

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В. И. НИКИТИНА

На правах рукописи

УДК: 54 (575.3)

ББК: 35 (2 тадж)

И-87



ИСОЗОДА АКРАМ МУХИБУЛЛО

ХЛОРНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ БОР- И АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД
ТАДЖИКИСТАНА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

доктора философии (PhD), доктора по специальности

6D060600 – Химия (6D060601 - Неорганическая химия)

Душанбе – 2025

Диссертация выполнена в лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и промышленных отходов» Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

Научный руководитель:

Мирсаидов Ульмас,
доктор химических наук, профессор,
академик Национальной академии наук
Таджикистана, главный научный
сотрудник Агентства по химической,
биологической, радиационной и ядерной
безопасности Национальной академии
наук Таджикистана.

Официальные оппоненты:

Эшов Бахтиёр Бадалович, доктор
технических наук, доцент, директор ГНУ
Центр по исследованию инновационных
технологий Национальной академии наук
Таджикистана.

Зоиров Хусайн Абдурахмонович,
кандидат химических наук, доцент
кафедры «Общая и неорганическая химия»
Таджикского технического университета
им. акад. М.С. Осими.

Ведущая организация:

Таджикский государственный
педагогический университет им.
С. Айни

Защита состоится «14» января 2026 года в 11-00 часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-042 при диссертационном совете Института химии им. В.И. Никитина НАНТ и Агентства по ХБРЯ безопасности НАНТ по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, тел.: +992934366463.

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

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

Хамидов Ф.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и необходимость проведения исследований.

Освоение местных запасов низкокачественных алюминиевых руд, обогащённых кремнезёмом, становится всё более значимым направлением в развитии минерально-сырьевой базы республики. Несмотря на сложный состав и низкое содержание целевых компонентов, такие руды могут стать ценным источником алюминия при условии применения современных методов переработки. Основной задачей является разрушение устойчивой минеральной структуры с последующим извлечением оксидов и других полезных веществ, что позволяет вовлечь в производство ранее неиспользуемые ресурсы.

Научные исследования сосредоточены на определении технологической пригодности различных типов сырья, а также на изучении химических процессов, сопровождающих его обработку. Особое внимание уделяется хлорированию аргиллитов - методу, который демонстрирует высокую эффективность при извлечении алюминия и других элементов из сложных алюмосиликатных пород. Установление закономерностей этих реакций позволяет оптимизировать параметры переработки и повысить её рентабельность.

Параллельно с этим растёт интерес к борсодержащим минералам, которые обладают широким спектром применения. Соединения бора востребованы в различных секторах: в промышленности - для производства термостойкого стекла, технической керамики и огнеупорных материалов, в сельском хозяйстве - как микроэлементы в составе удобрений, способствующих росту растений, в медицине - в виде антисептических средств и фармакологических препаратов.

Комплексный подход к переработке борного сырья позволит не только расширить доступные запасы, но и открыть новые направления получения борных продуктов, что создаёт основу для развития высокотехнологичных производств и увеличит экспортный потенциал страны. С учетом многообразия применения борных соединений и растущих потребностей в них, освоение Ак-Архарского месторождения Таджикистана становится не только целесообразным, но и необходимым шагом для расширения производства и обеспечения устойчивого развития различных отраслей экономики. Инвестиции в его разработку могут оказать положительное влияние на экономику региона и обеспечить новые рабочие места.

В настоящей работе рассмотрен вопрос комплексной переработки алюмо- и боросиликатных руд хлорными методами с использованием хлорсодержащих реагентов.

Степень изученности научной проблемы. Исследования по комплексной переработке бор- и алюмосиликатных руд, включая хлорные и кислотные методы, проводятся в Институте химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана в последние годы [1-7]. Это свидетельствует о глубокой и долгосрочной приверженности изучению местных ресурсов. Однако исследования в области хлорной технологии переработки бор- и алюмосиликатных руд все еще недостаточны, поскольку в процессе хлорирования сырья образуется множество побочных продуктов, и сам процесс требует подбора оптимальных параметров. Хлорирование отдельных минералов бора не проводилось.

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационное исследование выполнялось на базе лаборатории переработки минерального сырья и отходов Института химии им. В. И. Никитина НАНТ на основе двух проектов: «Разработка селективных методов разложения высококремнистых бор- и алюмосодержащих руд Таджикистана», Гос. рег. 0116 TJ 00541 и «Физико-химические и технологические основы получения соединений бора, алюминия, минеральных удобрений, коагулянтов, фарфоровых и строительных материалов», Гос. рег. 0121 TJ 1147.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью настоящей работы является разработка эффективных методов получения хлорных соединений бора, алюминия, железа и других ценных веществ для нужд новой техники, и получения энергоёмких веществ из полученных хлорных соединений бора и алюминия.

Задачи исследования:

- проведение хлорирования отдельных минералов борного сырья с целью получения трихлорида бора - важного промежуточного продукта для дальнейшего синтеза борных соединений;
- изучение термостойкости боро- и алюмосиликатных руд, включая анализ их физико-химических свойств до и после термической обработки;
- реализация процессов хлорного разложения алюмосиликатных пород с последующей сравнительной оценкой эффективности хлорирования по отношению к другим типам алюминиевого сырья;
- получение энергоёмких веществ на основе продуктов, образующихся в результате хлорирования боро- и алюмосиликатных руд, с перспективой их применения в различных технологических сферах;
- разработка методов спекания боро- и алюмосиликатных руд для извлечения ценных компонентов и получения промышленных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Объектом исследования является переработка боро- и алюмосиликатных руд хлорным методом и спеканием сырья некоторыми хлорсодержащими реагентами.

Предмет исследования – разработка эффективных методов и определение оптимальных параметров переработки боро- и алюмосиликатного сырья с целью получения хлоридных соединений с последующим получением энергоёмких веществ из некоторых полученных хлорных соединений.

Научная новизна исследования:

- дана термодинамическая оценка процесса разложения боро- и алюмосиликатных руд хлорным методом;
- найдены оптимальные параметры процесса переработки сырья, включая температурные режимы, состав реагентной среды и продолжительность отдельных стадий. Выявлены механизмы протекания основных физико-химических процессов;
- разработаны и апробированы технологические схемы переработки сложных алюмосиликатных и боросиликатных руд, направленные на повышение степени извлечения полезных веществ. Предложенные схемы способствуют оптимизации производственного цикла и могут быть адаптированы для различных типов сырья с аналогичным минеральным составом.

Теоретические основы и научно-практическая значимость исследования. Выявлены механизмы протекания процессов получения хлорных соединений с последующим получением из них энергоёмких веществ. Определены вероятности протекания хлорных процессов путём термодинамической оценки разложения.

