

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ТАДЖИКИСТАНА
ГНУ «ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА»

На правах рукописи



БАДАЛОВ ДЖАМОЛИДДИН НУРДИНОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
КОМБИНИРОВАННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СВИНЦОВО-
ЦИНКОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАРНИСОР**

Специальность
2.6.7 – технология неорганических веществ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Душанбе - 2026

Работа выполнена в лаборатории «Обогащения полезных ископаемых» Горно-металлургического института Таджикистана и в лаборатории «Обогащения руд» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана».

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Обогащения руд» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана»
Самихзода Шонавруз Рахим

Официальные оппоненты: **Курбонов Амиршох Сохибназарович** – доктор химических наук, директор филиала Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана в Хатлонской области

Садриддинзода Сабур Садриддин – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и архитектуры Дангаринского государственного университета

Ведущая организация: Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии» Открытого Акционерного Общества «Таджикская Алюминиевая Компания» (ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО»)

Защита состоится «14» сентября 2026 года в 09⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 73.1.002.02 при ГНУ «Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» по адресу: 734063, г. Республика Таджикистан г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: dissovet@ikai.tj

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана» www.chemistry.tj

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета, кандидат
химических наук**

Халикова Л.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современные тенденции к развитию горно-металлургических комплексов предполагают разработку и внедрение комбинированных технологий переработки свинцово-цинковых руд, сочетающих методы обогащения и гидрометаллургической переработки, что позволит максимально использовать минеральный потенциал и сократить объем производственных отходов.

Таджикистан занимает одно из ведущих мест в мире по запасам свинца и цинка. Из 20 изученных в республике месторождений и проявлений свинца и цинка 19 месторождений свинцово-цинковых и полиметаллических руд приурочены к Карамазорскому рудному району. В пределах Карамазорской зоны Северного Таджикистана зафиксировано около 200 проявлений и признаков оруденения свинцом и цинком, при этом на государственном балансе числится 24 месторождения полиметаллических руд.

Иными словами, 90% разведанных запасов сосредоточены в районах Карамазора. Только в месторождениях Большой Конимансур и Зарнисор обнаружено более миллиарда тонн свинцово-цинковой руды.

Месторождение Зарнисор представляет собой перспективный источник свинца и цинка, однако характеризуется сложным минеральным и химическим составом. Руда содержит сульфиды свинца и цинка (галенит и сфалерит), а также сопутствующие минералы – пирит, кварц, кальцит, гранат, борнит и другие. Мелкая вкрапленность сульфидных минералов, многообразие их сростков, а также присутствие достаточного количества тонкоизмельченных фракций значительно затрудняют использование традиционных классических методов обогащения. Всё это приводит к низкой степени раскрытия минералов и высокой потере ценных компонентов в хвостах.

Важное значение при этом приобретают научные поиски, направленные на улучшение показателей измельчения и обогащения, установление закономерностей распределения металлов в части их гранулометрического состава, а также поиск путей повышения эффективности процессов выщелачивания. Современные тенденции в сфере переработки свинцово-цинковых руд всё чаще основываются на применении комбинированных схем, включающих первичное гравитационное или флотационное

обогащение с дальнейшей переработкой концентратов гидрометаллургическим путем. Такое сочетание методов способствует значительному увеличению извлечения металлов, уменьшить объем отходов и улучшить состояние окружающей среды, что соответствует принципам рационального недропользования.

Степень разработанности темы исследования. К моменту начала настоящего исследования отсутствовали публикации, содержащие сведения о применении комбинированных схем переработки руд Зарнисорского месторождения с целью максимизации извлечения свинца и цинка при сочетании флотационных и гидрометаллургических методов.

На основании анализа доступных литературных источников можно выделить основные методы переработки свинцово-цинковых руд, среди которых: обогащение с использованием тяжёлых сред, флотация сульфидных руд, гидрометаллургические способы извлечения свинца и цинка, кислотное выщелачивание, а также комбинированные методы переработки концентратов. Каждый из перечисленных методов имеет своими технологическими особенностями и требует соблюдения специфических режимов работы.

Целью работы является обоснование технологии переработки свинцово-цинковых руд месторождения Зарнисор, основанный на последовательном применении флотационного обогащения и азотнокислотного выщелачивания концентрата, с целью максимизации извлечения свинца и цинка.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- изучение минералогического и химического составов исходной руды месторождения Зарнисор;
- исследование гравитационного и флотационного методов обогащения с целью улучшения содержания целевых компонентов (свинца и цинка) в получаемом концентрате;
- поиск рациональных условий селективной флотации свинца и цинка, включая оптимальный подбор реагентов, обеспечивающих получение концентратов высокого качества;
- установление физико-химических закономерностей азотнокислотного разложения свинцово-цинкового концентрата для максимального извлечения свинца и цинка при минимальных потерях в хвостах;

- изучение термодинамических и кинетических характеристик разложения азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового концентрата с разработкой его математической модели;
- разработка принципиальной технологической схемы комбинированной переработки руды месторождения Зарнисор.

Научная новизна работы:

- установлены физико-технологические тенденции улучшения эффективности флотационного обогащения свинцово-цинковых руд путем увеличения содержания класса – 0,074 мм до 75 % в пульпе. Разработанная двухстадиальная схема измельчения с применением гидроциклона обеспечивает более полное раскрытие галенита и сфалерита, повышает селективность флотации и позволяет получать концентраты свинца и цинка с существенно улучшенными технологическими показателями.
- исследованы технологические особенности поведения свинцово-цинковой руды месторождения «Зарнисор» в процессе гравитационного обогащения, что позволило выявить оптимальные параметры разделения минералов и повысить эффективность выделения тяжёлой фракции для улучшения качества конечного продукта.
- изучены закономерности азотнокислотного выщелачивания свинцово - цинкового концентрата месторождения «Зарнисор», установлены оптимальные условия растворения металлов и выявлены особенности поведения сопутствующих минералов, обеспечивающие повышение полноты извлечения свинца и цинка в раствор.
- определены термодинамические и кинетические параметры процессов растворения свинца и цинка из обогащённого концентрата, выявлены лимитирующие стадии и определены механизмы выщелачивания, что позволило обосновать оптимальные режимы гидрометаллургической переработки концентрата.

Теоретическая значимость работы.

Теоретические аспекты данного исследования используется и внедрены в учебный процесс кафедры «Разработки месторождения полезных ископаемых» Горно-металлургического института Таджикистана, при чтении лекции, проведении лабораторных работ, написании научных работ, дипломных работ, рефератов по предметам технология обогащения руд цветных металлов, химической технологии и другие.

Практическая значимость работы:

- Изучена измельчаемость руды, распределение металлов по классам крупности, минералогический состав руды, а также выявлены закономерности распределения свинца, цинка и сопутствующих элементов в процессе дробления и измельчения, что позволило обосновать оптимальные режимы подготовки руды к флотационному и гравитационному обогащению.
- Разработаны рациональные и эффективные режимы гравитационного и флотационного обогащения свинцово-цинковых руд Зарнисорского месторождения.
- Изучена термодинамика и кинетика процессов азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового флотоконцентрата, показано влияние различных факторов на скорость и степень извлечения металлов. На основании проведённых исследований найдены оптимальные условия азотнокислотного выщелачивания флотоконцентрата месторождения Зарнисор.
- На ООО «Таджикско-Китайская горнопромышленная компания» были проведены опытно-промышленные испытания свинцово-цинковых руд месторождения Зарнисор, в результате которых достигнута степень извлечения свинца – 89,6 %, а цинка – 88,6 %.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования стали работы отечественных и зарубежных учёных в области технологии переработки свинцово-цинковых руд и гидрометаллургии. В работе были использованы сертифицированные лабораторные установки, современные методы анализа для изучения химического и минералогического состава свинцово-цинковых руд и результатов их переработки. Полученные данные служат основой для разработки комплексной схемы переработки руды.

