

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.06, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТА-
ЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «26» сентября 2024 г. № 19

**О присуждении Михайлову Анатолию Николаевичу, гражданину РФ,
ученой степени кандидата технических наук.**

Диссертация «Совершенствование технологии отработки руд месторожде-
ний Хиагдинского рудного поля скважинным подземным выщелачиванием», по
специальностям 2.8.8. Геотехнология, горные машины и 2.8.9. Обогащение полез-
ных ископаемых, принята к защите «27» июня 2024 г., протокол №9, диссертаци-
онным советом 24.2.324.06, созданным на базе федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогор-
ский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО
«МГТУ им. Г.И. Носова») Министерства науки и высшего образования Россий-
ской Федерации, 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ауд. 233, приказ № 833/нк от «20» апреля 2023 г.

Соискатель Михайлов Анатолий Николаевич, 13 октября 1986 года рожде-
ния. В 2009 году окончил государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Читинский государственный университет»,
специальность «Открытые горные работы», квалификация – горный инженер. В
2013 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное уч-
реждение высшего профессионального образования «Забайкальский государст-
венный университет» по специальности «Государственное и муниципальное
управление», квалификация – менеджер. С 2009 года работает в Акционерном

обществе «Хиагда» (предприятие Горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом»), в настоящее время – на должности генерального директора.

В период подготовки диссертации на соискание учёной степени кандидата наук без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Михайлов А.Н. с 2021 г. был прикреплен к кафедре «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет» по научным специальностям 2.8.8. Геотехнология, горные машины и 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Диссертация выполнена на кафедре «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Овсейчук Василий Афанасьевич, профессор кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет».

Официальные оппоненты:

1. Вильмис Александр Леонидович, доктор техн. наук, заведующий кафедрой геотехнологических способов и физических процессов горного производства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)», г. Москва;

2. Морозов Валерий Валентинович, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры общей и неорганической химии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Иркутский научно-

исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов» (АО «ИРГИРЕДМЕТ», г. Иркутск), в своем положительном отзыве, подписанном Войлошниковым Григорием Ивановичем, д-ром техн. наук, профессором, заместителем генерального директора по научно-методической и инновационной деятельности, лауреатом премии Правительства РФ, Кобловым Аркадием Юрьевичем, канд. техн. наук, начальником отдела обогащения минерального сырья, утвержденном Печениным Евгением Юрьевичем, генеральным директором АО «ИРГИРЕДМЕТ», указала, что диссертация А.Н. Михайлова «... является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований, опытно-промышленных испытаний изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по отработке гидrogenных урановых руд скважинным подземным выщелачиванием и по извлечению урана из природного минерального сырья с применением методов интенсификации, имеющие существенное значение для атомной промышленности и развития страны.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, представленная работа соответствует паспортам научных специальностей: 2.8.8. Геотехнология, горные машины (пп. 1, 5); 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых (пп. 1, 3); профилю диссертационного совета 24.2.324.06; 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 диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

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

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, – 7 статей, в прочих научных изданиях – 6 статей, получено 4 Свидетельства на программы для ЭВМ. Общий объем научных

изданий по теме диссертации составляет 13,44 печатных листа, из них личный вклад автора составляет 5,94 печатных листа.

В опубликованных работах представлены результаты исследований, которые обеспечивают решение актуальных научных задач по повышению эффективности отработки гидrogenных месторождений урана хиагдинского типа, характеризующихся едиными генетическими условиями формирования, едиными качественными показателями и гидрогеологическими характеристиками перевода урана в продуктивный раствор при выщелачивании, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей и горноперерабатывающей отрасли страны.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные работы:

1. АО «Хиагда»: основные вехи развития и главные достижения / В. Н. Верховцев, В. С. Святецкий, А. Н. Михайлов, А. А. Михайлов // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 4–12.

2. Влияние генетических особенностей урановых месторождений Хиагдинского рудного поля на выбор технологий отработки рудных залежей скважинным подземным выщелачиванием / А. В. Гладышев, А. Н. Михайлов, И. Н. Солодов, А. В. Суворов // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 13–17.

3. Михайлов, А. Н. Определение параметров систем разработки гидrogenных месторождений методом подземного скважинного выщелачивания / А. Н. Михайлов, В. А. Овсейчук // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2022. – Т. 28. – № 4. – С. 19–27.

4. Михайлов, А. Н. Анализ результатов комплексной обработки технологических скважин для восстановления их работоспособности / А. Н. Михайлов, В. А. Овсейчук // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2022. – Т. 28. – № 6. – С. 15–25.

5. Михайлов, А. Н. Влияние различных реагентов на эффективность подземного скважинного выщелачивания урана из руд Хиагдинского месторождения / А. Н. Михайлов, В. А. Овсейчук // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2022. – Т. 28. – № 5. – С. 16–27.

6. «Умный полигон» скважинного подземного выщелачивания урана / М. Д. Носков, А. Н. Михайлов, Р. С. Нарышкин, Р. С. Рудин // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 39–46.

7. Овсейчук, В. А. Полупромышленные испытания применения окислителей при скважинном выщелачивании гидрогенных руд месторождений Хиагдинского рудного поля / В. А. Овсейчук, А. Н. Михайлов // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2022. – Т. 28, № 4. – С. 28–34.

