значимость качественной интерпретации результатов моделирования.

Данный доклад подчеркивает важность применения и дальнейшего развития методов и технологий 3D моделирования с целью улучшения понимания геологии урановых месторождений и оптимизации их разработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТ НАК 32-2021. Расчет геотехнологических параметров технологических блоков и среднеблочных параметров оруденения к подсчету запасов методом геологических блоков в проекции на горизонтальную плоскость для гидрогенных месторождений.
2. Казахстанский кодекс публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсах и минеральных запасах (Кодекс KAZRC).
3. 3D geological modeling of uranium roll front deposit in Petrel.
4. Стратиграфический анализ геологических урансодержащий образований на залежи 18у (Торткудук).

«KAP-MAP» – КОРПОРАТИВНЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Уезбаев Т.Н.[1], Базарбеков Т.Ж[2], Аусат М.
[1]АО НАК «Казатомпром», г. Астана, Республика Казахстан,
[2]ТОО «AppStream», г. Астана, Республика Казахстан г. Астана, Республика Казахстан

Аннотация. Данная научная статья описывает опыт внедрения цифровой платформы для управления картографическими данными на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» на базе современных *open-source, low-code* технологий. Ранее управление пространственной информацией было на низком уровне зрелости из-за децентрализованного хранения данных и различных подходов к их обработке. Внедрение копроративного портала «KAP-MAP» позволило собрать и систематизировать картографические данные, повысило качество данных, эффективность управления и принятия решений. Проект призван создать единую централизованную базу данных, унифицировать подходы к управлению и оцифровать картографические данные. Преимущества включают сокращение времени на подготовку данных, стандартизацию процессов, внедрение процесса контроля качества и применение современных технологий хранения и визуализации данных используя *open-source* решения.

Ключевые слова: ГИС – геоинформационные системы; ДЗО – дочерние и зависимые предприятия АО НАК «Казатомпром»; СУБД – система управления базами данных; ГПР – горно-подготовительные работы

«KAP-MAP» – «ҚАЗАТОМӨНЕРКӘСІП» ҰАК» АҚ КОРПОРАТИВТІК ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ҚЫЗМЕТІ

Уезбаев Т.Н.[1], Базарбеков Т.Ж.[2], Аусат М.
[1]ҰАК «Казатомпром» АҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы,
[2] «AppStream» ЖШС, Астана қ., Қазақстан Республикасы

Аннотация. Бұл ғылыми мақалада «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ кәсіпорындарында заманауи *open-cource, low-code* технологиялар негізінде картографиялық деректерді басқарудың цифрлық платформасын енгізу тәжірибесі сипатталған. Бұрын кеңістіктік ақпаратты басқару орталықтандырылмаған деректерді сақтау және деректерді өңдеудің әртүрлі тәсілдеріне байланысты жетілудің төмен деңгейінде болды. «KAP-MAP» корпоративтік порталын енгізу картографиялық деректерді жинауға және жүйелеуге, деректердің сапасын, басқару және шешімдер қабылдау тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді. Жоба бірыңғай орталықтандырылған мәліметтер базасын құруға, басқару тәсілдерін біріздендіруге және картографиялық деректерді цифрландыруға арналған. Артықшылықтары деректерді дайындау уақытын қысқарту, процестерді стандарттау, сапаны бақылау процесін енгізу және *open-source* шешімдерді пайдалана отырып, заманауи деректерді сақтау технологияларын пайдалануды қамтиды.

Түйінді сөздер: ГАЖ – географиялық ақпараттық жүйелер; ЕТК – «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ еншілес және тәуелді кәсіпорындары; МҚБЖ – мәліметтер қорын басқару жүйесі; ТДЖ – тау-кен және дайындық жұмыстары.

«KAP-MAP» – CORPORATE GEOINFORMATION SERVICE OF KAZATOMPROM JSC

Uyezbayev T.N.1, Bazarbekov T.Zh.2, Ausat M.
1JSC NAC «Kazatomprom», Astana, Republic of Kazakhstan,
2AppStream LLP, Astana, Republic of Kazakhstan,Astana, Republic of Kazakhstan

Abstract. This scientific article describes the experience of implementing a digital platform for managing cartographic data at the enterprises of NAC Kazatomprom JSC based on modern *open-source, low-code* technologies. Previously, spatial information management was at a low level of maturity due to decentralised data storage and different approaches to data processing. The introduction of the KAP-MAP coprorative portal made it possible to collect and systematise cartographic data, improving data quality, management efficiency and decision-making. The project is designed to create a single centralised database, unify management approaches and digitise cartographic data. Benefits include reduced data preparation time, standardisation of processes, implementation of a quality control process and application of modern data storage technologies using open-source solutions.

Key words: GIS – geographic information systems; SDE – subsidiaries and dependent enterprises of NAC Kazatomprom JSC; DBMS – database management system; MPW – mining and preparation works.

Информационная система «КАР-МАР» — это единый корпоративный геоинформационный сервис, целью которого является централизованное управление картографическими данными на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» в унифицированным формате и с единым подходом.

Сервис «КАР-МАР» реализуется в рамках проекта «Внедрение единого корпоративного геоинформационного сервиса «КАР-МАР», проект запущен в 2022 году.

Описание проблемы/возможности

Основным инструментом геологических служб являются карты (геологические, топографические и т.д.), в связи с чем поддержание высокого уровня качества картографических данных является критически важной задачей для эффективной деятельности АО «НАК «Казатомпром». До реализации проекта управление пространственной информацией, в частности картографическими данными, находилось на низком уровне зрелости: хранение данных осуществлялось децентрализовано, применялись различные подходы работы с данными, использовалось различное программное обеспечение – все это обусловлено слабой культурой использования геоинформационных систем (ГИС). Внедрение единых подходов и единой системы ГИС позволило повысить как качество данных, так и зрелость сотрудников в части управления данными и, как следствие, повысило оперативность и качество принимаемых решений.

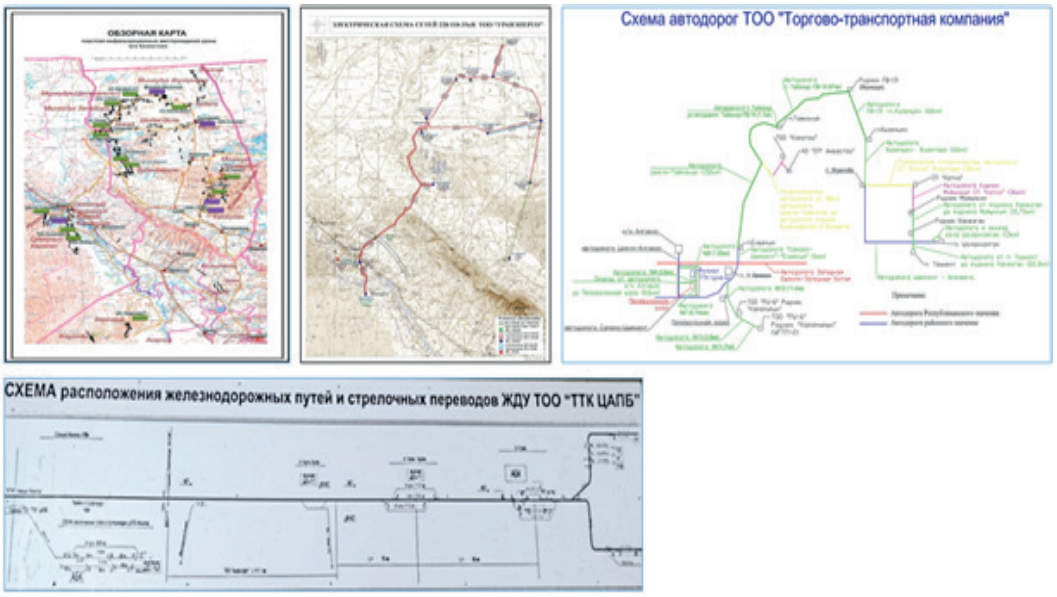


Рисунок 1 – Пример использования карт до внедрения КАР-МАР

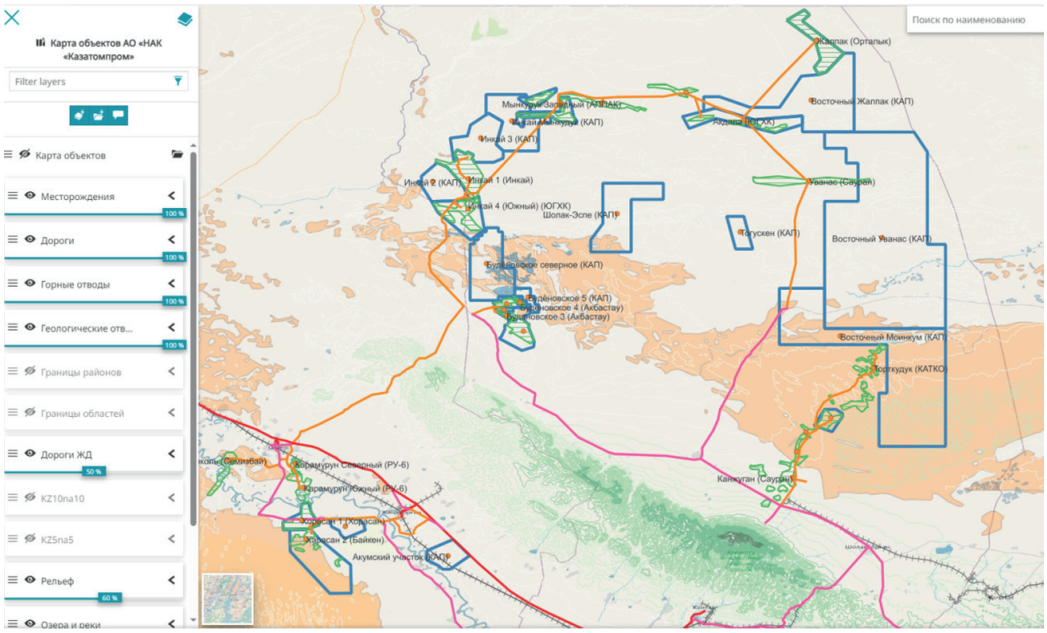


Рисунок 2 – Скриншот веб-интерфейса системы КАР-МАР

Цель проекта

Целью Проекта являлось создание цифровой платформы для управления картографическими данными на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» в унифицированном формате и с единым подходом начиная с 2023 года.

В рамках реализации проекта были достигнуты следующие выгоды:

• Сокращение времени на подготовку картографических данных

• Создание единой централизованной картографической базы данных

• Унифицированы подходы по управлению картографическими данными

• Оцифрованы картографические данные

В организационный периметр вошли 13 добычных ДЗО, АО «Волковгеология», ТОО «ИВТ», ТОО «Уранэнерго», KAP Logistics рис.3.

