

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по
специальности 8D05302 – «Химия»

Абиқак Еркежан Баймұратқызы

**«Разработка технологии получения цветных и благородных металлов
при комплексной переработке техногенных отходов – пиритных огарков»**

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена разработке технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке техногенных отходов – пиритных огарков. На основе патентно-информационного анализа существующих способов комплексной переработки пиритных огарков в том числе в качестве золотосодержащего сырья определено гидрометаллургическое направление их переработки.

Проведенные исследования вещественного состава пиритных огарков выявили необходимость проведения предварительной магнитной сепарации с выделением богатой магнитной фракции и ее активации, что было предусмотрено в технологической схеме. Разработанная технологическая схема комплексной переработки магнитной фракции на первом этапе включает сернокислотное выщелачивание с извлечением цветных металлов и получением их концентрата. В результате последующей переработки кека выщелачивания были извлечены благородные металлы по разработанному способу сернокисотно-тиомочевинного выщелачивания в присутствии окислителя. Постановка экспериментов с определением оптимального режима и влияния технологических факторов было выполнено на основе методики поверхности отклика. Для утилизации получаемых промпродуктов технология предусматривает получение чугуна, железоксидных пигментов и сульфата калия.

Актуальность темы. Важнейшей задачей экономического развития Казахстана на современном этапе является увеличение производства золота. Это обусловлено тем, что производство и международная торговля золотом являются одним из ключевых факторов устойчивого экономического роста как для нашей республики, так и для многих стран мира. Золото имеет стратегическое значение, поскольку оно выступает универсальным эквивалентом и служит страховым и резервным активом, позволяя проводить расчеты в разных национальных валютах. В свете стабильного роста цен на золото в последнее время эта его роль приобретает особую актуальность. По мере расширения и модернизации промышленных секторов, интенсивно использующих золото и его сплавы, наблюдается значительный рост спроса на этот благородный металл. Одновременно с этим, мировые запасы высококачественного золотосодержащего сырья неуклонно сокращаются. В связи с этим, разработка и внедрение инновационных технологий переработки золотосодержащего сырья приобретает первостепенное значение как для

цветной металлургии Казахстана, так и для мировой индустрии в целом. При этом, нерешенной и коренной задачей золотодобывающей промышленности является расширение сырьевой базы, в том числе вовлечение в переработку техногенных золотосодержащих отходов.

В современном мире наблюдается значительный объем техногенных и вторичных отходов, содержащих золото. Каждый тип такого сырья требует индивидуального подхода к извлечению драгоценного металла с учетом специфики его химического состава и формы присутствия.

Отходы металлургических производств, в отличие от иных техногенных отходов, подвергаются воздействию агрессивных химических веществ и высоких температур. Вследствие этого их химический состав может существенно отличаться от состава исходных руд. Одним из наиболее распространенным золотосодержащим отходом являются пиритные огарки. Они представляют собой продукт обжига пиритных концентратов, используемых в производстве серной кислоты. Влияние атмосферных осадков и климатических факторов на скопления техногенных отходов приводит к трансформации их химического состава и фазового состояния. В результате этого процесса образуются растворимые соединения тяжелых металлов, включая высокотоксичные, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. С одной стороны, скопление пиритных огарков представляет собой реальную угрозу загрязнения водных и воздушных ресурсов. С другой стороны, они являются потенциальным источником получения черных, цветных и благородных металлов, которые в настоящее время не используются ввиду отсутствия экономически эффективных технологий переработки. В этой связи, разработка рациональной технологии переработки пиритных огарков с извлечением благородных, черных и цветных металлов – актуальна, т.к. позволит оздоровить экологическую обстановку в регионе, пополнить золото-валютный запас республики, получить дополнительную продукцию в виде цветных и черных металлов, а также применить разработанные способы и приемы к переработке техногенных отходов, близких по составу.

Целью диссертационной работы разработка технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке пиритных огарков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные **задачи**:

- анализ существующей научно-технической и патентной информации и выбор направления исследований для разработки технологии переработки пиритных огарков;
- физико-химические исследования минерального состава пиритных огарков Целинного горно-химического комбината;
- определение оптимальных условий проведения предварительной химической активации пиритных огарков;

- проведение сернокислотного выщелачивания с получением концентрата цветных металлов;
- исследование сравнительной возможности извлечения благородных металлов методами гидрохлорирования пульпы, тиосульфатного выщелачивания и электрохлоринации;
- разработка способа и оптимизация режима сернокисотно-тиомочевинного выщелачивания благородных металлов в присутствии окислителя с использованием метода поверхности отклика и проведение укрупненно-лабораторных испытаний технологии.

Результаты проведенных научно-исследовательских работ и укрупненно-лабораторных испытаний разработанной технологии послужат основой для разработки технологического регламента и технико-экономического расчета проекта производства комплексной переработки пиритных огарков.

Объект исследования – пиритные огарки – продукт сернокислотного производства Целинного горно-химического комбината г. Степногорска.

Предмет исследования - химическая активация и гидрометаллургическое извлечение цветных и благородных металлов.

Методы исследования. В работе использованы химический, рентгенофлуорисцентный, рентгенофазовый, ИК- спектроскопический, термогравиметрический, электронно-микроскопический, атомно-абсорбционный методы анализов.

Все исследования настоящей работы были проведены на современных экспериментальных оборудованях АО «Институт металлургии и обогащения».

