

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертационную работу
Зозули Артема Михайловича

«Совершенствование технологии блочного подземного выщелачивания скальных урановых руд (на примере Стрельцовой группы урановых месторождений)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Актуальность темы. ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ППГХО), разрабатывающее месторождения урана уникального Стрельцовского рудного поля в юго-восточном Забайкалье, является основным поставщиком урана в России. К настоящему времени остаточные запасы руд наиболее крупных разрабатываемых подземным способом месторождений имеют низкое содержание урана. Это не позволяет при современной цене на уран рентабельно вести добычу руд с использованием традиционных технологий. Поэтому требуется использование современных физико-химических технологий, которое дает возможность решить проблему повышения эффективности отработки бедных урановых руд. Одной из таких технологий является блочное подземное выщелачивание (БПВ).

Однако опыт использованию этой технологии не дал необходимого решения задачи и показал, что для масштабного внедрения БПВ для отработки бедных урановых руд требуется совершенствование технологических процессов подземного выщелачивания скальных руд. Тем не менее, решение этой задачи является актуальной для современного функционирования ППГХО с тем, чтобы сделать технологию БПВ одной из основных технологий эффективной отработки бедных урановых руд. На решение этой задачи и направлена диссертационная работа А.М. Зозули и в этом заключается её актуальность. Актуальность работы подтверждается также и тем, что она выполнена в рамках реализации отраслевой программы Росатома РФ «Повышение эффективности отработки Стрельцовой группы месторождений урана на период до 2025 г.» и Федеральной программы по государственной поддержке ведущих российских вузов «Создание технологии отработки беднобалансовых урановых руд геотехнологическими методами» (Постановление Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218).

Целью работы автор определил повышение эффективности подземного блочного выщелачивания на основе разработки технологических способов совершенствования процессов буровзрывной рудоподготовки бедных и рядовых урановых руд и повышения извлечения урана в продуктивный раствор.

Для достижения цели автором использована идея, заключающаяся в том, что в основе эффективного управления качеством рудоподготовки горнорудной массы к блочному подземному выщелачиванию буровзрывным способом, должно быть установление зависимости параметров БПВ от горно-

геологических характеристик рудного сырья, а управления качеством процесса выщелачивания магазинированных руд – разработка технологических операций предотвращения кольтматации рудной массы и переотложения полезного компонента в виде гидроксида урана.

Для реализации цели работы автор решил **следующие задачи**:

- 1) изучил физико-механические, геологические и технологические особенности урановых руд, влияющих на эффективность их рудоподготовки;
- 2) усовершенствовал технологию взрывной рудоподготовки урановых руд для последующего подземного блочного выщелачивания;
- 3) разработал мероприятия по повышению извлечения урана в продуктивный раствор при блочном подземном выщелачивании;
- 4) оценил экономическую эффективность предложенных технологических решений.

Научная новизна диссертации заключается в том, что:

- 1) предложена методика формирования оптимального гранулометрического состава магазинируемых руд на основе расчета параметров БВР с учетом содержания кремнезема во взрываемых рудах, мощности рудного тела и длины взрывных скважин;
- 2) выявлены аналитические зависимости высоты подэтажа при подготовке крутопадающих рудных тел к блочному подземному выщелачиванию от мощности рудного тела, угла наклона и длины взрывных скважин применительно к горно-геологическим условиям месторождений Стрельцовского рудного поля;
- 3) разработана технология формирования рудного «магазина» с применением селективной укладки горнорудной массы разного содержания, позволяющая повысить извлечение урана в продуктивный раствор;
- 4) разработана технология устранения механической кольтматации при БПВ пневмоимпульсным воздействием на массив от специализированного устройства, генерирующего мощный водо-воздушный импульс через перфорированный трубопровод.
- 5) предложена оригинальная методика анализа геолого-технологической ситуации, позволяющая прогнозировать показатели извлечения сырья в эксплуатационных блоках.

Теоретическая значимость исследования заключается в усовершенствовании методики управления качеством отработки бедных и рядовых урановых руд, как одного из основных направлений разработки урановых месторождений с низким содержанием полезного компонента методом подземного блочного выщелачивания на основе выявленных автором зависимостей формирования выщелачиваемой горнорудной массы от горно-геологических характеристик руд и формирования рудного магазина с учетом качественной характеристики руд.

