

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Михайлова Анатолия Николаевича

«Совершенствование технологии обработки руд месторождений Хиагдинского рудного поля скважинным подземным выщелачиванием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 2.8.8. Геотехнология, горные машины и 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

### Актуальность темы

Метод скважинного подземного выщелачивания (СПВ) является инновационной технологией XXI века. СПВ обладает рядом больших технических, экономических и социальных преимуществ по сравнению с традиционными методами, значительно улучшает условия труда на предприятиях, уменьшает отрицательное воздействие на окружающую среду, особенно на поверхность земли и воздушный бассейн.

Однако есть нерешённые проблемы, так проектные решения, заложенные в основу работы предприятия АО «Хиагда» уранового холдинга «Атомредметзолото» / Горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом», позволяют при обработке запасов извлекать лишь 76 % урана. Снижение цен на природный уран и возрастающая себестоимость добычи в значительной степени снижают рентабельность производства, поэтому возникает необходимость совершенствования технологии ведения горных работ и ускорения процессов выщелачивания, поэтому тема диссертационного исследования является актуальной.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и содержит 177 страниц машинописного текста, включая 74 рисунка, 38 таблиц, список использованной литературы из 125 наименований и 7 приложений. Автореферат диссертации изложен на 22 страницах.

**Во введении** обоснована актуальность темы, которой посвящена работа; сформулированы цель, основная идея и научные положения, выносимые на защиту, определена научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** приведен анализ горно-геологических условий локализации уранового оруденения месторождений Хиагдинского рудного поля; дана характеристика рудных образований, как объектов разработки; представлены физико-механические и гидрогеологические свойства руд и пород.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	28.08.2024
Фамилия регистратора	_____

Проанализирована технология скважинного подземного выщелачивания гидрогенных месторождений урана с учетом опыта как отечественного, так и зарубежного. Проведенный анализ дает возможность выявить как положительные, так и негативные факторы использования данной технологии отработки радиоактивных руд. Все это позволяет сформулировать конкретные задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы оптимизации систем вскрытия и отработки гидрогенного месторождения методом СПВ.

Поиски решений по оптимизации схем вскрытия месторождений осуществлялись по следующей методике:

- анализ материалов по системам вскрытия гидрогенных урановых руд на отечественных и зарубежных предприятиях;
- анализ проектных решений по вскрытию Хиагдских руд;
- математическое моделирование процессов выщелачивания с применением различных систем вскрытия;
- оценка полученных результатов по критериям затрат на строительство и эксплуатацию скважин и по себестоимости полученной готовой продукции (желтый кек);
- выбор оптимального варианта схемы вскрытия запасов месторождений по полученным результатам моделирования;
- проведение опытных работ на одной из залежей, характеризующейся усредненными горно-геологическими, гидрогеологическими и технологическими параметрами.

Проведенные исследования позволили сформулировать первое защищаемое научное положение. Первое научное положение соответствует паспортам научных специальностям: 2.8.8 Геотехнология, горные машины (пункт 5) и 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых (пункт 3).

**В третьей главе** рассмотрены вопросы интенсификации перевода урана в подвижное состояние при СПВ с помощью различных окислителей.

Поиски оптимальных решений по активации процессов выщелачивания заключаются в выборе дешевого окислителя, позволяющего повысить извлечение урана в продуктивный раствор и уменьшить срок отработки запасов, по следующей методике:

- анализ применения активаторов выщелачивания гидрогенных урановых руд на зарубежных и отечественных предприятиях;
- анализ применения активаторов на рудах хиагдинского типа;
- отбор проб гидрогенных руд и исследование их минерального и химического состава;
- проведение лабораторных исследований по выщелачиванию с применением наиболее эффективных окислителей для руд хиагдинского типа с получением основных технологических параметров выщелачивания;
- анализ полученных результатов выщелачивания без применения окислителей и с применением окислителей;

- проведение опытно-промышленных работ на одной из типичных рудных залежей Хиагдинского месторождения с применением активаторов, показавших наиболее высокие показатели выщелачивания;

- технико-экономическая оценка применения окислителей при выщелачивании по критериям: времени извлечения урана в продуктивный раствор до достижения уровня в 80 %, себестоимости готовой продукции (желтый кек);

Проведенные исследования позволили сформулировать второе защищаемое научное положение. Второе научное положение соответствует паспорту научной специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых (пункты 1 и 3).