На диссертацию и автореферат поступило 14 отзывов, все положительные:

1. **Корчевский А. Н., канд. техн. наук**, декан горного факультета, заведующей кафедрой «Обогащение полезных ископаемых», **Касьяненко А. Л., канд. техн. наук**, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», ФГБОУ ВО «Донецкий национальный политехнический университет», г. Донецк. Замечания: 1. Из автореферата не совсем понятно исследовалась ли кинетика перехода урана в продуктивный раствор при различных параметрах сети технологических скважин рядной схемы экспериментальным путём, а не только моделированием? 2. Не указано, какие технологические показатели определялись при расчете параметров системы разработки скважинного подземного выщелачивания залежей месторождений Хиагдинского рудного поля?

2. **Чебан А. Ю., канд. техн. наук**, ведущий научный сотрудник лаборатории геотехнологии и горной теплофизики, Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН обособленного подразделения, г. Хабаровск. Замечания: 1. Судя по полученным результатам расчёта суммарных затрат на выщелачивание от радиуса гексагональной ячейки (рис.4 автореферата) минимальные затраты должны соответствовать радиусу 27-28 м, в связи с чем область оптимальной величины радиуса ячейки целесообразно сдвинуть на рис.4 левее. 2. В работе перечислены десять наиболее распространенных окислителей, влияющих на эффективность выщелачивания урана, с которыми проведены экспериментальные исследования, однако не дано сравнение полученных результатов от минимального значения до максимального. 3. В автореферате чётко не акцентировано внимание на том, чем усовершенствованный регламент восстановления производительности технологических скважин при проведении ремонтно-

восстановительных работ отличается от действующего регламента на предприятии?

3. **Матвеев А. И., д-р техн. наук**, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией обогащения полезных ископаемых, ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск. Замечание: 1. Отсутствие в автореферате информации о рассмотрении других направлений и опыта исследований учёных в решении проблем кольматации скважин, имеющей существенно важное значение для реализации методов СПВ, кроме механической и химической.

4. **Логачев А. В., д-р техн. наук**, доцент, профессор кафедры «Горное дело», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск. Замечание: 1. В третьем положении для оценки экономических показателей предлагаемой технологии РВР, следовало бы показать сравнительную таблицу технико-экономических показателей по старой и новой конструкции скважин.

5. **Поляков О. А., канд. техн. наук**, советник генерального директора АО «Росатом Недра», руководитель по перспективным проектам ООО «Ловозерский ГОК», г. Москва. Замечания: 1. По итогам исследований влияния многоствольных скважин на эффективность отработки гидрогенных руд на примере Хиагдинского месторождения защищена кандидатская диссертация Гавриловой Н.А. Использовал ли автор этот опыт при проведении исследований? Ничего не сказано об ионообменной кольматации, которая имеет место быть при выщелачивании руд. Знаком ли соискатель с таким видом кольматационных явлений, в чём заключается её суть?

6. **Морозов А. А., д-р техн. наук**, директор по науке; **Бейдин А. В., канд. техн. наук**, директор центральной научно-исследовательской лаборатории, ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение имени Е.П. Славского», г. Краснокаменск. Замечания: 1. В автореферате сказано, что «... наиболее эффективными окислителями при выщелачивании этих руд являются перекись водорода и нитрит натрия». Непонятно, данное утверждение основано на результатах собственных исследований, или других авторов? 2. В табл. 1 (стр.

9) указан ряд важных технологических параметров системы разработки СПВ, но не приведены данные таких параметров как дебит откачных скважин, время закисления блока, время выщелачивания блока, площадь эксплуатационной ячейки. Осуществлялся ли в диссертационной работе расчёт этих параметров по рядной и гексагональной схемам расположения вскрывающих скважин?

7. Размахнин К. К., д-р техн. наук, доцент, заведующий Читинского филиала ФГБУН «Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск. Замечания: 1. В таблице 2 (стр. 12), где представлены результаты химического анализа шлифов, содержание Fe_2O_3 незначительное и составляет $<0,1\%$, почему тогда возникает необходимость делькольматации прифильтовой зоны скважины от соединений Fe? 2. Несмотря на высокую окислительную способность широкого применения перекись водорода как окислитель в процессах выщелачивания металлов не получила из-за высокой пожарной опасности и трудностей хранения. Как эти проблемы решаются на АО «Хиагда»?

8. Львов В. В., канд. техн. наук, доцент, директор по научно-исследовательской работе Общества с ограниченной ответственностью «Дробление, измельчение сырья, подготовка к обогащению», г. Санкт-Петербург. Замечания: 1. Диссертация защищается по двум специальностям, одна из которых относится к 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых, однако, не названы фамилии российских ученых, которые занимались вопросами извлечения урана в раствор при выщелачивании гидрогенных руд с использованием окислителей. 2. Не совсем понятно, как осуществляется подача реагента в подготовленную технологическую скважину для декольматации прифильтовой зоны и самих фильтров?

9. Воложанинов А. Б., директор по производству, Общество с ограниченной ответственностью «Горнорудная компания Дархан», г. Чита. Отзыв без замечаний.