Основные положения, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие научные положения и результаты работы:

1. Результаты изучения химического и минералогического состава исходной руды и продуктов обогащения на анализаторах высокой технологии;
2. Результаты применения двухстадийного измельчения с гидроциклонной классификацией и повышением содержания класса –0,074 мм до 75 % обеспечивает более полное раскрытие минералов

свинца и цинка и существенно повышает эффективность их селективной флотации для руд месторождения Зарнисор;

3. Результаты прямой селективной схемы флотации свинцово-цинковых руд месторождения Зарнисор с использованием бутилового ксантогената калия в качестве собирателя и депрессией цинковых минералов в свинцовом цикле комбинацией сульфита натрия и цинкового купороса, что обеспечивает повышение извлечения свинца и цинка по сравнению с существующей технологической схемой;

4. Результаты рентгенофазового анализа исходной руды и продуктов их обогащения;

5. Установленные закономерности и оптимальные параметры азотнокислотного разложения свинцово-цинкового концентрата, обеспечивающие высокую степень извлечения металлов: температура процесса - 80 °С, продолжительность - 120 мин, концентрация азотной кислоты - 400 г/дм³ и соотношение твёрдого к жидкому (Т:Ж) - 1:5;

6. Разработана принципиальная технологическая схема переработки свинцово-цинковых руд месторождения Зарнисор.

Достоверность и обоснование результатов: Обоснованность результатов и научных выводов работы обеспечена большим объемом выполненных экспериментов с применением современных методов исследования: в работе использованы современные аналитические и технологические методы, включая минералогический и рентгенофазовый анализ, определение распределения металлов по классам крупности, исследование измельчаемости и испытание различных способов обогащения и выщелачивания.

Минералогический состав руды и продуктов её переработки изучен с применением рентгенофазового анализа Дрон-3 и микроскопии, что позволило установить фазовую принадлежность свинцовых и цинковых минералов, степень их раскрытия при измельчении и особенности поведения в процессах обогащения. Химический состав руды, концентратов и промежуточных продуктов определён атомно-абсорбционным анализом на приборе АAnalyst 300, что обеспечило высокую точность определения концентраций металлов. Полученные данные согласуются между собой и подтверждаются воспроизводимостью результатов, что обеспечивает их научную обоснованность и достоверность.

Апробация работы: Материалы диссертации докладывались и обсуждались на профильных конференциях: VII Международная научная конференция «Вопросы физической и координационной химии», посвящённая 35-летию Государственной независимости Республики Таджикистан, Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования (2020–2040 гг.), 80-летию д.х.н., профессора Юсупова З.Н. и памяти профессора Якубова Х.М. (Душанбе, 2026); Международной научно-практической конференции на тему «Интеграция зеленых технологий в промышленность: современные технологии, экологическая безопасность и тенденции промышленного развития» (АГТИ, Алмалык, 2026); V Международном Косыгинском форуме «Современные задачи инженерных наук. Проблемы промышленного роста» (РГУ имени А.Н. Косыгина, Москва, 2025); VI Международной научно-технической конференции на тему «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы» (Узбекистан, НГГТУ, Навои, 2025); I Международной научно-практической конференции, «Актуальные вопросы естественных, точных и математических наук и информационных технологий», (Российско-Таджикский (Славянский) университет, Душанбе, 2025); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы, инновационные решения и перспективы химической промышленности» (Узбекистан, АФТГТУ, Алмалык, 2024); II ежегодной научно-практической конференции «Развитие национальной промышленности и геологии Таджикистана за годы независимости страны», (ГМИТ, Бустон, 2023); Промышленном форуме под названием «Устойчивые шаги на пути развития национальной промышленности», посвящённом 15-летию со дня основания Таджикского горно-металлургического института, (ГМИТ, Бустон, 2021); Республиканской научно-практической конференции на тему «Применение инновационных технологий в преподавании естественных дисциплин в средних общеобразовательных школах и высших учебных заведениях», посв. 150-летию периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева (Душанбе, 2019); Международной научно-практической конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых» (ГМИТ, Бустон, 2019); IV Международной научной конференции: «Проблемы физической и координационной

химии» (ТНУ, Душанбе, 2019); Международной научно–практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан», посвященной «Дню химика» и 70–летию доктора химических наук, профессора, академика АН Республики Таджикистан Ганиева Изатулло Наврузовича (НАНТ, Душанбе, 2018); Республиканской научно - практической конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых», (ГМИТ, Бустон, 2018); Республиканской научно-практической конференции «Перспективы инновационных технологий в развитии химической промышленности Таджикистана», (ТНУ. Душанбе, 2017).

Вклад автора заключается в литературном анализе по теме исследования, нахождении способов и решений поставленных задач, непосредственное планирование экспериментальных исследований и необходимых расчётов для достижения намеченной цели. Автором самостоятельно сформулированы основные положения, выводы и научные результаты диссертационной работы, а также выполнены оформление и написание диссертации.

Соответствие паспорту специальности. Тема соответствует паспорту специальности 2.6.7 - технология неорганических веществ по пунктам:

1 п. «Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты» (раздел 3.4, 3.7; глава 3 настоящей работы). 2 п. «Явления переноса тепла в веществах в связи с химическими превращениями в технологических процессах. Кинетика и термодинамика химических и межфазных превращений» (разделы 3.3, 3.4, 3.5; глава 3 работы). 3 п. «Механические процессы изменения состояния, свойств и формы сырья материалов и компонентов в неорганических технологических процессах» (разделы 2.3, 2.4, 2.5, 3.1; главы 2-3 работы). 4 п. «Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов в неорганические продукты» (разделы 3.1, 3.7; глава 3 работы). 6 п. «Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для

разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами» (разделы 2.1, 2.2, 2.3, 3.4; главы 2-3 работы).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 21 научная работа в отечественных и зарубежных изданиях, из них 3 статьи – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации. 18 работ представлены в виде докладов на республиканских и международных конференциях.

По материалам исследований получен 1 малый патент Республики Таджикистан № TJ 1131, на основании которого оформлен акт внедрения в ООО «Таджикско-Китайская горнопромышленная компания».

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, трех глав, посвященных обзору литературы, технике эксперимента и экспериментальным исследованиям, а также выводов и списка использованной литературы. Диссертационная работа изложена на 141 страницах, включает 23 таблиц, 20 рисунков и 121 библиографических ссылок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение обосновывает важность исследований, посвященных совершенствованию технологий обогащения и переработки свинцово-цинковых руд, определяет цели и задачи работы, определяет объект и предмет исследования, раскрывает научную новизну и теоретическое и практическое значение полученных результатов.

В первой главе диссертации представлен аналитический обзор современного состояния и перспектив развития технологий обогащения и переработки свинцово-цинковых руд. Приведены краткие сведения о геолого-минералогических особенностях месторождения «Зарнисор» Республики Таджикистан. Рассмотрены особенности и преимущества методов обогащения с использованием тяжёлых сред, а также традиционные и современные технологии переработки сульфидных свинцово-цинковых руд. Проанализированы режимы технологической переработки, актуальные направления совершенствования методов обогащения свинцово-цинкового сырья, способы извлечения свинца и цинка из

руд и концентратов, а также гидрометаллургические технологии их переработки. На основе анализа литературных источников сформированы направления собственных исследований и обоснован выбор темы диссертационной работы.

Во второй главе обоснован выбор объекта исследования и приведена характеристика свинцово-цинковой руды месторождения «Зарнисор». Представлены результаты минералогического и химического анализа руды, выполнено исследование распределения металлов по классам крупности. Изложены результаты изучения измельчаемости пробы руды, что позволило определить рациональные параметры дробления и измельчения, обеспечивающие эффективное раскрытие полезных минералов перед процессами обогащения.