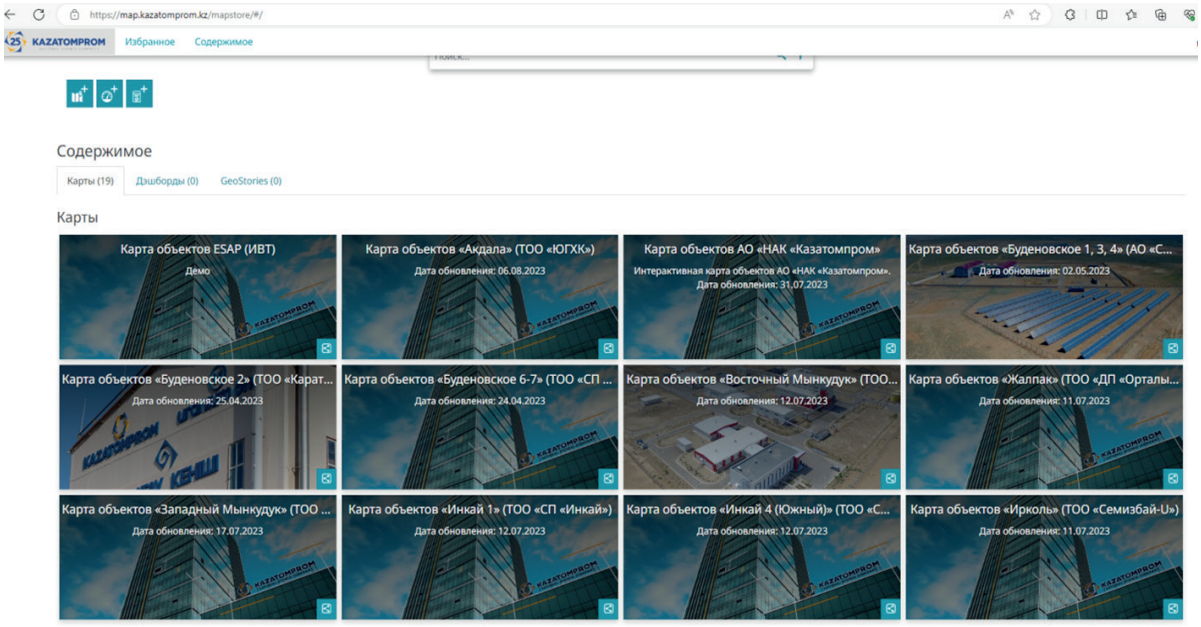


Рисунок 3 – Меню геоинформационного сервиса «KAP-MAP»

Физические результаты проекта

Основой успешного управления производством являются – люди, процессы и технологии. В результате реализации Проекта, были созданы:

• Материалы обучения пользователей по работе с ГИС

Изменены и стандартизированы процессы:

• Обработки картографических данных с использованием специализированных ГИС-приложений

• Централизованного хранения актуализированной справочной информации о месторождениях, рудниках и объектах Компании

• Стандартизирована инструкция по ведению и наполнению картографических данных в едином формате

• Ввелся процесс контроля качества (QA/QC) картографических данных

Применены и разработаны технологии:

• Централизованного хранения картографических данных на базе современных СУБД, поддерживающих формат ГИС

• Интерактивного веб-сервисы (веб-карты) с разделением доступов

Основным функциональным объемом являлся процесс работы с ГИС-системами (проектирование блоков, ГПР, оцифровка инфраструктуры рудника) и процесс управления картографическими данными (ведение атрибутивной информации, контроль качества).

Рисунок 3 – Хронология процесса разработки и внедрения

Одним из ключевых Digital трендов на сегодняшний день является переход от бумажного формата к цифровому. Так как процесс цифровизации и трансформации является одновременно сложным и длительным по времени, нами была разработана пошаговая концепция развития рис.4.

Рисунок 4 – Концепция развития управления геологическими данными в АО НАК «Казатомпром».

Архитектура

Архитектура геоинформационного сервиса основана на базе *open-source* решений, где для создания и обработки векторных слоев применяется программа QGIS, для хранения данных и трансформации систем координат используется система управления базами данных PostgreSQL с расширением PostGIS для хранения географических данных. В архитектуре системы используется ГИС-сервер. В качестве ГИС-сервера был выбран Geoserver. Настройки данных включая редактирование и стилизацию слоев производятся в данном сервисе. Интерфейс системы, включая авторизацию, администрирование и разграничение доступов реализовано на платформе MapStore рис.5.

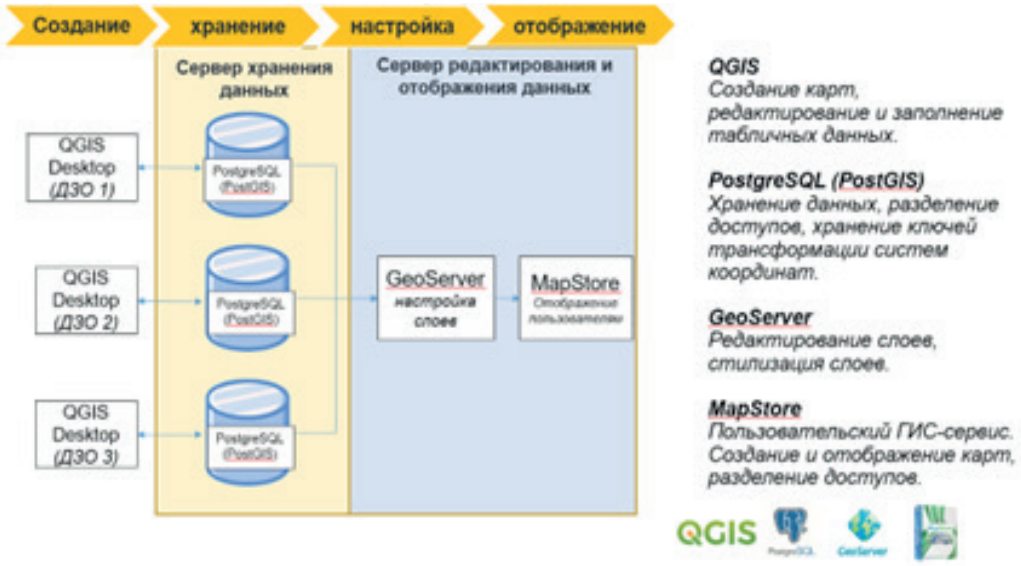


Рисунок 5 – Архитектура на базе open-source решений

Выводы

На сегодняшний день, цифровизация охватывает все больше бизнес процессов. Крупные горнодобывающие компании, такие как АО НАК «Казатомпром» должны иметь цифровые версии бумажных графических материалов таких как карты, планы, схемы итп., инструменты анализа и моделирования, для этого на рынке имеется немало продуктов и возможностей для решения специализированных задач.

Преимуществами внедрения корпоративного сервиса «КАР-МАР» являются:

- Повышение эффективности принятия управленческих решений
- Сокращение сроков сбора данных для выполнения проектных, строительных работ и ГПР
- Актуальная справочная информация о месторождениях, рудниках и объектах
- Расчет расстояний между активами компании и населенными пунктами
- Контроль и мониторинг экологического воздействия на ОС
- Планирование маршрутов, поездок
- Учет и управление территорией и объектами на ней

В настоящее время проект модернизируется за счет добавления новых функций и наполняется специализированным контентом. При этом, в ходе ознакомления с порталом, у пользователей возникают различные идеи по развитию сервиса, что также помогает проекту развиваться и совершенствоваться.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Абдуллин Р.К., Пономарчук А.И. *Технологии интернет-картографирования*. – Пермь, 2020.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВЫПУСКЕ УРАНОВОЙ ПРОДУКЦИИ В АО НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Уезбаев Т.Н., Бектенов Р.Ш., Нысанбаев Н.С.
АО НАК «Казатомпром», г. Астана, Республика Казахстан
tuyezbayev@kazatomprom.kz, rbektenov@kazatomprom.kz, n.nysanbaev@kazatomprom.kz,
Цой Б.В.
btsoy@semyzbay-u.kazatomprom.kz
ТОО «Семизбай-U», г. Астана, Республика Казахстан

Аннотация. Современное управление предприятием основано на адаптации к изменяющимся условиям рынка и потребностям общества в продукции и услугах. Каждая компания разрабатывает свою систему контроля и управления качеством в соответствии с её уникальными особенностями, законодательством и историческим контекстом. Главное свойство высокоуровневых систем качества заключается в их индивидуальности и невозможности их простого переноса с одного предприятия на другое. Эти системы требуют развитых процессов в области метрологии, стандартизации и внедрения систем менеджмента на предприятиях. Например, система качества компании Toyota признана эффективной, но её успешное применение на других предприятиях представляет трудности из-за уникальности контекста и процессов.

В статье рассматривается развитие системы управления качеством в АО НАК «Казатомпром» для повышения экономической эффективности при выпуске урановой продукции вАО НАК «Казатомпром».

Ключевые слова
ДЗО – дочерние и зависимые предприятия АО НАК «Казатомпром»
TQM – (Total Quality Management) - всеобщее управление на основе качества
СМК – Система менеджмента качества
ОТК – Отдела технического контроля

«НАҚ КАЗАТОМПРОМ» АҚ УРАН ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДА САПА БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Уезбаев Т.Н., Бектенов Р.Ш., Нысанбаев Н.С.
АҚ ҰАК «Казатомпром», қ. Астана, Қазақстан Республикасы
tuyezbayev@kazatomprom.kz, rbektenov@kazatomprom.kz, n.nysanbaev@kazatomprom.kz,
Цой Б.В.
btsoy@semyzbay-u.kazatomprom.kz
ЖШС «Семизбай-U», қ. Астана, Қазақстан Республикасы

Аннотация. Кәсіпорынның қазіргі заманғы менеджменті өзгермелі нарық конъюнктурасына және қоғамның өнім мен қызметтерге деген қажеттіліктеріне бейімделуге негізделген. Әрбір компания өзінің бірегей сипаттамаларына, заңнамасына және тарихи жағдайына сәйкес сапаны бақылау және басқару жүйесін жасайды. Жоғары деңгейдегі сапа жүйелерінің негізгі қасиеті олардың даралығы және оларды бір кәсіпорыннан екінші кәсіпорынға жай көшірудің мүмкін еместігі болып табылады. Бұл жүйелер метрология, стандарттау және кәсіпорындарда басқару жүйелерін енгізу саласындағы әзірленген процестерді талап етеді. Мысалы, Toyota сапа жүйесі тиімді деп танылды, бірақ оны басқа кәсіпорындарда сәтті енгізу контекст пен процестердің бірегейлігіне байланысты қиын.

Мақалада «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ уран өнімдерін өндірудегі экономикалық тиімділікті арттыру үшін «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ сапа менеджменті жүйесін дамыту мәселелері талқыланады.

Түйінді сөздер
ЕТК – «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ еншілес және тәуелді кәсіпорындары
TQM – Жалпы сапаны басқару
СМЖ – Сапа менеджменті жүйесі
СББ – техникалық бақылау бөлімі

QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS TO IMPROVE ECONOMIC EFFICIENCY OF URANIUM PRODUCTS AT NAC «KAZATOMPROM» JSC

Uyezbayev T.N., Bektenov R., Nyssanbayev N.
JSC NAC «Kazatomprom», Astana, Republic of Kazakhstan
tuyezbayev@kazatomprom.kz, rbektenov@kazatomprom.kz, n.nysanbaev@kazatomprom.kz,
Tsoy B.
btsoy@semyzbay-u.kazatomprom.kz
LLP «Semizbay-U», Astana, Republic of Kazakhstan

Annotation. Modern enterprise management is based on adaptation to changing market conditions and society's needs for products and services. Each company develops its own quality control and management system in accordance with its unique characteristics, legislation and historical context. The main characteristic of high-level quality systems is their individuality and the impossibility of simply transferring them from one company to another. These systems require mature processes in metrology, standardisation and the implementation of management systems in enterprises. For example, Toyota's quality system is recognised as effective, but its successful application in other enterprises is difficult due to the uniqueness of its context and processes.

The article discusses the development of the quality management system in NAC Kazatomprom JSC to improve economic efficiency in the production of uranium products in NAC Kazatomprom JSC.

Key words
SDE - subsidiaries and dependent enterprises of NAC Kazatomprom JSC
TQM – (Total Quality Management) - total management based on quality
QMS – Quality Management System
QCD - Technical Control Department

Эволюция систем качества в предприятиях АО «НАК «Казатомпром» началась с простых испытаний готовой продукции в отделах технического контроля и привела к созданию современных интегрированных систем менеджмента (ИСМ), базирующихся на международных стандартах. В 18 дочерних и зависимых организациях (ДЗО) успешно внедрены и действуют интегрированные системы менеджмента в соответствии с международными и национальными стандартами, такими как ISO 9001 (Система менеджмента качества), 14001 (Система экологического менеджмента), 45001 (Система менеджмента охраны здоровья и безопасности труда) и 50001 (Система энергетического менеджмента). В результате изменения в управленческой структуре и создания корпоративного центра подходы к управлению качеством в ДЗО были преобразованы в соответствии с самыми современными европейскими стандартами, объединившись в единую систему «Инфраструктура качества»

Множество примеров построения систем управления предприятием на основе качества процессов, продукции и услуг, включая компании, такие как Тойота, Росатом и другие, подтверждают эффективность данного подхода. Интегрируя успешные методики систем качества, основанные на международных стандартах, мировые лидеры в области качества рассматривают его, как самостоятельное стратегическое решение, известное как TQM (Total Quality Management) – всеобщее управление на основе качества.

Концепция TQM представляет собой подход к управлению организацией, основанный на постоянном повышении качества всех аспектов её деятельности. Существует четыре основные стратегии внедрения TQM, успешно проверенные на практике: поэлементная стратегия, основанная на выборе соответствующих элементов организации; стратегия, основанная на применении теорий и методологий, таких как теории Э. Деминга и Ф. Кросби; стратегия сравнения, включающая бенчмаркинг и сравнение с другими организациями; и стратегия, включающая премии по качеству.