10. Ульрих Д. В., д-р техн. наук, доцент, декан факультета инженерной экологии и городского хозяйства, профессор кафедры водопользования и экологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург. Замечания: 1. В автореферате

отмечено, что при выборе активатора реакции выщелачивания урана было испытано 10 различных химических соединений и из них выбрано для проведения опытно-промышленных работ два: нитрид натрия и перекись водорода, как наиболее эффективные. Следовало бы привести в табличной форме и результаты испытаний оставшихся 8 соединений. 2. При обработке технологических скважин декольматантами: соляной кислотой и бифторидом аммония в технологическом регламенте ремонтно-восстановительных работ указана совместная одновременная обработка обоими химикатами прифильтровой зоны скважин. Непонятно, как протекают реакции разрушения кольматантов этими соединениями и не снижается ли эффективность их применения при одновременной подаче в скважину?

11. **Макаров Д. В., д-р техн. наук**, директор Института проблем промышленной экологии Севера – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН», г. Апатиты. Замечания: 1. В первом положении отмечено, что управление технологическими показателями скважинного подземного выщелачивания достигается обоснованным выбором схемы расположения технологических скважин применительно к конкретной горно-геологической обстановке гидрогенного месторождения. В автореферате можно было бы кратко охарактеризовать эту обстановку. 2. При обсуждении восстановления технологических скважин не обсуждено, является ли ухудшение проницаемости рудного пласта следствием выноса тонкодисперсных взвесей в прифильтровую зону или же основной вклад вносит химическое растворение породообразующих минералов.

12. **Заровняев Б. Н., д-р техн. наук**, профессор, профессор Горного института ФГАУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Якутск. Замечание: 1. Из автореферата непонятно, имеется ли влияние расположения скважин на эффективность выщелачивания.

13. **Федотов К. В., д-р техн. наук**, профессор, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск. Замечания: 1. Нет информации об обязательных условиях успешного осуществления скважинного подземного выщелачивания. 2. Озон является одним из самых мощных и относительно дешевых окислителей, поэтому для

повышения эффективности выщелачивания урана потенциально представляет большой интерес для технологов. Почему при выборе эффективного активатора не отдано предпочтение именно этому окислителю?

14. Иванов А. Г., канд. техн. наук, главный специалист Управления по научной и инновационной деятельности / Аналитическая группа. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», г. Москва. Замечания: 1. Некоторые графики, приведенные в автореферате, можно было бы представить в линейном виде, что упростило бы их применение при выборе параметров обработки блоков (рис. 4, 7, 10, 14, 15, 16, 17). 2. На мой взгляд, в табл. 5 следовало бы указать, какой тип эрлифта необходимо применять при комбинированной обработке прифильтровых зон технологических скважин. Из технологического регламента следует, что скважина должна прокачиваться не менее 24 раз в год, Для варианта использования полимерной эксплуатационной колонны в качестве водоподъемной и длительном сроке обработки прокачиваться не менее 24 раз в год, Для варианта использования полимерной эксплуатационной колонны в качестве водоподъемной и длительном сроке обработки блоков это много. Для варианта УОС такая частота прокачек не влияет на целостность эксплуатационных колонн. Для сведения – по данным НАК «Казатомпром» частота выполнения эрлифтных прокачек с использованием эксплуатационных колонн в качестве водоподъемных не превышает 1,5 в год при сроках обработки блоков от 1,5 до 3-4 лет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их практическим опытом, высокой квалификацией, известностью научными и практическими достижениями в области геотехнологии (подземной разработки рудных месторождений) и обогащения полезных ископаемых, публикационной активностью, наличием работ, относящихся к теме диссертации и опубликованных в рецензируемых научных журналах, и возможностью компетентно определить научную новизну, практическую значимость работы, достоверность и обоснованность научных положений и выводов представленной диссертации. Научные труды оппонентов и ведущей организации касаются вопросов в областях: способов и физических процессов горного производства, оценки гидродинамических пара-

метров технологии подземного выщелачивания руд, насыщения рудных кусков технологическими растворами в процессе подземного выщелачивания, способов извлечения урана из сернокислых растворов, процессов выщелачивания урана, совершенствования реагентных режимов процесса выщелачивания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: методика анализа геолого-технологической ситуации, позволяющая прогнозировать показатели извлечения урана из руды; методика многовариантного моделирования технологических процессов движения растворов в продуктивном пласте с учётом экономических показателей всего цикла добычи в зоне многолетней мерзлоты, использование которой позволяет проводить оптимальный выбор схемы расположения технологических скважин с охватом площади рудной зоны, превышающей 90 % запасов урана, применительно к конкретной горно-геологической обстановке гидрогенного месторождения; универсальная система оперативного контроля и анализа работы цифрового двойника горнодобывающего предприятия, обрабатывающего урановые руды Хиагдинского месторождения, в разрезе предприятия, месторождения, участка, залежи, эксплуатационного блока, являющаяся составной частью комплекса программного обеспечения АСУТП «Умный полигон», включающая выявленные качественно новые зависимости и закономерности процесса скважинного подземного выщелачивания урана и его интенсификации, позволяющая повысить точность измерений технологических показателей с помощью интерактивных инструментов, расширяющая границы применимости для гидрогенных месторождений любого типа, включая хиагдинские руды;

предложен алгоритм расчета параметров разработки руд месторождений Хиагдинского рудного поля, учитывающий конкретные горно-геологические условия и геотехнологические показатели и позволяющий усовершенствовать технологию вскрытия рудной залежи на основе оптимизации формы и размера технологической ячейки, количества технологических (откачных и закачных) скважин, и эффективно управлять качеством рудоподготовки к скважинному подзем-

