



«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор,
канд. техн. наук

В.Е. Дементьев

«25» мая 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Морозова Александра Анатольевича
**«Обоснование комплексной технологии обработки бедного уранового сырья
геотехнологическими методами»**

по специальности 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»
на соискание ученой степени доктора технических наук.

1. Актуальность избранной темы

Актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнения, так как на территории России в настоящее время открыто 11 урановорудных районов, 5 из которых являются скальными типами руд. Наиболее крупными объектами являются Приаргунский и Восточно-Алданский.

Разработка эффективных технологий обработки бедных урановых руд с низким содержанием стратегического металла месторождений Стрельцовского рудного поля создаёт перспективы продления жизненного цикла градообразующего предприятия горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом» – ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение им. Е.П. Славского» (ПАО «ППГХО»), которое является лидером по объему добычи урана в России.

2. Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Работа выполнена в процессе разработки и промышленной апробации комплексной технологии обработки бедного уранового сырья геотехнологическими методами, что соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации – «Рациональное природопользование» (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. №899). Работа выполнена также в рамках программы «Повышение эффективности обработки Стрельцовской группы месторождений урана на период до 2020 г.», а также в рамках программы Госкорпорации «Росатом» «Программы инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года» и при выполнении темы НИОКР «Создание комплексной технологии обработки беднобалансовых урановых руд геотехнологическими методами» (шифр 2012-218-03-4491, 2013 г.).

3. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна диссертационных исследований и результатов не вызывает сомнений и заключается:

- в выявлении взаимосвязей между вещественным составом пород и минеральным составом руд; содержанием урана в добытой руде и показателями, влияющими на эффективность рудоподготовки бедного уранового сырья, такими как: контрастность руд, коэффициент радиоактивного равновесия, гранулометрический состав добытых руд, выраженные графическими зависимостями и математическими уравнениями;

- в установлении корреляционных связей между содержанием урана в перерабатываемой методом КВ рудной массе, размером куска, концентрацией используемого реагента (серной кислоты) в рабочем растворе выщелачивания, рациональной схемой размещения источников орошения, оптимальным режимом орошения штабеля, применением поверхностно-активных веществ для улучшения фильтрационных свойств горнорудной массы и оптимальным показателем извлечения урана в продуктивный раствор, которые аппроксимированы математическими уравнениями;

- в разработке алгоритма рудоподготовки уранового сырья перед получением конечной урановой продукции по различным оптимальным технологиям его переработки (кучное и гидрохимическое), позволяющего обеспечить эффективное управление качеством конечной готовой продукции горного предприятия за счет разделения всего объема добытой горнорудной массы на технологические сорта.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в разработке новой концепции управления качеством добытых урановых руд при подготовке бедного уранового сырья к последующей переработке на основе выявленных зависимостей между горно-геологическими и технологическими параметрами добываемого рудного материала и его сортируемостью, что позволяет достичь максимального извлечения урана в конечный продукт;

- в вовлечении в отработку лежалых забалансовых урансодержащих руд с выделением технологических сортов для последующего получения товарной продукции оптимальными физико-химическими способами, обеспечивающее расширение сырьевой базы предприятия;

- разработанные технологические схемы рудоподготовки добываемых урановых руд и способы повышения эффективности переработки бедного сырья методом кучного выщелачивания, внедрены в производство на ПАО «ППГХО» с существенным экономическим эффектом, а представленные технологические решения используются АО «Атомредметзолото» при проектировании комплексов по добыче, рудоподготовке и отработке перспективных урановых месторождений Стрельцовой группы, месторождений Эльконского рудного узла.

4. Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработаны технологические схемы рудоподготовки добытых убогих и лежалых забалансовых урансодержащих руд с выделением технологических сортов для последующего получения товарной продукции оптимальными физико-химическими способами;
- разработаны технологические схемы орошения рудных штабелей и технологический регламент кучного выщелачивания;
- разработана модель расчета эффективности добычи и рудоподготовки скальных урановых руд.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные новые технологические решения обработки бедного уранового сырья и концепция управления его качеством внедрены в производство ПАО «ППГХО» и могут быть рекомендованы к использованию для горнодобывающих предприятий АО «Атомредметзолото» при проектировании комплексов по добыче, рудоподготовке и обработке скальных и других перспективных урановых месторождений Стрельцовой группы, месторождений Эльконского рудного узла.

Результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет» при подготовке горных инженеров по специальности 21.05.04 – Горное дело; а также могут использоваться для аспирантов и соискателей по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

6. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

В диссертационной работе соискателем учёной степени на защиту вынесены четыре научных положения.

Первое научное положение. Повышение эффективности процесса рудоподготовки бедно-балансовых урановых руд радиометрическими методами достигается научно обоснованным учетом выявленных зависимостей сортируемости руд от их горно-геологических и геотехнологических особенностей.