В рамках исследования вещественного состава руды месторождения Зарнисор был проведен химический анализ. Химический состав руды представлен в таблице 1.

Таблица 1. Результаты химического анализа руды месторождения «Зарнисор»

№ п/п	Химическая формула элементов	Наименование веществ	Содержание, %
1	Pb	Свинец	3,8
2	Zn	Цинк	5,70
3	Cu	Медь	0,39
4	Fe	Железо	17,5
5	S _{пир.}	Сера пиритная	3,15
6	S _{общ.}	Сера общая	7,45
7	Au	Золото	0,5 г/т
8	Ag	Серебро	36 г/т
9	SiO ₂	Диоксид кремния	23,5
10	Fe ₂ O ₃	Оксид железа	12,81
11	CaO	Оксид кальция	17,07
12	MgO	Оксид магния	2,95
13	BaO	Оксид бария	0,85
14	Al ₂ O ₃	Оксид алюминия	4,21
15	In	Индий	0,0004
16	Cd	Кадмий	0,0940
17	Sb	Сурьма	0,004
18	Bi	Висмут	0,018
19	Tl	Таллий	< 0,0004
20	As	Мышьяк	< 0,02

В сфере обработки различных видов минерального сырья активно используется метод обогащения в тяжёлых средах. Этот метод базируется на различии в плотности минералов: те, что плотнее среды, оседают на дно, а те, что легче, всплывают.

Целью исследования является изучение гравитационной обогатимости руды месторождения «Зарнисор» с определением возможности использования операций – предварительной концентрации руд методом обогащения в тяжёлых суспензиях.

Для проведения изысканий, направленных на обогащение в тяжёлых средах, были отобраны образцы руды из месторождения «Зарнисор». Образцы были классифицированы по фракциям: от -15 до +10 мм, от -7 до +3 мм и от -3 до +1 мм. Обогащение крупных фракций руды (-15 до +5 мм) осуществлялось в тяжёлой суспензии, а обогащение мелких фракций (-7 до +3 мм и -3 до +1 мм) — в тяжёлой жидкости.

По результатам лабораторных исследований тяжелосредного обогащения пробы руды месторождения «Зарнисор» составлен прогнозный баланс, представленный в таблице 2.

Таблица 2 - Прогнозный баланс тяжелосредного обогащения пробы руды месторождения «Зарнисор» при плотности тяжёлой суспензии 2,47 г/см³

Продукты	Выход, % от руды	Содержание, %					Извлечение, %				
		Pb	Zn	Cu	Fe	SiO ₂	Pb	Zn	Cu	Fe	SiO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Легкая фракция	9,26	0,14	0,10	0,01	2,05	32,26	0,37	0,19	0,42	2,72	13,99
Тяжелая фракция (-15+5 мм)	64,5	4,90	7,31	0,40	12,13	30,65	70,36	68,34	67,22	73,25	69,54
-5+2 мм	9,2	3,67	5,91	0,31	9,43	29,30	9,82	10,02	9,32	10,82	12,08
-2+1	5,03	4,01	5,83	0,34	9,69	29,4	4,53	6,11	4,67	5,74	8,43
-1+0 мм	12,16	4,78	9,29	0,46	9,18	10,53	15,29	15,53	18,79	10,19	9,95
Исходная руда	100	4,32	6,42	0,35	10,81	30,75	100	100	100	100	100

В процессе обогащения класса крупности от -15 до +5 мм были достигнуты положительные результаты при использовании разделяющей среды с плотностью от 2,47 до 2,50 г/см³. Выход лёгкой фракции составил от 13,99 % до 15,19 % от операции и от 9,26 % до 10,2 % от руды. Содержание свинца в лёгкой фракции составило от

0,14 % до 0,16 %, а цинка — от 0,1 % до 0,14 %. Также было извлечено от 14,62 % до 16,29 % диоксида кремния от операции и от 10,53 % до 13,55 % от руды.

Результаты проведённых исследований позволяют выдвинуть гипотезу о том, что исключение из основного класса крупности -15+5 мм кварца и углистого вещества, сопровождаемое удалением лёгких фракций, может привести к оптимизации процесса флотации и, как следствие, к повышению качества свинцового и цинкового концентратов.

В третьей главе диссертации изложены результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку технологии переработки свинцово-цинковых руд месторождения «Зарнисор». Рассмотрены результаты исследований селективной флотации с целью получения кондиционных свинцового и цинкового концентратов. Представлены данные рентгенофазового анализа руды и продуктов её обогащения, позволившие установить фазовый состав, степень раскрытия и особенности распределения минералов в продуктах обогащения.

В рамках изучения процесса азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового концентрата исследованы термодинамические и кинетические закономерности разложения сульфидных минералов, влияние температуры, продолжительности процесса, концентрации азотной кислоты и соотношения Т:Ж на степень извлечения свинца и цинка. На основе экспериментальных данных разработана математическая модель процесса азотнокислотного выщелачивания, позволяющая прогнозировать степень извлечения металлов в зависимости от основных технологических параметров.

На основании совокупности полученных результатов определены рациональные условия проведения процесса и предложена рекомендуемая технологическая схема переработки руды месторождения «Зарнисор».

Известно, что минералы галенита и сфалерита имеют близкие флотационные свойства. Флотационные опыты были проведены по селективной схеме: одна основная флотация свинца, две контрольных и три стадии перечисток; цикл флотации цинка были проведены, как и свинцовой. При флотации свинцовых руд были использованы следующие реагенты в качестве собирателя бутиловый ксантогенат калия (C_4H_9OCSSK), пенообразователь

Т-80, депрессоры цинковый купорос (ZnSO_4) и сульфит натрия (Na_2SO_3). Цинковая флотация была проведена следующим образом:

-хвосты второй контрольной свинцовой флотации поступали на основную флотацию цинка, а депрессированный цинк, с помощью реагента активатора медного купороса (CuSO_4) активировался, а в качестве депрессора пирита была использована известь (CaO). В дальнейшем в третьей стадии перечисток для снижения двуокси кремния (SiO_2) в цинковый концентрат было добавлено жидкое стекло (Na_2SiO_3), в количестве 195 г/т и две стадии контрольной флотации. Результаты проведенных опытов по этой схеме приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Сводные результаты флотационных опытов по существующей и предполагаемой схеме руды месторождения
Зарнисор

Наименование продуктов обогащения	Выход %	Содержание полезного компонента в продуктах				Извлечение			
		По существующей схеме измельчения класса - 0,074 мм 50%		По предполагаемой схеме измельчения класса - 0,074 мм 75 %		По существующей схеме измельчения класса - 0,074 мм 50%		По предполагаемой схеме измельчения класса - 0,074 мм 75 %	
		Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
Свинцовый концентрат Pb	2,57	62	2,84	66,31	4,68	81,2	3,23	89,65	5,72
Цинковый концентрат Zn	3,46	1,06	50,12	2,63	56,26	2,3	84	4,95	88,6
Хвосты	93,97	0,21	0,25	0,17	0,19	11,7	12,77	5,4	5,68
Исходная руда	100	3,8	5,7	3,8	5,7	100	100	100	100

Рентгенофазовый анализ свинцово-цинковых руд и продуктов их обогащения

Для определения фазового состава исходного сульфидного концентрата и продуктов его обогащения был применен метод рентгеноструктурного анализа. Исследования проводились на дифрактометре марки «Дрон-3», оснащенный высокочувствительным детектором и программным обеспечением для обработки и

интерпретации полученных данных. Фазовый состав исходного свинцово-цинкового сульфидного флотоконцентрата. Рентгеновская порошковая дифрактограмма сульфидного флотоконцентрата месторождения «Зарнисор» представлена на (рис. 1). Анализ дифракционной картины позволил установить сложный минералогический состав исследуемого образца.

