

## **АННОТАЦИЯ**

**Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07201 (6D070900) – «Металлургия»**

**ШОШАЙ ЖАНСЕРИК**

### **«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ И «E-WASTE»**

**Актуальность.** «Цветные металлы, такие как медь, золото, серебро, платина и палладий, играют ключевую роль в современной промышленности благодаря своим уникальным свойствам – высокой электропроводности, устойчивости к коррозии и способности участвовать в каталитических процессах. С развитием технологий их использование в электронной промышленности значительно возросло, особенно в производстве микросхем, контактов, разъемов и других компонентов. Однако снижение объемов и качества традиционного минерального сырья приводит к необходимости поиска альтернативных источников добычи ценных металлов.

Одним из перспективных решений этой проблемы является переработка техногенного сырья и электронных отходов (e-waste), которые содержат значительное количество цветных металлов. Рост объемов электронных отходов во всем мире, включая Казахстан, делает вопрос их утилизации и переработки особенно актуальным. Согласно концепции «зеленой экономики», к 2050 году в Казахстане планируется довести уровень переработки промышленных отходов до 60%, что требует внедрения передовых технологий в этой сфере. Кроме того, «Дорожная карта бизнеса – 2025» определяет сбор и переработку отходов как один из приоритетных секторов экономики страны.

Вовлечение техногенных и электронных отходов в производственные циклы предприятий не только способствует рациональному использованию природных ресурсов, но и снижает экологическую нагрузку на окружающую среду. Гидрометаллургические технологии извлечения цветных металлов являются перспективным направлением переработки вторичных ресурсов, обеспечивая высокую степень их извлечения при минимальном воздействии на природу. Таким образом, исследование и разработка гидрометаллургической схемы переработки техногенного сырья и e-waste является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное экономическое и экологическое значение для Казахстана и мировой промышленности.

Целью диссертационной работы является изучение формы нахождения цветных металлов в техногенном сырье и «e-waste» для повышения извлечение меди, золота и серебра путем интенсификации

гидрометаллургической переработки с использованием современных методов и аппаратурно – технологического оформления процессов

#### **Задачи исследования.**

- определение состава шлаков Балхашского медеплавильного завода, хвостов флотационного обогащения Майкаинской фабрики №1

- определение состава «e - waste» (печатные платы смартфонов);

- определение возможности совместной переработки шлаков Балхашского медеплавильного завода и хвостов флотационного обогащения Майкаинской фабрики №1;

- определение возможности гидрометаллургической переработки «e - waste»;

- исследование термодинамических и кинетических параметров процесса извлечения цветных металлов на примере меди, золота, серебра;

- оценка применимости планирования экспериментов вероятностно-детерминированным методом для определения оптимальных параметров извлечения цветных металлов на примере меди, золота, серебра из техногенного сырья и «e - waste»;

- оценка возможности совместной переработки техногенного сырья и «e - waste» гидрометаллургическим способом;

- проведение укрупненной опытной апробации разработанной гидрометаллургической схемы переработки техногенного сырья и «e-waste»

#### **Объекты исследования**

1) Хвосты обогащения Майкаинской обогатительной фабрики №1. Расположение Павлодарская область. РК.

2) Лежалые отвальные шлаки Балхашского медеплавильного завода. Карагандинская область. РК.

3) E-waste сырье. Печатные платы компьютеров и смартфонов.

#### **Научная новизна.**

На основе полученных кинетических данных впервые:

- определен механизм протекания процесса сернокислотного выщелачивания меди из лежалых шлаков Балхашского медеплавильного завода с воздействием сверх высокочастотного излучения. Обосновано влияние сверх высокочастотного излучения на повышение скорости извлечения меди при температурах от 25°C до 85°C за счет снижения энергии активации с 19,108 кДж/моль (без СВЧ) до 15,517 кДж/моль, что свидетельствует о понижении порога диффузионного лимитирования скорости процесса выщелачивания;