Научное положение основано на том, что эффективность сортировки урансодержащих руд радиометрическими методами зависит от петрографического состава вмещающих пород и минерального состава уранового оруденения. Выявлен ряд зависимостей: выхода сортов ГМТ и РРС от среднего содержания урана в добытой горнорудной массе (при повагонеточной сортировке бедных и рядовых руд); выхода урана в продуктивные сорта от исходного содержания (при сортировке); показателя извлечения урана в концентрат от коэффициента радиоактивного равновесия; основных параметров сортируемости товарных урановых руд от их контрастности; коэффициентами выхода продуктов сортировки от количества урана в них

и размера куска сортируемой руды. Все выявленные зависимости представлены в виде математических моделей.

Второе научное положение. Вовлечение в эксплуатацию техногенного сырья забалансовых отвалов посредством применения технологических способов, включающих покусковую рентгенорадиометрическую сортировку и кучное выщелачивание, позволяющих рационально использовать природные ресурсы урана и увеличить объем готовой продукции горного предприятия.

Научное положение доказывается на основе результатов исследований характеристик фракционного состава забалансовых руд и делается вывод о том, что технологическая схема рудосортировки должна предусматривать процессы, в результате которых породная фракция выводится из всех классов крупности, остальные фракции должны обрабатываться по схемам, обеспечивающим выход максимального количества металла в продуктивный раствор.

Предложена схема формирования техногенного забалансового оруденения с учётом фактора времени, что позволяет выделить их продуктивную часть, пригодную для дальнейшего кучного выщелачивания. Установлены закономерности выхода продуктивного класса, отвальных пород и выхода урана в эти продукты от размера крупности сортируемого куска. Разработана и апробирована технология отработки техногенных забалансовых руд, включающая рудосортировку и кучное выщелачивание продуктивного сорта. Доказана эффективность вовлечения в отработку некондиционного уранового сырья с получением товарной урановой продукции.

Третье научное положение. Прогноз эффективных показателей рудоподготовки беднобалансовых и забалансовых урановых руд выполняется на основе алгоритма, учитывающего выявленные закономерности показателей сортировки от их основных горногеологических и технологических параметров с разделением добытой руды на технологические сорта с последующим дифференцированным получением продукции урана по технологиям: кучным выщелачиванием из бедной руды; гидрометаллургической технологией из богатых фракций.

Третье научное положение доказывается заменой радиометрического способа сортировки скальных урановых руд по естественному гамма-излучению на рентгенорадиометрический способ сортировки (РРС). Установлено, что предлагаемая технология РРС, имеет значительное преимущество, по сравнению с традиционным радиометрическим способом: эффективность выделения бедной фракции увеличивается с 0,70-0,74 до 0,96-0,98 дол. ед., выход возрастает с 55-59% до 54-84%, а содержание урана в отвальных породах уменьшается с 0,015 до 0,008- 0,012 %. Разработан алгоритм рудоподготовки урановых руд, состоящий из двух частей: крупнопорционная повагонеточная сортировка добытой горнорудной массы на РКС; покусковая сепарация беднобалансовых руд на рентгенорадиометрической сортировочной установке с разделением горной массы на технологические сорта: богатый

продуктивный сорт для ГМЗ, рядовой по содержанию урана продуктивный сорт для КВ и отвальные породы сепарации. Разработана модель расчета плановых параметров сортировки, основанная на зависимостях, выявленных в процессе проведения экспериментальных исследований.

Четвёртое научное положение. Максимальная эффективность технологии кучного выщелачивания может быть достигнута установлением оптимальных параметров содержания урана в выщелачиваемой руде, размера куска, концентрации серной кислоты в рабочем растворе, рациональной схемой размещения источников орошения, оптимальным режимом орошения штабеля и применением поверхностно активных веществ, для улучшения фильтрационных свойств рудного материала.

Четвёртое научное положение базируется на результатах исследований, которые позволили установить:

1) тенденции повышения извлечения урана в раствор при выщелачивании по мере увеличения среднего содержания в выщелачиваемой руде: уровень извлечения в 85 % достигается на 250 сутки выщелачивания для руд с содержанием урана в исходной руде более 0,15 %;

2) эффективность извлечения урана в раствор при выщелачивании беднобалансовой руды при уменьшении размера куска со 100 мм до 10 мм возрастает, из фракции крупности 25 и -10 мм в раствор переходит около 90 % урана при времени выщелачивания, соответственно 270 и 210 суток.

3) снижение плотности орошения менее 4 л/(час·т) ведёт к увеличению продолжительности процесса выщелачивания.

Предложенная схема рециркуляции растворов через штабель КВ, находящийся в режиме «доработки», позволяет стабилизировать работу сорбционных напорных колонн, снизить концентрацию урана в маточниках сорбции, повысить производительность участка КВ по выпуску готовой продукции на 15-17 %. Использование ПАВ (Твин-20 и Феноксол 9/10 БВ) для активации процесса выщелачивания, позволило повысить извлечение урана в раствор на 10 %.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- представительностью нескольких тысяч проб;
- получением большого объёма данных;
- сопоставимостью итогов лабораторных исследований с результатами опытно-промышленных и промышленных испытаний;
- сходимостью теоретических и экспериментальных результатов;
- применением современного комплекса физико-химических методов исследований с использованием современного сертифицированного оборудования, стандартных методов испытаний и способов измерений;

- использованием стандартных и отраслевых методик;
- применением методов математической статистики для обработки экспериментальных данных;

- экономической рентабельностью новых технологических решений; успешным внедрением разработанных технологических схем в производство.