Практическая ценность работ заключается в новом подходе к процессу хлорирования с хлором и хлорсодержащими продуктами. Хлорирование отдельных минералов сырья. Выявлены механизмы процессов хлорирования.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты термической устойчивости боро- и алюмосиликатных руд;
- результаты термодинамической оценки процесса хлорирования боро- и алюмосиликатных руд;
- хлорирование отдельных минералов боросиликатных руд;
- хлорирование алюмосиликатных руд (сиаллитов, каолиновых глин);
- механизмы протекания процессов хлорирования и кинетика процесса разложения алюминиевых руд через спекание с хлорсодержащими реагентами;
- разработка технологических схем получения хлорных продуктов и энергоёмких веществ.

Достоверность диссертационных результатов. Надёжность полученных данных подтверждена серией параллельных экспериментов, а также химическим анализом нескольких образцов, что позволило исключить случайные отклонения. Обработка результатов проводилась с применением специализированного программного обеспечения,

предназначенного для статистической и графической интерпретации экспериментальных данных.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности (формуле и области исследования). Диссертационная работа охватывает химические аспекты процесса хлорирования сырья.

Область исследования диссертации соответствует следующим положениям паспорта специальности 6D060600 – Химия (6D060601 - Неорганическая химия):

-пункт 1. Фундаментальные основы получения объектов исследования и материалов на их основе.

-пункт 4. Реакционная способность неорганических соединений в различных агрегатных состояниях и экстремальных условиях;

-пункт 5. Взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы.

Личный вклад автора диссертационного исследования. Охватывает все ключевые этапы научной работы - от формулирования целей до практической реализации экспериментальных процедур. Автором самостоятельно сформулированы научные задачи, определяющие направление и структуру исследования, с учётом актуальности темы и существующих научных пробелов. Проведён всесторонний сбор, систематизация и критический анализ отечественных и зарубежных литературных источников. Собрана и адаптирована экспериментальная установка, предназначенная для проведения процессов хлорного разложения минерального сырья. Проведён цикл лабораторных экспериментов, включающий варьирование параметров процесса, регистрацию показателей и контроль условий проведения. Полученные данные подвергнуты математической обработке, статистическому анализу и интерпретации с целью выявления закономерностей и подтверждения гипотез.

Апробация и применение результатов диссертации. Ключевые положения были представлены и обсуждены на ряде форумов и нашли отражение в публикациях, прошедших экспертную оценку: включая:

международных: «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: проблемы и решения» (Гулистан, Таджикистан, 2023); «Современные проблемы физики и химии полимеров» (Душанбе, ТНУ, 2023); XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты» (Душанбе, 2023); «Развитие новых направлений в химии и химической технологии», посвящённой памяти академика НАНТ, д.х.н., проф. Х. Сафиева (Душанбе, 2023); «Современные проблемы физики конденсированного состояния», посвящ. 75-летию ТНУ, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя Премии международного Евразийского патентного Бюро и Премии НАН Таджикистана имени С. Умарова, чл.-корр. НАН Таджикистана, д.ф.-м.н., проф. Ш. Туйчиева (Душанбе, 2023); XIX Нумановские чтения «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны» (Душанбе, 2024);

республиканских: «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» (Душанбе, 2023).

Публикации по теме диссертации. Результаты диссертационной работы нашли отражение в 30 публикациях, в числе которых 1 монография, 8 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, 19 материалов, представленных на международных и республиканских научных конференциях. Получен 1 малый патент Республики Таджикистан и Акт о внедрении НИР.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа включает четыре основные главы, в том числе глава обсуждение результатов и состоит из следующих структурных элементов: вводная часть, аналитический раздел с обзором научных публикаций по рассматриваемой проблеме, детальное изложение методики и результатов эксперимента, а также заключительная часть с обобщением выводов, подтвержденных эмпирическими данными. Общий объём рукописи – 175 страниц (компьютерный набор), содержащих: 59

графических элементов (схемы, диаграммы, иллюстрации); 16 таблиц с результатами практических исследований; 129 библиографических позиций в перечне использованной литературы, отражающих теоретическую и методологическую базу работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, отражена научная и практическая значимость.

В первой главе представлены литературные данные по хлорированию бор- и алюмосиликатных руд.

Во второй главе приведены физико-химические характеристики бор- и алюмосиликатных руд, методики химического анализа. Приведены результаты термодинамических оценок разложения боро- и алюмосиликатных руд.

В третьей главе изучены особенности хлорирования борного сырья и алюмосиликатных руд. Разработаны технологические схемы хлорного метода. Дана оценка эффективного смешанного коагулянта из низкокачественного сырья. Изучена кинетика процесса спекания с NaCl.

В четвертом заключительной части работы идёт обсуждение процесса хлорирования сырья.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОРОСИЛИКАТНЫХ И АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД

Дифференциально термический анализ (ДТА) и рентгенофазовый анализ (РФА) боросиликатного сырья

В данном разделе изучены ДТА и РФА борного сырья. Термические исследования осуществлялись на дериватографе модели Q-1000, разработанном по системе Паулика–Эрдей, который обеспечивает точную фиксацию тепловых явлений, сопровождающих фазовые и химические превращения.

На полученной термограмме исходного борного сырья (рисунок 1) четко идентифицированы два характерных эндотермических эффекта:

1. Пик при 780°C , соответствующий процессу дегидратации и удалению структурно связанной воды;

2. Пик при 950°C , связанный с термическим разложением основного минерального компонента – данбурита.

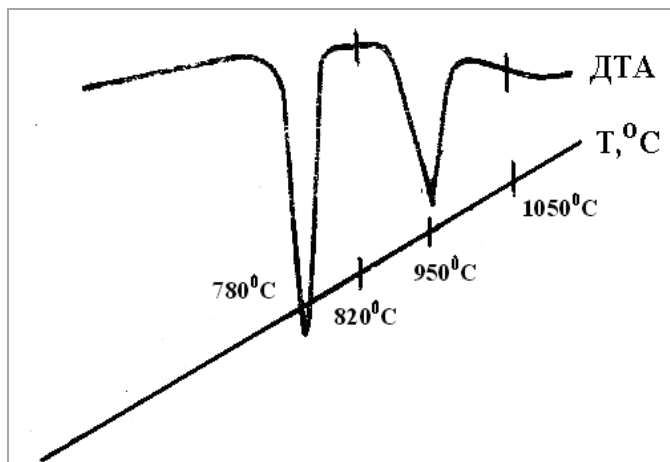


Рисунок 1. -Результаты термического анализа исходного данбуритового сырья

При проведении дифференциально-термического анализа боросиликатного концентрата (рисунок 2) отмечался ряд тепловых эффектов:

- эндотермический пик при 735°C соответствует процессу дегидратации с удалением структурно связанной воды;
- серия слабовыраженных эндоэффектов при 860, 950 и 1020°C, вероятно, связана с: плавлением отдельных минеральных фаз, фазовыми превращениями компонентов, разложением сложных боросодержащих соединений.