Практическая значимость исследования:

- 1) усовершенствована методика расчета параметров буровзрывных работ с использованием данных о вещественном составе и физико-механических

- свойств урановых руд, позволяющая достоверно прогнозировать оптимальный гранулометрический состав отбитой горнорудной массы;
- 2) разработана схема формирования рудного магазина с послойной укладкой урановой руды с различным содержанием радиоактивного металла, позволяющая повысить извлечение урана в продуктивный раствор;
 - 3) предложена технологическая схема предотвращения переотложения выщелоченного урана, включающая селективную укладку горнорудной массы в камере-магазине и подачу рабочего раствора с повышенным содержанием серной кислоты в нижний слой, позволяющая повысить извлечение урана в продуктивный раствор на 18,4% (табл.2 автореферата);
 - 4) разработана схема устранения механической кольматации в процессе выщелачивания замагазинированной руды посредством использования специализированного устройства, генерирующего мощный воздушный или водо-воздушный импульс на горный массив.
 - 5) все разработанные автором новые технологические мероприятия позволяют достичь высокое извлечение урана в продуктивный раствор.

Внедрение результатов исследований диссертанта. Все научно-технические решения, предложенные в диссертационной работе, внедрены в процессе разработки ТЭО по модернизации ППГХО.

Внедрение в промышленное производство научно-технических разработок автора даст возможность:

- 1) вовлечь отработку дополнительно более 50 тыс. т урана, находящегося в бедных рудах;
- 2) уменьшить эксплуатационные затраты на 10 %;
- 3) продлить срок существования предприятия на 15 лет.

Суммарный расчетный экономический эффект от освоения результатов диссертационной работы составляет 237 млн руб. в год за счет повышения извлечения урана в раствор на 20 %.

Полученные новые знания используются при чтении учебных дисциплин «Физико-химическая геотехнология», «Управление качеством руд при добыче полезных ископаемых», «Особенности разработки урановых месторождений», «Проектирование рудников» на горном факультете ЗабГУ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций заключаются в правильности постановки задач и рациональном использовании методов исследования, достаточным числом проб и анализов, итогами экспериментов и опытно-промышленных испытаний, применением современных технических средств испытаний и современных программ обработки полученных данных, а также высоким экономическим эффектом внедрения разработок в производство. Основные данные по экспериментам и опытно-промышленным испытаниям вынесены в приложения к тексту диссертации.

Объём и структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и содержит 202 страницы машинописного текста, включая 76 рисунков, 14 таблиц, список использованной литературы

из 108 наименований и 7 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, основная идея и научные положения, выносимые на защиту, определена научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приведен обзор состояния исследований, анализ горно-геологических условий локализации уранового оруденения месторождений Стрельцовского рудного поля, физико-механические свойства горных пород, вмещающих оруденение. Дан анализ состояния технологии блочного подземного выщелачивания скальных урановых руд и отечественного и зарубежного опыта его использования. Показаны положительные и негативные факторы использования этой технологии отработки радиоактивных руд. Эти сведения стали обоснованием для определения конкретных задачи исследования.

Во второй главе рассмотрена технологии совершенствования буровзрывных работ при подготовке камер под подземное блочное выщелачивание, представлены результаты исследований, касающихся изучению зависимостей параметров БВР от физико-механических и горнотехнических характеристик вмещающих горных пород и руд месторождений Стрельцовского рудного поля. Приведены результаты взрывной рудоподготовки бедных урановых руд к подземному выщелачиванию. По результатам исследований выявлены зависимости параметров БВР от характеристик сырья, что позволяет наметить пути совершенствования рудоподготовки под БПВ.

Приведены данные зависимости параметров БВР от содержания кремнезема в породах, вмещающих оруденение. Непонятно, что автор понимает под свободным кремнеземом. Ведь приведены данные только по содержанию SiO_2 . Почему это считается свободным кремнеземом, непонятно. В этой главе нет данных по содержанию кварца, который и является свободным кремнеземом. Поэтому следует принять, что существует зависимость параметров БВР от общего содержания кремнезема. Тем более, прямой зависимости величин продольных и поперечных волн от содержания кремнекислоты не устанавливается (см. табл.1 автореферата и рис.4 там же). Проведенные исследования дают возможность усовершенствовать существующую методику расчета параметров БВР.