ному выщелачиванию при максимальном извлечении урана и минимальной себестоимости готовой продукции;

доказана перспективность вовлечения в отработку скважинным подземным выщелачиванием гидрогенных урановых руд в суровых климатических условиях и возможность управления качеством рудоподготовки гидрогенных руд хиагдинского типа методом многовариантного моделирования процессов движения растворов в продуктивном пласте всего цикла добычи; перспективность применения перекиси водорода, которая обеспечивает максимальную концентрацию ионов урана и трёхвалентного железа в продуктивном растворе при минимальном объёме и расходе выщелачивающего реагента, для интенсификации процесса выщелачивания урана из руд хиагдинского типа;

введено понятие «коллоидный кремнезём в виде SiO_2 », как продукт химических реакций серной кислоты с силикатными минералами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана впервые гипотеза, заключающаяся в том, что управление качеством рудоподготовки рудного пласта и повышение эффективности скважинного подземного выщелачивания достигается одновременной оптимизацией формы и размера технологической ячейки вскрытия запасов гидрогенного уранового месторождения и применением эффективных активатора и химических декольмантантов;

доказано, что уравнения множественной регрессии: показателей степени заполнения прифилтровой зоны технологических скважин от усредненного размера песчинок рудного пласта, концентрации ионов Mg, Ca, Al, Fe в продуктивном растворе от суммарного содержания породообразующих минералов в руде, концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе от содержания силикатных минералов в руде, расширяют границы применимости полученных результатов, так как позволяют прогнозировать эффективность работы полигона выщелачивания;

применительно к проблематике диссертации результативно, т.е. с получением обладающих новизной результатов, использован комплекс научных методов исследований, включающий аналитические, теоретические, лабораторные ис-

следования, укрупненные лабораторные и полупромышленные испытания; компьютерное моделирование технологических схем подготовки гидрогенного уранового сырья к скважинному подземному выщелачиванию; инструментальные исследования на горном полигоне; методы математической статистики для обработки результатов экспериментов; технико-экономические расчеты;

изложены впервые доказательства того, что выявленные зависимости параметров скважинного подземного выщелачивания от содержания урана в рудах, гранулометрического и вещественного состава руд, позволяют с достаточной степенью точности (95%) прогнозировать показатели извлечения урана в продуктивный раствор;

раскрыта сущность противоречия между увеличением объемов производства готовой продукции горного предприятия и более полного использования минеральных ресурсов, с одной стороны, и использования гидрогенного минерального сырья на месторождениях, расположенных в условиях сурового климата с пониженной температурой подземных вод, с другой;

изучены впервые причинно-следственные связи между концентрацией и извлечением урана в продуктивный раствор и продолжительностью выщелачивания при использовании в качестве окислителя перекиси водорода, позволяющие определять временной интервал выщелачивания, обеспечивающий повышение содержания урана в продуктивном растворе на 24,21 % (с 95 до 118 мг/л), при снижении удельного расхода серной кислоты на 18,75 % (с 32 до 26 кг/т руды) при подземном выщелачивании руд хиагдинского типа;

проведена модернизация методики расчета и контроля параметров скважинного подземного выщелачивания за счет выявленных качественно новых зависимостей и закономерностей процесса скважинного подземного выщелачивания и его интенсификации (проект «Умный полигон»), что позволяет расширить границы применимости скважинного подземного выщелачивания для гидрогенных месторождений хиагдинского типа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в процесс проектирования горных работ: технологические схемы рудоподготовки и отработки гидрогенных урансодержащих руд для скважинного подземного выщелачивания, позволяющие сократить срок отработки запасов месторождений на 32 %; снизить себестоимость готовой продукции на 13,0 %; поддерживать на проектном уровне в течение 4 лет производительность закачных и откачных скважин;

определены перспективы практического использования новой экспериментальной методики исследований по оптимизации параметров систем разработки гидрогенных месторождений Хиагдинского рудного поля;

создана система практических рекомендаций по повышению скорости перевода урана в продуктивный раствор при закислении и на стадии выщелачивания с использованием разработанного технологического регламента, по восстановлению производительности технологических скважин проведением ремонтно-восстановительных работ с использованием усовершенствованного регламента и по удалённому мониторингу работы добычного полигона АО «Хиагда» с использованием разработанного комплекса программного обеспечения «Умный рудник» для повышения качества и оперативности управления процессом скважинного подземного выщелачивания;

представлены и внедрены предложения по повышению уровня организации горного производства АО «Хиагда» с учетом результатов опытно-промышленных работ, выполненных в процессе научных исследований, что позволяет повысить коэффициент использования недр, продлить срок существования горного предприятия, снизить себестоимость готовой продукции, получить экономический эффект от внедрения разработок в производство 332,6 млн руб. в год.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены: на сертифицированном оборудовании с использованием современных методов исследований и достоверных и аттестованных методик. Достоверность экспериментальных работ обоснована корректно поставленными задачами исследования, достаточным количеством отобранных проб и проведенных анализов, подтверждением итогами

опытно-промышленных испытаний лабораторных результатов, высокой сходимостью теоретических показателей и результатов экспериментов, применением при проведении испытаний современных технических средств, использованием при обработке информации сертифицированных компьютерных программ;

