

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Михайлова Анатолия Николаевича

«Совершенствование технологии отработки руд месторождений Хиагдинского рудного поля скважинным подземным выщелачиванием»,

представленную на соискание ученой

степени кандидата технических наук по специальностям:

2.8.8. Геотехнология, горные машины,

2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

Объём и структура диссертации

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

Актуальность темы диссертационного исследования

Металлический уран и его соединения – ядерное горючее для атомных реакторов. Именно малообогащенную смесь урана применяют в стационарных реакторах АЭС. Все это делает добычи и обогащения урана важной задачей. Разработка гидрогенных месторождений методом СПВ является наиболее перспективным направлением развития технологий в уранодобывающей промышленности и имеет исключительно важное экономическое значение.

Выбранное направление исследований в диссертационной работе, ставящее задачей повышение эффективности вскрытия запасов урановых месторождений, ускорения процессов выщелачивания урана в продуктивный раствор, повышения эффективности работы технологических скважин, несомненно является перспективным путем поставленной задачи. В соответствии с вышеизложенным выбранная тема диссертационного исследования является весьма актуальной.

Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, указаны цель, задачи, идея работы, объекты исследования, раскрыты научная новизна, практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту, сведения о личном вкладе автора, апробация результатов проведенного исследования.

В первой главе дан анализ опыта применения скважинного подземного выщелачивания урана, рассмотрено современное состояние горных работ, проанализированы горно-геологические условия гидрогенных месторождений Хиагдинского рудного поля. На основании сделанных автором выводов, сформулирована научная идея работы (гипотеза) и поставлены основные задачи исследования.

Вторая глава посвящена проведению исследований по оптимизации систем вскрытия и отработки гидрогенного уранового месторождения методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Сделан критический анализ применения различных схем расположения технологических скважин. Представлены результаты исследования по оптимизации параметров систем разработки месторождений Хиагдинского рудного поля. Для окончательного решения проблемы по выбору наиболее эффективной системы разработки проведено математическое моделирование процессов СПВ при

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА	
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	04.09.2024
Фамилия регистратора	_____

рядной схеме вскрытия с различным расположением рядов технологических скважин с использованием пакетов современных прикладных программ для отработки запасов одной из рудных залежей Хиагдинского месторождения. Представлены результаты моделирования применительно к рудным залежам небольшой ширины и моделирования схемы вскрытия рудных залежей большой ширины.

Математическое моделирование с вариацией различных величин радиуса гексагональной ячейки показало, что наиболее эффективна схема с радиусом ячейки равным 30 м. Установлена зависимость концентрации урана в продуктивном растворе от времени выщелачивания для варианта гексагональной ячейки радиусом 30 м. Выявлена корреляционная связь извлечения урана в раствор и времени выщелачивания для гексагональной ячейки радиусом 30 м.

Предложен алгоритм расчета параметров системы разработки руд, учитывающий конкретные горно-геологические условия и геотехнологические показатели, позволяющий усовершенствовать технологию вскрытия рудной залежи за счёт оптимизации формы и размера технологической ячейки, количества технологических (откачных и закачных) скважин. Сделан расчет параметров системы разработки СПВ. Доказано, что наиболее эффективной системой вскрытия руд хиагдинского типа является система с гексагональным расположением скважин и радиусом ячейки в 30 м.

Исследованы физико-химические процессы концентрации ценного компонента и переработки природного уранового сырья: кинетика перехода урана в продуктивный раствор при различных параметрах сети технологических скважин рядной схемы; кинетика расхода H_2SO_4 на 1 кг урана при различных параметрах сети технологических скважин рядной схемы; зависимость показателей выщелачивания (концентрации урана в продуктивном растворе и извлечение урана) от Ж:Т; зависимость концентрации урана в продуктивном растворе от времени выщелачивания при использовании гексагональной системы вскрытия запасов; динамика выщелачивания до извлечения 90 % запасов урана в продуктивный раствор для гексагональной системы вскрытия с различным радиусом ячеек.

Дана технико-экономическая оценка вариантов вскрытия залежей месторождений Хиагдинского рудного поля. Управление технологическими показателями скважинного подземного выщелачивания обеспечивает полноту извлечения урана в раствор при минимальной себестоимости готовой продукции.

Таким образом, на основании представленных данных результатов исследований, которые являются достоверными и сомнений не вызывают, первое научное положение успешно доказано. Полученные теоретические и практические результаты соответствуют критериям научной новизны и значимости.