По результатам проведенных исследований сформулировано первое научное положение. При этом автор благоразумно ушел от утверждения связи параметров БВР от величины свободного кремнезема, а указал на их зависимость от вещественного состава горных пород и руд.

В третьей главе рассмотрен вопрос повышения извлечения урана в раствор за счет изменения рН среды и предложена схема рудоподготовки сырья под СПВ. В ней на основе математического моделирования процессов фильтрации рабочих растворов через замагазинированную горнорудную массу показано, что снижение извлечения урана в продуктивный раствор при выщелачивании происходит в результате переотложения выщелоченного

урана в виде гидроксида уранила. Определено, что основными факторами, влияющими на успешность выщелачивания, являются минеральный состав руд и содержание в них урана, пористость и трещиноватость руд, которые и определяют величину коэффициента диффузии. В результате исследований выведена формула определения этого показателя.

Для предотвращения переотложения урана в виде гидроксида уранила автором предложена технология формирования рудного магазина в камере размещением бедной руды в верхней части магазина, а более богатой – в нижней. Для этого взорванная руда выпускается из камеры и подвергается рентгенорадиометрической сортировке в подземных условиях с выделением сортов бедной и рядовой руды, которые затем возвращаются в камеру.

По результатам проведенных исследований сформулировано второе научное положение.

В Четвертой главе рассмотрена проблема повышения эффективности БПВ за счет предотвращения кольтматации и достоверного планирования показателей извлечения урана в раствор. Автор предложил технологию устранения кольтматации замагазинированной руды при БПВ, используя размещение на участках камеры, где отмечены эти процессы, пневмоимпульсных устройств, которые разрушают зону кольтматации с помощью мощного пневмоимпульса. Способ декольтматации замагазинированной в камере руды запатентован автором (Патент № 2685520).

В этой главе автор показал, что одним из факторов повышения эффективности БПВ является достоверное планирование показателей извлечения урана в продуктивный раствор. Для решения этой задачи он провёл детальный анализ горно-геологической ситуации локализации уранового оруденения, проанализировал динамику среднемесячного понижения концентрации урана в продуктивном растворе, время выщелачивания от закисления магазина до снижения концентрации урана в растворе ниже 10 мг/л, величины планового извлечения урана. В результате он предложил методику расчета показателей БПВ в заданный период.

Результаты этих исследований позволили сформулировать третье защищаемое научное положение

В Заключение сформулированы основные научные и практические выводы диссертационного исследования, сущность которых отмечена в соответствующих разделах отзыва.

Исходя из анализа результатов исследований, можно определить, что все защищаемые научные положения, в том виде, как они сформулированы, обоснованы фактическим материалом, представленным в диссертации.

Тем не менее, работа не лишена недостатков.

Замечания.

1) На рисунках 1.2 – 1.4 нет сведений об условных обозначениях и поэтому они дают лишь общее представление о формах и размерах рудных тел. Поскольку рудоподготовка учитывает особенности вмещающих горных

пород, эти сведения были бы важны, хотя в самом общем виде для месторождений в целом они приведены в табл.1.2.

2) На рисунке 2.3 диссертации (стр. 48) приведены данные о содержании общего кремнезема, который, как общеизвестно, связан с силикатами, стёклами и кварцем (только он и есть свободный кремнезём). Последний в базальтах и андезитах, как правило, отсутствует, а в фельзитах и трахидацитах часть кремнезема находится в стёклах кислого состава. Поэтому утверждать о впервые установленной «...зависимости параметров буровзрывных работ от содержания свободного кремнезема» (автореферат, стр. 5) и повторять это в Заключение («Получены зависимости физико-механических свойств горных пород и руд от их вещественного состава, выраженного содержанием свободного кремнезема (SiO_2)»), неправомерно. Везде следовало бы указывать на связь параметров БВР с общим содержанием кремнезёма. Более того, только для величин скоростей распространения продольных волн и содержания кремнезема выявляется обратная связь, а для поперечных волн не обнаруживается связи. Четко выраженная обратная связь установлена только для коэффициента Пуассона. Изменение плотности обусловлено не столько содержанием кремнезема, а сколько соотношением железа и магния. Поэтому смена зависимостей происходит на рубеже содержания 53,22 – 59,03% SiO_2 . В целом, физико-механические свойства горных пород зависят не только от минерального состава, но и структурно-текстурных особенностей горных пород, что в определённой мере учтено автором.