теория согласуется с опубликованными результатами исследований в области скважинного подземного выщелачивания и построена на базовых положениях физико-химической геотехнологии и моделирования, химических процессов разделения, концентрации урановых минералов, химических методов интенсификации процессов выщелачивания природного минерального сырья, подтверждается выводами, основанными на корректном использовании математического аппарата и основных положений теории статистики, сопоставляется с экспериментальными данными, полученными на практике;

идея базируется на анализе горно-геологических и горнотехнических условий, опыте и тенденциях развития технологии отработки гидрогенных урановых руд как российскими, так и зарубежными предприятиями, на фундаментальных закономерностях физико-химической геотехнологии, физико-химических и химических процессах концентрации и извлечения полезных компонентов из продуктивных растворов и химических методах интенсификации процесса выщелачивания урана;

использованы сопоставления итогов проведенных исследований с ранее полученными результатами других изыскателей по данной тематике и опубликованными в научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ;

установлено совпадение научных результатов, полученных автором, с известными результатами исследований в областях 2.8.8. Геотехнология, горные машины и 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых, проведенных Всероссийским научно-исследовательским институтом химической технологии, Всероссийским научно-исследовательским институтом минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС), Всероссийским научно-исследовательским институтом промышленной технологии, Российским государственным геологоразведочным университетом имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Иркутским научно-исследовательским институтом благородных и редких металлов и алмазов (ИРГИ-

РЕДМЕТ), Институтом проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН), Национальным исследовательским техническим университетом «МИСИС» и рядом других научных организаций;

использованы результаты анализа отечественного и зарубежного опыта отработки гидрогенных урановых руд технологией скважинного подземного выщелачивания: Далматовское месторождение, месторождение Мынкудук, месторождение Инкай, Семизбайское гидрогенное месторождение и другие; современные методики сбора и обработки информации.

Личный вклад автора состоит в: определении цели и задач исследования, разработке методик исследований, сборе и анализе информации, проведении исследовательских работ, впервые установленных логических связях между горно-геологическими и технологическими параметрами рудного сырья при рудоподготовке и скважинном подземном выщелачивании руд хиагдинского типа, разработке технологических решений, позволяющих повысить эффективность скважинного подземного выщелачивания с выведением технологии на уровень рентабельности, разработке методик прогнозирования результатов разработки для проектирования и планирования горных работ, написании и публикации научных статей по теме исследования (личный вклад автора составляет 5,94 печатных листа).

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания.

В отзыве ведущей организации:

1. В автореферате следовало бы более подробно представить описание методики многовариантного моделирования технологических процессов движения растворов в продуктивном пласте с учетом экономических показателей всего цикла добычи.

2. В автореферате (с.5) и диссертации (с.8) излишне детально смотрится раздел о теоретической значимости исследований.

3. В анализе современного состояния извлечения урана из гидрогенных месторождений (стр.15-16 диссертации) упомянуты проблемы низкого извлечения урана на месторождении «Далматовское» (АО «Далур»). К сожалению, какие-

либо подробности, которые, несомненно, важны для Хиагдинского месторождения, использующего аналогичную технологию, отсутствуют.

4. Некоторого пояснения требует вывод о предпочтительности гексагональной схемы отработки запасов в сравнении с рядной, так как последняя обеспечивает более высокое извлечение урана, меньшую продолжительность отработки (с.9. автореферата, табл.1.). Какие исходные данные использованы для сравнения вариантов.

5. В автореферате и диссертации указано, что проведены исследования десяти наиболее распространенных окислителей, влияющих на эффективность выщелачивания урана, однако, сравнительные результаты экспериментов не приведены.

6. Чем обоснован расход перекиси водорода при выщелачивании урана (1,6 кг/т руды)? Насколько оптимально это значение?

7. По тексту автореферата и диссертации имеется ряд опечаток.

В отзыве официального оппонента А.Л. Вильмиса:

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.

В отзыве официального оппонента В.В. Морозова:

1. В обзоре по анализу научной литературы в области применения скважинного подземного выщелачивания урана следовало больше уделить внимание исследованиям российским ученым, которые занимались вопросами извлечения урана в раствор при выщелачивании гидrogenных руд с использованием окислителей.

2. Не ясно, почему при исследовании кинетики выщелачивания и выборе окислителя выбрано граничное значение извлечения урана в продуктивный раствор в 80 и 90 %. Почему допускается такое различие? Чем определяется целевое извлечение урана? Существуют ли технологические проблемы при извлечении урана более 90 %?

3. При рассмотрении и сравнении 3 вариантов кислотного выщелачивания гидrogenных руд не дано четкого обоснование рекомендуемого расхода перекиси водорода на стадии закисления и на стадии выщелачивания (1,6 и 0,88 кг/т).

4. Не уделено внимание влиянию температуры и не определены требования к температурному режиму процессов выщелачивания и декольматации.

5. Не совсем понятно, как будет реализовываться технология солянокислой и бифторидаммониевой декольматация скважин. Эти технология включает отдельные операции, или предлагается совместное использование реагентов? Следовало более подробно описать последовательность обработки и дать оценку расходов реагентов?

В ходе заседания диссертационного совета:

1. В работе в качестве деколматанта использовали серную кислоту, а другие кислоты (азотная, соляную) изучались? Соляная кислота какой концентрации?

2. Когда выбирают вскрывающий агент, очень важны термодинамические параметры процессов. Рассматривали ли Вы термодинамику процесса? С термодинамической точки зрения какая кислота лучше?