Разработан технологический регламент выщелачивания урановых руд месторождений Хиагдинского рудного поля с использованием в качестве активатора перекиси водорода.

**Четвертая глава** посвящена анализу влияния процессов кольматации на производительность технологических скважин и повышения их производительности устранением причин кольматации.

Поиски оптимальных решений по продлению срока эксплуатации технологических скважин и снижению затрат на их эксплуатацию осуществлялось по следующей методике:

- анализ эксплуатации технологических скважин и их ремонтно-восстановительных работ (РВР) на зарубежных и отечественных предприятиях;

- анализ РВР на предприятии Хиагда;

- отбор проб рудного песка и анализ их гранулометрического состава;

- анализ вещественного состава рудных песков;

- ..отбор проб отложений, заполняющих прифилтровую зону технологических скважин;

- анализ химического состава кольматантов;

- установление основных минералов, продуцирующих при реакции с серной кислотой химические элементы для образования кольматантов;

- выбор химических соединений, разрушающих кольматанты;

- установление режимов обработки технологических скважин и расходные параметры декольматантов;

- проведение опытно-промышленных работ по восстановлению работоспособности технологических скважин;

- технико-экономическая оценка ремонтно-восстановительных работ.

Усовершенствован регламент восстановления производительности технологических скважин проведением ремонтно-восстановительных работ с применением пневмоимпульсной и химической обработки прифилтровой зоны технологических скважин.

Результаты проведенных исследований позволили сформулировать третье научное положение. Третье научное положение соответствует

паспорту научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины (пункт 1).

В заключении сформированы основные научные и практические выводы диссертационного исследования.

Исходя из анализа представленной работы, все защищаемые научные положения, по мнению оппонента, являются доказанными.

Большим преимуществом диссертационной работы является непосредственное участие соискателя совместно с учеными Северского технологического института «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» в разработке и реализации проекта «Умный полигон» на предприятии АО «Хиагда» (2021 г). Проект является интеллектуальным технологическим решением цифрового жизненного цикла добычи урана методом СПВ и позволяет повысить эффективность геотехнологического процесса, уменьшить эксплуатационные расходы, осуществлять удалённый мониторинг и оперативный контроль, а так же анализ работы добычного полигона с помощью комплекса программного обеспечения для АСУТП. Приоритет новых технических решений подтверждён свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ: № 2023612088 (RU); № 2023612447 (RU); № 2022683474 (RU); № 2019661994 (RU).

**Научная новизна и практическая значимость работы состоит в том, что:**

- разработана методика многовариантного моделирования технологических процессов движения растворов в продуктивном пласте с учётом экономических показателей всего цикла добычи в зоне многолетней мерзлоты, использование которой позволяет определить оптимальную схему и параметры расположения технологических скважин с охватом площади рудной зоны, превышающей 90 % запасов урана;

- установлены зависимости концентрации урана в продуктивном растворе и доли извлечённого урана от времени выщелачивания, позволяющие выбрать наиболее эффективный вариант вскрытия запасов гексагональной системой с оптимальным радиусом ячейки в 30 м, обеспечивающий снижение удельного расхода серной кислоты на 18,75 % (с 32 до 26 кг/т руды) при повышении содержания урана в продуктивном растворе на 24, 21 % (с 95 до 118 мг/л);

- установлена зависимость изменения концентрации урана в продуктивном растворе от продолжительности процесса выщелачивания при использовании перекиси водорода в качестве эффективного активатора – окислителя, на основе которой достигается эффективное управление качеством процесса извлечения ценного компонента с учётом определения количества урана в заданный период времени;

- установлены зависимости технологических параметров от продолжительности выщелачивания при применении химических методов интенсификации с перекисью водорода, позволяющие определить

оптимальное время процесса, обеспечивающего максимальную концентрацию ионов урана и трёхвалентного железа в продуктивном растворе при минимальном объёме и расходе выщелачивающего реагента;

- разработан метод прогнозирования производительности откачных и закачных технологических скважин от срока их эксплуатации при скважинном подземном выщелачивании урана, учитывающий динамику закономерных изменений естественной проницаемости пород и фильтрующих элементов водозаборных сооружений, на основе математических моделей, отличающийся тем, что расчёт оптимального расхода химических коагулянтов – соляной кислоты и бифторида аммония, основан на концентрации ионов Mg, Ca, Al, Fe и Si в продуктивном растворе, соответственно. На основе данного метода разработан регламент пневмоимпульсной обработки технологических скважин с последующим растворением коагулянтов соляной кислоты и бифторидом аммония;

