

Отзыв официального оппонента

кандидата технических наук Ключникова Антона Михайловича на диссертационную работу Вальцевой Александры Игоревны «Технология переработки золотосодержащего сырья методом гидро- и электрохлоринации», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

2.8.9 Обогащение полезных ископаемых

1. Актуальность темы исследования

В настоящее время в хвостохранилищах обогатительных фабрик Урала, Башкирии и республики Казахстан накоплены десятки миллионов тонн хвостов обогащения медно-цинковых колчеданных руд, содержащих значительные количества золота, при этом запасы легкообогатимых руд продолжают стремительно истощаться. Подобное сырье характеризуется нахождением большей части золота в форме, не поддающейся цианированию из-за тесной ассоциации с сульфидами, в частности с пиритом. В связи с этим продолжает оставаться нерешённой проблема извлечения благородных металлов из упорных пиритсодержащих руд и хвостов их обогащения, а изыскание эффективных и экологически безопасных методов вовлечения указанного сырья в переработку является актуальной задачей.

Альтернативным реагентом для извлечения золота из пиритных хвостов является газообразный хлор, растворенный в воде. Поэтому исследование физико-химических основ и совершенствование процесса хлоринации золотосодержащего сырья имеет большое значение для совершенствования технологий переработки золотосодержащего сырья, что является актуальной задачей.

2. Структура диссертационной работы

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и десяти приложений (два акта внедрения, три патента, экономические расчеты). Работа изложена на 202 страницах машинописного текста, содержит 44 рисунка, 32 таблицы, 129

наименований источников в списке литературы. Содержание автореферата изложено на 22 страницах.

Во введении обоснована актуальность и описана степень разработанности темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* выполнен литературный обзор, охватывающий различные гидрометаллургические технологии переработки золотосодержащих руд. Особое внимание уделено процессам хлоринации, а также процессам получения и растворения хлора в водной среде. В заключительной части главы обобщен изученный материал, а цель и задачи представлены в более детальном виде, чем это было сделано во введении.

Во *второй главе* изучены вопросы получения газообразного хлора и хлорной воды, закономерности процесса электрохимического получения хлора и поляризации электропроводных частиц в процессе электрохлоринации, закономерности осаждения ионов цветных металлов и сорбции золота на угле.

В *третьей главе* рассмотрены разработанные новые решения по совершенствованию технологии хлоринации. Представлена новая конструкция хлоринатора. Экспериментально изучено комплексное использование образующихся при электрохлоринации побочных продуктов: газообразных водорода и кислорода, щелочного католита.

В *четвертой главе* представлены результаты экспериментальных исследований процесса электрохлоринации при обогащении золотосодержащего сырья. На примере руды месторождения Ашалы и хвостов обогащения Карагайлинской фабрики рассмотрены различные варианты схем переработки на основе гидро- и электрохлоринации, в том числе с выделением меди и цинка в отдельные продукты в виде гидрохимически осажденных концентратов. Выполнен технико-экономический расчет производственного участка по переработке хвостов Карагайлинской фабрики производительностью 100 т/ч.

В пятой главе на основе изученного разработана опытно-промышленная установка, предназначенная для испытаний схем и режимов различных комбинированных схем на основе электрохлоринации. Рассмотрена реализация диафрагменного и бездиафрагменного, агитационного и перколяционного режимов хлоринации, совмещенных с выделением концентратов цветных металлов.

3. Научная новизна результатов и практическая значимость работы

Существующие гидрохимические технологии, в основе которых преимущественно лежат процессы цианирования, тиосульфатного и тиомочевинного выщелачивания, не обеспечивают окончательного решения проблемы извлечения золота из упорного сырья. Полученные в диссертации результаты применения методов гидро- и электрохимической хлоринации, а также предложения по комплексному использованию побочных продуктов являются в достаточной степени оригинальными научными решениями в исследуемой области.

Значимость работы в теоретическом и практическом отношении определяется следующими моментами: установлением закономерностей электролиза хлорида натрия для получения газообразного хлора; разработкой оригинального способа получения хлорной воды с максимальной концентрацией хлора и исключением выбросов этого газа в атмосферу; разработкой модели расчета сопротивления жидкой фазы для конкретных условий электрохимического процесса; определением параметров контактной поляризации с применением эквивалентной схемы электрохимической хлоринации. Кроме того, изучена теоретическая возможность использования катодного водорода для получения электрической энергии и установлены основные параметры безопасного горения водородо-воздушной смеси.