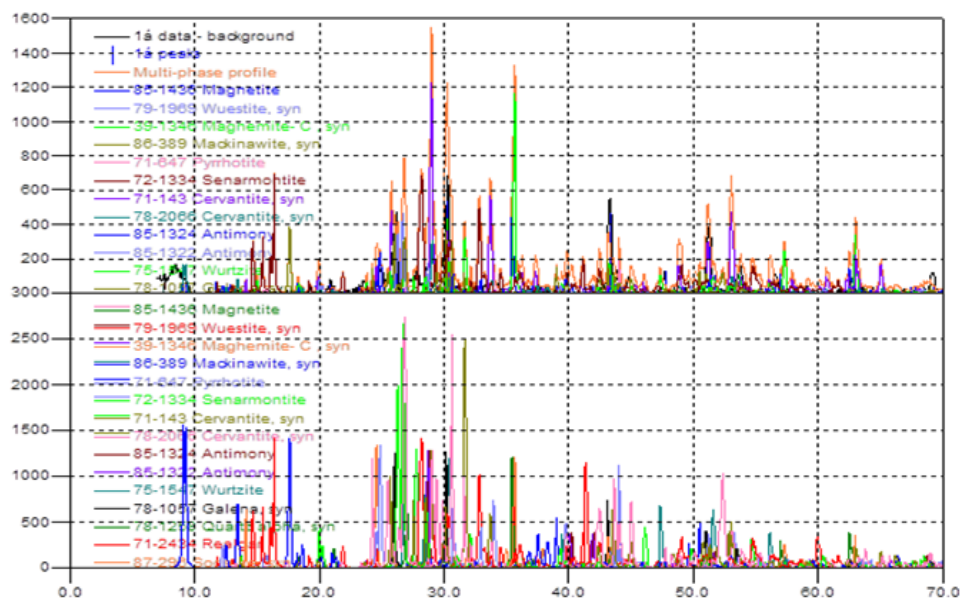


Рисунок 1. Рентгеновская порошковая дифрактограмма исходного сульфидного флотоконцентрата в сравнении с базовыми данными дифрактометра.

Как видно из рентгенограммы (рис. 1) пики полученного сульфидного флотоконцентрата (верхний график) совпадают с пиками рентгенограммы образца-эталона (нижний график), что свидетельствует о наличии в исследуемом сульфидных минералов галенита и фрейслебента, так как содержание галенита в составе исследуемого свинцового флотоконцентрата составляет более 20 %. Наличие интенсивных дифракционных максимумов галенита указывает на высокую степень концентрирования свинецсодержащих минералов в процессе флотационного обогащения.

Данные рентгенофазового анализа исследуемого образца цинкового концентрата, по которым определяется какому минералу соответствуют пики рентгенограммы (рис.2).

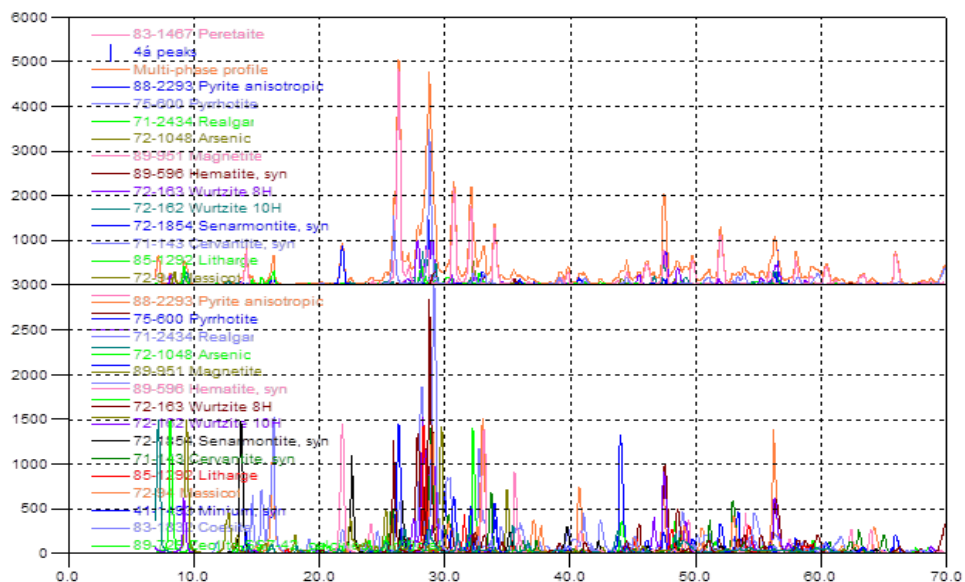


Рисунок 2. Рентгеновская порошковая дифрактограмма исходного сульфидного флотоконцентрата в сравнении с базовыми данными дифрактометра.

Как видно из рентгенограммы (рис. 2) пики полученного цинкового концентрата (верхний график), совпадают с пиками рентгенограммы образца-эталоны (нижний график), что свидетельствует о наличии в исследуемом цинкового концентрата в основном минерала сфалерита, так как содержание сфалерита в составе, исследуемом флотоконцентрате составляет более 9 %, а содержание оксида свинца менее 3 %.

Термодинамический анализ протекающих процессов при азотнокислотном разложении свинцово-цинкового концентрата

В ходе обработки азотной кислотой свинец, цинк, железо, сера и мышьяк вступают в химические реакции, сопровождающиеся изменением их первоначального состояния. В данной части работы изучен процесс азотнокислотного разложения свинцово-цинкового концентрата месторождения Зарнисор. В качестве объекта исследования использовался концентрат, полученный в результате флотации.

Чтобы оценить возможности протекания указанных реакций, был выполнен расчёт термодинамических функций процесса азотнокислотного разложения флотационного концентрата

Результаты расчета термодинамических функций для процесса азотнокислотного разложения свинцово-цинкового концентрата приведены в таблице 4.

Процесс взаимодействия компонентов концентрата с азотной

кислотой протекает самопроизвольно (рис. 3.), однако повышение температуры оказывает различное влияние на отдельные реакции.

Таблица 4 - Значения термодинамических функций
азотнокислотного разложения свинцового концентрата

1). $\text{PbS} + 2\text{HNO}_3 = \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S}$					
T, K	298	303	313	333	353
- ΔG_r , кДж/моль	9861,1	10027,9	10361,4	11028,4	11700,4
2). $\text{PbS} + 4\text{HNO}_3 = \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$					
T, K	298	303	313	333	353
- ΔG_r , кДж/моль	10077,3	10236,4	10554,3	11190,7	11826,9
3). $\text{ZnS} + 2\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S}$					
T, K	298	303	313	333	353
- ΔG_r , кДж/моль	13770,6	14494,9	14977,8	15943,5	16909,3
4). $\text{ZnS} + 4\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + 2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$					
T, K	298	303	313	333	353
- ΔG_r , кДж/моль	30366,9	31020,5	31907,6	33955,2	36002,8
5). $\text{CuFeS}_2 + 22\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 17\text{NO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$					
T, K	298	303	313	333	353
- ΔG_r , кДж/моль	149149,3	151711	156835,8	167084,6	177333,4
6). $3\text{CuFeS}_2 + 20\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 6\text{S} + 5\text{NO} + 10\text{H}_2\text{O}$					
- ΔG_r , кДж/моль	248003,5	254303,1	262345,3	279507,6	296310,1
7). $2\text{CuFeS}_2 + 20\text{HNO}_3 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 10\text{NO}_2 + 4\text{S} + 10\text{H}_2\text{O}$					
- ΔG_r , кДж/моль	495557,9	503896,4	520573,1	553927,4	588551,4
8). $\text{FeS}_2 + 18\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 15\text{NO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$					
- ΔG_r , кДж/моль	73312,9	77949,6	80623,3	85973,5	91317,7
9). $2\text{FeS}_2 + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 30\text{NO}_2 + 14\text{H}_2\text{O}$					
- ΔG_r , кДж/моль	99433,5	101185,9	104690,8	111700,7	118710,5

По мере повышения температуры на первом этапе реакции между азотной кислотой и пиритом свободная энергия Гиббса незначительно уменьшается, но при этом энергия Гиббса увеличивается во второй стадии при взаимодействии сульфида свинца и цинка с азотной кислотой. Повышение температуры способствует протеканию побочных реакций (первая и вторая реакции), что положительно сказывается на степени разложения отдельных компонентов. В то же время чрезмерное повышение

температуры отрицательно влияет на общий процесс азотнокислотного разложения.