Научная новизна работы:

- впервые для повышения эффективности вскрытия минерального состава пиритных огарков предложено использовать предварительную химическую активацию в растворе гидрокарбоната натрия, осуществляемую в оптимальных условиях: концентрация NaHCO_3 – 60 г/дм³, отношение Ж:Т = 4:1, температура –120 °С, продолжительность – 60 минут, что обеспечивает фазовую трансформацию минерального состава.;
- установлена возможность извлечения благородных металлов из пиритных огарков методом электрохлоринации пульпы при плотности тока 1000 А/м², продолжительности 7 часов и концентрации NaCl – 150 г/дм³;
- установлена возможность эффективного извлечения благородных металлов из пиритных огарков методом тиосульфатного выщелачивания с применением комплексного реагента следующего состава (г/дм³): Na_2SO_3 – 100, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – 50, CuSO_4 – 2,5;
- с использованием методологии поверхности отклика построена математическая модель сернокисотно-тиомочевинного выщелачивания, выявлено положительное влияние концентрации тиомочевины и продолжительности выщелачивания на скорость извлечения золота и серебра;
- разработан способ переработки пиритных огарков, включающий выщелачивание пульпы в сернокислом растворе тиомочевины (концентрация

3 г/дм³) в присутствии солей трёхвалентного железа при pH = 1,8, температуре 25 °С и отношении Ж:Т = 8:1. Разработанный способ защищён патентом на полезную модель: «Способ переработки пиритных огарков» (№ 8178, опубликован 16.06.2023 г.)

- на основе лабораторных и укрупнённо-лабораторных испытаний, проведённых на пилотной установке АО «ИМИО», получены результаты, позволяющие разработать технологический регламент и выполнить технико-экономическое обоснование переработки пиритных огарков.

Положения, выносимые на защиту.

- оптимальные условия проведения предварительной химической активации пиритных огарков, при которых происходит фазовая трансформация - концентрация NaHCO₃ - 60 г/дм³, отношение Ж:Т=4:1, продолжительность 60 минут и температура 120 °С;

- при электрохлоринации с плотностью тока 1000 А/м³ в растворе NaCl (концентрация — 150 г/дм³) в течение 7 часов степень извлечения золота и серебра из пиритных огарков в раствор составляет 89,7 % и 41,1 % соответственно;

- при тиосульфатном выщелачивании благородных металлов из пиритных огарков с применением комплексного реагента следующего состава (г/дм³): Na₂SO₃ –100, Na₂S₂O₃ –50, CuSO₄ – 2,5 степень извлечения золота составляет 87,2 %, серебра – 75,1 %;

- наибольшую эффективность обеспечивает способ сернокислотно-тиомочевинного выщелачивания благородных металлов из пиритных огарков в присутствии окислителя Fe₂(SO₄)₃, с оптимизацией параметров методом поверхности отклика с извлечением в раствор золота – 98,31 %, серебра – 88,57 %

Научная и практическая значимость работы. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований дают новые, более глубокие представления о технологиях извлечения черных, цветных и благородных металлов из сложного по фазовому и минеральному составу тонкодисперсного сырья, что обогатит науку новыми данными. Данная работа имеет важное практическое значение, так как технология комплексной переработки пиритных огарков преследует цель увеличения объема производства цветных и благородных металлов, но и решает экологические проблемы, связанные с их складированием. Разработанный способ переработки пиритных огарков защищены патентами Республики Казахстан на полезную модель «Способ переработки пиритных огарков» (полезная модель №8178 от 16.06.2023 г.) и «Способ выщелачивания полиметаллического сырья» (№9913 от 13.12.2024 г.).

Связь работы с научно-исследовательскими проектами. В диссертационной работе учтены результаты исследований, выполненных в рамках проекта грантового финансирования «Разработка технологии переработки пиритных огарков с извлечением ценных компонентов и предварительной химической активацией исходного сырья» (договор №126/36-21-23 от 6 апреля 2021 г.).

Личный вклад автора. Личный вклад автора состоит: в проведении патентно-информационного поиска; постановке лабораторных экспериментов; участии в проведении укрупненно-лабораторных испытаний; в построении модели процесса сернокисотно-тиомочевинного выщелачивания благородных металлов по методологии поверхности отклика; в отборе и подготовке проб для анализа; постановка задачи, анализ полученных результатов и формулировка основных выводов были проведены совместно с научными консультантами.

Степень обоснованности и достоверности результатов, полученных в работе, обеспечивается. Обоснованность и достоверность результатов обеспечиваются тем, что при их получении использованы проверенные стандартные методы исследования и современные точные измерительные приборы и установки, объемом и статистикой экспериментальных данных и их сопоставлением с полученными ранее экспериментальными результатами известных ученых СНГ и дальнего зарубежья. Результаты исследований опубликованы в научных журналах.

Апробация результатов работы: Основные результаты доложены на XIV международной конференции «Металлургия цветных, редких и благородных металлов», посвященной 40-летию Института химии и химической технологии Сибирского отделения РАН. Красноярск, Россия, 6 сентября 2021 года.

Публикации: по теме диссертации опубликованы 7 печатных работ в соавторстве, из них: 4 статьи опубликованы в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science; 1 статья опубликована в журнале, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНиВО РК и 2 патента на полезную модель РК.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, шести разделов, заключения и списка использованных источников. Она изложена на 115 страницах, содержит 55 рисунков, 31 таблиц и список использованных источников из 127 наименований.