Исследование методом РФА позволило идентифицировать минеральный состав исходного борного сырья Ак-Архарского месторождения. Основные рудообразующие минералы включают: кварц - 35-45%, данбурит - 20-30%, монтмориллонит - 10-15%, датолит - 5-10%, пироксены - 3-7%, гранаты - 2-5%, гидроборацит - 3-5%, гидрослюда - 5-8%, кальцит - 1-3%.

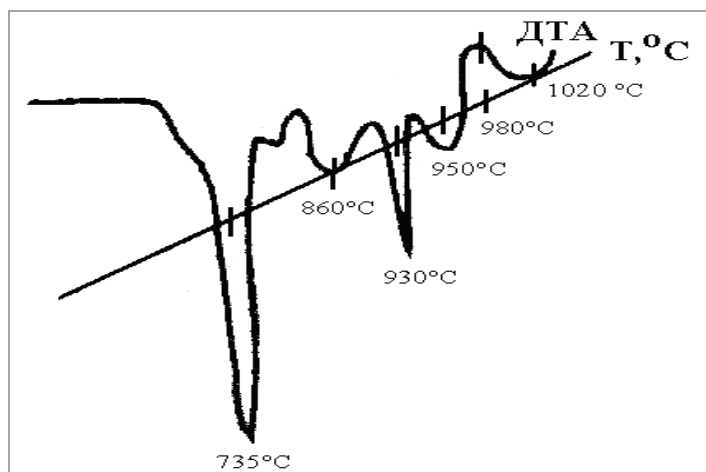


Рисунок 2.- Результаты термического анализа концентрата данбуритового сырья

Результаты РФА по данбуритовому концентрату, представленные на рисунках 3 и 4, показывают, что до прокалики доминирующими фазами являются данбурит и кварц, также присутствуют второстепенные минералы (кальцит, монтмориллонит), а сам образец имеет хорошую кристалличность.

После прокалики при 950-980°C происходит полное исчезновение рефлексов данбурита, образование новых соединений: бората кальция, волластонита и кристобалита и снижение интенсивности пиков, указывающее на деградацию кристаллической структуры.

Критическая температура разложения данбурита лежит в диапазоне 950-980°C, продукты термического разложения включают как кристаллические, так и аморфные фазы, термическая обработка приводит к существенной перестройке минерального состава, сохранение кварца в продуктах разложения подтверждает его термическую стабильность.



Рисунок 3. -Идентификация фаз в исходном данбурите по штрих-диаграмме



Рисунок 4. -Идентификация фаз в термообработанном данбурите по штрих-диаграмме

Сравнительный анализ рентгенограмм данбурита (рисунки 3 и 4) и данбуритового концентрата (рисунки 5 и 6) показал полное совпадение дифракционных пиков, соответствующих бор-, алюминий- и железосодержащим минеральным фазам, что свидетельствует о сохранении их кристаллической структуры в процессе обогащения. Особый интерес представляют наблюдаемые структурные превращения алюмосиликатных компонентов при высокотемпературной обработке в диапазоне 950-1000°C. В ходе термического воздействия происходит частичная трансформация монтмориллонита и гидрослюда в муллит – высокотемпературную алюмосиликатную фазу, что подтверждается появлением характерных рефлексов на рентгенограммах и изменением их интенсивности.