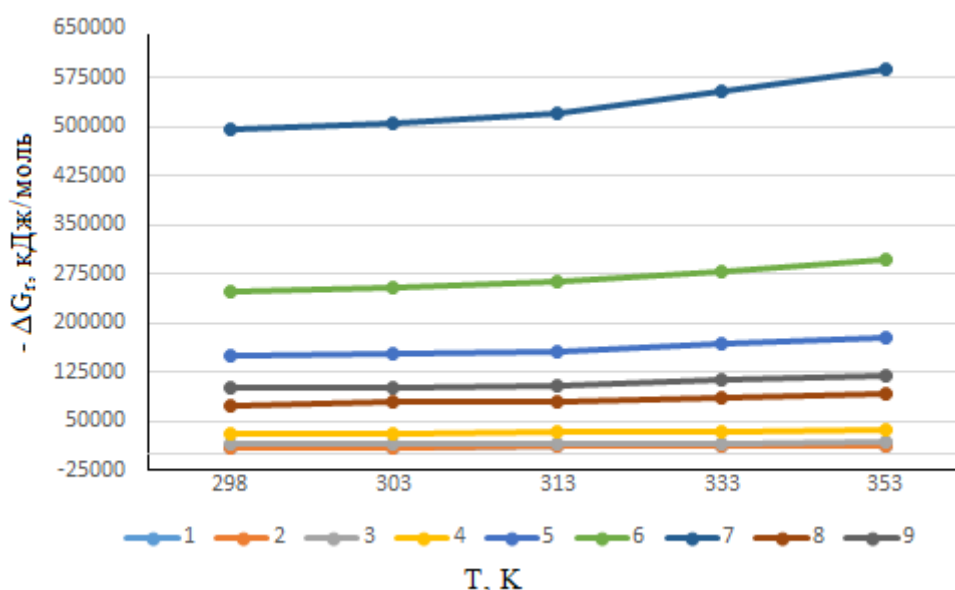


Рисунок 3. Влияние температуры на изменение энергии Гиббса.

Результаты выполненных расчётов показали, что все рассматриваемые реакции протекают необратимо. Оптимальной температурой проведения процесса является 353 К. В целом, азотнокислотное разложение концентрата характеризуется экзотермическим характером.

Азотнокислотное выщелачивание свинцово-цинкового концентрата месторождения Зарнисор

В процессах выщелачивания сульфидных концентратов одновременно происходит растворение выделяющейся элементарной серы. Исследованы условия достижения равновесия химических реакций выщелачивания и выявлены факторы, влияющие на скорость и протекание этих реакций. Выщелачивание служит первой технологической стадией гидрометаллургического получения свинца и цинка из сульфидных концентратов. Определение влияния температуры на степень выщелачивания имеет большое значение, поскольку скорость реакций большинства процессов значительно зависит от температуры, что существенно влияет на эффективность извлечения свинца и цинка.

Наиболее изученным кислотным процессом выщелачивания галенита является использование азотной кислоты, так как она эффективно окисляет сульфидные минералы. Благодаря высокой растворимости нитрата свинца, применение азотной кислоты

обеспечивает хорошие результаты в гидрометаллургической переработке свинецсодержащего сырья.

В настоящей работе изучено влияние различных факторов в широких интервалах изменения параметров на выщелачивание свинцово-цинкового концентрата месторождения Зарнисор при разных условиях, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты изучения выщелачивание свинца и цинка из концентратов месторождения Зарнисор

№ п/п	Продол- жительность, мин.	Соотно- шение Т:Ж	Темпер- атура, °С	Концент- рация HNO ₃ , г/дм ³	Содержание металлов в кеке, %		Степень извлечения металлов, %	
					Pb	Zn	Pb	Zn
1	120	1:5	25	400	37,31	2,45	35,8	30,4
2			30		28,8	1,93	51,4	45,2
3			40		20,16	1,41	67,3	60,9
4			60		9,98	0,79	83,8	78,5
5			80		3,26	0,39	94,4	88,9
6	30	1:5	80	400	27,38	1,84	52,9	47,7
7	60				17,25	1,22	70,3	65,3
8	100				7,07	0,60	87,9	82,9
9	120				3,26	0,36	94,4	89,7
10	160				3,04	0,37	94,8	89,5
11	120	1:5	80	100	38,04	2,49	34,5	29,3
12				200	24,48	1,67	57,9	52,5
13				300	12,3	0,93	78,8	73,6
14				350	5,92	0,55	89,8	84,4
15				400	2,91	0,35	95,0	90,0
16	120	1:3	80	400	29,19	1,96	49,8	44,3
17		1:4			15,4	1,11	73,5	68,5
18		1:5			4,18	0,40	92,8	88,6
19		1:6			2,96	0,37	94,9	89,5

Реакция минералов галенит-сфалеритового состава с азотной кислотой изучена в интервале температур 25 – 80 °С при концентрации HNO_3 100-400 г/дм³. Свинцово-цинкового концентрата обрабатывали стехиометрическим количеством азотной кислоты в течение 80 мин. Извлечение свинца и цинка в раствор с повышением температуры от 25 до 80 °С изменяется.

При температуре 25 °С степень извлечения металлов составила: Рb – 35,8 % и Zn – 30,4 % соответственно. При увеличении температуры до 80 °С степень извлечения металлов заметно возрастает, составляя: Рb – 94,4 % и Zn – 88,9 %. В следующих опытах изучено влияние продолжительности процесса на степень извлечения свинца и цинка, входящих в состав флотаконцентрата.

Исходя из результатов проведенных опытов можно рекомендовать следующие условия для азотнокислотного разложения свинцово-цинкового концентрата: температура – 80 °С; продолжительность процесса – 120 мин; концентрация азотной кислоты – 400 г/дм³ и соотношение Т:Ж 1:5.

Кинетика разложения свинцово-цинковых концентратов месторождения Зарнисор

Исследование включало анализ кинетики разложения свинцово-цинкового концентрата в азотнокислом растворе. Экспериментальные результаты, показывающие зависимость разложения концентрата от температуры и продолжительности процесса, иллюстрированы на рис. 4.

