



УТВЕРЖДАЮ
Директор Департамента
по исследованиям
и разработкам, д.т.н., проф.

Л.Б. Цымбулов
« 10 » 12 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ООО «ИНСТИТУТ ГИПРОНИКЕЛЬ»

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 Metallurgy of black, colored and rare metals.

Актуальность темы диссертационной работы

Истощение рудных запасов легкоизвлекаемого золота заставляет все шире вовлекать в промышленную переработку месторождения упорного золотосодержащего сырья. Для этого необходимы технологии, позволяющие преодолевать факторы, затрудняющие получение золота. На практике наиболее часто упорность золотоносных руд определяется тесной ассоциацией золота с сульфидными минералами, либо присутствием в сырье сорбционно-активных форм органического углерода. Среди золотосодержащих руд России очень распространены случаи, когда оба этих фактора действуют совместно – такие месторождения называют сырьем двойной упорности.

В настоящее время промышленно освоен ряд технологических приемов для эффективной переработки упорных золотоносных материалов. Ассоциация золота с сульфидными минералами требует их глубокого разрушения, которое обычно достигается окислением в пирометаллургических установках, либо в гидрометаллургических процессах: атмосферных, автоклавных или процессах биовыщелачивания. В случае присутствия сорбционно-активного органического углерода прибегают к его удалению из сырья методами обогащения, обжигом, химическим воздействием или модификации его свойств различными способами: окислением, пассивацией различными добавками, деструкцией при пиролизе.

Особенно сложна переработка сырья двойной упорности, поскольку одновременно нивелировать действие органического углерода и разрушать золотосодержащие сульфидные минералы в рамках освоенных технологий удается не всегда.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-568 от 13.12.24
АУ УС

На практике наиболее успешно извлекать золото из дважды упорного сырья позволяют схемы на базе обжига и автоклавного окисления. Последние, благодаря меньшему негативному воздействию на окружающую среду, представляются наиболее перспективными.

Эффективность автоклавного окислительного вскрытия золотосодержащих материалов двойной упорности зависит от природы входящего в них органического углерода, который в условиях автоклавного окисления всегда изменяет свою активность. В некоторых случаях оказывается достаточно вести разложение сульфидов в типичных условиях, без глубокого удаления или модификации органического углерода, чтобы нивелировать его отрицательное воздействие на извлечение золота. Однако для многих видов сырья требуется интенсивное окисление углеродсодержащих фаз для получения приемлемых уровней извлечения золота. Такое воздействие может быть обеспечено существенным ужесточением режимов автоклавного окисления – увеличением его температуры (вплоть до 250 °С) и продолжительности (до 6 и более часов), что ведет к снижению производительности технологии и существенному удорожанию ее аппаратного оформления.

Диссертационная работа Гордеева Даниила Валерьевича посвящена совершенствованию методов воздействия на органический углерод при автоклавной переработке золотосодержащего сырья двойной упорности путем использования азотной кислоты. Учитывая успешное применение в России автоклавных технологий производства золота, а также широкое распространение в России и СНГ золотосодержащего сырья двойной упорности, актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений

Общая характеристика диссертационной работы

Представленная диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы из 159 наименований. Основной текст содержит 137 страниц текста, 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 представлен подробный аналитический обзор текущего состояния золотодобывающей отрасли, характеристика упорного золотосодержащего сырья и методов его переработки. Рассмотрены особенности автоклавного окисления золотосульфидных материалов и поведения при этом органического углерода. Во второй главе описаны методики проведения экспериментов и инструментальных исследований, рассмотрены способы обработки экспериментальных данных, а также применяемые методы анализа.

Третья глава содержит основные результаты лабораторных экспериментов по автоклавному окислению дважды упорных золотосодержащих концентратов различных месторождений с добавлением азотной кислоты в качестве дополнитель-

ного окислителя. В четвертой главе приведены результаты испытаний технологических режимов, определенных в лабораторных условиях, на пилотной автоклавной установке в непрерывном режиме. По результатам лабораторных и пилотных тестов в пятой главе представлены предложения по организации технологии автоклавной переработки концентратов двойной упорности с использованием добавок азотной кислоты, а также рекомендации по внедрению данной технологии в действующие автоклавные производства. В заключении сформулированы общие выводы по работе.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в подтверждении, что в сырье двойной упорности за потери золота при переработке ответственны не все, а только определенные формы органического углерода. Показано, что часть органических соединений, названная автором «графитный углерод», не вызывает потерь золота, и для их снижения нужно воздействовать на часть, названную собственно «органическим углеродом».

Экспериментально продемонстрировано устранения негативного влияния органического углерода на извлечение золота из сырья двойной упорности в условиях автоклавного окислительного выщелачивания при введении в процесс ограниченных количеств азотной кислоты. Выявлено, что положительное действие азотной кислоты связано с одной стороны с полной окислительной деструкцией «органического углерода», а с другой – с глубокой модификацией этой фазы.

Установлено, что при совместном действии кислорода и азотной кислоты на золотосульфидное сырье разрушение органического углерода может быть организовано достаточно селективно, чтобы не приводить к высокому расходу кислоты, обеспечивая возможность практического применения данного способа. Новизна предложенных технических решений подтверждена патентом на изобретение.