Учитывая высокий уровень подготовленности дочерних и зависимых организаций Общества в области качества, разнообразие бизнес-процессов и развитые компетенции в области инфраструктуры качества, для АО «НАК «Казатомпром» наиболее подходит поэлементная стратегия построения системы TQM.

Совмещение требований стандартов серии 9000 с гибким подходом TQM, придающим приоритет взаимодействию людей над процессами и документацией, позволяет создать гибкую интегрированную систему управления предприятием, ориентированную на обеспечение качества продукции, услуг и процессов.

Преимущество этого подхода заключается в объединении ранее изолированных систем с возможностью их согласования, взаимодействия и управления. Например, бережливое производство, ранее воспринимаемое как отдельный проект по улучшению, теперь становится частью единой системы обеспечения качества процессов. Следует отметить, что бережливое производство широко описано в национальных стандартах

и часто рассматривается как оптимальный инструмент для управления предприятием (например, в Росатоме).

Каждая организация имеет свою уникальную культуру, методы управления и процессы, поэтому нет единого подхода к внедрению TQM, который бы подходил для всех. Однако можно выделить несколько ключевых шагов для успешного внедрения TQM:

1. Высшее руководство должно изучить и принять решение о применении философии TQM.
2. Философия TQM должна стать неотъемлемой частью стратегии организации.
3. Оценить текущую корпоративную культуру, уровень удовлетворенности клиентов и состояние системы управления качеством.
4. Определить ключевые принципы и приоритеты для всего персонала.
5. Разработать план внедрения TQM.
6. Согласовать продукцию или услуги с требованиями потребителей.
7. Создать карту процессов, необходимых для удовлетворения потребностей клиентов.
8. Организовать команды по улучшению процессов.
9. Руководство всех уровней должно демонстрировать личный пример внедрения TQM.
10. Проводить ежедневное управление процессами и их стабилизацию.
11. Регулярно оценивать прогресс и корректировать план внедрения TQM.
12. Поддерживать постоянное информирование персонала и поощрять их инициативу в улучшении работы.

При построении системы в Обществе следует учитывать количество критериев качества продукции на разных этапах производства и ранжировать процессы по их влиянию на качество готовой продукции. Это позволит повысить эффективность системы за счет устранения избыточных требований.

INSIGHTS INTO INTELLIGENT MINING INNOVATIONS: THE JAPANESE APPROACH

Hajime Ikeda[1],
[1] Department of Systems, Control and Information Engineering National Institute of Technology, Asahikawa College, Japan

1. Introduction

Today's global focus on renewable resources notwithstanding, the demand for non-renewable resources continues to be substantial. This reality underscores the urgent need for innovative technologies that can safely and efficiently extract these finite resources, especially as the remaining deposits are deeper and of lower concentrations. Mining science, a field that synthesizes aspects of geology, rock mechanics, civil engineering, disaster prevention, and mechanical engineering, has evolved into a distinct technological system. Concurrently, Japan has seen significant advancements in Information and Communication Technology (ICT), including areas like soft computing, artificial intelligence, big data, and data mining. These technologies are highly adaptable and have begun to intersect with various other fields.

The aim of this research is to leverage these Japanese technological strengths in an interdisciplinary manner to enhance mining science. The goal is to develop a new technology for resource development, provisionally termed "Smart Mining (Figure1)," which is intended to gain international acceptance. Smart Mining, as conceptualized, encompasses three core elements: monitoring, prediction, and automation. These components work in synergy to enhance the efficiency of mine operations. Although mining operations are mechanized, critical tasks such as decision-making, operation management, and strategic planning are still performed by humans. Smart Mining represents an integration of traditional mining practices with cutting-edge ICT, aiming to boost both efficiency and safety in the mining sector. This integrated approach is in line with global trends like Mining4.0 and DigiMine, which apply Industry 4.0 principles to mining.

Despite advancements, the adoption of such technologies has been slower in underground mines compared to open-pit mines. Smart mining introduces revolutionary changes such as extensive data collection via the Internet of Things (IoT) and the application of artificial intelligence for data analysis, which together enhance automation and reduce labor costs. Innovations also include the automation of mine surveying with drones and 3D laser technology, and the use of virtual reality for training purposes.

Real-time monitoring of equipment performance and miner safety is now possible, enhancing operational efficiency and safety. Key technologies involved include IoT, big data, M2M communication, smart sensors on mining equipment, and observational drones. Ultimately, the vision for Smart Mining is to eliminate human involvement in the most hazardous mining activities, thus optimizing operations management and ensuring profitability under any market conditions. The progression of these technologies in the mining industry is detailed in Table 1.

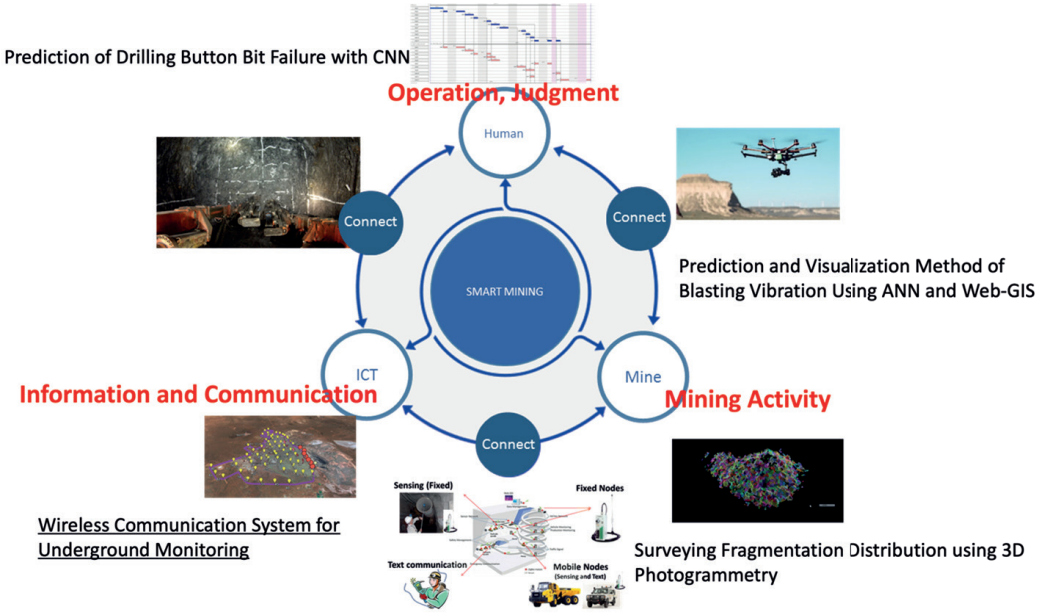


Figure 1 – Smart Mining Outline

Table 1 – Relationship between mining and technological innovation

Period	Industrial Development	Technological Innovation	Mining
18-19th Century	Society 2.0	Coal Steam Engine Natural Gas	Start of Mechanization
19th-early 20th Century	Society 3.0	Electricity Line Production Petroleum	Mechanization
Late 20th Century	Society 4.0	Automation Analog Computers Control Systems	Monitoring
First-half of the 21st Century	Society 5.0	Digitalization IoT AI	Unmanned Remote Control Digital Twin

2. Socially Implemented Smart Mining

The automation of heavy trucks and drilling equipment by major equipment manufacturers, along with the commercial deployment of operational monitoring and management systems via satellite from remote locations, is gaining momentum among leading resource companies. These corporations are not only adopting these technologies to bolster safety at mining sites but also to aggressively manage costs. Alongside these resource majors, numerous other prominent resource companies are contemplating the adoption of automation technologies. With advancements in AI, particularly in deep learning, the development of even more sophisticated automation systems is anticipated.

In sectors like iron ore and nonferrous metal mining, as well as in major civil engineering projects, the progress in compact camera technology, such as small 4K video cameras, coupled with advancements in image recognition capabilities through deep learning, has facilitated the use of drones for creating 3D site models for mining and operational planning. These technologies are evolving rapidly.

The domain of smart mining is increasingly being driven by industrial rather than academic initiatives, with several commercial technologies already in practical use. Below are examples of such applications:

1. Komatsu Ltd.

- **KOMTRAX**: This machine operation management system tracks the location, operating hours, and status of construction machinery, aiding in lifecycle management and enhancing vehicle utilization and maintenance cost reduction.
- **KOMTRAX Plus**: Tailored for heavy mining machinery, this system monitors the health and operational status of the equipment in near-real-time via satellite communication.
- **Unmanned Dump Truck Operation System**: Equipped with precision GPS and various sensors, these dump trucks are centrally controlled for fully unmanned operations.
- **Smart Construction**: An ICT solution for civil engineering that utilizes 3D modeling of sites via drones, followed by data-driven automation and optimization through cloud computing.

2. Hitachi Construction Machinery Co., Ltd.

- **Autonomous Haulage System (AHS)**: Currently under trial in Australia.
- **Fleet Management System (FMS)**: This system allows for remote management via cloud computing.

3. Caterpillar Inc.

- **Cat MineStar System**: Integrates real-time operations management, equipment health systems, and autonomous equipment technologies.

4. DATAMINE

- **SIROVISION**: Developed by CSIRO in Australia and commercialized by DATAMINE, this system enables precise surveying and geological analysis from images, utilizing 3D modeling for both open pit and underground mines.

5. ADAM Technology

- **3DM Analyst**: An image-based mapping system widely adopted by mining companies for aerial surveying with drones, particularly in coal mines in Australia.

6. Rio Tinto

- **Unmanned truck operation**: Komatsu unmanned trucks are actively used in Rio Tinto's iron ore operations in the Pilbara region of Western Australia.

3. Research Examples for Smart Mining in Akita University

Underground Communication System

This research has led to the development of an underground mine monitoring system designed to enhance both productivity and safety. The proposed system consists of two main components: the sensing unit, which measures in-situ stress and strain differentially, and the data transmission unit, which operates on an ad hoc communication network. Sensor units deployed throughout the mine gather data, which is collected via ad hoc communication when a miner's smartphone enters the communication zone. Data transmission is facilitated by the movement of miners, effectively extending the communication range pseudo-randomly until it reaches an office equipped with standard communication infrastructure. From there, data can be accessed and managed globally through cloud services. The sensors, embedded in boreholes after relieving stress, record strain gauge readings to assess the differential stress exerted by the surrounding rock. Accurate orientation detection of each sensor unit is critical to determine the direction and magnitude of applied stress.

In terms of communication, the system utilizes Wireless Sensor Networks (WSNs), which are scalable and suited for the challenging environment of underground mines. We explore the potential of expanding communication range through miners' movements and utilize Wi-Fi Ad Hoc along with Wi-Fi Direct technologies to circumvent obstacles. Additionally, tests were conducted using an ad hoc wireless communication system that connected a data logger with a miner's smartphone, demonstrating the feasibility of this approach. The integration of sensor technology and ad hoc communication networks could significantly reduce costs and enhance safety by detecting early signs of rock deformation [Ikeda2019].

Rock Classification Using Machine Learning and Hyperspectral Imaging

The mining industry, heavily reliant on resource extraction, faces challenges with declining ore grades and the inefficiencies of traditional rock and mineral identification methods. To address these issues, we propose a novel integration of Hyperspectral Imaging, Neighborhood Component Analysis (NCA), and Machine Learning (ML). Hyperspectral imaging captures the electromagnetic signatures of rocks across hundreds of spectral bands. The proposed system utilizes UAV drone technology for automated rock and mineral classification. Applying ML to this data has validated our hypothesis, reducing both computational costs and the time required for analysis, while achieving high classification accuracy. This approach demonstrates the substantial enhancements possible in mining efficiency through the adoption of this integrated technological system [Sinaice2021].

Drill Bit Failure Detection Using Convolutional Neural Network

Detecting drill bit failure is crucial in mining, as failures can significantly increase operational costs. Traditionally, this detection relies on the subjective judgment of experienced operators, a method prone to errors. To improve the reliability and efficiency of monitoring drill bit conditions, this study introduces a novel application of artificial intelligence. We have developed a method using a one-dimensional convolutional neural network (1D CNN), which processes time-acceleration data to detect drill bit failures. The model was tested under various conditions—normal, defective, abrasion, high pressure, and misdirection—and demonstrated superior performance compared to three contemporary deep learning neural networks, excelling in classification accuracy. This method provides a more automated and reliable approach to monitoring drill bit integrity in rotary percussion drills.

