

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, **Каримова Кирилла Ахтямовича**, на диссертационную работу Гордеева Даниила Валерьевича на тему: «Разработка технологии автоклавной переработки углистых золотосульфидных концентратов с использованием дополнительного реагента-окислителя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Актуальность темы переработки упорных золотосодержащих концентратов двойной упорности обусловлена несколькими ключевыми факторами, связанными с экономической, экологической и технологической сторонами данного процесса.

Золото продолжает оставаться одним из наиболее ценных металлов на мировом рынке. С учетом роста цен на золото, переработка упорных руд и концентратов, содержащих этот металл, становится все более прибыльной. Упорные концентраты двойной упорности требуют применения специализированных технологий для извлечения золота, что делает их переработку сложной, но экономически оправданной.

С учетом растущих объемов добычи золота и необходимости более глубокого освоения месторождений, содержащих упорные концентраты, тема переработки этих материалов становится все более актуальной. Разработка новых технологий и методов переработки, направленных на повышение эффективности и снижение экологического воздействия, является важной задачей для горнодобывающей промышленности.

Одним и наиболее востребованных способов переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов является автоклавное окисление. Тем не менее, автоклавные технологии не позволяют эффективно перерабатывать высокоуглеродистое сырье. Таким образом, в отечественной и мировой автоклавной золотодобывающей промышленности существует острая проблема поиска новых способов, позволяющих извлекать золото из высокоуглеродистого сырья с минимальными потерями.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертация включает оглавление, введение, пять глав с выводами по каждой из них, заключение, список литературы из 159 наименований. Диссертация изложена на 137 страницах машинного текста и содержит в себе 53 рисунка и 50 таблиц. Во введении отражены все обязательные пункты: актуальность темы диссертационной работы, сведения о степени разработанности темы исследования, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, приведена информация о структуре работы.

В первой главе проводится аналитический обзор состояния золотодобывающей отрасли, а также представляется краткая характеристика упорного золотосодержащего сырья и методов его переработки. Обсуждаются физико-химические свойства высокоуглистых золотосодержащих руд и концентратов, применяемые в различных технологиях переработки. Также формулируются научные и практические задачи, которые будут решаться в рамках диссертации.

Вторая глава включает информацию по методам исследования, которые применялись в диссертационной работе. Третья и четвертая главы содержат результаты экспериментов по автоклавному окислению упорных золотосульфидных концентратов в лабораторном и пилотном масштабах.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-567 от 13.12.24  
АУ УС

Пятая глава описывает технологическую схему переработки флотационного концентрата двойной упорности по предложенной технологии и включает рекомендации по внедрению этой технологии в существующее автоклавное производство.

В заключении обобщаются выводы и рекомендации, основанные на результатах проведенных исследований, которые соответствуют поставленным целям и задачам.

### **Научная новизна диссертационной работы**

В рамках диссертационного исследования Гордеевым Д.В. установлено влияние органической составляющей углистого вещества на извлечение золота, показано, что графитизированная или графитная часть углерода не провоцирует прег-роббинг. Продемонстрировано, что введение дополнительного окислителя в автоклавный процесс приводит к значительному снижению сорбции золото-хлоридных комплексов на поверхности органического углерода. Установлено влияние содержания и степени окисления органического углерода на степень извлечения золота из золотосульфидных концентратов двойной упорности различных месторождений.

### **Научные результаты, их ценность**

Научные результаты диссертационной работы представляют ценность для золотодобывающих предприятий. Соискателем Гордеевым Д.В. было установлено и экспериментально подтверждено, что окисление органического углерода в автоклавных условиях может быть достигнуто за счет введения вторичного окислителя, обладающего более высокой активностью. В качестве такого окислителя была выбрана азотная кислота. В результате проведенных экспериментов была получена зависимость между степенью извлечения золота и уровнем окисления органического углерода на золотосульфидных концентратах двойной упорности, добытых из различных месторождений.

Кроме того, было установлено, что в условиях автоклавного окисления азотная кислота в основном функционирует как окислитель органического углерода.