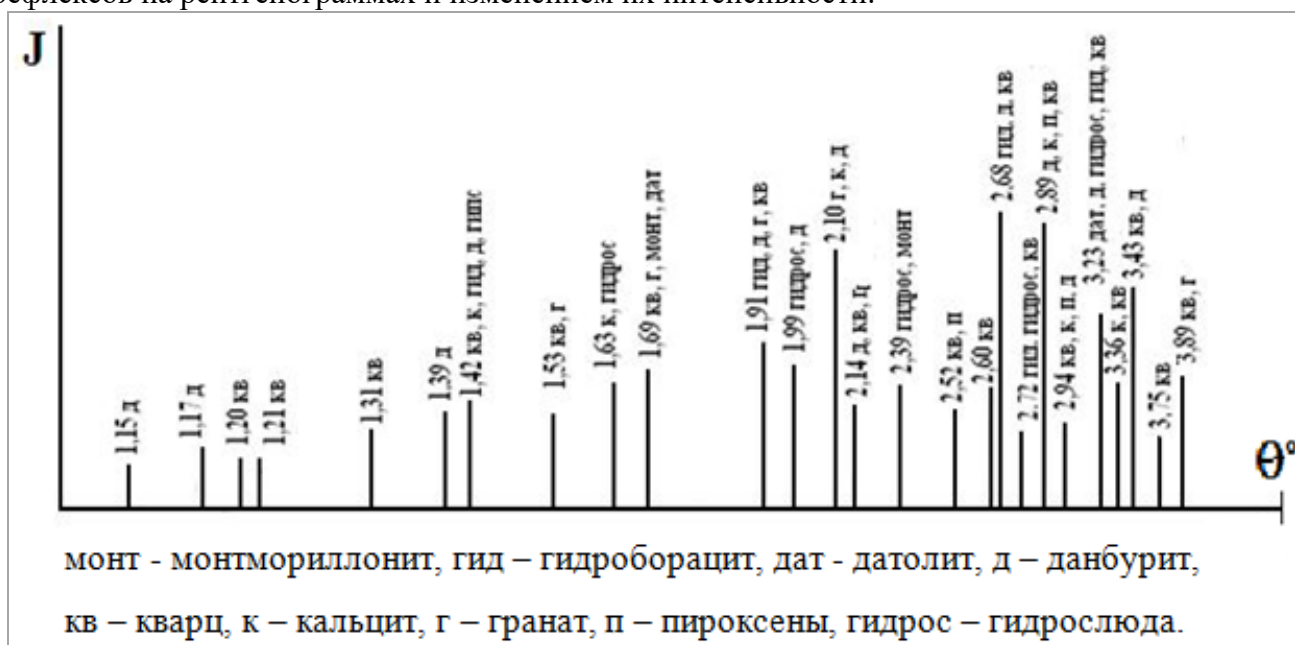


Рисунок 5. -Идентификация фаз в концентрате данбурита по штрих-диаграмме

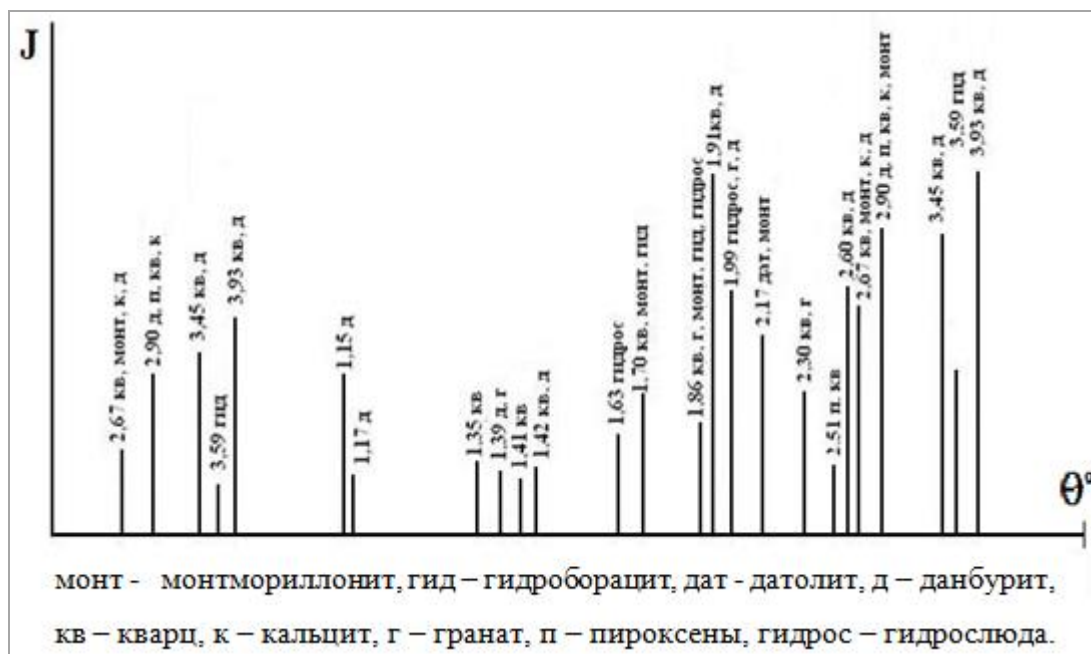


Рисунок 6. - Идентификация фаз в концентрате предварительно термообработанного данбурита по штрих-диаграмме

Дифференциально термический анализ (ДТА) и рентгенофазовый анализ (РФА) сиаллитов и каолиновых глин

Современные установки ДТА часто комбинируют с другими методами термического анализа, такими как термогравиметрия (ТГ) или дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), что позволяет получать более полную характеристику изучаемых образцов.

Нами в качестве примера приводится ДТА для сиаллитов (рисунок 7).

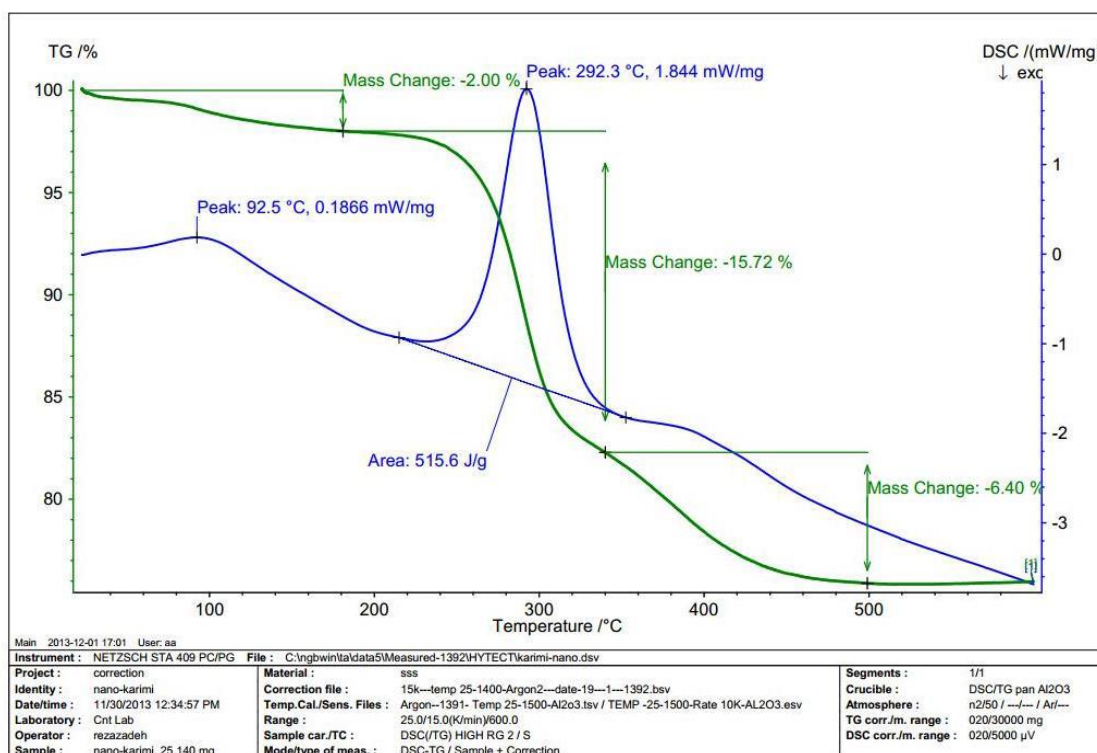


Рисунок 7.- Результаты дифференциального термического анализа (ДТА) сиаллитов

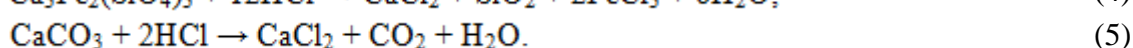
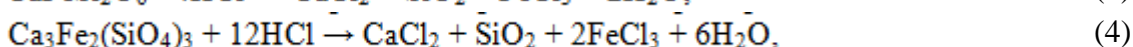
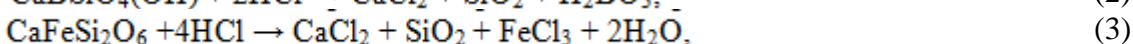
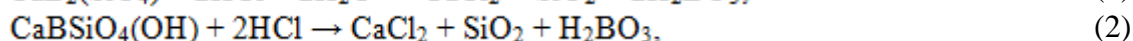
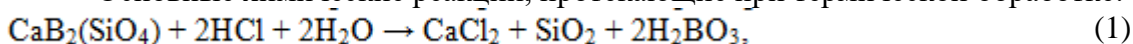
РФА сиаллитовых и каолиновых глин совпадают с литературным данными.

Термодинамическая оценка разложения боросиликатного сырья хлорным методом

Термодинамическое исследование реакций спекания боросодержащих руд Ак-Архарского месторождения с добавкой хлорида кальция выявило сложный комплекс химических превращений, обусловленных многокомпонентным составом минерального сырья. Анализируемый материал характеризуется присутствием нескольких боросодержащих фаз, включая данбурит $\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, датолит $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$ и гидроборацит $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а также сопутствующих силикатных минералов - пироксенов $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$, гранатов $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ и карбонатных включений кальцита CaCO_3 .