4. Conclusions

In the intricate fabric of modern society, the consumption of metal resources has become a cornerstone. As we advance, the demand for these resources has amplified, not just in volume but also in the diversity of metals required for various industries, from technology to transportation. Across the globe, there's a palpable need for innovative technologies that can mine these precious resources both safely and efficiently. The urgency is compounded by the fact that each year, the deposits we depend on are buried deeper beneath the earth's surface and their quality diminishes, making the quest for accessible reserves all the more critical.

Mining science, as an interdisciplinary field, has carved its unique path by integrating several key disciplines: geology offers insights into the Earth's crust where these resources lay hidden; rock mechanics provides the principles to extract these resources without causing structural instabilities; civil engineering ensures the infrastructural integrity of mining operations; disaster prevention engineering offers safeguards against the myriad of risks inherent in mining; and mechanical engineering contributes to the machinery and tools that make mining feasible. This integration has fostered a robust technological system tailored to mine the depths of the earth.

Simultaneously, the realm of ICT has undergone a revolutionary transformation, with breakthroughs in artificial intelligence paving the way for machines that can learn and make decisions; big data offering unprecedented insights from the vast seas of information; and data mining techniques that extract the proverbial gold from the informational mineshaft. These developments are not just parallel but are increasingly intersecting with the domain of mining science.

Looking ahead, it's envisaged that smart mining will take the helm in resource development. This new horizon will see the convergence of ICT applications with the deep-rooted principles of mining science, forging a future

where resource extraction is not just about brute force but about intelligent, data-driven decisions. In this upcoming era, smart mining will not only elevate the efficiency and safety of mining operations but will also be instrumental in extending the life of mines by optimizing the extraction processes and maximizing the yield from lower-grade deposits.

The pursuit of smart mining promises a transformation in how we approach the earth's resources. With the advent of advanced sensors and real-time data analysis, mines will become safer and more responsive to changing conditions. Automation will play a pivotal role in carrying out routine and hazardous tasks, thus protecting human workers and increasing operational hours. Machine learning algorithms will predict maintenance needs, minimizing downtime and prolonging equipment life. Moreover, the environmental footprint of mining will be reduced by precision technologies that minimize waste and mitigate the impact on surrounding ecosystems.

As smart mining integrates further into the industry, it will create a synergy between human expertise and machine precision, opening new frontiers in the quest for the metals that fuel our civilization. It's a journey that not only promises to meet the demands of an ever-growing and sophisticated society but also does so by respecting the planet that sustains us. This is the future of mining—intelligent, sustainable, and inextricably linked to the continued progress of human society.

References

J. Lööw, L. Abrahamsson, and J. Johansson, "Mining 4.0—the Impact of New Technology from a Work Place Perspective," Mining, Metallurgy and Exploration 2019 36:4, vol. 36, no. 4, pp. 701–707, jul 2019.

E. Dotsenko, N. Ezdina, N. Breider, and S. Khouri, "Digital Modernization of the Russian Mining Sector in Accordance with the National Technology Initiative and Mining 4.0," E3S Web of Conferences, vol. 278, p. 03003, 2021.

I. Atif, F. T. Cawood, and M. A. Mahboob, "The Role of Digital Technologies that Could Be Applied for Prescreening in the Mining Industry During the COVID-19 Pandemic," Transactions of the Indian National Academy of Engineering 2020 5:4, vol. 5, no. 4, pp. 663–674, sep 2020.

H. Ikeda, O. Kolade, M. A. Mahboob, F. T. Cawood, and Y. Kawamura, "Communication of Sensor Data in Underground Mining Environments: An Evaluation of Wireless Signal Quality over Distance," Mining, vol. 1, no. 2, pp. 211–223, 2021.

Y. S. Dohare, T. Maity, P. S. Das, and P. S. Paul, "Wireless Communication and Environment Monitoring in Underground Coal Mines –Review," IETE Technical Review, vol. 32, no. 2, pp. 140–150, mar 2015.

Z. Wang, W. Li, Q. Wang, Y. Hu, and J. Du, "Monitoring the Dynamic Response of the Overlying Rock–Soil Composite Structure to Underground Mining Using BOTDR and FBG Sensing Technologies," Rock Mechanics and Rock Engineering 2021 54:9, vol. 54, no. 9, pp. 5095–5116, jul 2021.

V. Adjiski, Z. Despodov, D. Mirakovski, and D. Serafimovski, "System archi-tecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry," Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik, vol. 34, no. 1, pp. 37–44, 2019.

S. Matloob, Y. Li, K. Z. Khan, S. Matloob, Y. Li, and K. Z. Khan, "Safety Measurements and Risk Assessment of Coal Mining Industry Using Artificial Intelligence and Machine Learning," Open Journal of Business and Management, vol. 9, no. 3, pp. 1198–1209, apr 2021.

http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=109232http://www.scirp.org/Journal/Paperabs.aspx?paperid=109232

B. Zietek, A. Banasiewicz, R. Zimroz, J. Szrek, and S. Gola, "A Portable nvironmental Data-Monitoring System for Air Hazard Evaluation in Deep nderground Mines," Energies 2020, Vol. 13, Page 6331, vol. 13, no. 23, p. 331, nov 2020.

M. Zare, R. Battulwar, J. Seamons, and J. Sattarvand, "Applications of Wireless Indoor Positioning Systems and Technologies in Underground Mining: a Review," Mining, Metallurgy and Exploration 2021, vol. 1, pp.1–16, sep 2021.

A. H. Soomro and M. T. Jilani, "Application of IoT and Artificial Neural Networks (ANN) for Monitoring of Underground Coal Mines," ICISCT 2020 - 2nd International Conference on Information Science and Communication Technology, feb 2020.

M. M. Alam and E. B. Hamida, "Surveying Wearable Human Assistive Technology for Life and Safety Critical Applications: Standards, Challenges and Opportunities," Sensors 2014, Vol. 14, Pages 9153-9209, vol. 14, no. 5, pp. 9153–9209, may 2014.

X. Qin, M. Fu, and B. Shen, "Coal mine gas wireless monitoring system based on WSNs," Proceedings of the 2011 2nd International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2011, pp. 309–312, 2011.

B. B. Sinaice, N. Owada, M. Saadat, H. Toriya, F. Inagaki, Z. Bagai, and Y. Kawamura, "Coupling NCA Dimensionality Reduction with Machine Learning in Multispectral Rock Classification Problems," Minerals 2021, Vol. 11, Page 846, vol. 11, no. 8, p. 846, aug 2021.

F. Jia, Y. Lei, J. Lin, X. Zhou, and N. Lu, "Deep neural networks: A promising tool for fault characteristic mining and intelligent diagnosis of rotating machinery with massive data," Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 72-73, pp. 303–315, may 2016.

H. Ikeda, Y. Kawamura, H. Jang, N. E. Binti Mokhtar, J. Yokokura, and Z. P. L. Tungol, "Development of an Underground In-Situ Stress Monitoring System for Mining Safety Using Multi Sensor Cell and Wi-Fi Direct Technology," in Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection - MPES 2019, vol. 1. Parth: Springer, 2019, pp. 236–244.

A. Zrelli and T. Ezzedine, "Localization of damage using wireless sensor networks for tunnel health monitoring," in 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., jul 2017, pp. 1161–1165.

J. Ralston, D. Reid, C. Hargrave, and D. Hainsworth, "Sensing for advancing mining automation capability: A review of underground automation technology development," International Journal of Mining Science and Technology, vol. 24, no. 3, pp. 305–310, may 2014.

H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao, and Z. Hu, "A review of UAV monitoring in mining areas: current status and future perspectives," International Journal of Coal Science and Technology 2019 6:3, vol. 6, no. 3, pp. 320–333, aug 2019.

P. Zimroz, P. Trybała, A. Wróblewski, M. Góralczyk, J. Szrek, A. Wójcik, and R. Zimroz, "Application of UAV in Search and Rescue Actions in Underground Mine—A Specific Sound Detection in Noisy Acoustic Signal," Energies 2021, Vol. 14, Page 3725, vol. 14, no. 13, p. 3725, jun 2021.

РАСКРЫТИЕ ПОТЕНЦИАЛА МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА СТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА PIPESIM

О. Зайцев, Т. Шынарбекова
«Отдел оптимизации добычи», компания SLB, г. Астана, Казахстан
,

Аннотация. Цель изложенной статьи заключается в том, чтобы продемонстрировать применение симулятора стационарного потока Pipesim для решения задач урановой промышленности. Pipesim– уникальный расчетный инструмент, который позволяет моделировать распределение расхода, давления и температуры от забоя скважины до наземного оборудования как для добывающих, так и для нагнетательных сетей. Благодаря встроенному GIS модулю значительно ускоряется процесс построение наземных сетей за счет автоматического снятия высотных отметок местности. Детализированная и настроенная модель может стать незаменимым инструментом для проведения комплексных сценарных анализов, оптимизации производственных операций и расчета возможных последствий принимаемых решений.
Ключевые слова: Уран, подземное выщелачивание урана, гидравлика, GIS, Pipesim, стационарный поток, моделирование

UNLOCK PRODUCTION CAPABILITIES WITH PIPESIM STEADY STATE FLOW SIMULATOR

O. Zaitcev, T. Shynarbekova
«Production Engineering department», SLB, Astana, Kazakhstan,

Annotation. The purpose of this article is to demonstrate the application of the Pipesim steady state flow simulator to solve the problems of the uranium industry. Pipesim is a unique simulation tool which allows to calculate the distribution of flow, pressure and temperature from the bottom of well to surface facility as for production, as for injection networks. With help of GIS module, the process of building surface networks is significantly accelerated due to the automatic capturing of elevation profiles. A detailed and customized model can become an indispensable tool for conducting complex scenario analyses, optimizing production operations and anticipating the possible consequences of decisions.
Key words: Uranium, In-situ leaching, hydraulics, GIS, Pipesim, steady state flow, modeling

Добыча урана является одной из ключевых отраслей экономики Казахстана, обеспечивая значительный вклад в ВВП и привлекая инвестиции в развитие инфраструктуры и технологий.

Современная урановая промышленность сталкивается с растущими вызовами, требующими внедрения инновационных подходов и технологий. В этом контексте цифровизация играет ключевую роль, обеспечивая возможность создания точных цифровых моделей производственных процессов и месторождений. Цифровые модели позволяют проводить комплексные сценарные анализы, оптимизировать производственные операции и предвидеть возможные последствия принимаемых решений.

Моделирование гидравлики не является исключением. Применение подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) предполагает наличие добывающих и нагнетательных скважин с соответствующей наземной инфраструктурой, пропускная способность которой может оказаться сдерживающим фактором для достижения целевых показателей по добыче. Кроме того, перераспределение и управление объемами закачиваемых и добываемых агентов между блоками разработки и обеспечение требуемого баланса между ними становится все более и более сложной задачей по мере роста скважинного фонда.

Симулятор стационарного потока Pipesim– уникальный инструмент, который позволяет моделировать распределение расхода, давления и температуры от забоя скважины до наземного оборудования как для добывающих, так и для нагнетательных сетей. Возможности данного программного обеспечения помогают решать широкий спектр рабочих задач, возникающих во время производственных операций на месторождении. Расчетное ядро Pipesim предлагает различные алгоритмы оптимизации для максимизации добычи с учетом различных ограничений крупных сетей, содержащих сотни скважин.

В данной статье описывается первое применение программного обеспечения Pipesim для решения задач урановой промышленности. Аналогичная концепция поверхностной и внутрискважинной инфраструктуры позволяет применять классическое программное обеспечение нефтегазовой отрасли для моделирования процессов добычи урана. На основе практических примеров представлены возможности Pipesim по анализу продуктивности добывающей скважины, пропускной способности наземной, а также произведена верификация точности GIS модуля и возможности программного обеспечения считывать высотные отметки для автоматического построения профилей трубопроводов.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ (САУП)

Драгунов П.П.
Первый горно-металлургический институт ПГМИ г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Система автоматизированного управления производства – САУП, представляет собой модульный программный комплекс. Идеология модулей САУП основана на накоплении и последующем использовании уникального производственного опыта. САУП построена на методологии, стандартах, многолетнем технологическом опыте НАК КАЗАТОМПРОМ. САУП это многокомпонентный, современный инструмент, позволяющий решить производственные задачи, сделать процесс управления ПСВ и цехами переработки формализованным и эффективным. САУП осуществляет контроль ведения процессов добычи и переработки урана, производственного учета реагентов и урана.