В третьей главе рассмотрены вопросы повышения интенсивности перехода урана в продуктивный раствор при подземном скважинном выщелачивании. На основе изучения прозрачных и полированных шлифов (свыше 100 образцов), с учетом химических, термических анализов и анализов ИКС (инфракрасная спектроскопия), установлено, что руды и вмещающие породы относятся по составу горнорудной массы к алюмосиликатным.

Экспериментально изучено влияние 10 наиболее распространенных окислителей на эффективность выщелачивания урана (железо (III): кислород, озон, пиролюзит (MnO_2), хлораты ($HClO_3$), гипохлорит натрия ($NaClO$), хлорамин ($NHCl$), перманганат калия ($KMnO_4$), бихромат калия ($K_2Cr_2O_2$), нитрит натрия ($NaNO_2$), перекись водорода (H_2O_2)).

Лабораторными исследованиями, проведенными на рудах месторождений

Хиагдинского рудного поля, установлено, что наиболее эффективными окислителями при выщелачивании этих руд являются перекись водорода и нитрит натрия.

С целью повышения извлечения урана в продуктивный раствор и для подтверждения эффективности применения этих двух химических соединений, были проведены лабораторные исследования по выщелачиванию руд Хиагдинского месторождения. В процессе исследований установлены оптимальные технологические параметры выщелачивания для трёх вариантов: без окислителя, с применением перекиси водорода, с применением нитрита натрия. Экспериментально определены следующие оптимальные технологические параметры: Ж/Т, ОПВ, Fe (III), Fe (II), расход серной кислоты, концентрация серной кислоты от времени выщелачивания. Приведены сравнительные характеристики трёх вариантов.

Результаты анализа сравнительных характеристик технологических параметров выщелачиваемости руд месторождений Хиагдинского рудного поля методом СПВ показали, что наиболее высокие показатели достигнуты при применении в качестве окислителя пероксида водорода: наименьший объем выщелачивающих растворов; наименьший расход выщелачивающего реагента; максимальную концентрацию выщелоченного урана в продуктивных растворах; наименьший период времени для извлечения в раствор 80 % урана; оптимальное соотношение ионов трехвалентного и двухвалентного железа больше единицы.

По результатам проведенных испытаний разработаны рекомендации по применению в технологическом процессе выщелачивания экспериментально установленных технологических параметров выщелачивания: и подтверждены расходные показатели применяемых реагентов, полученные при проведении лабораторных испытаний.

Доказано, что интенсификация процесса кислотного выщелачивания достигается увеличением концентрации трехвалентного железа (III) за счет использования в качестве окислителя перекиси водорода при закислении в количестве 1,6 кг на 1 тонну руды и на стадии выщелачивания – 0,88 кг/т, что позволило повысить скорость перевода урана в продуктивный раствор и сократить срок отработки месторождений на 32 %.

На основании вышеизложенного сделан вывод, что второе научное положение достаточно полно раскрыто в диссертационной работе и аргументировано доказано.

Четвертая глава рассматривает вопросы влияния процессов кольтматации на производительность технологических скважин и повышения их производительности устранением причин кольтматации. Установлено, что процесс засорения прифилтровой зоны скважин кольтматами определяется следующими факторами: гранулометрическим составом продуктивного пласта, вмещающего оруденение, определяющим долю тонких частиц в своем составе – механическая кольтматация; петрографическим составом рудных песков, определяющим долю породообразующих минералов – поставщиков ионов Mg, Ca, Fe, Al и Si, в продуктивный раствор под воздействием серной кислоты – химическая кольтматация. Доказано, что продукты химической кольтматации в условиях отработки запасов месторождений Хиагдинского рудного поля эффективнее всего удаляются растворами соляной кислоты и бифторида аммония.

В процессе проведения опытно-промышленных работ установлены закономерности восстановления производительности закачных и откачных скважин от времени их эксплуатации при соблюдении регламентных требований их обработки.

Проведенные исследования позволили усовершенствовать технологический регламент работ для восстановления производительности закачных и откачных скважин. Ремонтно-восстановительные работы, проводимые согласно предложенному регламенту, позволяют поддерживать производительность закачных и откачных скважин на проектном уровне в течение 4 лет.

Разработана универсальная система оперативного контроля и анализа работы цифрового двойника горнодобывающего предприятия, обрабатывающего урановые руды Хиагдинского месторождения, в разрезе предприятия, месторождения, участка, залежи, эксплуатационного блока, включающая выявленные качественно новые зависимости и закономерности процесса скважинного подземного выщелачивания и его интенсификации, позволяющая повысить точность измерений технологических показателей с помощью интерактивных инструментов, расширяющая границы применимости для гидрогенных месторождений хиагдинского типа.

Следовательно, третье научное положение убедительно доказано.

