

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Васильева Романа Евгеньевича на тему: «Фазовые взаимодействия в химически реагирующих системах при гидрометаллургической переработке высокомышьяковистых медных концентратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Актуальность темы диссертации

В условиях решения технологических и экологических задач при переработке сульфидного медного сырья особую актуальность приобретает совершенствование методов, направленных на минимизацию негативных последствий переработки данного минерального сырья традиционными пирометаллургическими методами. К таким методам можно отнести гидрометаллургические процессы, в частности, автоклавное окислительное выщелачивание. Присутствие в исходном сырье такой примеси, как мышьяк, дополнительно акцентирует внимание на переход именно к гидрометаллургическим методам переработки. В отличие от процессов плавки и обжига, в которых мышьяк переходит в газовую фазу и требует обязательного использования системы очистки, в процессе автоклавного выщелачивания мышьяк осаждается в виде устойчивых малорастворимых соединений — арсенатов железа. В этой связи, автоклавное окислительное выщелачивание представляет собой перспективный метод переработки сульфидного медного серебросодержащего сырья.

Однако в процессе автоклавного выщелачивания существует проблема образования соединений, препятствующих дальнейшему извлечению серебра — аргентярозитов. Данные соединения обладают устойчивостью к обработке цианидом натрия на стадии цианидного выщелачивания, в связи с чем происходят потери серебра в виде аргентярозита. Существует необходимость в разработке специального технологического приема, применение которого позволит минимизировать содержание серебра в твердой фазе ярозита на стадии автоклавного выщелачивания.

Научная новизна диссертации

Определено влияние солей калия, вводимых в реакционную смесь автоклавного окислительного выщелачивания серебро-медного концентрата,

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-386 ОТ 27.08.21
АУ УС

на осаждение серебра в виде аргентярозита – соединения, препятствующего дальнейшему извлечению серебра стандартной операцией цианирования. Рассчитаны и определены термодинамические и кинетические характеристики процесса образования калиево-серебряных ярозитов.

Установлено влияние добавки сульфата калия при автоклавном окислительном выщелачивании серебро-медного концентрата на повышение извлечения серебра стандартной операцией цианирования.

Выявлено, что с увеличением температуры количество инкапсулируемого серебра в твердой фазе ярозита возрастает.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

В ходе исследования реализован обширный комплекс методических, теоретических и экспериментальных работ. Достоверность полученных результатов обеспечивается согласованностью с ранее полученными научными результатами и разработками в данной области, а также соответствием положениям современной теории металлургических процессов. Комплексный подход к проведению исследований, применение широкого спектра высокоинформативных методов физико-химического анализа и многоаспектной верификации полученных данных обеспечивают высокую степень надежности и объективности результатов работы.

Автореферат, а также опубликованные работы, в том числе статьи из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ, в полном объеме отвечают содержанию работы и подчеркивают ее научную значимость и актуальность в исследуемой области.

Содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Научные результаты, их ценность

Установлено влияние соли - сульфата калия - при автоклавном окислительном выщелачивании серебро-медного концентрата на повышение извлечения серебра при последующем цианидном выщелачивании. Полученные термодинамические и кинетические параметры процесса синтеза основного сульфата железа подтверждают преимущественное образование двойных солей железа и калия по сравнению с двойной солью железа - серебра. Результаты влияния сульфата калия на снижение степени инкапсуляции серебра в твердой фазе ярозитов, полученные с использованием модельных

растворов, получили подтверждение при использовании в экспериментах образца реального медно-сульфидного концентрата.

Внедрение разработанного технологического решения позволяет существенно уменьшить потери серебра в виде аргентоярозита и его рассеяние (распределение) в отвалах металлургического производства.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК РФ), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Получены термодинамические данные образования изоморфных растворов калия-серебра на основе основного сульфата железа. Выявлена термодинамическое преимущество образование твердого раствора сульфата железа-калия по сравнению с твердым раствором сульфата железа-серебра.

Разработано технологическое решение по повышению извлечения серебра на стадии цианидного выщелачивания, заключающееся в введении сульфата калия в реакционную смесь автоклавного окислительного выщелачивания сульфидного серебро-медного сырья, что позволяет снизить количество инкапсулируемого ярозитом серебра. Результаты диссертационного исследования используются в АО «Полиметалл Инжиниринг» (акт внедрения (использования) результатов от 20.12.2024 г.) Представлен анализ промышленной реализации технологического процесса переработки сульфидного серебро-медного сырья в условиях введения в технический процесс сульфата калия.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы Васильева Р.Е. могут быть использованы в работе как исследовательских институтов, так и промышленных предприятий, специализирующихся на переработке серебро-медного сырья.

