

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 8D07202 – «Металлургия»

Касымовой Динары Бекжановны

«ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЦИАНИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД»

Актуальность темы. Современная горнодобывающая промышленность вынуждена работать с выросшей минералогической сложностью руд и снижением средней ценности рудных тел, что делает экономически значимыми ранее нерентабельные месторождения. В таких условиях частое сосуществование золота и медных минералов в одном рудном массиве создаёт серьёзные технологические и экономические препятствия для традиционной цианидной технологии извлечения золота. Медь в различных минералогических формах (оксиды, сульфиды, и др.) способна активно расходовать доступный свободный цианид путём образования устойчивых комплексных соединений, что приводит к значительному увеличению потребления реагента, снижению извлечения золота и росту операционных затрат. Кроме прямых экономических потерь, наличие растворимой меди вызывает целый ряд сопутствующих технологических проблем: конкуренцию с золотом за адсорбцию на активированном угле, снижение эффективности электролитического осаждения золота, возможную цементацию золота на поверхностях медьсодержащих минералов и увеличение объёма и сложности очистки хвостовых растворов. Эти эффекты проявляются даже при относительно низких концентрациях цианид растворимой меди, что делает необходимым раннее и точное минералогическое прогнозирование и внедрение адаптированных методов предварительной подготовки или кондиционирования руды. Актуальность научного поиска связана не только с экономической целесообразностью, но и с экологическими и регуляторными требованиями: повышенное потребление цианида и образование медьцианидных комплексных соединений осложняют обезвреживание технологических растворов и увеличивают экологические риски, требующие дополнительных затрат на детоксикацию и рекультивацию. Поэтому разработка технологических схем, позволяющих минимизировать взаимодействие меди с цианидом, либо эффективно извлекать медь до цианирования, либо возвращать и восстанавливать цианид в замкнутых циклах, остаётся приоритетной задачей для повышения устойчивости и конкурентоспособности предприятий

Научная новизна полученных результатов:

- Доказана определяющая роль текстурно-структурных и морфологических особенностей микрозернистых (10–44 мкм) агрегатов халькопирита со вторичными сульфидными меди (борнитом, халькозином,

ковеллином) в формировании эффекта пассивации («экранирования») золота и кинетического лимитирования процесса его растворения за счет конкурирующего комплексообразования лабильной меди.

- Установлены физико-химические закономерности распределения ионных форм меди и серы в щелочно-цианистых средах, обосновывающие механизм вывода ионов меди из циркулирующих технологических растворов без введения дополнительных сульфидизаторов, что обеспечивает синергетический эффект снижения накопления нежелательных солевых примесей в оборотной воде.

- Выявлена фундаментальная взаимосвязь между электрохимическими потенциалами сопряженных фаз золота и меди в присутствии недеструктивных лигандов, устанавливающая термодинамические границы селективного выщелачивания благородного металла в присутствии изоморфных и лабильных медьсодержащих минералов.

- Кинетически обоснованы термодинамические ограничения применения сильных окислителей (хлорная известь, гипохлорит натрия) для деструкции стойких медно-цианистых комплексов, обусловленные образованием промежуточных метастабильных фаз.

- Разработана методология интеллектуального моделирования нелинейных гетерогенных процессов в гидрометаллургии золота на основе вероятностно-детерминистического подхода и алгоритмов адаптивного бустинга (AdaBoost), позволяющая с повышенной точностью (в 2–2.5 раза) аппроксимировать и прогнозировать параметры переходных режимов сульфидизации и остаточной концентрации меди.

Цель диссертационной работы – разработка эффективной модернизированной технологии сорбционного выщелачивания золотомедных руд, направленной на повышение извлечения золота с получением попутного товарного медного продукта.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерность снижения показателей цианирования золотомедных руд, определяемая микрозернистым характером (10–44 мкм) и высокой степенью агрегированности халькопирита со вторичными лабильными сульфидами меди (борнитом, халькозином, ковеллином), которые обуславливают кинетику растворения золота за счет его экранирования и конкурирующего комплексообразования.

2. Прогностическая математическая модель и алгоритм управления процессом осаждения меди из технологических растворов, базирующиеся на интеграции вероятностно-детерминистического подхода и ансамблевого машинного обучения (AdaBoost), обеспечивающие двукратное снижение погрешности аппроксимации переходных режимов сульфидизации в условиях нестабильного вещественного состава перерабатываемого сырья.