Термодинамический анализ спекания боросиликатных руд Ак-Архарского месторождения с хлоридом кальция показал, что исходные минералы не взаимодействуют с соляной кислотой. Данные таблиц 1-2 демонстрируют положительные значения энергии Гиббса (ΔG) для всех реакций разложения руды с HCl .

Основные химические реакции, протекающие при термической обработке:



Особое внимание уделено термодинамике взаимодействия минералов боросиликатной руды с соляной кислотой, соответствующие параметры для которых систематизированы в таблицах 1-3.

Таблица 1. -Расчёт энергетических параметров взаимодействия боросиликатных фаз с HCl

Реакции	ΔH_{298}^0 , кДж/моль	ΔS_{298}^0 , Дж/моль · град.	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
(1)	1.245×10^3	-32.36	1.254×10^3
(2)	3.50×10^2	63,62	3.312×10^2
(3)	1.237×10^3	59.48	1.220×10^3
(4)	2.764×10^3	98.72	2.735×10^3
(5)	4.11×10^2	233.23	3.428×10^2

Таблица 2. -Температурная зависимость стандартной энергии Гиббса (ΔG^0) для реакций хлорирования (1) -(5), кДж/моль

Реакции	ΔG_{298}^0	ΔG_{308}^0	ΔG_{318}^0	ΔG_{328}^0	ΔG_{338}^0	ΔG_{348}^0	ΔG_{358}^0	ΔG_{368}^0
(1)	1.254×10^3	1.255×10^3	1.255×10^3	1.255×10^3	1.255×10^3	1.256×10^3	1.256×10^3	1.256×10^3
(2)	3.31×10^2	3.31×10^2	3.30×10^2	3.2×10^2	3.29×10^2	3.28×10^2	3.27×10^2	3.27×10^2
(3)	1.219×10^3	1.219×10^3	1.218×10^3	1.218×10^3	1.217×10^3	1.217×10^3	1.216×10^3	1.215×10^3
(4)	2.735×10^3	2.734×10^3	2.733×10^3	2.732×10^3	2.731×10^3	2.730×10^3	2.729×10^3	2.728×10^3
(5)	3.43×10^3	3.40×10^2	3.38×10^2	3.36×10^2	3.33×10	3.31×10^2	3.29×10^2	3.26×10^2

Таблица 3. -Термодинамические данные для расчётов химических равновесий

Компонент	Энтропия, кДж/моль·град.	Энтальпия, кДж/моль
<i>CO</i>	-0.111	1.975x10 ²
<i>CaB₂Si₂O₈ кр.</i>	-3.883	1.548x10 ²
<i>CaAl₂O₄</i>	-2.326	1.142x10 ²
<i>CaBSiO₄(OH) кр.</i>	-2.466	1.10x10 ²
<i>Fe₂O₃</i>	-0.822	0.875x10 ²
<i>CaMgB₆O₁₁ · 6H₂O кр.</i>	-6.480	3.665x10 ²
<i>MgCl₂ кр.</i>	-0.645	0.895x10 ²
<i>C кр.</i>	0	5.74
<i>Cl₂ газ.</i>	0	2.223x10 ²
<i>O₂</i>	0	2.05x10 ²
<i>CaSiO₃ кр.</i>	-1.635	0.808x10 ²
<i>CO газ.</i>	-0.394	2.136x10 ²
<i>CaB₂O₄</i>	-2.031	1.05 x10 ²
<i>H₂O газ.</i>	-0.242	1.887 x10 ²
<i>SiO₂ кр.</i>	-0.905	0.435 x10 ²
<i>CaCl₂ кр.</i>	-0.796	1.084x10 ²

ОСОБЕННОСТИ ХЛОРИРОВАНИЯ БОРОСОДЕРЖАЩИХ И АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Хлорирование отдельных минералов боросиликатных руд

Минералогический состав исследуемых боросиликатных руд представлен несколькими ключевыми компонентами: данбуритом, датолитом, пироксеном, кварцем, кальцитом и гранатом. В ходе экспериментальных работ температурный диапазон хлорирования варьировался от 400 до 900°C. Наглядные результаты по степени извлечения боридов из данбурита и датолита систематизированы и представлены в виде графических зависимостей на рисунках 8 и 9.

Детальный анализ кинетики хлорирования данбурита (рисунок 8) выявил, что активная фаза процесса стартует уже при 400°C. Максимальная эффективность преобразования (до 92%) фиксируется при нагреве до 850°C при соблюдении следующих технологических параметров: продолжительность термического воздействия 90 минут, а доля восстановительного компонента составляет 50% от массы исходного минерального образца.

В случае с датолитом (рисунок 9) реакция требует более интенсивного температурного режима - в пределах 450–950°C. Несмотря на повышенные термические условия, степень извлечения оксидных соединений оказывается несколько ниже и составляет около 85%.

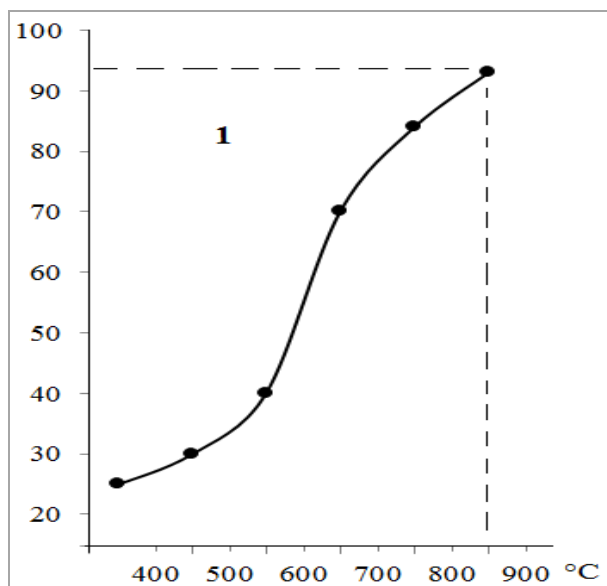


Рисунок 8. - Влияние температуры на эффективность получения BCl_3 из данбурита (время хлорирования во всех опытах является одинаковым - 1.5 часа)