Показано, что совмещённая гидро-электрохлоринация с возвратом избыточного хлора в процесс позволяет достигать селективного количественного перевода в раствор золота, ассоциированного с пиритом (при незначительном вскрытии последнего). На основе результатов исследования запатентована

на конструкция многокамерного электрохлоринатора. В разработанных режимах на новой установке хлоринации экспериментально достигнуто извлечение 88 % золота в раствор применительно к переработке пиритсодержащей руды месторождения Ашалы, в которой около 74 % золота ассоциировано с сульфидами. Достигнутые показатели подтверждены также в ходе переработки пиритных хвостов Карагайлинской фабрики.

Предложенные решения могут быть применены к аналогичному упорному сырью целого ряда месторождений.

Также с практической точки зрения следует отметить разработку основ конструкции энергетической установки, использующей водяной пар, получаемый при горении выделяющегося на катоде водорода.

Практическая значимость результатов подтверждена их использованием при разработке технологических регламентов переработки хвостов Карагайлинской обогатительной фабрики и руды месторождения Ашалы (республика Казахстан); имеются соответствующие акты.

С учетом изложенного, теоретическая и практическая значимость работы сомнений не вызывают.

4. Обоснованность и достоверность научных положений

Достоверность и обоснованность результатов подтверждаются большим объемом теоретических и экспериментальных исследований. Защищаемые научные положения соответствуют названию и цели диссертации, опираются на результаты выполненных автором исследований и в полной мере обоснованы сходимостью результатов эксперимента и теоретических заключений.

5. Полнота опубликования результатов диссертации

Основное содержание диссертационной работы, её научные положения и выводы отражены в 12 опубликованных работах, в числе которых 2 статьи в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК, и 3 патента на изобретение.

6. Оформление диссертации и соответствие автореферата содержанию диссертации

Диссертация оформлена в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам, обладает внутренним единством, материал изложен ясно, логично и в достаточной степени проиллюстрирован таблицами и рисунками. Автореферат диссертации исчерпывающим образом отражает её содержание.

7. Вопросы и замечания

К работе имеются следующие вопросы и замечания:

1) Чем объясняется ускорение в 1,8–2,1 раза процесса хлоринации пирита при переходе от бесконтактной (объёмной) к контактной поляризации?

2) Какие превращения происходят с пиритом при протекании гидро- и электрохимической хлоринации; какие продукты окисления образуются?

3) Чем объясняется существенное различие в достигнутом извлечении золота (12,1 и 68,15 %, стр.112–117) на бездиафрагменном и диафрагменном электрохлоринаторах?

4) Каково значение рекомендуемой анодной плотности тока в оптимальном режиме электрохлоринации?

8. Заключение

Диссертация и автореферат написаны грамотным техническим языком с применением терминологии, принятой среди специалистов в области обогащения полезных ископаемых, оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Защищаемые положения и полученные результаты работы достоверны и обоснованы, обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью. Замечания не носят принципиального характера и не ставят под сомнение достоверность и обоснованность защищаемых научных положений.

Диссертация Вальцевой Александры Игоревны на тему «Технология переработки золотосодержащего сырья методом гидро- и электрохлоринации», представленная на соискание ученой степени кандидата технических

наук по специальности 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований дано решение актуальной задачи извлечения золота из упорного труднообогатимого сырья. Результаты работы соответствуют пп. 4 и 5 паспорта специальности 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых, диссертационная работа в целом соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в ред. от 01.10.2018 г. с изм. от 26.05.2020 г. «О порядке присуждения учёных степеней»), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Вальцева Александра Игоревна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых.

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии АО «Уралмеханобр»

_____ Ключников Антон Михайлович

«___»_____ 2024 г.

Адрес организации: ОАО «Уралмеханобр», 620063, г. Екатеринбург,
ул. Хохрякова, д.87, тел.:+7 (343)344-27-42 доб.2076
e-mail: klyshnikov_am@umbr.ru

Подпись Ключникова А.М. заверяю.

Начальник отдела кадров
АО «Уралмеханобр»

_____ Олюнина О.В.