Теоретическая и практическая значимость

Основным итогом работы является обоснование, развитие и совершенствование способа повышения извлечения золота из сырья двойной упорности в процессах автоклавного окислительного выщелачивания путем введения добавок азотной кислоты. На примере большого количества концентратов двойной упорности в лабораторном и пилотном масштабе показано, что введение менее 100 кг азотной кислоты на 1 т материала в заключительной фазе автоклавного вскрытия при температуре 225-230 °С и парциальном давлении кислорода 0,5–0,7 МПа обеспечивает устойчивый прирост извлечения золота на 3-5 %, по сравнению с типовыми режимами окисления без добавления кислоты.

На основании полученных результатов автором диссертационной работы разработана и внедрена в ООО «НИЦ «Гидрометаллургия» методика тестирования золотосодержащего сырья для оценки эффективности применения автоклавного окисления в присутствии азотной кислоты. Определены технические и технологические мероприятия для модернизации в соответствии с разработанным способом

действующего автоклавного золотоизвлекательного производств России – Покровского АГК. Техничко-экономическим расчетом показана потенциальная экономическая эффективность предложений.

Достоверность результатов, полученных при выполнении диссертационной работы, подтверждена большим объемом экспериментальных данных, полученных с использованием классических (гравиметрия, пробирный анализ, газовый анализ) и современных инструментальных аналитических методов, а также физико-химических методов исследований твердых фаз: регистрация ИК-спектров поглощения и комбинационного рассеяния, рентгеноспектральный микроанализ, растровая электронная микроскопия.

Диссертация аккуратно оформлена, написана грамотным и ясным языком, хотя в ряде случаев тексте встречаются опечатки. Автореферат диссертации и опубликованные работы: статьи, тексты и тезисы докладов на международных конференциях, а также патент на изобретение, с достаточной полнотой отражают содержание рецензируемой работы.

Содержание диссертационной работы Д.В. Гордеева соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Рекомендации по использованию результатов

Результаты рассмотренной диссертационной работы могут представлять интерес для ряда научно-исследовательских и производственных организаций, а также для высших учебных заведений. С ними следует ознакомить следующие компании и организации: Уральский федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии (АО «ВНИИХТ»), ЗАО «Полиметалл Инжиниринг», институт «Иргиредмет», ООО «Мангазея Майнинг», АО «Полюс».

При рассмотрении диссертации возникли следующие замечания и вопросы:

1. В работе автор неоднократно называет азотную кислоту более сильным окислителем, чем кислород, не приводя для этого убедительных аргументов (например, сравнительных значений окислительно-восстановительных потенциалов). По мнению авторов отзыва правильнее связывать более интенсивное окисление органического углерода в присутствии азотной кислоты с ее большей реакционной способностью. Известно, что в водных растворах могут сосуществовать многочисленные продукты восстановления нитрат ионов, представляющие собой как обычные ионы, так и радикалы или ион-радикалы. Окисление очень многих типов органических соединений происходит по радикальному механизму, поэтому присутствие продуктов восстановления нитрат ионов может существенно повысить скорость и глубину окисления органического углерода в составе исследуемых материалов.

2. Представленное в работе термодинамическое обоснование преимущественных направлений взаимодействия азотной кислоты и органического углерода не выглядит убедительным из-за использования при анализе слишком грубых допущений (органический углерод представлен в элементном виде), очень ограниченного базиса рассмотренных реакций (существует гораздо больше каналов восстановления нитрат иона, а также реакций с участием образующихся продуктов) и сомнительной методики сравнения результатов расчета (сопоставляются изменения энергии Гиббса реакций, не приведенные к одинаковому количеству окисляемого углерода).

3. Вызывает сомнение корректность расчетов изменений энергии Гиббса в зависимости от температуры для рассматриваемых реакций окисления углерода, так как в случае окисления углерода кислородом (реакция 24, таблица 22) изменение энергии Гиббса реакции получилось не зависящим от температуры.

4. Методики определения форм углерода в исследуемых продуктах представлены недостаточно подробно. Не вызывает сомнений стандартный способ определения общего содержания углерода в образцах. Однако условия солянокислой обработки не указаны, хотя известно, что карбонатные минералы разной природы (например, карбонаты кальция и железа) требуют разных условий для своего разложения. Также требует обоснования методика разделения форм «органического» и «графитного» углерода, почему прокаливание образцов при 450 °С корректно позволяет их различать.

5. В описании разработанной технологии переработки дважды упорного золотосодержащего сырья отмечено, что практически вся добавленная азотная кислота остается в жидкой фазе пульпы автоклавного окисления, которая обычно отделяется от золотосодержащего кека и нейтрализуется с получением оборотной воды и отвальных хвостов. Для предложенного способа переработки не рассмотрены способы утилизации автоклавных растворов, которые будут содержать существенные количества нитратов.

Высказанные 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.

Материалы диссертации были обсуждены и отзыв на нее утвержден на расширенном заседании Лаборатории гидрометаллургии Департамента по исследованиям и разработкам ООО «Институт Гипроникель», протокол № ГН-01-04-02/2-пр от 10.12.2024 г.

Отзыв составил

Д-р. техн. наук, заведующий Лабораторией гидрометаллургии
Департамента по исследованиям и
разработкам ООО «Институт Гипроникель»



М.И. Калашникова

Сведения о составителе:

Мария Игоревна Калашникова

Д-р техн. наук, специальность 05.16.02 Metallургия черных, цветных и редких металлов,

Заведующий Лабораторией гидрометаллургии Департамента по исследованиям и разработкам ООО «Институт Гипроникель»

E-mail: KalashnikovaMI@nornik.ru

ООО «Институт Гипроникель»

Почтовый адрес: 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский просп., 11