В ходе исследования углерод, содержащийся в рудах и концентратах, был условно разделен на три фракции: карбонатную, органическую и графитную. Первая фракция, карбонатная, легко удаляется при кислотной обработке в атмосферных условиях. Органический углерод может быть окислен в автоклаве с использованием азотной кислоты или другого вторичного окислителя, в то время как для графитной фракции требуются более жесткие условия окисления.

Была продемонстрирована возможность применения разработанного метода в полупромышленном масштабе, что открывает новые горизонты для его внедрения в промышленность. Новизна предложенных технических решений была подтверждена патентом на изобретение, что свидетельствует о значимости и актуальности проведенных исследований.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Получен патент Российской Федерации на способ переработки золотосодержащих концентратов, представляющий собой высокотемпературное автоклавное окисление (при температуре 225 °С) с добавкой дополнительного окислителя для снижения активности органического углерода: патент РФ №2802924С1.

Разработана методика проведения лабораторного тестирования технологии автоклавного окисления с добавкой вторичного окислителя. Получен акт внедрения результатов диссертационной работы (акт внедрения ООО «Научно-Исследовательский центр «Гидрометаллургия» от 30.05.2023 г.).

Показан положительный экономический эффект от модернизации автоклавного предприятия с базовой технологии высокотемпературного автоклавного окисления на технологию с добавкой азотной кислоты. Результаты работы предлагаются для использования на отечественных автоклавных комплексах.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Соискателем проведены анализ научно-технической литературы, экспериментальные и теоретические исследования по теме диссертационной работы.

Диссертация оформлена аккуратно и написана понятным, грамотным языком, что облегчает восприятие материала. Достоверность результатов, полученных в процессе диссертационной работы, подтверждена как теоретическими обоснованиями, так и значительным количеством проведенных экспериментов. Эти эксперименты были выполнены с использованием современных высокотехнологичных методов анализа параметров процесса высокотемпературного автоклавного окисления. Данные были обработаны с помощью современных вычислительных технологий, что обеспечивает их надежность и точность.

Автореферат, а также опубликованные работы, включая статьи, тексты и тезисы докладов на международных конференциях, а также патент на изобретение, достаточно полно отражают содержание рецензируемой работы, подчеркивая ее значимость и актуальность в исследуемой области.

Содержание диссертационной работы Гордеева Даниила Валерьевича соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

### **Рекомендации по использованию результатов**

Использование результатов диссертационной работы возможно как в исследовательских центрах, так и на промышленных предприятиях по производству золота, в том числе: Технический университет УГМК, Сибирский федеральный университет, ОАО «Полиметалл», институт «Гипроникель», институт «Иргиредмет», ООО «Мангазея Майнинг», АО «Полус».

### **При рассмотрении диссертации возникли следующие замечания и вопросы:**

1. Встречаются грамматические ошибки, есть сдвоенные слова.
2. В чём преимущества, предложенного вами метода окисления углерода по сравнению с отжигом автоклавного кека, описанного в литературном обзоре? Существуют ли примеры промышленного применения этих методов?
3. В литературном обзоре детально рассмотрены различные формы углеродистых соединений, способных сорбировать комплексы золота. Однако при обсуждении результатов окисления этих углеродистых веществ конкретные характеристики и состав этих соединений не уточняются, что затрудняет понимание природы исследуемого материала.
4. Согласно представленной методике определения различных форм углерода графит относится к органическому углероду? Объясните, что подразумевается под «графитной фракцией органического углерода»? Использовались ли другие методы определения форм углерода, помимо тех, что представлены в пункте 2.3.8?
5. Результаты, представленные в таблице 39 и на рисунке 22, показывают, что окисление углеродистого вещества происходило и без добавления азотной кислоты. Проводили ли