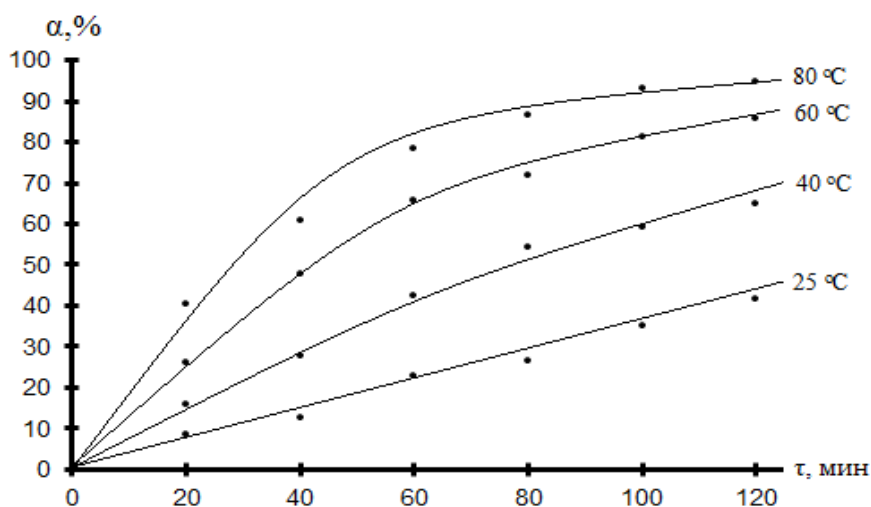


Рисунок. 4. Кинетические кривые разложения концентрата при различных температурах.

Как следует из графика, повышение температуры существенно ускоряет процесс разложения. В исследованном температурном диапазоне степень извлечения Рb возрастает от 40,1 до 94,6 %. Кинетические кривые разложения при температурах от 25 до 40 °С характеризуются линейным видом, тогда как при температурах выше 60 °С они сначала похожи, но затем приобретают параболическую форму. Эти кривые хорошо аппроксимируются уравнением первого порядка Ерофеева-Кольмогорова:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = K(1 - \alpha) \quad (1)$$

где α - степень извлечения.

T - время, мин.

K - константа скорости.

После математических преобразований можно представить это уравнение в виде:

$$\lg = \left(1 - \frac{K\tau}{2.303} \alpha\right) \quad (2)$$

Из графика зависимости $\lg\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$ от времени (τ) (рис. 4) были найдены значения констант скоростей. Зависимость константы скорости реакции от температуры может быть описана уравнением Аррениуса, в виде:

$$K = K_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \quad (3)$$

или:

$$\lg k = \lg k_0 - \frac{E}{2.303RT}, \quad (4)$$

где: R – универсальная газовая постоянная, кДж/моль;

T – абсолютная температура, К.

Как видно из графика зависимости константы скорости от температуры в координатах $\lg K - \frac{1}{T}$ (рис. 5) почти все экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую линию.

Величины энергии активации, определены по тангенсу угла наклона прямой и по формуле:

$$E = \frac{2.3RT_2T_1}{T_2 - T_1} \lg \frac{K_2}{K_1} \quad (5)$$

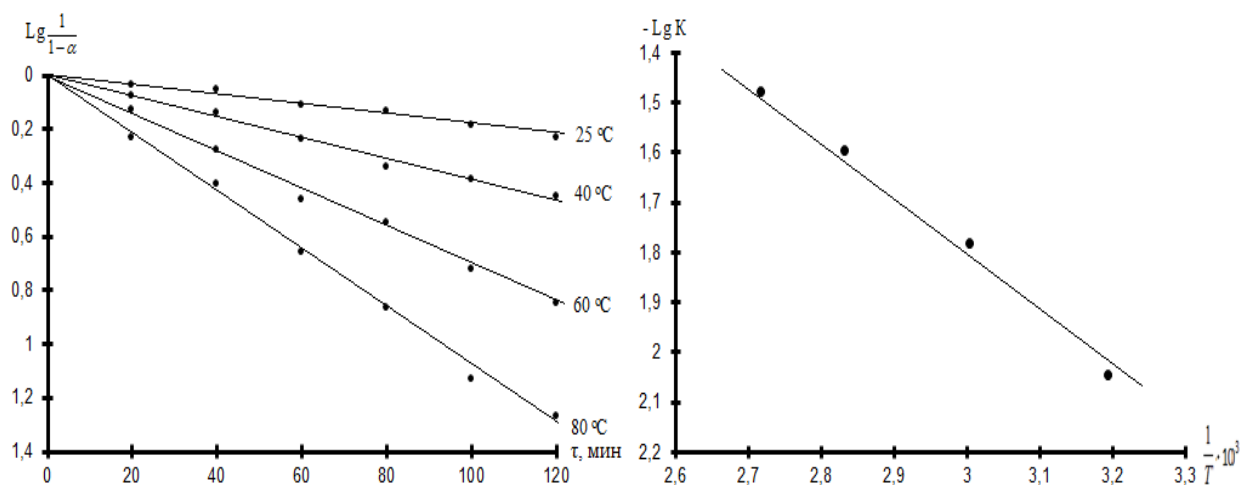


Рисунок 5. Зависимость а) $\text{Lg} \frac{1}{1-\alpha}$ от времени; б) $\text{Lg} K$ от обратной абсолютной температуры.

Исходя из угла наклона прямой, была определена кажущаяся энергия активации (E), которая равняется 32,64 кДж/моль. Такое значение энергии активации указывает на то, что процесс разложения протекает в переходной (диффузионно-кинетической), области, то есть скорость разложения определяется одновременно химической стадией и массопереносом. Значение энергии активации и зависимость скорости разложения от температуры подтверждают, что процесс проходит в диффузионно-кинетической области.

Математическое моделирование процесса азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового концентрата

Подготовка исходных данных для математического моделирования процесса азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового концентрата включает систематизацию результатов экспериментальных исследований и формирование расчетной таблицы, пригодной для последующей статистической обработки. В качестве независимых переменных приняты технологические параметры процесса: температура выщелачивания, продолжительность контакта твердой и жидкой фаз, концентрация HNO_3 и соотношение Т:Ж. В качестве зависимых переменных, или откликов модели, рассматриваются степени извлечения свинца и цинка в раствор, выраженные в процентах. Результаты сопоставления экспериментальных и расчетных значений приведены на (рис. 6).

Для построения математической модели исходная информация должна быть представлена в унифицированной форме, где каждому

экспериментальному опыту соответствует одна строка наблюдений. Такой подход позволяет корректно выполнить кодирование факторов, установить диапазоны их изменения и в дальнейшем рассчитать коэффициенты регрессионных уравнений.

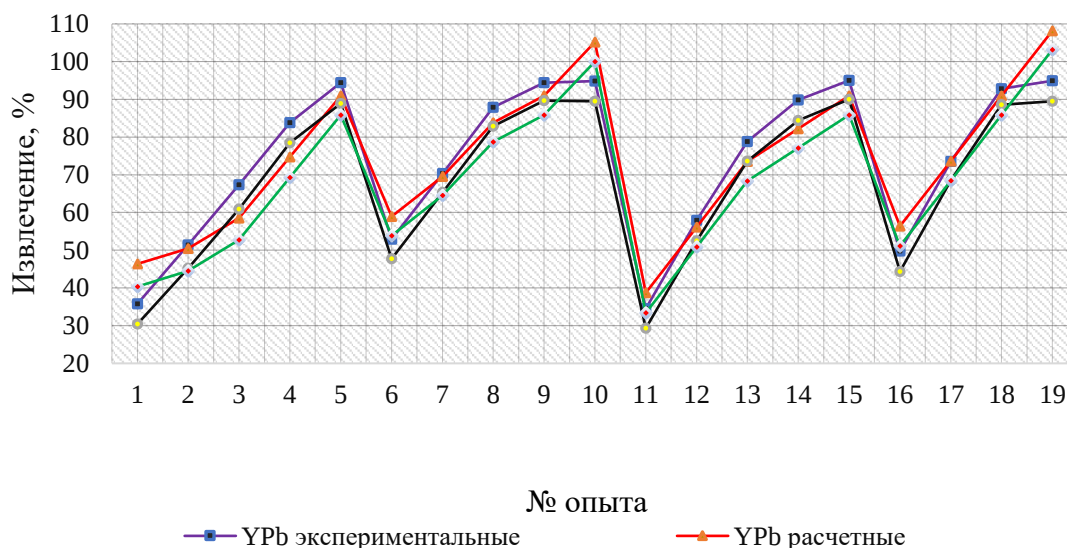


Рисунок 6. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений YPb и YZn

Из рисунка видно, что расчетные значения в целом удовлетворительно воспроизводят ход экспериментальных зависимостей. Наибольшие отклонения наблюдаются для отдельных опытов в области резкого изменения извлечения, что обусловлено тем, что использованная модель имеет линейный вид и не учитывает квадратичные эффекты и взаимодействия факторов.