3. Физико-химически обоснованная технология осаждения меди в форме труднорастворимого (CuCN) обеспечивающего вывод меди из

растворов сорбционного цианирования с одновременным снижением солевой нагрузки на оборотную систему водоснабжения.

4. Комплексная замкнутая технологическая схема гидрометаллургической переработки золотомедных руд месторождения «Юбилейное», отличающаяся сочетанием прецизионного осаждения меди и глубокой деструкции остаточных цианидов с солями натрия, обеспечивающая сквозное извлечение золота и меди в товарные продукты при соблюдении экологических нормативов.

Практическая значимость работы – разработана технология переработки золотомедной руды месторождения «Юбилейное» гидрометаллургическим методом с получением дополнительного коммерческого медного продукта, прошедшая опытно-промышленное опробование.

Апробация работы: Получен патент на полезную модель РК «Способ осаждения меди из оборотного цианидного раствора».

Основные научные результаты диссертационной работы представлены в шести публикациях, изданных в Республике Казахстан и зарубежье:

1. Касымова Д.Б., Әділқанова М.Ә., Кокаева Г.А., Мамяченков С.В., Кушакова Л.Б. Изучение минералогического состава золотосодержащей руды месторождения Казахстана// Вестник восточно-казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева- 2019 - №3 - С. 28 – 35.

2. Касымова Д.Б., Әділқанова М.Ә., Мамяченков С.В., Сизикова Н.В. Методы селективного разделения золота и меди при переработке золотосодержащего сырья с повышенным содержанием меди// Вестник восточно-казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева - 2020 - №4 - С. 36 – 40.

– в том числе в изданиях, рекомендованных КОКСОН МОН РК, опубликованы три статьи:

3. Kassymova D.B., Sapinov R.V., Kulenova N.A., Adilkanova M.A. Study of the material composition of gold-copper ores from Kazakhstani deposits// Science and Technology of Kazakhstan - 2025 - №1 - P. 248 – 258.

4. Kassymova D.B., Sapinov R.V., Adilkanova M.A. Selection of optimal cyanide leaching modes for gold from ore deposits in the republic of Kazakhstan// Science and Technology of Kazakhstan - 2025 - №3 - P. 257 –266.

5. Касымова Д.Б., Сапинов Р.В., Адылканова М.А., Реутова Г.А. Құрамында мыс мөлшері жоғары цианидтік ерітінділеуден алынған ерітіндідегі алтын мен мысты сорбциялау және десорбциялау үрдістерін зерттеу//Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ хабаршысы. – 2025. – №4. – С.36 – 40.

6. Р.В. Сапинов, Д.Б. Касымова, М.А. Adilkanova. Прогнозирование оптимальных параметров осаждения меди в технологии цианирования упорных руд: от планирования эксперимента к моделированию Adaboost//Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ хабаршысы. – 2026. – №3. – С.- - -.

– статья в журнале, входящем в базу данных Scopus (Q2 (2 квартиль), процентиль60) и базу WoS (Q2);

1. Kassymova, D.; *Sapinov, R.; Kushakova, L.; Kulenova, N.; Shoshay, Z.; Adylkanova, M. Optimization of Copper Recovery from Cyanide Leaching Solutions Used in Gold–Copper Ore Processing Using Probabilistic–Deterministic Experimental Design. Processes 2025, 13, 61.

Получен патент на полезную модель РК «Способ осаждения меди из обратного цианидного раствора».

Основные результаты доложены на двух международных конференциях:

1. Изучение практики промышленной переработки золотосодержащих руд месторождения Казахстана с повышенным содержанием меди// Материалы научно-практической конференции «Инновации в области естественных наук как основа экспортноориентированной индустриализации Казахстана». Алматы 2019. – С.367–370.

2. Изучение особенностей метода переработки золото-медных руд в зависимости от содержания и форм нахождения меди//Материалы международная конференции «Плаксинские чтения – 2019». Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке. Иркутск 2019 – С.72-74.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения и 5 приложений. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 40 таблиц, 37 рисунка. Список использованных источников включает 125 наименований.