3. В чем заключается механизм действия и способ подачи перекиси водо-

рода?

4. На всех ли участках Хиагдинского рудного поля целесообразна гексагональная схема размещения скважин?

5. Насколько методика моделирования универсальна, или она может быть использована только на рудных телах Хиагдинского рудного поля?

6. Насколько достоверны данные, которые закладывались в модель, как они получены?

7. Как влияет наличие многолетнемерзлых пород на процессы скважинного выщелачивания?

8. У Вас на двух разных графиках кинетики выщелачивания очень значительная разница во времени достижения максимальной концентрации урана в растворе. Почему такая разница?

9. Как экстраполировать полученные лабораторные результаты на реальные блоки выщелачивания?

10. Сколько суток понадобится для выщелачивания в реальных условиях?

11. В работе рассматривали квадратную и гексагональную форму расположения скважин, а почему пятигранную не рассмотрели?

12. Какое уравнение использовано в математической модели?

13. Почему в уравнении связи концентрации продуктивного раствора со временем выщелачивания на 18 слайде указан множитель 10 в степени. А какой член уравнения будет давать размерность концентрации в мг/л?

14. Почему первый член уравнения связи извлечения с продолжительностью выщелачивания имеет отрицательное значение? Какой это имеет смысл?

15. Какое из трех защищаемых положений относится к специальности геотехнология, а какое к обогащению полезных ископаемых?

16. Ваши процессы относятся к обогащению или к физико-химическим процессам геотехнологии?

17. Может ли быть объектом исследования по специальности геотехнология месторождение?

18. В чем новизна первого научного положения, что нового относительно изучаемого рудного поля?

19. За какой период вы получите заявленный экономический эффект, если отработка блока занимает у вас 6 лет? Подтвердился ли он в 2023 году?

20. Какими технологическими решениями подтверждена полнота сбора раствора во избежание потерь?

21. Что значит эффективное управление, заявляемое в идее работы?

22. Поскольку на слайдах не представлены гидрогеологические характеристики месторождения, на чем основана новизна первого научного положения?

23. Что за концентрация 10 кг на метр квадратный?

24. Как обеспечивается защита окружающей среды при отработке скважинным выщелачиванием?

25. В диссертации есть рисунки с разрезом по скважинам и поверхностью депрессии?

26. Какие скважины вы восстанавливаете: откачные или закачные?

27. Что такое класс крупности?

Соискатель Михайлов Анатолий Николаевич ответил на задаваемые вопросы и привел собственную аргументацию.

Практика отработки гидрогенных урановых месторождений, как отечественных, так и зарубежных, показывает, что извлечь более 90 % урана в продуктивный раствор при СПВ – практически невыполнимая задача. Процесс выщелачивания затягивается на очень длительный период времени, а затраты на выщелачивание каждого дополнительного процента возрастают в геометрической прогрессии, так как реагенты расходуются уже не на выщелачивание урана из-за весьма низкого его остаточного содержания, а на химические реакции с минералами вмещающих пород. Пороговое извлечение в 80 % - это экономически обоснованное извлечение, характеризующееся оптимальными затратами на выщелачивание, величина которых окупается стоимостью готовой продукции предприятия (урана в желтом кеке). Вопросами извлечения урана в раствор при выщелачивании гидрогенных руд с использованием окислителей занимались российские учёные В.А. Грабовников, Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман, А.П. Филиппов, Ю.В. Нестеров, Н.П. Лаверов и др. В диссертации для обоснования технологических решений выщелачивания урана исследовалась кинетика перехода урана в

продуктивный раствор при различных параметрах сети технологических скважин. Рассчитывались следующие технологические показатели: приемистость закачных скважин, дебиты откачных скважин, показатель скин-эффекта, время закисления блока (ячейки) гексагональной и рядной, время выщелачивания блока (ячейки) и др. Минимум суммарных затрат соответствует радиусу ячейки в 30 м. Из десяти окислителей, активирующих процесс выщелачивания урана из руд хиагдинского типа, выбраны наиболее эффективные: нитрит натрия и перекись водорода, для которых в лабораторных условиях получена наибольшая эффективность применения. Основное отличие предлагаемого варианта РВР, от ранее применявшегося, состоит в том, что в регламент введены расходные показатели: соляной кислоты и бифторида аммония в зависимости от концентрации ионов кольматантов, а также уточнены временные показатели отработки скважин. Многоствольное бурение не нашло широкого применения на месторождениях Хиагдинского рудного поля, поэтому исследования, проводимые автором, не затрагивают эту область технологии строительства скважин. Установлено, что кроме механической и химической кольматации, при выщелачивании наблюдается ионообменная, связанная с уменьшением порового пространства песков за счет набухания органических и глинистых соединений и показано, что для руд хиагдинского типа это явление не характерно, в связи с наличием небольшого количества органических и глинистых соединений. Исходными данными для математического моделирования были дебит откачных скважин, время закисления блока, время выщелачивания блока, площадь эксплуатационной ячейки. В диссертации представлены расчеты всех технологических параметров. Показано, что железо содержится не только в гематите (Fe_2O_3), но и в полевых шпатах, каолините, гидрослюдах, мусковите, сериците, сульфидах железа, которые частично разрушаются серной кислотой и поставляют в продуктивный раствор ионы железа. С целью эффективного использования окислителя перекись водорода хранится в специальном складском помещении, обеспечивающем защиту от воздействия солнечных лучей, с соблюдением усиленных мер пожарной безопасности при температуре не выше 30°C в емкостях с изотермическим устройством. Подача реагента в подготовленную скважину осуществляется свободным наливом из рабочей полиэтиленовой ёмкости. Для за-