Ключевые слова

ГТП	Гео-технологический полигон
ЦППР	Цех переработки продуктивных растворов
ПСВ	Подземное скважинное выщелачивание
ГИС	Геоинформационная система (географическая информационная система, ГИС) — система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах.
Mes система	система управления производственными процессами — специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства.
цикл Деминга	Цикл Деминга (Deming Cycle, круг качества) – это постоянный круг регулирования усовершенствования продукта и производственных процессов, оптимизации отдельных единиц и объектов.
ГП	Готовая продукция
НЗП	Незавершённое производство (продукция)
ВР	Выщелачивающие растворы
Мехвзвеси	Степень загрязнения раствора физическими частицами
Дисбаланс растворов	Разница между объемами выщелачивающими и продуктивными растворами
АСУТП	Автоматизированная система управления производством
C(u)	Концентрация урана в растворе
ГРМ	Горно-рудная масса
ЖкТ	Жидкое к твердому. Объем ВР по отношению к гоно-рудной массе
Водоупор	Глинистые прослои с низкой проницаемостью (меньше 1 метра в сутки)
АРМ	Автоматизированное рабочее место
РБД	Реляционная база данных

Система автоматизированного управления производства – САУП, представляет собой модульный программный комплекс, выполняющий математическое моделирование полного производственного процесса предприятия.

Идеология модулей САУП основана на накоплении и последующем использовании уникального производственного опыта эксплуатации урановых месторождений, обогатительных фабрик и гидрометаллургических заводов (ГМЗ), их перерабатывающих, сервисных и управляющих подразделений, посредством непрерывного и долгосрочного анализа текущих и исторических данных, с целью эффективного функционирования и развития.

Методика САУП

• САУП построена на методологии, стандартах, многолетнем технологическом опыте НАК КАЗАТОМПРОМ и интегрирована с системами подсчета геологических запасов.

• Принципиально новым в предлагаемой системе расчетов является использование Матрицы Соответствий, в которой отражается топографическая, литологическая, геологическая информация полигона ПСВ, а также структура производственных связей, оборудования и людских ресурсов.

Данная матрица связывает реляционную базу данных и сложившуюся производственную топографию объектов полигона добычи, цеха переработки и прочих объектов предприятия, фактически превращая программный комплекс в графически интегрированную систему (ГИС);

- Система реализована на стандартном программном обеспечении (VBA, SQL, MapBasic) и не требует дополнительных вложений, за исключением 3D модуля Surpac или иного подобного программного обеспечения для визуализации.
- САУП является полноценной Mes системой (система управления производственными процессами), позволяющей эффективно управлять уранодобывающим предприятием.
- САУП обладает качествами адаптивной методологии. САУП нацелена на преодоление ожидаемой неполноты требований и их постоянного изменения. Когда меняются требования, меняется исходные данные для решения задач. Существует точный план решений лишь на ближайшее время. Более удаленные во времени планы существуют лишь как декларации, основанные на исторических данных, ожидаемых затратах и результатах. Адаптация структуры математической модели основана на циклах Деминга.

Составляющие части программного продукта САУП

1. Учет и контроль материальных потоков;
2. Технологический регламент. Производственное задание для геотехнологического полигона;
3. Технологический регламент. Производственное задание для ЦППР и других подразделений;
4. Управление производственными активами, ресурсами, персоналом;
5. Себестоимость. Экономическая эффективность;
6. Планирование, анализ, отчетность;
7. Контроль производства посредством встречных проверок массивов данных;
8. Контрактная деятельность. Контроль недропользования;
9. Интеграция с системами подсчета запасов,1С, прочими системами;
10. Безопасность данных, контроль безопасности производственных процессов.

Цели и назначение САУП

- Эффективное недропользование – увеличение процента извлечения запасов;
- Оптимизация технологических процессов;
- Планирование производства, генерация сводной отчетности;
- Увеличение рентабельности производства за счет снижения потребления кислоты и других операционных издержек;
- Экологическая безопасность.

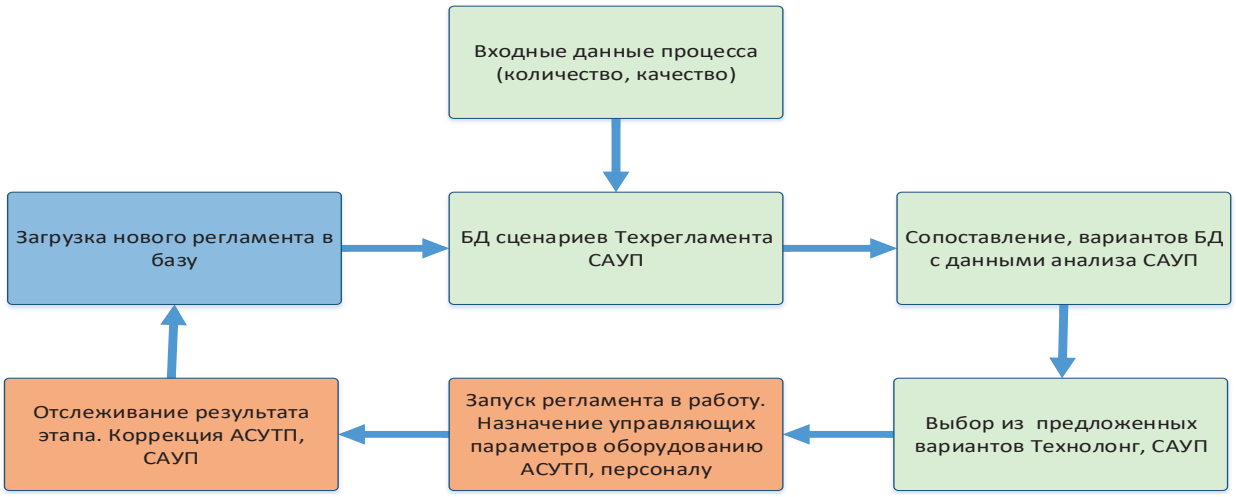
Разработка и выбор параметров Технологического регламента для каждой стадии производственного процесса, является непрерывной работой по увеличению эффективности предприятия. После получения вводных данных (результатов анализа ПР по откачным скважинам, дебетам и приёмистости, количеству и качеству РВР, данным по остаткам запасов и прочим характеристикам ГТП) аналитический блок САУП

сверяет текущие показатели с базой данных предыдущих технологических регламентов и выбирает из них несколько наиболее близких по качеству сырья вариантов для предложения их в работу.

Основные критерии отбора оптимального технологического регламента при сравнении следующие:

1. Технологическая карта
1.1. Данные экспресс анализа (наиболее близкие химические концентрации компонентов)
1.2. Карта времени процесса (оптимальный временной режим)
1.3. Аналитика входных параметров (производственные и технологические показатели)
1.4. Производственная аналитика выхода (качество получения товарных продуктов)
1.5. Качество параметров выхода
1.6. Количество параметров выхода
2. Изменение НЗП
3. Отходы производства. Экология (выбросы)
4. Потери
5. Загруженность и износ оборудования (оптимизация загрузки и минимизация воздействия)
6. Человеческие ресурсы (минимизация нагрузки на персонал)
7. Зацикливание химических элементов
8. Прочие критерии.

Процесс разработки и принятия технологического регламента предоставлен на следующей схеме системы подбора технологического регламента:



Процесс подбора Технологического регламента происходит в несколько этапов. Первый этап – сравнение качественно-количественных характеристик входных параметров процесса. Используя начальные критерии, система находит некоторое количество вариантов ТР, с наиболее близкими входными параметрами.

На втором этапе выбора из этих вариантов Технологического регламента отсеиваются те варианты, качество и количество выхода которых, менее удовлетворительно (концентрация урана в ПР, дисбаланс растворов, затраты на реагенты, количество РВР и т.д.). Потом система производит оценку по критерию обеспеченности производства материалами, затем объем выбросов, зацикливание производства и т.д.

Процесс происходит, пока количество отобранных регламентов не станет равным трем-пяти. Эти варианты регламентов представляют собой набор режимных и управляющих параметров технологического процесса с его результатами, характеризующими выход товарных продуктов, количество потерь и прочее по вышеприведенному списку.

Управление в этой части процесса состоит в выборе одного из предложенных Системой регламентов. Сами регламенты представляют собой варианты допуска режимных параметров. Эти нормы – исторические данные по производству в целом, отработанные в прошлом и вошедшие в базу технологических регламентов.

Чем большее количество вариантов фактических отработок технологических регламентов накоплено в базе, тем точнее и эффективнее выбор. Таким образом, база САУП совершенствуется непрерывно, за

счет накопления статистических результатов производственных работ, которые характеризуют процесс не только с точки зрения технологии, но и экономики, экологии, работы оборудования.

Следует отметить, что решение по оперативному варианту Технологического регламента принимает специалист, в частности технолог или главный менеджер. Но каждый видоизмененный вариант регламента поступает в базу данных на хранение и будет использоваться для выбора в будущем. Накопление вариантов ведет к уточнению и оптимизации процесса в целом.

Систему САУП следует рассматривать, комплекс накопительных и аналитических данных искусственного интеллекта, сопряжённый с опытом и творческими возможностями производственного и управленческого персонала рудника.

При этом для подготовки и принятия технологических регламентов любых составляющих производственного процесса может быть использован опыт наиболее опытных специалистов НАК Казатомпром, работающих удаленно. Это не только уменьшает производственные затраты, но и позволяет использовать знания и опыт наиболее передовых специалистов НАК для каждого рудника.

САУП качественно и количественно улучшает процессы разработки и принятия решений по производству и технологиям. За счет предоставления специалисту всех возможных данных по истории и оперативном состоянии технологического блока, а также за счет громадного количества предварительных вычислений и аналитики, процесс выбора Технологического регламента не только ускоряется по времени в несколько раз, но и выходит на новый высокоэффективный уровень.

Деление технологического процесса на управляющие узлы, дает возможность уточнения регламента партии по ходу прохождения по этапам производства. Для каждого узла выделены входящие, исходящие параметры и точки воздействия на технологический процесс. Именно это формирует возможность оперативного управления.

При наличии на рабочем месте ведущего инженера-технолога можно подобрать регламент для каждого из узлов и получить новый оптимизированный регламент для этапа и процесса в целом, который войдет в состав базы технологических регламентов и будет использован впоследствии.

При отсутствии квалифицированного технолога система должна самостоятельно скомпоновать усредненный регламент из наиболее близких и эффективных вариаций для запуска его в работу. Следует учитывать, что результаты работы управленческого персонала непрерывно обогащают базу технологических регламентов. По сути дела, усредненный регламент это опыт специалистов, зафиксированный в базе данных.

САУП и управление полигоном подземного скважинного выщелачивания (ПСВ)

САУП это многокомпонентный, современный инструмент, позволяющий решить производственные задачи, сделать процесс управления ПСВ и цехами переработки формализованным и эффективным.

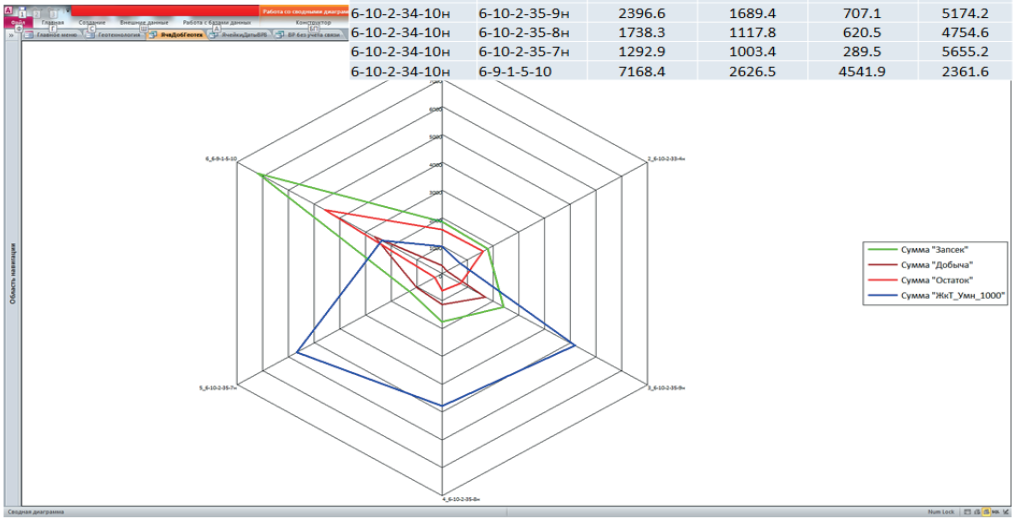
Визуализация всех характеристик ПСВ в рамках двумерной и трехмерной моделей, опирающейся на базу данных, является сложной, но реальной к решению задачей. Механизм расчетов при формировании 3D образов опирается на утвержденные и проверенные стандарты НАК, весь опыт работ по данной тематике.