- установлен механизм протекания реакции выщелачивания золота водным раствором тиомочевины из хвостов флотационного обогащения МЗФ-1 с предварительной обработкой сырья сверх высоко частотным излучением. Обосновано увеличение извлечения золота за счет повышения вскрытия пирита с 94,7 (без СВЧ) до 97,35 (СВЧ) содержащего вкрапления золота непосредственным нагревом металлических включений сверх высоко частотным излучением, которое приводит к снижению энергии активации процесса за счет уменьшения слоя пустой породы и снижения

диффузионного ограничения

- обосновано влияние интенсифицирующего воздействия ультразвукового излучения на извлечение золота и серебра из e-waste, в водном растворе тиомочевины, при температурах от 25°C до 60°C выраженное в снижении энергии активации процесса извлечения золота и серебра с 31,087 кДж/моль (без УЗВ) до 14,941 кДж/моль и с 26,618 кДж/моль (без УЗВ) до 13,098 кДж/моль соответственно, что свидетельствует о понижении порога диффузионного лимитирования скорости процесса выщелачивания.

- получена пяти факторная математическая модель процесса извлечения золота путем выщелачивания в водном растворе тиомочевины с интенсификацией процесса ультразвуком из смешанных техногенных отходов и «e-waste».

#### **Практическая значимость.**

Разработана технологическая схема совместной переработки техногенного сырья и «e-waste» гидromеталлургическим методом, прошедшая опытно-лабораторные испытания, рекомендована к внедрению ТОО «Incom» и получено экспертное заключение от АО «Майкаинзолото».

Разработанный и запатентованный способ позволяет проводить совместную переработку техногенного сырья и «e-waste»..

Опробована технология переработки техногенного и «e-waste» сырья гидromеталлургическим методом, прошедшая опытно-лабораторные испытания. Получен патент на полезную модель «Способ извлечения золота из упорных руд, вторичного и техногенного сырья». Патент на полезную модель №8276. От 21.07.2023.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается использованием нижеперечисленного сертифицированного оборудования аккредитованных лабораторий ЦП «Veritas»:

–масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICP-MS 7500 sx для определения содержания элементов спектральным методом использовался ;

–рентгеновского дифрактометра X'Pert PRO фирмы Panalitical для исследования фазового состава использовали;

–растровом электронном микроскопе JSM-6390LV производства компании «JEOL Ltd.» (Япония) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA EnergyPenta FET X3 компании «OXFORD InstrumentsAnalyticalLimited» (Великобритания) для изучения топографии и микроструктуры поверхности проб и образцов (в т.ч. диэлектриков – в режиме низкого вакуума), качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области, и т.д.

– пакета программного обеспечения HSC9 для термодинамического моделирования процессов;

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Воздействие СВЧ (P=1 кВт, частота 2,45 ГГц), при совместной переработке техногенного сырья: шлаков Балхашского медеплавильного

завода (БМЗ) и хвостов флотационного обогащения АО «Майкаинзолото» на стадии окислительного обжига при выщелачивании меди водным раствором серной кислоты увеличивает извлечение меди с 82% до 89%, и снижает Е акт с 19,108 кДж/моль (без СВЧ) до 15,517 кДж/моль

2. Воздействие УЗВ при переработке электронных отходов путем выщелачивания с ультразвуковой интенсификацией ( $P=50$  Вт, частота 35 кГц) в водном растворе тиомочевины, увеличивает извлечение золота с 79,4% до 88,6% и серебра с 41% до 56,3%, за счет снижения Е акт с 31,087 кДж/моль (без УЗВ) до 14,941 кДж/моль (с УЗВ) для золота и с 26,618 кДж/моль (без УЗВ) до 13,098 кДж/моль (с УЗВ) для серебра.

3. Математическая модель полученная вероятностно-детерминированным методом планирования эксперимента с возможностью экстраполяции результатов с высокой вероятностью и степенью адекватности для:

- процесса извлечения золота из смешанных техногенных отходов (шлак БМЗ и хвосты АО Майкаинзолото) с помощью водного раствора тиомочевины (коэффициент корреляции модели  $R = 0,99$ ; значимость коэффициента корреляции  $t_R = >86,5$ );

- процесса извлечения золота из e-waste (коэффициент корреляции модели  $R = 0,86$ ; значимость коэффициента корреляции  $t_R = 11,5 > 2$ )