мещения пластовых растворов реагентными первая порция реагентного раствора объемом 500-1000 л сливается через устье скважины. Для промывки и освобождения от солей нижней части фильтра, в отстойник скважины спускается шланг диаметром 32 мм, по которому подается оставшийся рассчитанный объем реагентного раствора. После закачки в скважину расчетного количества декольматирующего раствора, скважина выстаивается в течение 48 часов. При необходимости, для активизации выщелачивания, после «выстойки» скважины, возможно продавить в рудный горизонт кислотный выщелачивающий агент из расчета проработки растворами области 2,0-5,0 м от фильтра. Вновь образовавшиеся при выщелачивании урановых руд серной кислотой соединения, оседающие в прифилтровой зоне технологических скважин, представлены преимущественно MnO_2 , MgS , $CaMgFe(CO_3)_3$, $CaAl_2((OH)_8(H_2O)_2)$, Fe_3O_4 и аморфным SiO_2 . Все эти соединения, за исключением SiO_2 , растворяются соляной кислотой. Соединения кремния разрушаются плавиковой кислотой, образующейся при реакции бифторида аммония с серной кислотой, и частично с соляной кислотой. Реакция бифторида аммония с соляной кислотой протекает по схеме с образованием плавиковой кислоты и NH_4Cl . При подаче в технологическую скважину бифторида аммония в первые 24 часа обработки плавиковая кислота образуется при реакции его с остаткам серной кислоты в продуктивном растворе, в следующие 24 часа совместно с бифторидом аммония подается соляная кислота, которая частично реагирует с бифторидом аммония с образованием плавиковой кислоты. Плавиковая кислота разрушает соединения кремния, а избыточная часть соляной кислоты разрушает оставшиеся кольматанты. Конкретная горно-геологическая обстановка гидрогенного месторождения подробно описана в диссертации на стр. 18-25. Особенности месторождений Хиагдинского рудного поля являются рудные залежи палеодолинного типа, наличие островной и вечной мерзлоты, что определяет низкую температуру подземных вод, суровые природные условия. При кольматации закачных скважин основной вклад вносят механические взвеси, а при кольматации откачных скважин – химические кольматанты. Несомненно, расположение скважин напрямую влияет на эффективность выщелачивания. Доказано, что при выщелачивании руд месторождений Хиагдинского рудного поля, гексагональное

расположение скважин в технологической ячейке наиболее эффективно, что позволяет снизить период выщелачивания по сравнению с другими схемами расположения скважин с 1900 суток до 1400 суток. Определено, что к обязательным условиям успешного кислотного скважинного выщелачивания относятся следующие условия: наличие верхнего и нижнего водоупора; высокая проницаемость продуктивного пласта; необходимый уровень фильтрации подземных вод (0,5 м/сек и более); урановая минерализация должна быть представлена минералами, легко разрушающимися под воздействием серной кислоты; кислотоемкость продуктивного пласта должна быть невысокой; температура подземных вод 10 град. С и выше; литологический состав рудоносных песков представлен хорошо сортированным песчано-гравийным материалом; содержание карбонатных минералов не более 3 %; содержание урана более 0,03 %; продуктивный пласт рудных песков желателен должен быть представлен одним ярусом. Данная информация изложена в диссертации на стр.69-70. Действительно, озон является одним из самых мощных и относительно дешевых окислителей, однако ограничением его применения является то, что озон вступает в реакцию в основном при высоких температурах подземных вод и не подходит для условий Хиагдинского рудного поля, где температура подземных вод не превышает 4-5 град. Зависимости получены методом математического моделирования и для ячеек радиусом 20, 30 и 40 м, подтверждены опытно-промышленными работами на залежи X5-6-C1 Хиагдинского месторождения. Выявленные зависимости представлены в виде уравнений, полученных методом линеаризации. Практическая ценность представленной информации состоит в том, что, зная один параметр зависимости, можно определить значения других. Для удаления механического коагулянта применяется пневмоимпульсная установка HYDROPULS. Тип эрлифта - нагнетательный пневмоимпульсный. Из технологического регламента видно, что скважина должна прокачиваться не менее 24 раз в год. В диссертации подробно описан процесс механической декоагуляции и на основе проведенных опытно-промышленных работ и практики отработки запасов месторождений Хиагдинского рудного поля составлен новый регламент. Гидропневмоимпульсная установка HYDROPULS может работать как в режиме гидропневмоимпульса, так и в режиме пневмоимпульса.