Расчеты, выполненные для нескольких полигонов ПСВ показали, что при нарушении технологических регламентов на третий-четвертый год работы блоков, до 40% оставшихся запасов выводятся из отработки за счет неравномерности распределения потоков ВР в ячейках и соответственно снижения концентрации урана в ПР ниже критической нормы.

Так на отдельном участке одного из месторождений РК после четырех лет эксплуатации работало лишь 37% созданных ячеек. При существовавших тогда темпах отработки участок должен был эксплуатироваться еще 4 года. Т. е. фактически 8 лет, против 3.5 лет проектных.

Неравномерная подача ВР и распределение запасов внутри ячейки предопределяют неравномерную отработку запасов

Откачная	Закачные	Запасы сектора	Добыча	Остаток	ЖкТ * 1000
6-10-2-34-10н	6-10-2-33-3н	1853.8	281.3	1572.5	978.1
6-10-2-34-10н	6-10-2-33-4н	1761.3	168.8	1592.5	703.5
6-10-2-34-10н	6-10-2-35-9н	2396.6	1689.4	707.1	5174.2
6-10-2-34-10н	6-10-2-35-8н	1738.3	1117.8	620.5	4754.6
6-10-2-34-10н	6-10-2-35-7н	1292.9	1003.4	289.5	5655.2
6-10-2-34-10н	6-9-1-5-10	7168.4	2626.5	4541.9	2361.6

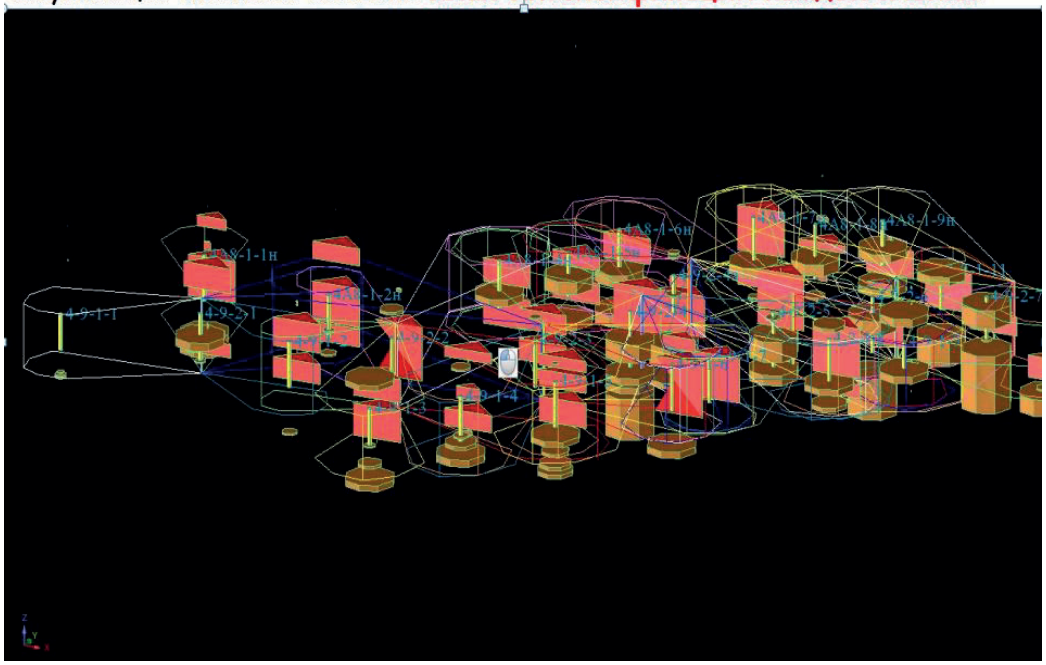


Трехмерная модель ПСВ позиционируется, как инструмент геотехнолога и инженера рудника для разработки и модернизации технологического регламента для каждой скважины.

Визуализация всех характеристик ПСВ в рамках двумерной и трехмерной моделей, опирающейся на базу данных, является сложной, но реальной к решению задачей. Механизм расчетов при формировании 3D образов опирается на утвержденные и проверенные стандарты НАК, весь опыт работ по данной тематике.

Инженеру геотехнологу дается инструмент, который выполняет самые сложные расчеты автоматически, выдает их результаты визуально, по всем точкам, единой объемной картиной. Простой сменой ракурса данных, программный комплекс позволяет компоновать процессы в образы и видеть зависимости процессов в динамической последовательности исторического развития.

Построение план-схемы блока по запасам, посадке фильтров, ГРМ и водоупоров. Учитывая результаты добычи и расположение остаточных запасов, модуль 3D визуализации позволяет составить план интенсификации каждой ячейки.



САУП осуществляет контроль правильного ведения процессов добычи и переработки урана, производственного учета реагентов и урана, а также укрепляет трудовую дисциплину и оперативно выявляет проблемные участки производства.

Квалификация пользователей базы САУП требует наличия лишь среднего образования. В системе имеется защита от неправильного заполнения, и работник вынужден оставлять свою цифровую подпись.

Данные предприятия в виде РБД ежедневно транслируются САУП в головной офис, пополненные информацией за вчерашний день. При необходимости, в САУП реализован механизм двухуровневого паролирования, который уверенно решает вопрос о ее конфиденциальности.

В процессе постановки учетной задачи, производится обучение пользованию САУП на действующих примерах. В процессе обучения выявляется учетная и организационная модели предприятия для переноса их принципов на вновь создаваемую РБД.

При переходе на учет с помощью САУП, специалисты данного предприятия не переучиваются уже сложившимся принципам и механизмам учета, не вовлекаются в процесс ручного ее заполнения. База служит общим достоверным источником технологической и производственной информации, находящимся в ближнем доступе у каждого участника процесса.

Особо следует отметить направленность на развитие САУП к автоматическому контролю процессов производства. Возможность получать часть данных для встречных проверок со стороны, благодаря оборудованию АСУТП САУП даёт независимую от человеческого фактора возможность контролировать производственную дисциплину работников предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н., Рогов Е.И., Рогов А.Е. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. – Алматы: «Эверо», 2001.

2. Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Под редакцией Н.П.Лаверова. – М.: Изд. Академии горных наук, 1998.

3. Справочник по геотехнологии урана. М.: Энергоатомиздат, 1997.

4. Добыча урана методом подземного выщелачивания / Под редакцией Ма-милова В.А. – М.: Атомиздат, 1980.

5. Толстов Е. А. Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызылкумском регионе. – М.: Изд. Московского государственного университета, 1999.

6. Инструкция по гамма-каротажу при подготовке к эксплуатации и эксплуатации пластово-инфильтрационных месторождений урана. Министерство энергетики и минеральных ресурсов. Комитет геологии и охраны недр. ЗАО НАК «Каза-томпром». ТОО «Институт высоких технологий». – Алматы, 2003.

7. Бровин К.Г., Грабовников В.А., Шумилин М.В., Язиков В.Г. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием. – Алматы: Гылым, 1997.

8. Стандарты и методики НАК «Казатомпром».

СОДЕРЖАНИЕ

Құрметті конференцияға қатысушылары!....3
Уважаемые участники конференции!....4
Dear participants of the conference!....5

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Бойцов А.В., Ульянин Ю.А.
РАЗВИТИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ДОБЫЧИ УРАНА ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»....6
Mihalasky, M.J.
GLOBAL URANIUM EXPLORATION, RESOURCES, PRODUCTION, AND DEPOSITS:
THE IAEA'S RED BOOK, UDEPO DATABASE, AND NEW DEVELOPMENTS....10
Verbruggen, A.
CLIMATE, SUSTAINABILITY, ENERGY TRANSFORMATION....11
Mohammad Al-Shannag
URANIUM MINING IN JORDAN: AN ATTRACTIVE INVESTMENT OPPORTUNITY....12
Mrutyunjay Panigrahi
EXTRACTION OF RARE EARTH ELEMENTS USING SUSTAINABLE GREEN IONIC LIQUIDS....13
Жарменов А.А.
ГИБРИДИЗАЦИЯ В ТРИАДЕ «ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО»....14

Секция 1
ГЕОЛОГИЯ, ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ
Section 1
GEOLOGY, GEOTECHNOLOGY AND MINING-PREPARATORY WORK

Асирбек Н.А., Садуов А., Шарапатов А.
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
КАРОТАЖА (ШУ-САРЫСУСКАЯ УРАНОВАЯ ПРОВИНЦИЯ КАЗАХСТАНА)....19
Abeuov A., Madani, N., Dillinger A., Shahzad S., Smagambetov, B., Bolat Y., Sagatbekov C., Chanvry E., Fustic M.[1]
THREE-DIMENSIONAL RESERVOIR MAPPING AND MODELING, URANIUM-BEARING UYUK
(LOWER EOCENE) FORMATION, SOUTH TORTKUDUK URANIUM ROLL-FRONT DEPOSIT,
CHU-SARYSU, KAZAKHSTAN....24
Youcef Bensedik, Hervé Toubon
NUCLEAR MEASUREMENT LOGGING TOOLS USED AND IN DEVELOPMENT FOR
THE EXPLORATION AND EXPLOITATION OF URANIUM MINES....26
Ергалиев Ж.У., Джартыбаев Н.Б.
ВОСПОЛНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УРАНА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ РАЗВИТИЯ....27
Ешманов Б.А., Ержанов К.Б., Нуртазин Р.А.
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЛИНЕЙНЫЕ ЗАПАСЫ УРАНОВЫХ РУД31
S. Hocquet, B. Quiniou, S. Kussainov, G. Gankhuyag, T. Labkiri, P. Grizard, M. Ballini, G. Joubert, M. Rouchereau
DEVELOPMENT OF A NEW URANIUM MINING PROJECT: RESULTS FROM PRODUCTION FIELD
TEST ON ZUUVCH OVOO DEPOSIT, MONGOLIA....36

Иванников С.И., Маркин Н.С., Голуб А.В., Железнов В.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА МЕТОДОМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ МИКРОПРИМЕСЕЙ С ВЫСОКИМ СЕЧЕНИЕМ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРОНОВ....37
Калдасов А.К., Рыспанов Н.Б.,
НАКЛОННО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ МНОГОЗАБОЙНЫЕ СКВАЖИНЫ С ЗАРЕЗКОЙ БОКОВЫХ СКВАЖИН ПЕРСПЕКТИВА УВЕЛИЧЕНИЯ ОТДАЧИ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ УРАНА ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ ЭФФЕКТИВНОЕ БУРЕНИЕ КАК ПРИОРИТЕТ....41
Кузьмин Л.А., Суворов А.В., Миносьянц А.Р.
ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГАММА-КАРОТАЖА МЕТОДОМ КАРОТАЖА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИАГДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ....51
Ныгманова А.С.
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИЦЕНЗИОННЫХ УЧАСТКОВ РАЙОНА РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ АЛТУ-ЛИГОНЬЯ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ АФРИКА)....57
Ныгманова А.С.
ПРОЛИВАЕМ СВЕТ НА БОГАТСТВА МОЗАМБИКА РЕДКИМИ МЕТАЛЛАМИ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЗАПАСЫ....62
Рыспанов Н.Б, Рыспанов Н.Н., Шарипов Р.Х., Малдыбаев Г.К., Хамбарқызы Ә.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДОБЫЧИ НИКЕЛЯ МЕТОДАМИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ....68
Шалбаев Ж.С.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ЗАТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ СООРУЖЕНИИ СКВАЖИН....72
Шалбаев Ж.С.
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН....75
Bekzhan Smagambetov, Thomas Oppeneau, Yerlibek Bolat, Alibek Abeuov, Syed Muzyan Shahzad, Chingis Sagatbekov, Louis Lucas, Emmannuelle Chanvry, Renat Iltukov, Milovan Fustic
SEDIMENTARY FACIES AND RESERVOIR ARCHITECTURE CONTROL ON RESERVOIR ACIDIFICATION FOR ISR - OBSERVATIONS, CONCEPTS, AND ANALOGS, IKANSK FORMATION, SOUTH TORTKUDUK, KAZAKHSTAN....80
H. Toubon
OVERVIEW OF ORANO R&D AND INNOVATION PORTFOLIO....81
Токсанбаев Б.Ж., Жапабаев Қ.А., Төребеков А.Қ.
ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИГНАТУР УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ....82
Иргебаев Д.К.
ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВЕДКИ УРАНА....86
Иванников С.И., Иванов В.В., Маркин Н.С., Земскова Л.А.
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЦЕННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ МЕТОДОМ ИНАА С КАЛИФОРНИЕВЫМ ИСТОЧНИКОМ НЕЙТРОНОВ....91
Жером Виоле, Денис Дорофеев
БУРЕНИЕ С ОБРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ В ТОО СП КАТКО: ПРОЦЕСС И ПРЕИМУЩЕСТВА....94
Жансугуров Д.О.
ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫЕ РАБОТЫ УЧАСТКА 6-7 НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ БУДЕНОВСКОЕ. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТОО «СП «БУДЁНОВСКОЕ»....96
Иванов А.Г., Арсентьев Ю.А.,
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИ....102