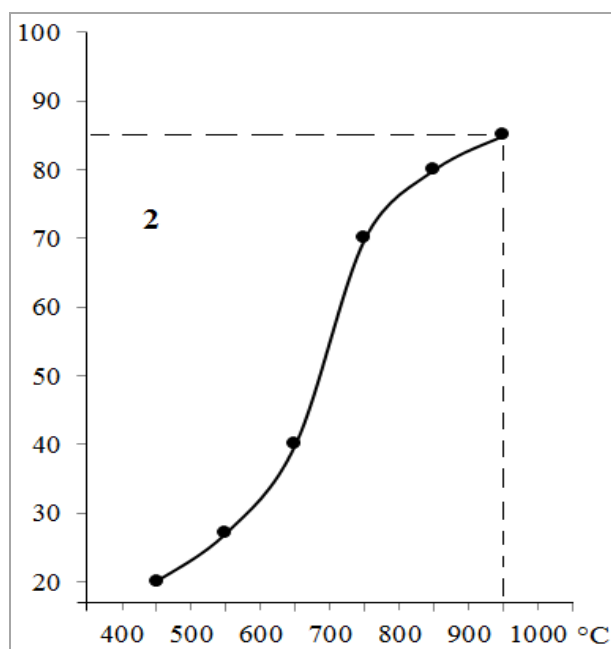


Рисунок 9. - Влияние температурного режима на эффективность получения BCl_3 из датолита ((время хлорирования во всех опытах является одинаковым - 1.5 часа)

Сравнительный анализ эффективности процесса показал, что данбурит обладает лучшей вскрываемостью - степень извлечения достигает 92%, тогда как для датолита этот показатель не превышает 85%. Такая существенная разница (7%) может быть связана с особенностями химических связей в кристаллических решетках этих минералов.

Для повышения эффективности переработки боросиликатного минерального сырья, добываемого на территории месторождения Ак-Архар, была внедрена усовершенствованная установка реакторная система (рисунок 10), обеспечивающая последовательное проведение хлорирующего процесса в два термохимических этапа:

1. предварительное хлорирование при 350-450°C для удаления хлорида железа (FeCl_3);
2. основной этап протекает при более высоких термических условиях - от 750 до 850°C - и направлен на целенаправленное получение трихлорида бора (BCl_3).



Рисунок 10.- Лабораторная установка для хлорирования боросиликатов (датолита, данбурита)

Технологические решения по хлоридной переработке борного сырья Ак-Архар

В результате проведённых исследований была разработана технологическая схема получения хлорида бора (BCl_3) из минеральных компонентов боросодержащего сырья. Предложенная методика основана на последовательной термохимической обработке руды, обеспечивающей высокую степень извлечения целевого продукта. Одним из принципиальных отличий разработанной схемы является стадия высокотемпературного обжига сырья, предшествующая хлорированию. После термической подготовки данбуритовая порода подвергается измельчению до оптимальной фракции - 0.1–0.2 мм. Измельчённое сырьё направляется в реактор, где осуществляется хлорирование с участием газообразного хлора (Cl_2) и углеродного восстановителя (например, кокса или графита).

Разработанная схема переработки данбуритов Ак-Архарского месторождения (рисунок 11) ориентирована на поэтапное извлечение хлоридных компонентов. Процесс организован по принципу фракционного выделения продуктов хлорирования.

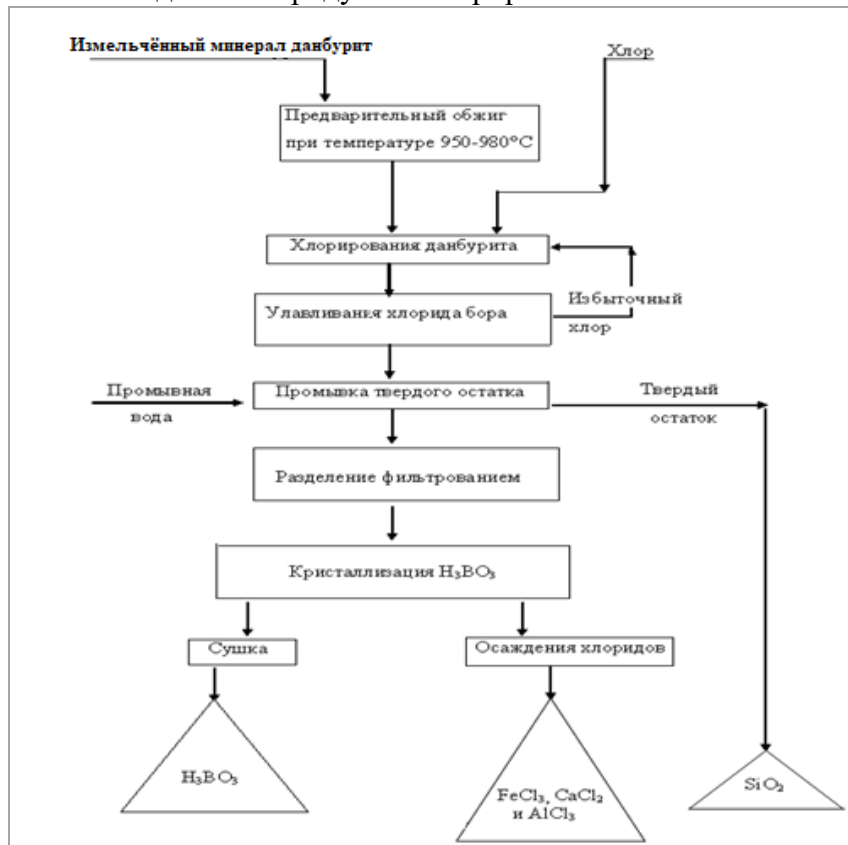


Рисунок 11. - Схема-технология процесса хлорирования боросиликатов

На начальной стадии, при умеренных температурных условиях, происходит удаление железосодержащих соединений в форме FeCl_3 , затем алюминия, и на завершающей стадии получают целевой продукт - треххлористый бор. Такой подход позволяет не только достичь высокой степени извлечения (до 92% для BCl_3), но и обеспечить необходимую чистоту конечных продуктов

Спекание данбурита с CaCl_2 и альтернативными хлорирующими агентами

Исследовано влияние различных физико-химических параметров на спекание минерала данбурита с CaCl_2 и процесс водно-кислотной обработки спёка.

Процесс взаимодействия CaCl_2 с данбуритом начинается при температуре свыше 300°C при соотношении $\text{CaCl}_2/\text{сырьё} = 2/1$.

Установлено, что при обжиге CaCl_2 и данбурита при 800°C извлечение B_2O_3 составляет 91.8%, что незначительно выше, чем спекание CaCl_2 с борной рудой. Продолжительность процесса составляет 90 минут.

Разработанная технологическая схема переработки данбурита методом спекания с хлоридом кальция включает последовательность взаимосвязанных технологических операций, обеспечивающих высокую степень извлечения целевых компонентов (рисунок 12).

