

## ОТЗЫВ

На диссертационную работу Вальцевой Александры Игоревны «Технология переработки золотосодержащего сырья методом гидро- и электрохлоринации» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых»

Актуальность настоящей работы обоснована важностью решаемой задачи – разработки эффективной технология переработки золотосодержащего сырья, и перспективностью выбранного пути ее решения, заключающегося в применении метода гидро- и электрохлоринации, характеризующегося высокой скоростью окисления сульфидных минералов и высокими показателями вскрытия золота в упорных рудах. Методы хлоринации применяются в процессах извлечения золота подземным выщелачиванием и нашли применение на Гагарском и Маминском золоторудных месторождениях, испытывались на Верхотурском, Богомоловском, Шульгинском месторождениях. Процессы хлоринации активно развиваются за рубежом. Актуальность поставленной задачи исследований значительно возрастает в связи с тем, что известные технологии связаны с использованием токсичных продуктов, транспортирование которых весьма затруднено в условиях Сибири и Дальнего Востока. Применение электрохлоринации основано на процессах электролиза хлоридов натрия в водной среде и решает задачу снижения угроз от выброса хлора при его транспортировании, хранении и дозировании.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников информации из 129 наименований, 9 приложений, содержит 202 страницы машинописного текста, 44 рисунка, 32 таблицы.

Во введении раскрыта актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, основные защищаемые научные положения, научная новизна, практическая значимость.

В первой главе содержит анализ современного состояния гидрохимических методов переработки сырья, в том числе с применением методов гидро- и электрохимической хлоринации. Рассмотрены механизмы процессов получения хлора, хлорной воды, а так же процессы окисления золота и сульфидных минералов при применении методов хлоринации. На основе проведенного анализа сформулированы

задачи исследования в части установления механизма и совершенствования процессов гидро- и электрохлоринации.

Во второй главе проведен структурный анализ процесса гидро- и электрохлоринации, определены кинетические закономерности получения газообразного хлора и хлорной воды, разработаны модели и установлены закономерности протекания электрического тока, поляризации и окисления минеральных частиц в процессах хлоринации дисперсной системы руда-электролит.

Определены условия максимального перевода хлора в водную фазу, достигаемые в режиме ступенчатого растворения хлора при встречном движении жидкой фазы. Показано, что технология четырехступенчатого растворения хлора позволяет получать хлорную воду с высокой концентрацией растворенного хлора при исключении выброса хлора в окружающую среду.

Разработана структурная и математическая модель процесса электролиза измельченной рудной фазы и предложена методика определения общего и удельного сопротивления жидкой фазы для условий электрохимического процесса.

Определена роль контактной и бесконтактной поляризации электропроводных частиц, в т.ч. когда частица выступает в роли биполярного электрода, что приводит к возбуждению электрохимических реакций при преодолении суммы сопротивлений торможения разряду ионов на анодной и катодной сторонах биполярной частицы.

Результаты экспериментов по электрохлоринации подтверждают данные моделирования и электрохимических исследований и позволяют сделать заключение, что наиболее эффективным режимом является обработка в режиме насыпного электрода с обеспечением непрерывного контакта частиц пирита с поверхностью электрода. Показано, что обработка в режиме насыпного электрода с обеспечением непрерывного контакта твердого с поверхностью электрода позволяет увеличить скорость электрохлоринации пирита в 2,1 – 2,5 раза.

Рассмотрены вопросы утилизации электролизных газов, в частности водорода и кислорода, получающиеся в процессах хлоринации, которые могут быть успешно использованы в энергетических установках.

В третьей главе представлены результаты разработки и реализации процесса электрохимической хлоринации. Разработана усовершенствованная конструкция электрохлоринатора, которая за счет миграции ионов золота из зоны растворения в зону сорбции увеличивает извлечение золота в конечный продукт и позволяет осаждать ионы тяжелых металлов в катодной камере электрохлоринатора.

Разработана технология электрохимической хлоринации в режиме «Уголь в пульпе», включающая измельчение угля до флотационной крупности, электрохлоринацию смеси исходного питания с углем, выделение угольного сорбента из обработанного сырья флотацией и получение золотосодержащего продукта пенной флотацией.

Разработана схема комплексного использования получаемых при электрохлоринации золотосодержащего сырья продуктов: католита - для осаждения тяжелых металлов перед сорбцией золота, водорода и кислорода - для получения электрической энергии.

В четвертой главе представлены результаты исследований технологий переработки золотосодержащего сырья методами гидро- и электрохлоринации. Испытания на хвостах центробежной сепарации схемы обогащения золотосодержащей руды месторождения «Ашалы» показали, что разработанная технология позволяет повысить извлечение золота в золотосодержащий сплав на 2,7 %.

Исследования на хвостах обогащений Карагайлинской обогатительной фабрики с применением методом гидро- и электрохлоринации показали возможность получения насыщенного золотом угольного сорбента с массовой долей золота 2,5 кг/т при извлечении в него золота 75,3 %.