Однако при ознакомлении с диссертацией и авторефератом возникли замечания и вопросы:

1. По названию главы 1: желательно бы конкретизировать – в какой области проведен данный литературный обзор.
2. Просьба пояснить комментарий в заголовках таблиц 4-6, рис. 8-13 и др. : «составлено автором». Данные получены с помощью соответствующих методов анализа, фото - также с использованием аналитического оборудования. Провести анализ полученной информации и сделать выводы – это обязательный процесс научного исследования.
3. Из текста диссертации и автореферата не совсем ясно: автор планирует перерабатывать медьсодержащий раствор, полученный на стадии автоклавного окисления? Если да, то каким способом.
4. Почему минимальная выбранная температура ведения процесса гидротермального синтеза ярозитов составила 105 °С?
5. В таблице 13 (глава 4 диссертации, стр. 83) представлены значения рН в конечных растворах после гидротермального синтеза, но отсутствует какой-то комментарий, по какой причине изменяется данный уровень рН.
6. Автор утверждает, что реакции образования ярозита калия и ярозита серебра имеет третий порядок. Насколько сильно отличается значение аппроксимации для второго и третьего порядков в графическом методе его определения?
7. В табл. 15 диссертации (стр. 86) указаны номера химических реакций (17, 18, 19) как реакции образования ярозитов, однако на стр. 26 под данными номерами отсутствуют названные реакции.
8. На стр. 94 автор указывает «Это можно объяснить наличием других фаз в растворе АОВ во время образования ярозитов и присутствием химических соединений». Надо пояснить – о каких фазах и химических соединениях идет речь?
9. В традиционном списке научных трудов (в конце автореферата), как и в списке литературы диссертации, отсутствует информация о публикациях в материалах конференций (хотя апробация в виде докладов автора на различных конференциях весьма представительна), что дало бы полную картину об опубликовании результатов диссертационного исследования автора.
10. Также по тексту диссертации и автореферата встречаются незначительные орфографические, пунктуационные и стилистические неточности:

- в некоторых уравнениях химических реакций используются стрелки для отображения обратимой реакции, в некоторых – математический знак « $\rightleftharpoons$ » (желательно было бы использование единого стиля оформления в тексте реакций);

- стр. 16: отсутствует точка в конце предложения, стр. 54 – лишняя запятая, стр. 55 - неверная буква, стр. 83 – окончание в единственном числе (вместо множественного) и др.;

- желательно бы единообразие (стр. 18, 19, 21 – наименование процессов то приведено в кавычках, то без них);

- как правило, введению аббревиатур предшествует их полная расшифровка (так, например, на стр. 19 – ЗИФ, стр. 62, п. 3.1 – МК-1, МК-2, в табл. 5 – англоязычное название соединения BFAS и др.);

- на стр. 22 - ошибки в написании химических соединений (CaCl вместо CaCl_2 , аналогично - неверное CaBr);

- стр. 27 - некорректное написание формул химических соединений с коэффициентами и ионов с зарядами (H_2O вместо H_2O , MoS_2 вместо MoS_2 (табл. 9), $\text{Fe}(3+)$ вместо Fe^{3+});

- неудачное словосочетание «кинетические эксперименты»;

- в табл. 3 (стр. 57) – написание единиц изменения времени на английском языке (min вместо мин), использование устаревших единиц измерения (г/л, вместо г/дм³) и т.п.

Однако отмеченные недостатки и высказанные замечания не снижают научной ценности проведенного автором диссертационного исследования, его актуальности и практической значимости.

Заключение по диссертации

Принимая во внимание актуальность выбранной области исследования, научную обоснованность полученных результатов и оригинальность предложенных технологических решений, можно сделать вывод о том, что представленная диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам.

Диссертация «Фазовые взаимодействия в химически реагирующих системах при гидрометаллургической переработке высокомышьяковистых медных концентратов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallurgy черных, цветных и редких металлов, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Васильев Роман Евгеньевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallurgy черных, цветных и редких металлов.

23 июля 2025 г.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Металлургия цветных металлов»,
доктор технических наук, профессор

 Немчинова Нина Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»
Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.istu.edu/>
Эл. почта: ninavn@istu.edu, ninavn@yandex.ru, факс: +7 (3952) 405-116