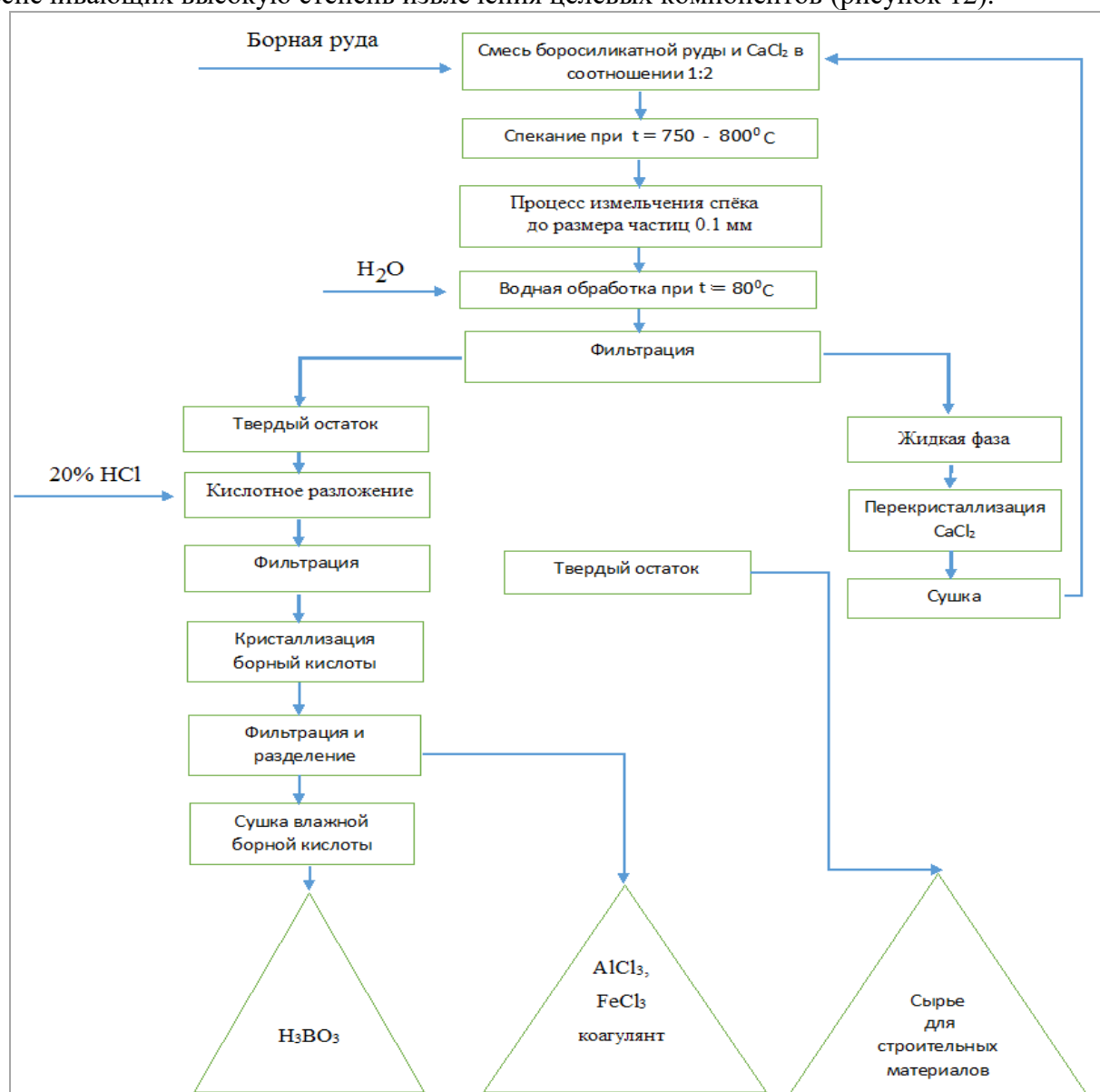


Рисунок 12. Технологическая схема для переработки минерала данбурита спеканием с CaCl_2

На подготовительном этапе осуществляется тщательное смешивание измельчённого данбурита с CaCl_2 в строго регламентированном массовом соотношении 1:2. Данная пропорция установлена экспериментальным путём как оптимальная для обеспечения полного протекания реакций взаимодействия.

Ключевой стадией процесса является высокотемпературное спекание подготовленной шихты при 850°C . Этот температурный режим выбран на основании термодинамических расчётов и подтверждён экспериментальными данными как обеспечивающий максимальную степень превращения исходных компонентов. В результате термической обработки образуется спек, содержащий преобразованные соединения бора и кальция.

Особенностью технологической схемы (рисунок 12) является ее замкнутый характер, обеспечивающий: минимальные потери исходных реагентов, высокую степень извлечения бора (до 92%), получение товарной борной кислоты стандартного качества возможность утилизации побочных продуктов процесса.

Хлорное разложение каолиновых глин Зиды

Перед проведением хлорирования, каолиновый материал подвергали кислотной обработке 10%-ным раствором HCl при температуре 60°C в течение 2 часов. Данная процедура позволяла: удалить до 85% железосодержащих примесей, сохранить алюмосиликатную матрицу, повысить реакционную способность каолинита, минимизировать влияние оксидов железа на последующее хлорирование глинозёма.

Результаты хлорирования каолиновых глин приведены на рисунке 13.