4. Обоснование экономической эффективности предлагаемых технологических решений

**Публикации и апробация работы:** основные научные результаты диссертационной работы представлены:

**1. В пяти публикациях** в журналах, входящем в базу данных Scopus:

- Shoshay Zh, Sapinov R.V., Sadenova M.A., Varbanov P.S., 2021, Hydrometallurgical Methods for Extracting Non-ferrous Metals from Electronic Gadgets Chemical Engineering Transactions 88, 139-144. DOI: 10.3303/CET2188023 - Scopus (Q3 (3 квартиль), процентиль 35)

- Shoshay Zh, Sapinov R.V., Sadenova M.A., Varbanov P.S., 2021, Intensification of the Process of Extracting Non-Ferrous Metals from Kazakhstani Technogenic Raw Materials Chemical Engineering Transactions 88, 1069-1074. DOI:10.3303/CET2188178 - Scopus (Q3 (3 квартиль), процентиль 35)

- Shoshay Z., Sapinov R.V., Sadenova M.A., Beisekenov N.A., Varbanov P.S., Suyundikov M., 2022, Application of Probabilistic-Deterministic Method For Experiment Planning Of Hydrometallurgical Processing Of Various Wastes For Gold Extraction, Chemical Engineering Transactions, 94, 1135-1140 DOI:10.3303/CET2294189. DOI: 10.3303/CET2294189 - Scopus (Q3 (3 квартиль), процентиль 28)

- Shoshay Zh., Sadenova M.A., Suyundikov M.M., Sapinov R.V., Varbanov P.S., Absolyamova D.R. Investigation of ultrasonic influence on the kinetics of extracting gold from electronic waste. Metalurgia 62 (2023) 2, 207-210. <https://hrcak.srce.hr/290058> - Scopus (Q3 (3 квартиль), процентиль 35)

- Shoshay Z., Sapinov R.V., Sadenova M.A., Varbanov P.S., Bayeva A.B., 2023, Kinetic Features of Technogenic Raw Material Leaching in Aqueous

Sulphuric Acid Solution with Microwave Intensification, Chemical Engineering Transactions, 103, 547-552. DOI: 10.3303/CET23103092 - Scopus (Q3 (3 квартиль), процентиль 27)

**Одна публикация в журнале из перечня изданий, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан**

1. Шошай Ж., Сапинов Р. В., Саденова М. А., Баева А. Б., Корабаев Б. С. Изучение влияния микроволновой активации на гидрометаллургический процесс извлечения золота из техногенных отходов. Научный журнал «Наука и техника Казахстана». – 2023. - № 3. – С. 184–196.

Получен патент на полезную модель РК «Способ извлечения золота из упорных руд, вторичного и техногенного сырья».

Основные результаты доложены на пяти международных конференциях:

1. 24-я конференция по интеграции процессов, моделированию и оптимизации для энергосбережения и сокращения загрязнения – PRES'21, Брно, Чешская Республика Октябрь 2021 г. онлайн

2. 25<sup>th</sup> Conference on Process Integration, Modelling, and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction Sustainable Process Integration Laboratory (SPIL), Brno University of Technology, Technická 2896/2, 616 00 Brno, Czech Republic. Сентябрь 2022 г. онлайн

3. Шошай Ж., Сапинов Р. В., Саденова М. А., Варбанов П. С. Техногендік және электронды қалдықтардан алтынды алум мүмкіндіктері мен мәселелері. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы металлургической отрасли: теория и практика». 2023. Стр. 217-220

4. Shoshay Zh., Sadenova M., Varbanov P. Recovery of silver from electronic scrap (methods, features and prospects) // III International Scientific Conference on “Sustainable and Efficient Use of Energy, Water and Natural Resources” (19-24 April 2021 Saint-Petersburg): Saint-Petersburg 2021 pp.273

5. The 24th conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction - PRES'21 has been organised by the Sustainable Process Integration Laboratory - SPIL, NETME Centre, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic. The venue took place 31 October – 3 November 2021. с. 139–144. Online

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 6 приложений. Работа изложена 142 страницах машинописного текста, содержит 49 таблиц и 68 рисунков. Список использованных источников включает 125 наименований.