

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Петрова Георгия Валентиновича, доктора технических наук, доцента, на диссертационную работу Головкина Дмитрия Игоревича по теме: «Гидрометаллургическая переработка золотосодержащих концентратов двойной упорности», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Актуальность работы

Мировые тенденции развития металлургии золота свидетельствуют о непрерывном увеличении его потребления, открытии новых месторождений, состоящих из полиметаллических и труднообогатимых руд, в том числе из руд двойной упорности. Обеднение минерального сырья, усложнение характера вкрапленности ценных компонентов, наличие неблагоприятных примесей являются основными трудностями горнорудной промышленности. Растущий спрос на золото как на стратегический ресурс, используемый в различных сферах, вызывает необходимость разработки современных и эффективных технологий его извлечения.

В настоящее время в мировой золотоизвлекательной индустрии разработаны и используются различные технологии переработки сульфидных золотосодержащих концентратов. Среди них можно отметить окислительный обжиг, бактериальное окисление и автоклавное выщелачивание. Для интенсификации используют процессы сверхтонкого измельчения. Однако повышенное содержание мышьяка в сырье, а также наличие сорбционно-активного углисто-го вещества ограничивают применение этих технологий.

Диссертация Головкина Д.И. посвящена разработке технологии атмосферного азотнокислотного выщелачивания концентратов двойной упорности в присутствии ПАВ (лигносульфоната), наличие которого, как установлено в работе, способствует интенсификации процесса и обеспечивает извлечение золота на уровне 90 %. Направление работы является **актуальным** как с научной, так и с практической точек зрения.

Научная новизна диссертационной работы

Автором диссертации показана возможность эффективного использования ПАВ (лигносульфоната натрия – ЛС) на стадии атмосферного азотнокислотного выщелачивания упорного золотосульфидного концентрата, позволяющего значительно интенсифицировать процесс вскрытия сульфидных золотоносных минералов с последующим извлечением золота на приемлемом уровне.

Установлены кинетические закономерности растворения пирита и арсенопирита в азотнокислых средах с добавлением ЛС.

Показано, что добавка лигносульфоната позволяет изменить механизм процесса, что проявляется в снижении энергии активации и увеличении эмпирических порядков по концентрации азотной кислоты.

Теоретическая и практическая значимость

Установлены оптимальные параметры азотнокислотного выщелачивания концентрата месторождения Маломыр, обеспечивающие максимальное вскрытие сульфидной матрицы минералов с целью высвобождения золота.

Показано положительное влияние добавки лигносульфоната на стадии азотнокислотного выщелачивания с последующим эффективным извлечением золота на уровне 90 %.

Разработана принципиальная технологическая схема переработки упорного золотосульфидного концентрата месторождения Маломыр, включающая в себя выщелачивание золотоносных сульфидных минералов азотной кислотой с добавлением лигносульфоната с последующим извлечением золота цианированием.

Структура и оценка работы

Диссертация Головкина Д.И. изложена на 165 страницах, включает 44 рисунка и 26 таблиц. Состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, списка литературы из 129 наименований и 2 приложений.

Во введении приведена актуальность тематики работы, сформулированы цели и задачи исследования, её научная новизна, представлены практическая и теоретическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы представлен литературный обзор, отражающий основные тенденции развития технологий и способов переработки сложного многокомпонентного золотосодержащего сырья, с указанием основных достоинств и недостатков. Показана перспективность технологий, основанных на применении азотной кислоты. Рассмотрены основные продуценты золота в РФ, дана характеристика упорного сырья.

Во второй главе представлены аналитические исследования исходного золотосульфидного флотационного концентрата месторождения Маломыр. Выявлены критерии упорности исследуемого сырья: тонкая вкрапленность золота в породообразующие сульфидные минералы и присутствие сорбционно-активных углистых веществ (УВ) в концентрате.

Определены оптимальные параметры азотнокислотного выщелачивания концентрата, при которых происходит максимальное вскрытие сульфидных минералов и высвобождение золота для последующего эффективного извлечения драгоценного металла традиционными способами. Наибольшая степень извлечения золота составила 76,2 % (в режиме СІЛ), что, по выводам автора, является недостаточным и связано с сорбцией золота на УВ.