3) На стр.46 автор пишет: «В-третьих, гранулометрический состав камеры № 2 включал до 42 % фракции –50 мм, что могло стать причиной кольятации». Камера не может иметь гранулометрической характеристики. Гранулометрическая характеристика может быть только у рыхлой горной массы. Это и следовало бы указать.

4) На рисунке 11 по горизонтальной оси – вероятно, высота, а не глубина камеры.

5) Рисунки 7 и 8 в автореферате одинаковы, но имеют разные подписи.

6) Непонятно, каким образом, и на какой основе сделан вывод о том, что «комплекс мероприятий по совершенствованию рудоподготовки камеры блочного подземного выщелачивания в перспективе создает условия для повышения степени извлечения полезного компонента до уровня 85 %» (стр. 108).

Заключение

Рассматривая работу в целом, отметим, что приведенные выше замечания не снижают общее положительное впечатление о представленной диссертационной работе. В диссертации А.М. Зозули решена важная научно-техническая задача по внедрению современной физико-химической технологии (блочного подземного выщелачивания) для отработки бедных урановых руд. Это позволит наиболее полно использовать существующую

сырьевую базу урановых руд Стрельцовского рудного поля, а также бедных руд урана других месторождений страны. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований, опытно-промышленных испытаний изложены новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых позволяет отрабатывать нерентабельные для традиционной технологии запасы с высокой эффективностью.

Материал изложен хорошим литературным языком, легко читается, логично выстроен, выводы и рекомендации убедительны и подтверждены необходимыми графиками и формулами. Автореферат диссертации с достаточной полнотой отражает содержание и основные положения, новизну, научную и практическую значимость диссертации.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 журнальных статьях из перечня рецензируемых научных изданий Минобрнауки России, в том числе 5 из платформы Scopus, получен 1 патент РФ на изобретение. Кроме того, 5 статей опубликовано и, соответственно, в них апробированы результаты исследований диссертанта, в материалах Всероссийских и международных конференций.

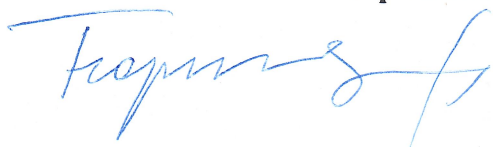
Список использованной литературы свидетельствует о глубокой проработке диссертантом темы исследований и анализа опыта исследователей по технологии ведения горных работ.

Диссертационная работа А.М. Зозули «Совершенствование технологии блочного подземного выщелачивания скальных урановых руд (на примере Стрельцовской группы урановых месторождений)» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней к кандидатским диссертациям (п.п. 9-14), является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения управления качеством рудоподготовки горной массы к подземному блочному выщелачиванию и процессом выщелачивания магазинированных бедных урановых руд, что является обоснованием для повышения эффективности подземного блочного выщелачивания и улучшения технико-экономических показателей извлечения урана в продуктивный раствор. Внедрение результатов этого исследования, может иметь важное значение для развития горнодобывающей промышленности страны.

Диссертация А.М. Зозули соответствует паспорту научной специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Автор диссертации Зозуля Артем Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Официальный оппонент



Юргенсон Георгий Александрович

Юргенсон Георгий Александрович, доктор геолого-минералогических наук по научной специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук».

Адрес: 672014, Забайкальский край, г. Чита, ул. Недорезова 16а.

Тел. 8(914) 474-47-94

E-mail: yurgga@mail.ru

Я, Юргенсон Георгий Александрович, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«_21» _августа 2022 г.

Г.А. Юргенсон

Подпись Г.А. Юргенсона заверяю



Подпись заверяю
Специалист Отдел кадров
ИПРЭК СО РАН
Юргенсон Г.А.
2022