При проведении опытных работ опробовались оба режима. В результате было установлено, что эффективность обоих режимов примерно одинакова, но затраты на пневмоимпульс ниже, поэтому в регламент включен режим пневмоимпульса. Основной экономический эффект планируется получить за счет применения гексагональной системы вскрытия запасов, при этом будут снижены затраты на строительство и обвязку скважин на 45 % за счет уменьшения общей длины скважин, что позволит уменьшить расходы на 149 млн руб. Применение в качестве активатора перекиси водорода позволит уменьшить количество продуктивных растворов на 2 млн м³ и сэкономить на их переработке 51 млн руб. Продление срока службы технологических скважин до 4 лет позволит сэкономить 132 млн руб в год. Представлен раздел по внедрению на предприятии АО «Хиагда» проекта «Умный полигон», реализация которого позволит повысить эффективность производства на 10 % за счет внедрения универсальной системы оперативного контроля и анализа работы цифрового двойника горнодобывающего предприятия. Величина расхода перекиси водорода при закислении и выщелачивании урана (1,6 и 0,88 кг/т руды) получена в процессе проведения опытно-промышленных работ на опытном блоке залежи X5-6-C1 Хиагдинского месторождения (таблица 3.5 диссертации) и подтверждена результатами дальнейших эксплуатационных работ. Процессы выщелачивания и декольматации протекают в недрах при естественных для условий локализации хиагдинских руд температурах. Поскольку месторождения располагаются в суровых природных условиях Забайкалья с длительным периодом низких температур, то для данных территорий характерно развитие участков островной мерзлоты. Этот фактор определяет низкие температуры подземных вод (не выше +5 град. С). Низкие температуры подземных вод определяют невысокую скорость протекания химических реакций. Поэтому для повышения эффективности скважинного выщелачивания необходимо выбрать такой активатор, который бы успешно работал в условиях низких температур подземных вод. Таким реагентом является перекись водорода. Соляная кислота и бифторид аммония, как декольматанты, также успешно работают в условиях размещения хиагдинских руд и не требуют дополнительных мероприятий по подогреву растворов. Из представленного технологического регламента ремонтно-восстановительных работ техно-

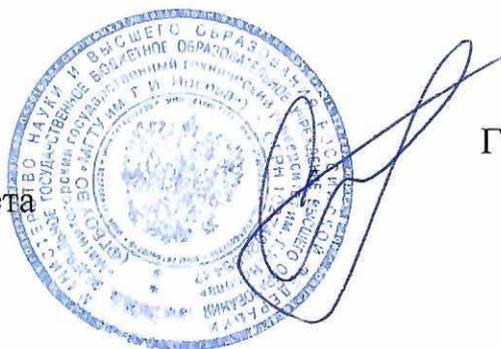
логических скважин видно, что процессы декольматации являются частично совмещенными операциями: сначала в течение 24 часов скважина обрабатывается бифторидом аммония, а затем в течение 24 часов совместно соляной кислотой и бифторидом аммония. Общий период обработки скважин составляет 48 часов. В качестве выщелачивающего раствора используются и растворы соляной кислоты. Соляная лучше реагирует с некоторыми видами отложений в скважинах. Для подачи перекиси водорода используется герметичная система. Перекись водорода окисляет железо двухвалентное до трехвалентного, которое впоследствии участвует в реакциях перевода урана в продуктивный раствор. Термодинамически более активной является соляная кислота. Гексагональная схема размещения скважин целесообразна не на всех участках Хиагдинского рудного поля. Разработанная методика моделирования является универсальной при отработке рудных полей скважинным выщелачиванием. Достоверность данных, закладываемых в модель, обеспечивается многолетними наблюдениями в полевых условиях. Многолетнемерзлые породы влияют на скорость охлаждения выщелачивающих растворов и скорость реакции. Исследования проводились в лабораторных и полевых условиях, определялись основные закономерности выщелачивания. Уравнения, используемые в математической модели, получены эмпирическим путем, обработкой результатов эксперимента. Процессы выщелачивания можно отнести и к физико-химическим процессам геотехнологии и к процессам обогащения полезных ископаемых, поскольку происходит концентрация урана в продуктивном растворе. Из трех научных положений первое относится к специальности «Геотехнология, горные машины», второе – к специальности «Обогащение полезных ископаемых», третье – к обеим научным специальностям. Скважинное выщелачивание является наиболее экологичным способом извлечения ценного компонента, что связано с локальным распространением выщелачивающих растворов в пространстве, ограниченном водоупорными породами. В диссертации присутствуют геологические разрезы месторождения. Исследования, проведенные разными учеными, показывают, что решение декольматации скважин возможно по следующим направлениям: совершенствование призабойного оборудования скважин; оптими-

зация межремонтных циклов; использование декольматантов и других химических соединений для разрушения продуктов кольматации в прифилтровой зоне откачных скважин и в самих фильтрах. В диссертации приведены ТЭП РВР, из которых видно, что затраты на РВР в расчете на 1 т погашенной балансовой руды составили: базовый вариант – 61 руб./т; предлагаемый вариант – 19 руб./т. Снижены затраты на ремонтно-восстановительные работы технологических скважин в расчете на 1 т балансовых запасов на 31 %.

На заседании 26 сентября 2024 года диссертационный совет принял решение за разработку новых научно обоснованных технических и технологических решений по отработке урановых руд скважинным подземным выщелачиванием, с применением методов интенсификации, которые позволяют повысить эффективность извлечения урана из природного сырья, имеющих существенное значение для развития горнодобывающей и атомной промышленности России, присудить Михайлову Анатолию Николаевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 13 докторов наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины и 5 докторов по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против - нет.

Председатель
диссертационного совета



Гавришев Сергей Евгеньевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

A handwritten signature in blue ink, which appears to be "Корнилов Сергей Николаевич".

Корнилов Сергей Николаевич

26 сентября 2024 г.