- эксперименты по окислению углеродистого вещества с продолжительностью переокисления более 30 минут для концентратов, отличных от месторождения Бақырчик?
6. Какая степень окисления органического углерода наблюдалось на стадии переокисления без добавления азотной кислоты? Происходит ли при этом окисление графитовой части органического углерода?
  7. В таблице 40 и на рисунке 23 представлено сравнение степеней окисления углеродистого вещества и извлечения золота для стандартного автоклавного процесса и процесса с добавлением стадии переокисления с использованием азотной кислоты. Для более точной оценки эффективности предложенного метода целесообразно сопоставлять полученные результаты с данными экспериментов, где проводится дополнительная стадия переокисления длительностью 30 минут, без добавления азотной кислоты.
  8. Чем обусловлена различная степень окисления графитовой составляющей органического углерода в процессе переокисления с добавлением азотной кислоты для разных концентратов, несмотря на почти идентичные значения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП)?
  9. Согласно данным таблицы 44, ОВП на стадии переокисления при добавке азотной кислоты и эквивалентного количества дихромата натрия практически идентичен, но при этом степень окисления органического углерода отличаются. Чем можно объяснить более высокую степень окисления органического углерода при использовании именно азотной кислоты?
  10. Чем обусловлено снижение степени окисления органического углерода в непрерывном процессе относительно лабораторных экспериментов для концентрата месторождения Маломир, несмотря на почти идентичные значения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП)? При этом в случае пилотных испытаний с концентратом месторождения Држжне такой разницы с лабораторными экспериментами не наблюдается.
  11. Как объяснить повышение степени извлечения золота на 6% в условиях непрерывного автоклавного окисления концентрата месторождения Држжне относительно лабораторных экспериментов, в идентичных условиях, несмотря на одинаковую степень окисления углеродистого вещества?
  12. В тексте отмечается, что мольное отношение Fe/As в кеках автоклавного выщелачивания не меняется при проведении операции переокисления. В данных условиях предпочтительнее рассматривать соотношения Fe/(As+S), As/S и Fe/S. Как влияет добавка азотной кислоты на состав вторичных фаз с учетом данных соотношений?
  13. Согласно рисунку 46, степень окисления углерода в кеке после разгрузки автоклава составляет около 60%. После проведения операции кондиционирования степень окисления углерода возрастает до 65%. Как можно объяснить данный эффект?
  14. Как можно объяснить формирование гидратированных форм сульфарсенидов железа, выявленных в кеках, после автоклавного окисления?
  15. Какую воду предлагается использовать в данной технологии. Какие ограничения есть по хлорид-иону в воде и какие мероприятия по её очистке предусмотрены?
  16. Экономическую эффективность оценивали путем сравнения текущего варианта переработки концентрата месторождения Маломир с предлагаемой технологией, включающей стадию переокисления с добавлением азотной кислоты. Если сопоставить предлагаемый вариант с вариантом автоклавного окисления, предусматривающим переокисление без использования азотной кислоты, то, принимая во внимание, что около 59% дополнительной выручки от увеличения производства золота расходуется на закупку и транспортировку азотной кислоты, такой вариант может оказаться менее экономически целесообразным.

## Заключение

Вышесказанные замечания не снижают общее благоприятное впечатление о работе и не ставят под сомнение достоверность и обоснованность выводов и основных положений, защищаемых в диссертации.

Диссертационная работа «Разработка технологии автоклавной переработки углистых золотосульфидных концентратов с использованием дополнительного реагента-окислителя», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Гордеев Даниил Валерьевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

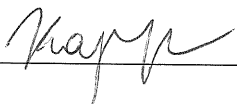
Официальный оппонент,

Старший научный сотрудник научной лаборатории перспективных технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья цветных и черных металлов Института новых материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кандидат технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Телефон: +79126953175

E-mail: k.a.karimov@urfu.ru

04 декабря 2024 г.



Каримов Кирилл Ахтямович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Адрес: 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,

Телефон: 8-800-100-50-44, E-mail: contact@urfu.ru, адрес в сети интернет: <https://urfu.ru/ru/>

Подпись старшего научного сотрудника научной лаборатории перспективных технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья цветных и черных металлов Института новых материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кандидат технических наук, Каримова Кирилла Ахтямовича, заверяю.



Каримова К.А.