Следует отметить логическую чёткость изложения результатов исследований и высокий научно-методический уровень выполненной работы. Полученные результаты теоритических и экспериментальных исследований соответствуют поставленной цели и задачам. Автор умело показал результативность проведённого исследования. Следует отметить большой объём экспериментальных исследований и высокий научный потенциал соискателя.

Научная новизна исследований:

1. 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.

2. 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).

3. 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.

4. 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.

5. По итогам лабораторных испытаний рекомендовано применение в качестве окислителя перекиси водорода с концентрацией 0,5 г/л (на 100 % вещества),

концентрация серной кислоты на стадии закисления 25 г/л, ОПВ 450 мВ и выше. График проведения испытаний в диссертации не приведён?

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что

- **изложены** доказательства гипотезы, заключающейся в том, что управлении качеством рудоподготовки рудного пласта, повышение эффективности скважинного подземного выщелачивания достигается оптимизацией формы и размера технологической ячейки вскрытия гидрогенного уранового месторождения и применением эффективных активатора и химических декольматантов;

- **изучены** следующие причинно-следственные связи и установлены новые зависимости: - концентрации урана в продуктивном растворе от времени выщелачивания с максимальными показателями при гексагональной форме и различного радиуса ячейки; извлечения урана от времени выщелачивания с применением перекиси водорода при химическом методе интенсификации процесса, позволяющей повысить концентрацию трёхвалентного железа и обеспечить полноту извлечения ценного компонента; степени заполнения прифилтровой зоны закачной скважины от усредненного размера песчинок рудного пласта; содержания породообразующих минералов в продуктивном растворе от суммарной концентрации ионов Mg, Ca, Al, Fe; концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе от содержания силикатных минералов в руде; производительности технологических скважин от срока эксплуатации при использовании таких химических декольматантов, как соляная кислота, и бифторид аммония; зависимость расхода соляной кислоты и бифторида аммония от концентрации ионов Mg, Ca, Al, Fe и Si, соответственно;

- **изложены доказательства** создания условий эффективного перевода урана в продуктивный раствор с применением перекиси водорода в качестве активатора процесса при установленных оптимальных технологических параметрах, позволяющих достичь извлечение ценного компонента на уровне не менее 80 %;

- **изложены** доказательства совершенствования инструментов контроля качества отработки гидрогенных урановых месторождений скважинным подземным выщелачиванием на основе выявленных зависимостей технологических параметров от горно-геологических условий и гидрогеологических характеристик руд и технологических параметров извлечения урана в продуктивный раствор от вещественного состава руды.

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

– разработана новая экспериментальная методика исследования по оптимизации параметров систем разработки гидрогенного месторождения Хиагдинского рудного поля;

– обоснована и экспериментально апробирована технология вскрытия запасов гидрогенных урановых месторождений хиагдинского типа гексагональной системой с радиусом ячейки 30 м;

– разработан метод прогнозирования производительности откачных и закачных технологических скважин от срока их эксплуатации при скважинном подземном выщелачивании урана;

– разработан технологический регламент выщелачивания урановых руд месторождений Хиагдинского рудного поля с использованием в качестве активатора перекиси водорода;

– усовершенствован регламент восстановления производительности технологических скважин проведением ремонтно-восстановительных работ с применением пневмоимпульсной и химической обработки прифилтровой зоны технологических скважин растворами соляной кислоты и бифторидом аммония;

– разработан комплекс программного обеспечения «Умный рудник» для удалённого мониторинга работы добычного полигона АО «Хиагда» и улучшения эффективности предприятия.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов основана на отборе достаточного количества проб и проведении всего спектра анализов, подтверждении результатов лабораторных исследований результатами опытно-промышленных испытаний, высокой сходимости теоретических показателей и экспериментальных результатов, применении современных технических средств при проведении испытаний, использовании сертифицированных компьютерных программ при обработке данных и обоснованной экономической эффективности работы предприятия при внедрении разработок в производство.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и 13 опубликованным научным статьям, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки. Получено 4 свидетельства на программы для ЭВМ.

Основные положения и результаты исследований, представленные в диссертационной работе, докладывались на различных Международных научно-практических конференциях и на совещаниях научно-технических советов Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Замечания и вопросы по диссертации и автореферату:

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 гидрогенных 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 гидрогенных 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?

Отмеченные замечания и вопросы не затрагивают основных научных положений диссертации и не снижают высокой теоретической значимости и практической ценности диссертационного исследования.

Заключение

Диссертационная работа Михайлова Анатолия Николаевича на тему: «Совершенствование технологии отработки руд месторождений Хиагдинского рудного поля скважинным подземным выщелачиванием», представленная на соискание ученой