Арсентьев Ю.А., Иванов А.Г., Орехов Д.Д., Гаврилов Р.И.,
О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ДОБЫЧИ УРАНА, СООРУЖЕННЫХ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ.....105
Иванов А.Г.,
О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ ОБСАДНЫХ ТРУБ НА КАЧЕСТВО СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ДОБЫЧИ УРАНА.....111
Соловьев Ю. В.
WIREBMR –ДОБЫЧА УРАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНО-СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (ПСВ).....117
Васюта А.Е., Носырев Г.М., Данилейко В.В.
ЗАКОНОМЕРНОСТИГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МНОГОФАКТОРНОМ АНАЛИЗЕ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН.....121
Филиппович А.
ПОИСКОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРАХ ТЕХНОЛОГИЙ EXPERT GEOPHYSICS LIMITED).....127

Секция 2
ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ УРАНА
Section 2
URANIUM EXTRACTION AND PROCESSING TECHNOLOGIESA

Гладышев А.В., Кеслер А.Г., Носков М.Д., Суворов А.В., Солодов И.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ОСТАНЦОВ НА СТАДИИ ДОРАБОТКИ БЛОКОВ СПОСОБОМ ПСВ.....131
Ainakulova Dana Tulegenkyzy
TITLE: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF POLY(STYRENE-CO-GLYCIDYL METHACRYLATE) AS REACTIVE DILUTE TO EPOXY RESIN.....135
Брехт А.А., Вятченникова Л.С., Жондиллаева М.С., Мусабаев С.Р., Раисов Б.Б., Чистилин П.Е.
ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА НА ПРОЦЕСС ПСВ.....136
Данилов А.А., Грициенко А.С., Бейсекеев Е. Ш., Редько А.В., Третьяков С.Ю., Маджара Е.О., Тлеулина К.А.
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА РАЗНЫХ ГОРИЗОНТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА.....141
Данилов А.А., Абрамухин П.И., Мырзакулов Н. Д., Карпенко В. Ю., Ешманов Б. А..
ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИТРИТА НАТРИЯ И ОЗОНА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ.....149
Данилов А.А., Абрамухин П.И., Жансугуров Д.О., Кигай С.Р., Волков Ю.А., Тимаков А.С.
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРОСОВЫХ РАСТВОРОВ ОТРАБОТАННЫХ БЛОКОВ.....153
Гурова Н.В., Титекли Б.М., Цветков В.И.,
КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ. ПРЕИМУЩЕСТВАИИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ, ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ПОТОКЕ И ДР. 160
Koval I.D.,
REVOLUTIONARY DEVELOPMENTS IN THE MINING SPHERE: IN-SITU LEACHING OF URANIUM.....172

Сатанов М.М., Абдрахманов Н.Н., Маркенбаев Ж.Д., Кенжетаев Ж.С., Алтайбаев Б.Т.
ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИН
ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА.....177
А.А. Соловьев, А.В. Татарников, Е.Ю. Мешков, С.И. Андреева, Е.С. Бояркина
СОРБЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ СПВ УРАНА
НА ОПУ ДОБРОВОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....183
Бектаев М.Е., Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Алтынбек А.Д.,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОМ
СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА (ТП ГП).....189
Dauletbayev A.S., Altynbek A.D., Kadirbekov K.A.
OPTIMIZING ULTRA-FLOC TREATMENT PARAMETERS FOR ENHANCED PURIFICATION
OF RECIRCULATING SOLUTIONS AT URANIUM MINES: A COMPARATIVE STUDY.....194
Кадирбеков К.А., Даулетбаев А.С., Алтынбек А.Д.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИ УЛЬТРАФЛОКУЛЯРНОЙ
ОБРАБОТКЕ С ЦЕЛЬЮ ОЧИСТКИ РЕЦИРКУЛИРУЕМЫХ РАСТВОРОВ УРАНОВОГО
РУДНИКА.....196
Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Алтынбек А.Д., Шидерин Б.Н.
ПОВЫШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРАХ БИОАКТИВАЦИЕЙ
ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩИХ РАСТВОРОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ.....201
Тусупбаев Н. К., Саменова Н.О., Айдарова С.Б.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМАГНИТНОГО КАТАЛИЗАТОРА РАЗЛИЧНОЙ
ДИСПЕРСНОСТИ.....204
Санакулов К., Бабаев Ш.Р., Аликулов Ш.Ш.
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА
В УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УЗБЕКИСТАНА.....213
Баешов А., Турлыбекова М.Н., Мырзабеков Б.Э., Шарипов Р.Х.
ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ УРАН ӨНДІРІСІНДЕГІ ТЕМІР (III)
ИОНДАРЫН РЕГЕНЕРАЦИЯЛАУ.....218
Дуйсебаев Б.О., Полиновский К.Д., Байтасов К.М.,
ЗАМКНУТЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ДЛЯ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
КАЗАХСТАНА.....222
Санакулов К., Курбанов М.А., Аликулов Ш.Ш., Утаев С.М.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ МОЛИБДЕНА ИЗ КАРБОНАТНЫХ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ
УРАНОВОГО ХИМКОНЦЕНТРАТА.....229
Санакулов К., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З.
ЗНАЧЕНИЕ СПОСОБА НАГНЕТАНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ.....232
Аширбекова С.Д,
ПЕРЕРАБОТКА ОКИСЛЕННЫХ РУД КУЧНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ
ПЕРЕРАБОТКОЙ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ МЕТОДОМ ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ
С ПОСЛЕДУЩИМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ (SX-EW) С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОГО МЕТАЛЛА
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА.....238
Dr. Mohammad Alnaief
PROCESS DEVELOPMENT FOR URANIUM EXTRACTION AND PURIFICATION FROM
CENTRAL JORDAN ORE DEPOSITS.....239

Секция 3

ТЕХНОЛОГИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДОРЕАКТОРНОГО ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Section 3

TECHNOLOGIES AND CURRENT PROBLEMS OF PRE-REACTOR NUCLEAR FUEL CYCLE

Козловский А.Л., Азамбаев С.Б.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КЕРАМИК В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРСНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА RESEARCH OF THE PROSPECTS FOR USING COMPOSITE CERAMICS AS DISPERSE NUCLEAR FUEL.....240
М. Айткулов, Ш. Гизатулин, А. Шаймерденов, А. Аханов., П. Сильнягин, Д. Сайранбаев, А. Диков, С. Кислицин, S. Ueta, N. Sakaba
ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕАКТОРЕ ВВР-К.....243
В. В. Гузеев
ТЕОРИЯ СПЕКАНИЯ КЕРАМИКИ НА ПРИМЕРЕ СОЕДИНЕНИЙ УРАНА.....244
JOR-SHAN CHOI
TRENDS AND CHALLENGES ON URANIUM SUPPLY AND DEMAND IN A CHANGING TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT.....249
Кадыржанов Д.Б., Козловский А.Л.
ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОКСИДНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.....254
Лебедев Н.М., Грот А.Н., Пастухова И.А.
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА.....258
Алдажаров Т.М., Кириллов Е.В., Кылышканов М.К., Подойников М.А., Батырбеков Э.Г., Бакланов В.В., Вурим А.Д.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК ДЛЯ КАЗАХСТАНСКО-ФРАНЦУЗСКОГО РЕАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SAIGA.....263
Лепсибаев Ч.К.,
ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....267
Назаров Куаныш
РАЗВИТИЕ НЕЙТРОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРА ВВР-К.....268
Нурулин Р.И.,Мухаметулы Б., Иоффе А.И. Назаров К.М.
СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ НЕЙТРОННОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ВВР-К.....269
Ниханова Д., Боковая Н.
РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН.....270

Секция 4

РЕСУРСЫ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ

Section 4

RESOURCES AND EFFECTIVE TECHNOLOGIES OF PRODUCTION OF RARE AND RARE-EARTH METALS AND HIGH-TECHNOLOGY PRODUCTS BASED ON THEM

Буленова К.Ж., Токсанбаев Б.Ж., Копбаева М.П., Сукуров Б.М.
КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ОТРАБОТАННЫХ БЛОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ».....274

Поветкин К.А., Смирнов А.В., Новиков М.Л., Иванов С.В., Нечаев А.В.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТАНТАЛА МЕТОДОМ ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ИЗ РАСТВОРОВ ВСКРЫТИЯ ЖЕЛЕЗО-ТИТАНОВОГОКЕКА.....281
Бочевская Е.Г., Шарипова А.С., Килибаева С.К., Саргелова Э.А
РЗМ-СОДЕРЖАЩИЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА.....287
Жуков С.В., Мигаенко Е.С., Зайцева Т.Н., Нечаев А.В.
РАЗДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ СРЕДНЕТЯЖЕЛОЙ ГРУППЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СМЕШАННОГО ЭКСТРАГЕНТА ТАБАН-ТБФ-ИЗООКТАНОЛ-ПАРАФИНТНЕ SEPARATION OF MEDIUM-HEAVY RARE EARTH ELEMENTS USING A MIXED EXTRACTANT TABAN-TBP-ISOOCTANOL-PARAFFIN.....293
Сейтжанов А.К., Зайцева О.А., Хасанов У.М.
РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ: АНАЛИЗ ЗАПАСОВ, ДОБЫЧИ И ПЕРСПЕКТИВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....300
Логинов С.В., Николаева А.Д., Нечаев А.В., Сибилев А.В., Жуков С.В., Зайцева Т.Н.
ПЕРЕРАБОТКА НИТРАТНО-АММИАЧНЫХ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ ОСАЖДЕНИЯ СОЛЕЙ РЗМ ПОСЛЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ПО АЗОТНОКИСЛОЙ СХЕМЕ.....306
Фоменко А.С., Искаков З.А., Кумарбекова А.Т. Березовский А.В.
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ СО СМОЛЫ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА.....313
С.И. Андреева, А.В. Татарников, Е.Ю. Мешков, А.А. Соловьев, И.Д. Трошкина, А.С. Лавров
СОРБЦИОННОЕ ДВУХСТАДИЙНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ КОНДИЦИОННОГО ТРИФТОРИДА СКАНДИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА.....316
С.М. Ислякова, Б.Б. Юсупова, Д.К. Абдихамитов
ОСНОВНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА РЗМ.....320
В.В. Меньшиков, Е.Б. Солнцева
СТРАТЕГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕРИЛЛИЯ В РОССИИ.....323
Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А.
ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РУДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА.....324
Нурбаев Асхат Бахытжанович
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ОТ МИКРООРГАНИЗМОВ ДО ЛАНМОДУЛИНА.....332
Рожков С.С., Силюк Н.П., Мельников С.А.
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМА.....333
Арбуз А.С., Попов Ф.Е., Лутченко Н.А. Паничкин А.В.
ОЦЕНКА ПЛАВКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ОКСИДА ИТТРИЯ ПУТЕМ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ С ДОБАВЛЕНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИТТРИЯ.....339
Zığındere O., Gözüak G.N., Karakurt V., Çitrak T., Koçak H.
EFFECT OF RARE EARTH ELEMENTS ON COPPER AND ITS ALLOYS.....345
Асанов А.А.
КЫРГЫЗСКАЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....350
Айдарова С.Б., Сарсембекова Р.А.
КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ К ОБОГАЩЕНИЮ РУД И ЭКСТРАКЦИИ.....356
Ильичева О.В., Хлебникова И.А.,
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА СКАНДИЯ ИЗ МАТОЧНИКОВ СОРБЦИИ УРАНА.....359
Sajid Hussain Siyal
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITE ELECTROLYTE USING RARE EARTH ELEMENTS FOR METAL BATTERIES (ENERGY STORAGE DEVICES).....361

