

АННОТАЦИЯ

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

Курмангалиева Дамира Болатовича

«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ГИДРОХЛОРИРОВАНИЯ»

Актуальность темы. Медь и сопутствующие цветные металлы остаются важной частью экономики Республики Казахстан. Качество первичного сырья снижается: среднее содержание меди в добываемых рудах уменьшилось с 8-10 % в XIX в. до 0,52 % в 2022 г., а дефицит меди к 2035 г. может достичь 30 %. Поэтому растущую потребность промышленности в меди приходится всё больше покрывать за счёт техногенных источников. На территории действующих предприятий цветной металлургии накоплены крупнотоннажные отвалы медеплавильных шлаков, которые загрязняют окружающую среду, а существующие промышленные технологии не обеспечивают достаточной глубины извлечения меди из лежалых шлаков. От текущих шлаков лежалые отличаются тем, что при длительном хранении поверхность медьсодержащих сульфидов окисляется и покрывается вторичными фазами, а это снижает эффективность флотации. Известные технологические решения разработаны в основном для текущих шлаков, поэтому переносить их показатели на лежалый материал без экспериментальной проверки нельзя. Хлоридные методы перспективны для переработки шлаков, но требуют транспортировки и хранения газообразного хлора. При электрохимическом гидрохлорировании это ограничение снимается, так как хлор получают непосредственно в растворе. Сведений о применении этого метода к медеплавильным шлакам в доступной литературе не найдено, поэтому технология переработки такого сырья требует научного обоснования. Целевым компонентом принята медь, а поведение сопутствующих компонентов рассматривается с точки зрения селективности процесса и экологической безопасности твёрдого остатка. Направление исследования соответствует приоритетам государственной политики Республики Казахстан в области рационального использования природных ресурсов, развития обрабатывающей промышленности и экологической безопасности техногенных территорий.

Научная новизна полученных результатов:

– Выполнено комплексное исследование лежалого шлака Балхашского медеплавильного завода, позволившее установить его современное состояние после длительного хранения в отвале: фазовый и минералогический состав, формы нахождения меди и их изменения по сравнению с текущим шлаком. Показано, что физические методы предконцентрации (магнитная сепарация, гравитационное обогащение, флотация) не обеспечивают эффективного выделения меди из лежалого шлака, что обосновывает переход к его прямой химической переработке.

– Впервые экспериментально доказана принципиальная возможность извлечения меди из лежалых медеплавильных шлаков электрохимическим гидрохлорированием с генерацией активного хлора непосредственно в пульпе из раствора хлорида натрия. Без предварительного обогащения и без постоянного дозирования соляной кислоты извлечение меди из лежалого шлака Балхашского медеплавильного завода составило 70,0 %, из лежалого шлака Жезказганского медеплавильного завода, исследованного дополнительно для проверки применимости метода к шлаку другого типа, – 45,0 %; различие извлечения согласуется с долей доступных форм меди в этих шлаках.

– Установлено, что селективность разделения меди и железа при электрохимическом гидрохлорировании лежалого шлака обеспечивается управлением pH, а не расходом кислоты. Вскрытие меди протекает в кислой хлоридной среде при pH 1,2-1,5, а последующее повышение pH до 3,0-4,0 переводит железо(III) в твёрдый остаток при сохранении меди в растворе в виде хлорокомплексов; верхней границей процесса является pH 4,0-4,5. Показано, что процесс протекает в автокислотном режиме: кислота, образующаяся при окислении сульфидов, компенсирует катодное образование гидроксид-ионов, что позволяет исключить постоянное дозирование соляной кислоты без снижения извлечения меди. В установленном режиме в конечный продуктивный раствор переходит около 1,0 % исходного железа.

– Выявлены закономерности влияния силы тока, концентрации хлорида натрия, продолжительности процесса и соотношения Ж:Т на извлечение меди и соизвлечение железа. Показано, что определяющим электрическим параметром является удельный заряд, отнесённый к массе шлака, а превышение достаточной электрической нагрузки или повышение концентрации NaCl до 300 г/дм³ не увеличивает извлечение меди, но усиливает растворение железосиликатной матрицы и перераспределение меди на катод.