В заключительной части главы приведены результаты исследования кинетических закономерностей азотнокислотного растворения пирита и арсенопирита. Установлено, что лимитирующей стадией процесса азотнокислотного растворения пирита и арсенопирита является диффузия реагентов через слой образуемых твердых продуктов реакций, преимущественно элементной серы.

В третьей главе выполнены лабораторные исследования по азотнокислотному выщелачиванию исследуемого концентрата в присутствии лигносульфоната (ЛС). Обоснован выбор ПАВ, дана характеристика ЛС,

перечислены его поверхностные эффекты. По результатам экспериментов по определению поведения ЛС в средах, моделирующих процессы азотнокислотного выщелачивания, установлено, что применяемый ПАВ снижает поверхностное натяжение на границе ж-г в широком диапазоне его концентраций (0,1–50 г/дм³). При повышении температуры до 70 °С и добавлении в раствор азотной кислоты ЛС усиливает поверхностные свойства ПАВ, что подтверждается большей депрессией поверхностного натяжения.

Эффективность использования ЛС на стадии азотнокислотного выщелачивания концентрата месторождения Маломир подтверждена лабораторными экспериментами и позволяет увеличить извлечение золота цианированием до 90 %.

В четвертой главе выполнены исследования по кинетике растворения пирита и арсенопирита в азотной кислоте с добавлением ЛС, в результате которых для них рассчитана кажущаяся энергия активации и эмпирические порядки по концентрации азотной кислоты. Доказано, что при азотнокислотном выщелачивании пирита и арсенопирита добавка ЛС способствует интенсификации растворения сульфидных минералов за счет снижения диффузионных затруднений, вызванных продуктами реакций.

В пятой главе предложена принципиальная технологическая схема переработки флотационного концентрата месторождения Маломир. Представлен перечень основного технологического оборудования. Выполнены расчеты постадийного материального баланса и технико-экономических показателей при переработке 100 тыс. т концентрата месторождения Маломир в год.

Достоверность результатов

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов соискателя подтверждена применением современных сертифицированных методик исследования и аттестованных методов анализа. Основные материалы диссертации представлены на конференциях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 13 работ, из них 4 статьи в рецензируемых научных

журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science; 1 патент Российской Федерации на изобретение.

Вопросы и замечания:

1. Для исследований углеродистой составляющей концентрата вместо ИК-спектрометрии целесообразнее использовать термогравиметрический анализ, который путем сопоставления полученных пиков с температурами пиролиза битума, керогена и графита позволяет более четко идентифицировать фазы.

2. На стадии азотнокислого выщелачивания в раствор переходит 13,7-19,5 % золота, что связывается с присутствием повышенного содержания хлоридов в концентрате. При этом содержание хлора не отражено ни в анализах исходной твердой фазы, ни в сернокислых растворах предварительной промывки концентрата (стр. 52).

3. В работе отмечается, что цианирование в режиме CIL азотнокислого кека дает более низкое извлечение золота относительно цианирования без сорбента, считая вероятной причиной пассивацию лигносульфонатом не только природного углистого вещества, но и вводимого сорбента (стр. 96). Учитывая доминирование CIL-CIP процессов, неясно какой альтернативный вариант предлагает автор (RIP, цементация?).

4. Не рассмотрены вопросы влияния присутствия лигносульфоната на регенерацию азотной кислоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленные замечания не снижают научной и практической ценности проведенных исследований и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация Головкина Дмитрия Игоревича «Гидрометаллургическая переработка золотосодержащих концентратов двойной упорности» является

завершенной научно-квалифицированной работой, выполнена на высоком научном уровне, обладает практической ценностью, соответствует Паспорту научной специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Автореферат диссертации полностью соответствует тексту диссертационной работы отражает её основное содержание, имеет логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

Считаю, что диссертационная работа Головкина Дмитрия Игоревича соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Головкин Дмитрий Игоревич – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент:

Генеральный директор ООО «Технолит»,
доктор технических наук, доцент

Петров
Георгий
Валентинович

02.11.2024

ООО «Технолит»,
Юр. адрес: 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 17-я линия, д.54, к.2, литер «Е»
E-mail: technolitspb@gmail.com
Тел.: +7 (812) 328-82-22



Подпись Петрова Георгия Валентиновича заверяю:
Специалист по кадровому делопроизводству

Жукова М.А.