Секция 5

БЕЗОПАСНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ, УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Section 5

SAFE OPERATION OF NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES AND WASTE MANAGEMENT, OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT

Дубков Б.А.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ THERMOFISHER SCIENTIFIC....362
Егорова Т.Б., Романчук А.Ю., Кривцова Е.К., Власова И.Э., Калмыков С.Н.
ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В УСЛОВИЯХ ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПОЛИГОНА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ....363
Клепиков А.Х., Тажибаева И.Л., Блынский А.П., Тулегенов М.Ш., Тарбаев М.К.
СТРАТЕГИЯ ПОИСКА И ОБРАЩЕНИЯ С БЕСХОЗНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН....364
Колесов В.В.,
РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИАЦИОННО- ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ОБЪЕКТОВ....370
Коровин В., Погорелов Ю., Шестак Ю., Валяев А.
МАССООБМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ АНИОНИТОМ АМ-п-2 В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ИЗ МОДЕЛЬНОГО СУЛЬФАТНОГО РАСТВОРА....375
Дуганов А. А.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРИБОРЫ И СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА....379
Нурмуродов Л.Т., Аллаберганова Г.М., Пулатов Х.Л., Кулматов Р.А., Музафаров А.М.
РЕЗУЛЬТАТЫ ГОДОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РАЙОНЕ ВЛИЯНИЙ УРАНОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ....384
Покровский И.В.
РАДИОИЗОТОПНЫЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ....387
Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Сайранбаев Д.С., Аханов А.М., Айткулов М.Т., Нугуманов Д.К., Ермаков Е.Л., Сахиев С.К.
ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКТОРА ВВР-К ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ТОПЛИВА И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ....388
K. S. Velichkov
KAZAKHSTAN'S NUCLEAR ENERGY DILEMMAS....389
Заборский А.В., Шаньшина Т.В., Верменичева И.А.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ....394
Вадим Коровин, Юрий Погорелов, Юрий Шестак, Александр Валяев
СОРБЦИЯ УРАНА ИЗ РАСТВОРА МОДЕЛИРУЮЩЕГО СОСТАВ ВОДЫ В ТОЛЩЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯР»....400
Anjali Singh
CRITICAL RAW MATERIALS FOR LOW-CARBON TECHNOLOGIES: ADVANCING SUPPLY STABILITY VIA CIRCULAR ECONOMY IMPLEMENTATION....403
Дженбаев Б. М., Джаманбаева З.А., Жалилава А.А., Айтикеев Н.Ж.
БЕЗОПАСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЫВШИМИ УРАНОВЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ, УРАН И ДРУГИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ....404
JOR-SHAN CHOI
ADVANCED REACTOR 3S (SAFETY, SECURITY, SAFEGUARDS) AND WASTE MANAGEMENT FOR EMERGING NUCLEAR POWER COUNTRIES....405
Милокумов В.С., Тиханова Е.В.
ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ....410

Мухортов М.С., Тулегенов М.Ш., Нуртазин Е.Р., Үсербаев К.С., Куртибаева Г.Р.
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИР ВВР-К НА ЖИТЕЛЕЙ МИКРОРАЙОНА АЛАТАУ ГОРОДА АЛМАТЫ»....413
Искаков М.М., Арыстанов А.А., Тренин А.В., Кимолаев Ж.Б.
ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО И РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЫЛИ НА ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ ПЕРСОНАЛА ДОЧЕРНИХ И ЗАВИСИМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»....414
Хлебникова И.А., Болтанов А.В., Гофман А.А.,
РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕГРАДАЦИИ ТРИБУТИЛФОСФАТА ИЗ РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ СОДОВЫХ РАСТВОР....417
Жакупова Г.Б., Федорчук Ю.М., Саденова М.А., Дуйсебаев Б.О.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ФТОРАНГИДРИТА: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ....420

Секция 6
ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЭКОЛОГИЯ, СОЦИАЛЬНАЯ СФЕРА И КОРПОРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (ESG), ПРАВОВЫЕ, МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
Section 6
SUSTAINABLE DEVELOPMENT ISSUES, INCLUDING ECOLOGY, SOCIAL SPHERE AND CORPORATE GOVERNANCE (ESG), LEGAL, MACROECONOMIC AND EDUCATIONAL ASPECTS OF THE NUCLEAR INDUSTRY FUNCTIONING

Блынский А.П., Тажибаева И.Л., Клепиков А.Х., Романенко О.Г., Азмаганбетова Ж.Р.
О ВЫПОЛНЕНИИ РЕСПУБЛИКОЙ КАЗАХСТАН ОБЯЗАТЕЛЬСТВ, ВЫТЕКАЮЩИХ ИЗ ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНВЕНЦИИ О БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ И О БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ....427
Акентьева Е. В., Гаврилов А.Э., Сыгаев Е.К., Большакова Н.А.
О РАЗВИТИИ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПТИЦ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ....433
Искаков М.М., Перменев Ю.Г., Панова Е.Н., Агапов О.А.
РЕАЛИЗАЦИЯ ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ESAP, КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КОМПАНИИ....438
Кайрамбаев С.К., Перменев Ю.Г., Большакова Н.А., Фалеев Д.Г., Федорина О.А., Байбосунова Г.Е.
МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИЙ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ РУДНИКОВ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»....442
Nikolas P. van der Meylen, Robert Eykhler
PROVEDENIYE TERAPEVTICHESKOY YADERNOY MEDITSINY V SHVEYTSARII S ISPOL'ZOVANIYEM RADIOMETALLOV: OBZOR....449
Саинова Г.А., Кожамбердиев Е.М., Акбасова А.Д., Юлдашбек Д.Х., Ибраимов У.К.
НОВОЕ УДОБРИТЕЛЬНО-МЕЛИОРИРУЮЩЕЕ СРЕДСТВО ИЗ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА....450
Субботин С.Б., Кривицкий П.Е., Ларионова Н.В, Айдарханова А.К., Мамырбаева А.С., Тлеуканова Ж. Е., Александрович И.А., Скрипников М.В., Бачурина И.А., Ермакова Р.Г.
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОБЫЧИ УРАНА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ГРАЧЕВСКОЕ» НА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ПОСЕЛКА СОУМАЛКОЛЬ....455
Панова Е.Н., Кайрамбаев С.К., Перменев Ю.Г., Омарова А.К.
К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ШЛАМОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ НА УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»....457
Перменев Ю.Г., Кайрамбаев С.К., Фалеев Д.Г., Агапов О.А.,
РЕМЕДИАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ....460
Weishen Zeng
APPROACHING EFFECTS OF GREEN ENERGY TRANSITION: CHINA, KAZAKHSTAN, AND THE GLOBAL SOUTH....465

Nurjaz Akylbek
TECHNOLOGICAL INNOVATION AND STRUCTURAL TRANSFORMATION IN KAZAKHSTAN: THE ROLE OF INDUSTRIAL POLICY AND FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN CRITICAL RAW MATERIALS....466
S.S Ussenkhan, A.T. Zhunisbekov, Y. Yerlanuly, A.U. Utegenov, S.A. Orazbayev, T.S. Ramazanov, L. Boufendi, H.Vach
OBTAINING OF SILICON NANOCLUSTERS BY THE PECVD METHOD....467
Г.Ә.Саинова, Д.К.Азиханова
ЖАҢА КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫН ҚАЛДЫҚТАРДАН АЛУ МЕН ӨНДІРІСКЕ ЕНГІЗУ....468
Жумадилова Ж.А., Шокобаев Б.А.
ПОДДЕРЖКА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АО «САМРУК-КАЗЫНА»....473
Кайрамбаев С.К., Юшков Е.С.
ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ДОБЫЧЕ УРАНА....480
Сабитова Ш.М., Кигай С.Р.
УПРАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ: СТРАТЕГИИ И ПРАКТИКИ....482
Алтынбек А.Д.
КӘСІПОРЫН ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ӘЛЕУЕТІН ДАМЫТУ....484
Затолокин В.И.
РЕШЕНИЯ MATRIZ OFFICIAL И PRIZ GURU INC. ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ....488
А.С. Баймагамбетова, Е. Тилеуберди, Е.К. Онгарбаев, А.А. Шарипова, Е. Иманбаев, Е. Канжаркан, К. Садыков
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ....493
Боковая Н.Н., Ниханова Д.У.
ВКЛАД АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» В ПОДДЕРЖАНИЕ УРОВНЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА....495
Альтаев Т.Т.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА «АЗТМ»....497

Секция 7
ЦИФРОВИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
Section 7
DIGITALIZATION, AUTOMATION AND ROBOTIZATION IN THE NUCLEAR INDUSTRY

Иркитбаев Ч.А.
ПРОГРАММА ДЛЯ ДОКУМЕНТАЦИИ КЕРНА....500
А. Нуркас, Е. Умурзаков, А.Мейманова, Б. Амангалиев
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА INTERSECT....503
Алдамжаров Б.А., Ильясов Н.Р.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПСВ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ....504
Гуцул М.В., Ежуров Д.О., Кадыров К.К., Кеслер А.Г., Курасова Ю.Д., Лавров А.С., Носков М.Д., Сакирко Г.К., Скляр Л.А., Чеглоков А.А.
ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ....508
Березин А.А., Гуцул М.В., Ежуров Д.О., Истомин А.Д., Кадыров К.К., Лавров А.С., Носков М.Д., Сербин А.В., Чеглоков А.А.
МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «СКВАЖИНА» ДЛЯ ПОЛЕВОГО ПЕРСОНАЛА ДОБЫЧНОГО ПОЛИГОНА ПСВ УРАНА....513
Цой Дана, Дайнеко Евгения, Болатов Жигер, Туржанов Үмітхан
ПРИМЕНЕНИЕ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ....519

Гуцул М.В., Ежуров Д.О., Истомин А.Д., Кадыров К.К., Лавров А.С., Носков М.Д., Сакирко Г.К., Сербин А.В., Чеглоков А.А.
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ РУДНИКА ПСВ.....522
Слатин А.С.,
ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ ПЕРСОНАЛОМ И ОПЕРАЦИЯМИ. ЛАБОРАТОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МЕНЕДЖМЕНТ СИСТЕМА (LIMS).....528
Никитина Ю.Г., Мырзабек Г.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ УРАНА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАЙРХАН (МОНГОЛИЯ).....534
Сагатбеков Ч.Н., Болат Е., Куванышев А.М.
ВНЕДРЕНИЕ 3Д МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК ЧАСТЬ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. ОПЫТ КАТКО.....539
Уезбаев Т.Н.
«KAP-MAP» —КОРПОРАТИВНЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ».....547
Уезбаев Т.Н., Бектенов Р.Ш., Нысанбаев Н.С.
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВЫПУСКЕ УРАНОВОЙ ПРОДУКЦИИ В АО НАК «КАЗАТОМПРОМ».....552
Hajime Ikeda
INSIGHTS INTO INTELLIGENT MINING INNOVATIONS: THE JAPANESE APPROACH.....555
О. Зайцев, Т. Шынарбекова
РАСКРЫТИЕ ПОТЕНЦИАЛА МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА СТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА PIPESIM.....559
Драгунов П.П.
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ (САУП).....560

СБОРНИК ТРУДОВ

XI Международной научно-практической конференции «Развитие урановой и редкометалльной промышленности», посвященной 75-летию Ульбинского металлургического завода

16-18 мая

Ответственный за выпуск Алагузов Р.Ж.
Технический редактор Скуратова И.М.
Компьютерная верстка Жадыранова Г.Д.

Подписано в печать 22.11.2022 г.
Формат 60x84 $^{1}/_{16}$. Бумага тип. Уч.-изд.л. 27,5 Тираж 300 экз.
Заказ №202

Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59