Новизна научных положений, сделанные выводы и представленные рекомендации, соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертационным работам.

7. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению

Представленная диссертационная работа является самостоятельным, законченным научным исследованием. Диссертация имеет внутреннее единство всех глав.

Оформление, форматирование текста автореферата и диссертации отвечают требованиям нормативных документов, в частности, ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

По диссертационной работе соискателя имеются следующие замечания и вопросы:

1) Исходя из предложенного алгоритма планирования рудоподготовки добытого уранового сырья, следует, что основными сортами руд являются руды для ГМТ и КВ. Учитывая экономическую неэффективность переработки бедных по содержанию урана руд гидрометаллургическими методами, предполагается в дальнейшем перейти преимущественно на технологию КВ. Каким образом будет осуществляться подготовка и переработка, хоть и небольшого количества богатой руды, но содержащего значительное количество урана?

2) Автором предложена схема орошения с рециркуляцией продуктивных растворов на дорабатываемом штабеле. Однако, по мере неоднократного оборота данных растворов через рудную массу, раствор будет насыщаться ионами различных металлов и радикалов при разложении серной кислотой породообразующих минералов, что будет значительно снижать эффективность процесса выщелачивания. Каким образом решается вопрос удаления этой составляющей из рабочих растворов и повышения эффективности замкнутого цикла КВ?

3) В тексте диссертации при выделении сортов руд используются термины «бедная руда», «убогая руда», «бедно-балансовая руда», что практически означает один сорт руды. Такое разнообразие терминов приводит к путанице понятий, что затрудняет прочтение работы.

4) При описании условий кучного выщелачивания на стр. 161 указан расход серной кислоты 10-40 г/л. На самом деле этот параметр соответствует концентрации кислоты.

5) На графиках рисунков 5.6-5.8 и далее название оси абсцисс «Время выщелачивание», лучше обозначать как «Продолжительность выщелачивания».

6) В главе 5, при оптимизации режимных параметров процесса кучного выщелачивания (КВ) бедных урановых руд (кинетика, крупность куска сырья, концентрации серной кислоты и т.д.), не исследовано влияние низких температур на степень извлечения урана. Этот параметр

важен для Забайкалья, с резко континентальным климатом, где минусовые температуры отмечаются в течение 5-6 месяцев в году, при круглогодичной эксплуатации КВ.

Указанные замечания, рекомендации и уточнения не снижают высокого качества, представленной диссертационной работы.

8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат диссертации оформлен в соответствии с действующими государственными стандартами. Текст автореферата изложен логичным и грамотным научным языком и соответствует основным положениям, изложенным в диссертации.

9. Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

При публикации основных научных результатов соискателем соблюдены требования ВАК РФ, изложенные в пунктах 11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней. Фактов использования в диссертации заимствованного материала без ссылки на автора или источника заимствования, а также результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылки на соавторов не установлено.

В списке литературы, приведенном в диссертации, имеются ссылки на опубликованные 53 печатные работы, в том числе 2 монографии, 34 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки, 11 статей в изданиях, индексируемых Scopus и 6 патентов РФ на изобретения.

10. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа рассматривалась и обсуждалась на заседании обогатительно-металлургической секции НТС АО «Иргиредмет» (протокол №4 от 20 мая 2022 г.).

В результате обсуждения было принято следующее заключение: диссертация Морозова Александра Анатольевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований, опытно-промышленных испытаний изложены новые научно обоснованные технологические решения по разработке комплексной технологии отработки бедного уранового сырья геотехнологическими методами, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие горнодобывающего комплекса страны.

Диссертация по своему содержанию соответствует паспорту специальности 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» пунктам 1, 3, 5, 10; профилю диссертационного совета Д 212.299.08 при ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»; требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискания учёной степени доктора технических наук.

Морозов Александр Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Отзыв составлен кандидатом технических наук Говориным Виктором Александровичем, ведущим научным сотрудником лаборатории гидрометаллургии Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (АО «Иргиредмет»).


В.А. Говорин

Научная специальность: 05.17.02 – «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов».

тел. 8(3952) 728-729 доб. 11-46, e-mail: govorin@irgiredmet.ru

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании обогатительно-металлургической секции НТС Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (АО «Иргиредмет») протокол №4 от 20 мая 2022 г.

Председатель обогатительно-металлургической секции НТС АО «Иргиредмет», заместитель генерального директора по научной работе и инновациям, д.т.н., профессор


Г.И. Войлошников

Сведения о ведущей организации по диссертации А.А. Морозова

Акционерное общество «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов» (АО «Иргиредмет»)
Почтовый адрес: Россия, 664025, г. Иркутск бульвар Гагарина, 38
Электронная почта: gold@irgiredmet.ru
Официальный сайт: www.irgiredmet.ru
Телефон +7 (3952) 728-729