В пятой главе представлены результаты разработки опытно-промышленной установки, обеспечивающей применение методов гидрохлоринации, электрохлоринации и комбинирования этих методов. Рассмотрено применение диафрагменного и бездиафрагменного, агитационного и перколяционного режимов электрохлоринации в кислой, нейтральной и щелочной средах с отдельным и совместным осаждением ионов тяжелых металлов.

Выбранные компоновочные решения позволяют реализовывать широкий спектр технологий и разрабатывать технологические режимы для переработки различного вида золотосодержащего сырья.

Диссертационная работа содержит все необходимые разделы, включающие выбор задач и методик исследований, математическое моделирование и экспериментальные исследования процессов электрохлоринации минерального сырья, разработку эффективных технологий вскрытия и извлечения золота, схемы, режимы и оборудование для проведения основных технологических процессов. Дана технико-экономическая оценка эффективности разрабатываемой технологии.

Научная новизна работы заключается в установлении механизма и определении оптимальных параметров гидрохимической и электрохимической хлоринации

труднообогатимого золотосодержащего сырья, обеспечивающих вскрытие и извлечение золота в водную фазу.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке экологически безопасной технологии переработки золотосодержащего сырья с применением процессов гидро- и электрохлоринации с использованием получаемых побочных продуктов электролиза.

Достоверность научных рекомендаций, положений и выводов обоснована корректностью поставленных задач, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, достаточным и представительным количеством проб и натурных исследований, соответствием математических и физических моделей реальным процессам, происходящим при гидро- и электрохлоринации минеральных продуктов, использованием апробированных методик определения режимных параметров процессов переработки с применением методов математической статистики.

Личный вклад автора состоит в выборе методик теоретических и экспериментальных исследований, проведении и обработке результатов экспериментов, математической обработке данных, обосновании оптимальных параметров процессов гидро- и электрохлоринации, выработке рекомендаций по внедрению результатов исследований на производстве.

Полученные результаты работы рекомендуются к использованию на предприятиях по переработке золотосодержащих руд Урала, Сибири, Казахстана, а также в научно-исследовательских, проектных организациях и предприятиях, разрабатывающих технологии переработки золотосодержащих руд и техногенных отходов.

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием, обладающим внутренним единством, и характеризуется четкой логической взаимосвязью теоретических положений, экспериментальных исследований и практических результатов, содержит новые научные положения и рекомендации по практическому использованию полученных результатов.

Основные результаты работы были опубликованы в научных изданиях, доложены и прошли обсуждение на представительных научных конференциях. Наиболее важные решения защищены патентами Российской Федерации.

Работа написана грамотным научно-техническим языком и оформлена в соответствии с ГОСТами.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и в полной мере отражает основные положения диссертации, выводы и рекомендации.

#### Вопросы и замечания по диссертации

1. Эквивалентная схема типовой ячейки контактной поляризации на рис. 2.12 построена в формате 2D. Насколько изменятся параметры для объемной модели?
2. При окислении сульфидных минералов, в первую очередь пирита, будет образовываться большое количество тонкодисперсных продуктов, например гидроксидов железа (+3). Как предполагается удалять эти продукты их водной фазы?
3. Мало исследовано влияние рН на эффективность электрохлоринации. Этот параметр представляется весьма существенным. Вероятно, в процессе электрохлоринации будем происходить подкисление среды. Это полезно для вскрытия сульфидов и увеличивает выход анодной реакции по хлору.
4. В диссертации не рассмотрен вопрос очистки и возврата в технологический процесс водного продукта после сорбции золота. Вполне возможно его повторное использование.

Диссертационная работа является завершенной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований дано решение научной задачи разработки технология переработки золотосодержащего сырья методом гидро- и электрохлоринации.

Содержание диссертации, научные положения, основные результаты и выводы соответствуют п. 2,4,5 направлений исследований научной специальности 2.8.9. - Обогащение полезных ископаемых.

Диссертационная работа Вальцевой Александры Игоревны соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук. Автор работы

Вальцева Александра Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. - Обогащение полезных ископаемых.

Официальный оппонент

доктор технических наук по специальности

25.00.13 - Обогащение полезных ископаемых,

профессор по кафедре обогащения полезных ископаемых,

профессор кафедры «Общая и неорганическая химия»

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский

технологический университет «МИСИС» (НИТУ «МИСИС»)

19.03.2024

Морозов Валерий Валентинович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов» (НИТУ «МИСиС») 119049 Москва Ленинский проспект, 4. Тел: 8 (495) 638 46 24, эл. почта: dchmggu@mail.ru

Я, Морозов Валерий Валентинович, даю согласие на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации, исходя из нормативных документов Минобрнауки и Высшей аттестационной комиссии РФ, в том числе их размещению в сети Интернет, на сайте ВАК, в единой информационной системе.

Подпись Морозова Валерия Валентиновича заверяю

Проректор по безопасности и общим

вопросам НИТУ «МИСИС»

И.М. Исаев