Цель диссертационной работы – научное обоснование и разработка технологии извлечения меди из лежалых шлаков Балхашского медеплавильного завода методом электрохимического гидрохлорирования, обеспечивающей более высокое извлечение меди по сравнению с физическими методами обогащения и ограничение перехода железа в раствор.

Положения, выносимые на защиту:

1. Определено текущее состояние лежалых шлаков Балхашского и Жезказганского медеплавильных заводов – вещественный состав, формы нахождения меди и сопутствующих металлов, структура; доказана неэффективность физических методов предконцентрации для глубокого извлечения меди, что обосновывает переход к химическому вскрытию.

2. Электрохимическое гидрохлорирование впервые применено к медеплавильным шлакам и показано, что активный хлор, генерируемый на аноде непосредственно в пульпе из хлорида натрия, вскрывает сульфидные фазы меди без внешней подачи хлора; в координатах E–pH установлена область, в которой медь остаётся в растворе, а железо(III) гидролизуются.

Также изучено поведение других ценных металлов (свинца, цинка и серебра) при обработке шлака; переход золота в раствор не зафиксирован.

3. Селективное разделение меди и железа при электрохимическом гидрохлорировании шлаков впервые научно обосновано и экспериментально подтверждено: оно достигается управлением естественным изменением pH в автокислотном режиме, подобранном в поисковых опытах и не требующем постоянного дозирования кислоты.

4. Извлечение меди и поведение железа определяются совместным действием тока, концентрации хлорида натрия, продолжительности и соотношения Ж:Т: выше оптимума каждый из этих параметров усиливает побочные процессы без существенного прироста извлечения меди, поэтому режим определяется совместной оптимизацией тока, концентрации NaCl и продолжительности по плану Бокса-Бенкена при Ж:Т = 6:1. Эти закономерности впервые установлены для медеплавильных шлаков на электролизёре оригинальной конструкции, а установленный режим проверен на шлаке Жезказганского завода и подтверждён материальными балансами.

5. Переработка лежалого медеплавильного шлака методом электрохимического гидрохлорирования принципиально реализуема по схеме с замкнутым циклом по электролиту без постоянного дозирования соляной кислоты и, по предварительной оценке, экономически целесообразна в условиях Балхашского медеплавильного завода.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологии переработки лежалых медеплавильных шлаков, обеспечивающей повышенную глубину извлечения меди по сравнению с существующими промышленными методами переработки лежалых шлаков. Результаты работы могут быть использованы при проектировании промышленных установок переработки шлаков на действующих медеплавильных предприятиях Республики Казахстан и стран Содружества Независимых Государств. Полученные данные о физико-химических свойствах шлаков Балхашского медеплавильного завода и о закономерностях процесса электрохимического гидрохлорирования могут служить основой для дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области переработки техногенного сырья цветной металлургии.

Апробация работы: Получен патент на полезную модель Республики Казахстан № 12292 «Способ переработки металлургических шлаков» (бюллетень № 21 от 29.05.2026).

По материалам диссертационной работы опубликовано 3 печатные работы, в том числе:

– статья в журнале, индексируемом в базе данных Scopus (Chemical Engineering (miscellaneous), квартиль Q2) и Web of Science:

1. Kurmangaliyev D., Abdulina S. Physicochemical characteristics of copper smelting slags from Kazakhstan and their potential for secondary resource recovery // Processes. – 2026. – Vol. 14, No. 1. – Art. 113.

– статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан:

1. Kurmangaliyev D.B., Abdulina S.A., Mamyachenkov S.V. Promising methods for hydrometallurgical processing of copper slag // Complex Use of Mineral Resources. – 2022. – № 4(323). – P. 46-50.

2. Kurmangaliyev D.B., Abdulina S.A., Krykpaeva A.A., Mamyachenkov S.V. A method for extracting valuable components from copper smelter slag // Bulletin of D. Serikbayev EKTU. – 2023. – № 3. – P. 80-87.

Структура и объём диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка из 101 использованного источника и трёх приложений. Работа изложена на 104 страницах машинописного текста, содержит 32 таблицы, 22 рисунка и 18 пронумерованных формул.