Заключительным этапом математической обработки экспериментальных данных является нахождение оптимальных условий азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового концентрата. Как уже подчеркивали под оптимальными условиями в данном случае понимают значения температуры, продолжительность процесса, концентрации азотной кислоты и соотношения Т:Ж, при которых достигается наибольшая степень извлечения свинца и цинка в раствор при сохранении технологической целесообразности режима.

Рекомендуемая технологическая схема переработки руды месторождения Зарнисор

По результатам комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований, по флотационному обогащению, а также гидрометаллургической переработке концентрата,

разработана и рекомендована комбинированная технологическая схема переработки свинцово-цинковой руды месторождения «Зарнисор» (рис. 7), направленная на получение высококачественного концентрата и готовой продукции.

Предложенная схема базируется на оптимизации операций подготовки руды, рациональном раскрытии полезных минералов при измельчении, улучшении флотационного разделения свинца и цинка, а также применении азотнокислотного выщелачивания для переработки концентрата.

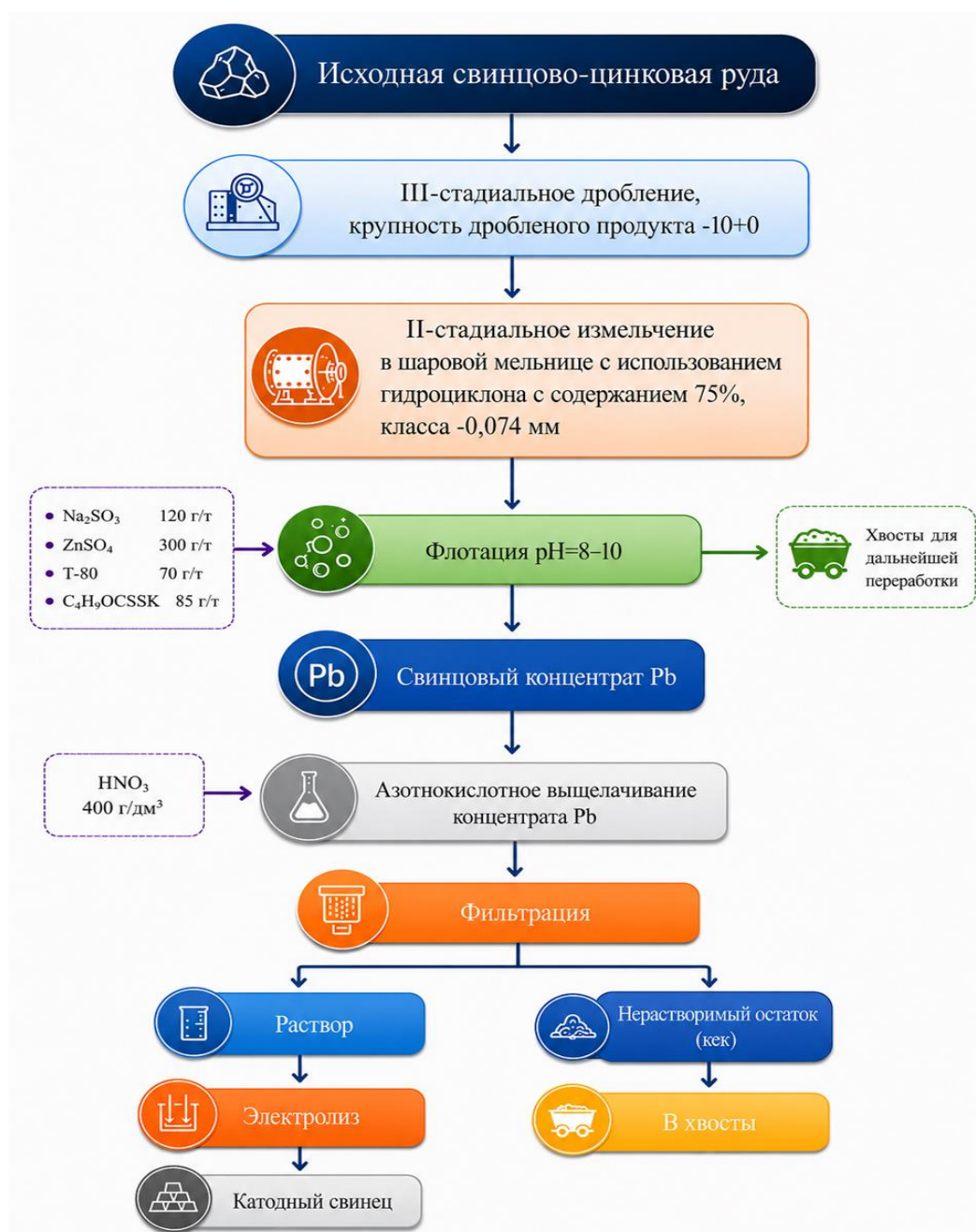


Рисунок 7. Рекомендуемая технологическая схема переработки руды месторождения Зарнисор

ВЫВОДЫ

По итогам диссертационного исследования были достигнуты следующие ключевые научные и практические выводы:

1. Проведено комплексное исследование вещественного состава и технологических свойств свинцово-цинковых руд месторождений Зарнисор. Установлено, что руды относятся к сульфидному типу, характеризуются высокой крепостью (коэффициент по шкале Протодьяконова 16–17), тонкой и неравномерной сульфидной минерализацией, а также значительным содержанием кварца и углистого вещества, что осложняет процессы раскрытия и селективного флотационного обогащения.

2. Установлено, что дроблёная руда месторождения «Зарнисор» характеризуется концентрацией основной массы полезных компонентов (до 64,5 %) в классе крупности –15+5 мм при одновременном присутствии значительного количества пустой породы, а также убогой и неравномерной сульфидной минерализацией, выраженной в тонком и равномерном распределении сульфидов во вмещающих породах; показано, что удаление кварца и углистого вещества из указанной фракции и применение предварительного обогащения в тяжёлых суспензиях позволяют повысить степень раскрытия и селективность последующей флотации, улучшить качество свинцового и цинкового концентратов и снизить потери полезных компонентов.

3. Разработана и экспериментально подтверждена рациональная схема селективной флотации свинцово-цинковых руд. Показано, что применение прямой селективной схемы флотации с депрессией минералов цинка в свинцовом цикле сочетанием сульфита натрия и цинкового купороса, позволяет получить свинцовый концентрат с содержанием Pb до 66,31 % при извлечении свинца 89,65 %, а также цинковый концентрат с содержанием Zn до 56,26 % при извлечении цинка 88,6 %.

4. Изучены физико-химические закономерности азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинкового концентрат месторождения «Зарнисор». Установлено влияние основных технологических факторов на процессы разложения минералов и извлечения целевых компонентов. Экспериментально подтверждена возможность достижения высокой степени извлечения свинца до 95 % и цинка до 90 %, что свидетельствует об эффективности

предложенного гидрометаллургического подхода к переработке полиметаллических концентратов.