- разработан комплекс программного обеспечения «Умный рудник» для удалённого мониторинга работы добычного полигона АО «Хиагда» и улучшения эффективности предприятия путем повышения качества и оперативности управления процессом скважинного подземного выщелачивания, что позволяет повысить производительность на 36 % и снизить себестоимость готовой продукции на 12,9 %.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается правильно составленной программой исследований, отбором достаточного количества проб и проведением всего спектра анализов, подтверждением результатов лабораторных исследований результатами опытно-промышленных испытаний, высокой сходимостью теоретических показателей и экспериментальных результатов, применением современных технических средств при проведении испытаний, использованием сертифицированных компьютерных программ при обработке данных и обоснованной экономической эффективностью работы предприятия при внедрении разработок в производство.

#### **Характеристика структуры и содержания работы**

Разделы диссертационной работы логически связаны, что позволяет четко проследить ход получения научных результатов. Выводы, полученные автором, не противоречат научным результатам других исследователей, а лишь дополняют эти исследования.

#### **Замечания по диссертации и автореферату.**

1. При формулировании цели работы использовано выражение *«увеличение производительности технологических скважин за счет совершенствования процессов ремонтно-восстановительных работ»*.

Непонятно какую долю в повышении эффективности работы предприятия играет этот вид работ?

2. На рисунках 2.26 в диссертации и рис. 6 в реферате проиллюстрирована динамика выщелачивания до извлечения 90 % запасов урана в продуктивный раствор для гексагональной системы вскрытия с различным радиусом ячеек со шкалой времени до 2000 суток. Как получены эти данные?
3. В главе 4 диссертации сказано, что для обработки технологических скважин при РВР используется гидропневмоимпульсная установка HYDROPULS. В таблице 4.6 (технологический регламент) говорится лишь об использовании пневмоимпульса. Какой же метод обработки все же используется?
4. Не совсем понятно за счет каких новых технических решений планируется получить основной экономический эффект при разработке месторождений?
5. Следовало бы выделить основные технологические решения и отдельно организационные решения, позволяющие повысить эффективность производства, так как в приложении Г указаны только технологические факторы.

Отмеченные замечания не снижают общее положительное впечатление о представленной диссертационной работе.

#### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Работа посвящена решению важной научно-технической задачи по масштабному внедрению современной физико-химической технологии (скважинного подземного выщелачивания) для отработки гидrogenных урановых руд в климатически суровых условиях Забайкалья с низкой температурой подземных вод. Это позволяет наиболее полно использовать существующую сырьевую базу урановых руд, как стратегического сырья, что особенно важно в условиях современной политической обстановки.

По мнению оппонента, материал в данной работе изложен грамотно, выводы и рекомендации убедительны и подтверждены графиками и формулами, схемами и зависимостями.

Список использованной литературы подтверждает глубокую проработку темы исследований и анализа опыта исследователей по данной технологии ведения горных работ.

Основные результаты диссертации отражены в 13 опубликованных статьях, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки. Также получено 4 Свидетельства на программы для ЭВМ. Положения диссертационной работы апробированы на международных и всероссийских научных конференциях.

Диссертация Михайлова А.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно, в которой решена важная научная задача по масштабному внедрению современной физико-химической технологии (скважинного подземного выщелачивания гидрогенных урановых руд) в суровых климатических условиях Забайкалья, что имеет существенное значение для атомной промышленности и развития страны.

Диссертация по своему содержанию соответствует паспортам научных специальностей: 2.8.8. Геотехнология, горные машины (пункты 1, 5) и 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых (пункты 1, 3) и требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, с дополнениями и изменениями), предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Михайлов Анатолий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 2.8.8. Геотехнология, горные машины и 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Доктор технических наук по специальности 25.00.22. – Геотехнология (подземная, открытая и строительная), заведующий кафедрой геотехнологических способов и физических процессов горного производства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)»

20 августа 2024 г.

Вильмис Александр Леонидович

Телефон: +79262107091. Эл. почта: [vilmisal@mgri.ru](mailto:vilmisal@mgri.ru).

МГРИ: 117997, Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д. 23.

Я, Вильмис Александр Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

  
Вильмис Александр Леонидович

Подпись руки Вильмиса Александра Леонидовича удостоверяю

Начальник отдела по работе с персоналом

  
О. О. Мельникова

«20» августа 2024 г