5. Установлены термодинамические и кинетические закономерности процесса разложения полиметаллического концентрата руды месторождения «Зарнисор». На основе температурной зависимости скорости реакции определена кажущаяся энергия активации, составившая 32,64 кДж/моль, что указывает на протекание процесса преимущественно в диффузионно-кинетической области. Термодинамический анализ показал, что реакции разложения носят необратимый и экзотермический характер. На основе экспериментальных данных разработана математическая модель процесса азотнокислотного выщелачивания, адекватно описывающая зависимость степени извлечения свинца и цинка от основных технологических параметров. Установлено удовлетворительное совпадение расчётных и экспериментальных данных, при этом отклонения носят несистематический характер и находятся в допустимых пределах для гидрометаллургических процессов, что подтверждает достоверность модели и возможность её применения для прогнозирования и оптимизации процесса.

6. На основании проведённых исследований была разработана оптимальная технологическая схема переработки свинцово-цинковой руды месторождения «Зарнисор». Схема включает этапы дробления и измельчения сырья, а также флотацию, позволяющую получить свинцовый и цинковый концентраты. Свинцовый концентрат далее подвергается азотнокислому выщелачиванию с последующей фильтрацией пульпы и направлением кека в хвостохранилище. Фильтрат направляется на электролиз с получением катодного свинца. Этот подход повышает эффективность извлечения ценных компонентов и делает технологию пригодной для промышленного применения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

**Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК Министерства высшего образования и науки Российской
Федерации**

1. Самихов, Ш.Р. Оптимизация показателей обогащения свинцово-цинковых руд месторождения «Зарнисор» путем повышения содержания

класса - 0,074 мм в пульпе / Ш.Р. Самихов, **Дж.Н. Бадалов** // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. Душанбе – 2019 №1 (45), – С.109-112.

2. **Бадалов, Дж.Н.** Предварительное обогащение руды месторождения «Зарнисор» гравитационным методом с целью улучшения качества конечного продукта / **Дж.Н. Бадалов**, Ш.Р. Самихзода // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. Душанбе – 2024 №4 – С. 97-109.

3. **Бадалов, Дж.Н.** Переработка свинцово-цинкового концентрата гидрометаллургической обработкой в растворе азотной кислоты / **Дж.Н. Бадалов**, А.Т. Исоева, Ш.Р. Самихзода // Инновации и инвестиции. Москва – 2026 №6 – С. 397-399.

Изобретения по теме диссертации

4. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1131. Способ флотационного обогащения свинцово-цинковой руды / **Дж.Н. Бадалов**, Ш.Р. Самихов // Приоритет изобретения 02.02.2019., заявл. 02.07.2019; опубл. 07.01.2021.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

5. Самихзода, Ш.Р. Технология переработки свинцово-цинковых руд методом флотации / Ш.Р. Самихзода, **Дж.Н. Бадалов**, А.И. Шамсиддинов // Доклады Национальной академии наук Таджикистана, том 67, № 5-6, Душанбе – 2024, – С. 268-273.

6. Самихзода, Ш.Р. Азотнокислотное выщелачивание свинцово-цинковых концентратов месторождения Зарнисор / Ш.Р. Самихзода, **Дж.Н. Бадалов** // Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных и геологических наук том 1, №3(49) – 2025. – С. 60–68.

7. **Бадалов, Дж.Н.** Термодинамический расчет процессов разложения свинцово-цинкового концентрата / **Дж.Н. Бадалов**, Г.Н. Нурализода, Ш.Р. Самихзода // VII Международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии», посвященной 35-летию Государственной независимости Республики Таджикистан, «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» (2020-2040 гг.), 80-летию д.х.н., профессора Юсупова З.Н. и памяти профессора Якубова Х.М. – Душанбе, 2026. – С. 452–456.

8. **Бадалов, Дж.Н.** Азотнокислотное выщелачивание цинкового концентрата месторождения Зарнисор / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихзода** // Международная научно-практическая конференция на тему «Интеграция зеленых технологий в промышленность: современные технологии, экологическая безопасность и тенденции промышленного развития». – АГТИ, Алмалык, 2026. – С. 382–384.

9. Самихов, Ш.Р. Переработка свинцово-цинковых руд Зарнисорского месторождения Таджикистана / Ш.Р. Самихов, **Дж.Н. Бадалов, Х.А. Махмудов** // V Международном Косыгинском форуме «Современные задачи инженерных наук. проблемы промышленного роста», РГУ имени А.Н. Косыгина, Москва – 2025 – С. 248–253.

10. **Бадалов, Дж.Н.** Рентгенофазовый анализ свинцово-цинковых концентратов месторождения Зарнисор / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихзода** // VI-я международная научно-техническая конференция на тему «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы» НГГТУ, Навои – 2025 – С. 423-425.

11. **Бадалов, Дж.Н.** Кинетика разложения свинцово-цинковых концентратов / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихзода** // I-Международная научно-практическая конференция. Актуальные вопросы естественных, точных и математических наук и информационных технологий. Российско-Таджикский (Славянский) университет, Душанбе – 2025. – С. 273-277.

12. **Бадалов, Дж.Н.** Исследования измельчаемости пробы руды месторождения «Зарнисор» / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихзода** // Материалы международной научно – практической конференции «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых - II» ГМИТ Бустон – 2025 – С. 153-155.

13. **Бадалов, Дж.Н.** Исследование процесса азотнокислотного выщелачивания свинцово-цинковых концентратов / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихзода** // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Аналитическая химия и её значение в развитии естественных и технических наук» ТНУ Душанбе – 2025. – С. 211-214.

14. **Бадалов, Дж.Н.** Распределение металлов по классам крупности в руде месторождения «Зарнисор» / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Международная научно-практическая конференция. Актуальные проблемы, инновационные решения и перспективы химического промышленности. АФГТУ, Алмалык – 2024 – С. 269 - 271.

15. **Бадалов, Дж.Н.** Умные флотационные реагенты и их применение в производстве / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихзода** // III-я Традиционная международная научно-практическая конференция «Развитие национальной промышленности и таджикской геологии в период государственной независимости страны» ГМИТ Бустон – 2024 – С. 14-16.

16. **Бадалов, Дж.Н.** Химические и минералогические изучения руды месторождения Зарнисор / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Материалы II ежегодной научно-практической конференции «Развитие национальной промышленности и геологии Таджикистана за годы независимости страны», ГМИТ Бустон - 2023 - С. 10-12.

17. **Бадалов, Дж.Н.** Пирометаллургические методы переработки свинецсодержащего вторичного и техногенного сырья / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». ГМИТ Бустон - 2019. – С. 38–40.

18. **Бадалов, Дж.Н.** Обогащение свинцово-цинковых руд месторождения «Зарнисор» в тяжёлых средах / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Материалы IV Международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии». ТНУ Душанбе, 2019. – С. 184–185.

19. **Бадалов, Дж.Н.** Минералогический анализ технологической пробы руды Pb-Zn типа месторождения «Зарнисор» / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Применение инновационных технологий в преподавании естественных дисциплин в средних общеобразовательных школах и высших учебных заведениях», посвященной 150-летию периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Душанбе, 2019. – С. 182–185.

20. **Бадалов, Дж.Н.** Применение полиметиленафталинсульфоната как депрессора цинковых минералов при флотации медно-свинцово-цинковых руд / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Республиканская научно-практическая конференция «Экономическое развитие предприятий горнодобывающей промышленности». ГМИТ Бустон – 2018. – С. 7-10.

21. **Бадалов, Дж.Н.** Обогащение руды месторождения Алтын-Топган / **Дж.Н. Бадалов, Ш.Р. Самихов** // Материалы республиканской научно-практической конференции на тему «Перспективы развития химической промышленности Таджикистана» ТНУ Душанбе – 2017. – С. 26-28.

Сдано в печать 30.06.2026 г.
Подписано в печать 10.07.2026.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии
ООО «Сармад-Компания»
г. Душанбе, ул. Лахути 6, 1 проезд