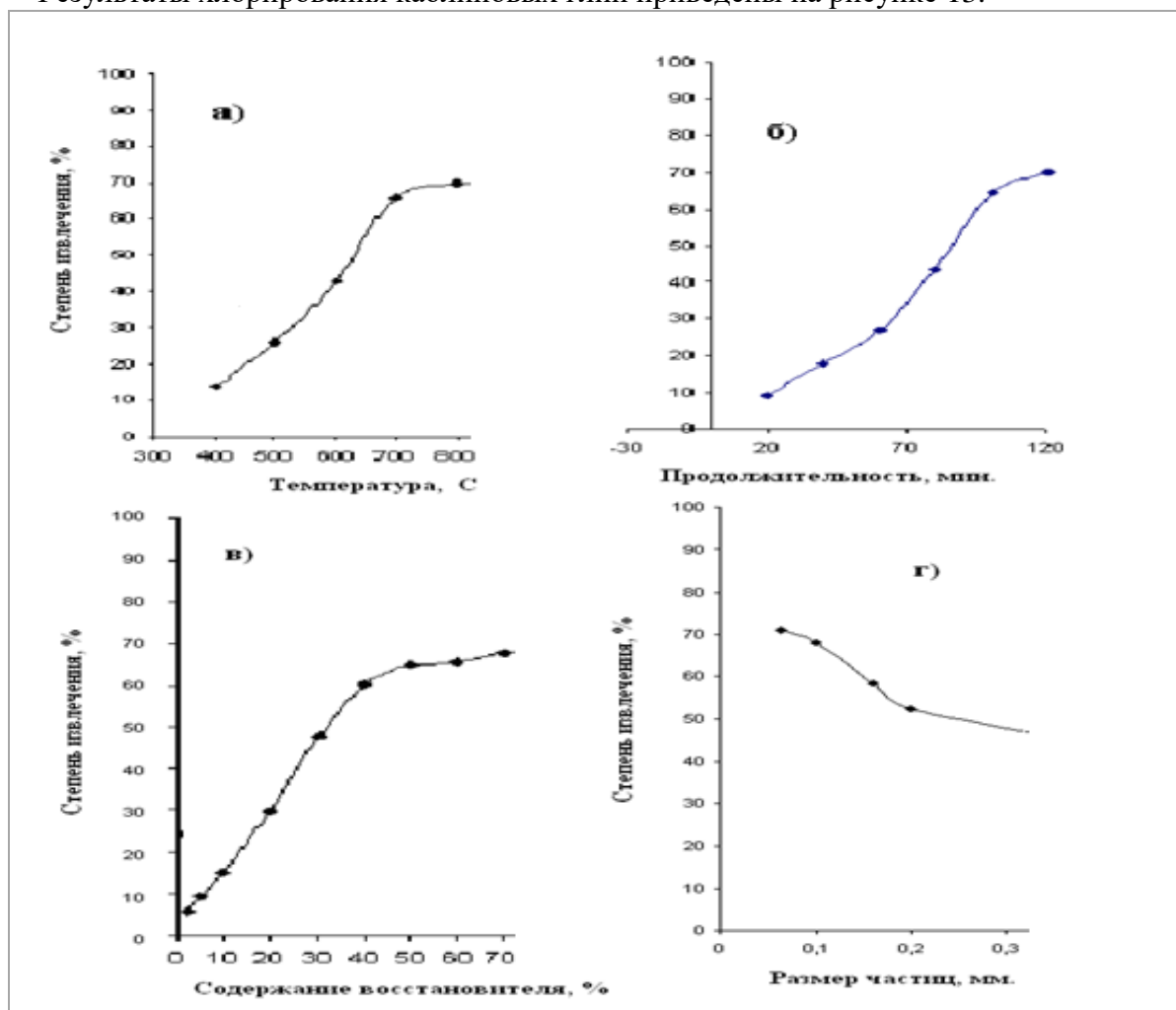


Рисунок 13. - Результаты оптимизации параметров хлорирования Al_2O_3 : а) температурный фактор; б) временной фактор; в) восстановительный фактор; г) фактор дисперсности

Согласно экспериментальным данным (рисунок 13), разработаны следующие рекомендуемые режимы переработки каолинового сырья месторождения Зидды:

1. Термоподготовка: температурный диапазон: 600-650°C, дегидроксилизация каолиновой составляющей.

2. Хлорирующий обжиг: оптимальная температура: 750±25°C, продолжительность процесса: 120±10 минут, гранулометрический состав - фракция ≤0.1 мм.

3. Состав шихты: доля восстановителя: 30-35% (оптимум 33%), газовый состав: Cl₂ + CO в соотношении 3:1.

Указанный температурный режим обеспечивает 92-95% степень разложения каолинита, минимальное спекание частиц, максимальную степень хлорирования (до 87%), введение восстановителя в указанном количестве. Кроме того, гарантирует полноту хлорирующих реакций, предотвращает образование хлорорганических соединений и оптимизирует расход хлора.

На основе оптимальных параметров разработана принципиальная технологическая схема, предназначенная для эффективной переработки каолиновой глины Зидды, которая отображена в виде рисунка 14.

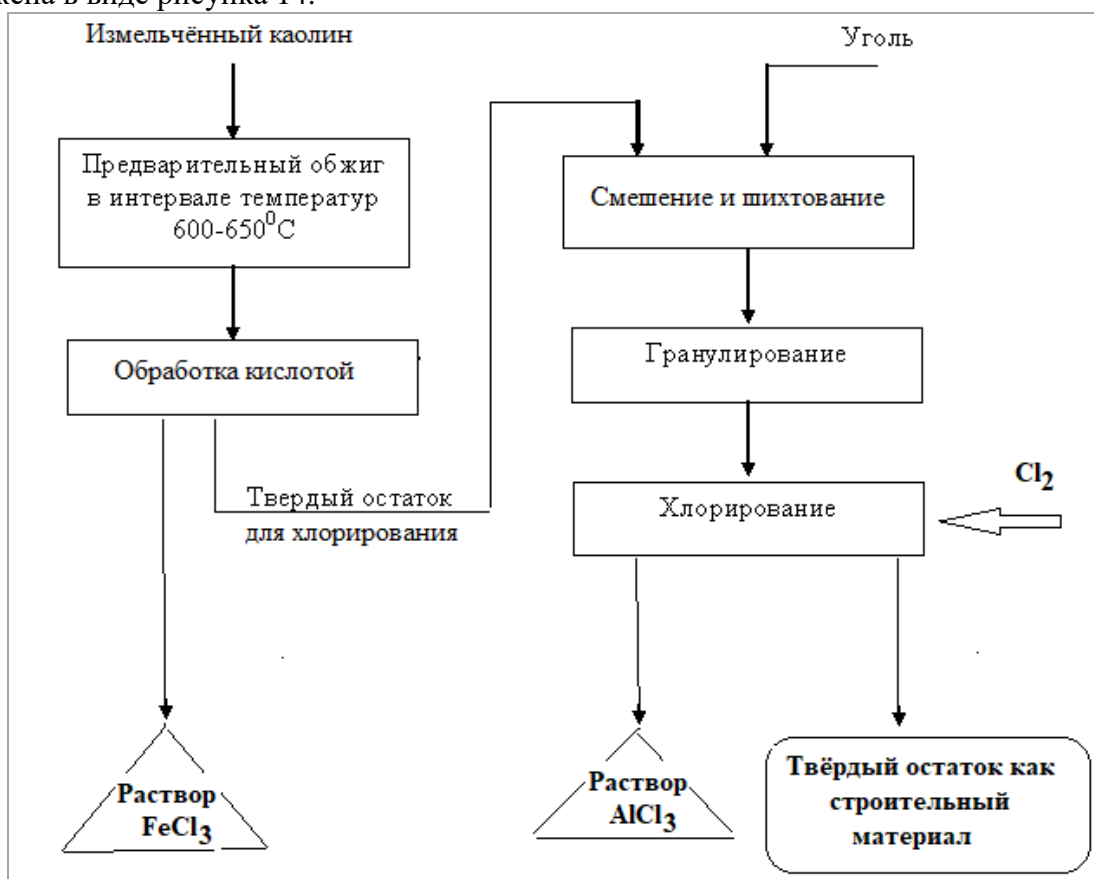


Рисунок 14. - Принципиальная технологическая схема хлорирования каолиновых глин

Роль хлорида натрия в интенсификации кислотного разложения нефелинов Турпи

В данном разделе исследования была поставлена задача изучить особенности сернокислотного разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи (Таджикистан) с добавлением хлорида натрия. Экспериментальные работы показали, что при спекании руды с NaCl при температурах 900-950°C в течение 60 минут с последующей водной экстракцией (80°C, 30-50 мин) достигается переход в раствор 13-14% Al₂O₃ при полном сохранении Fe₂O₃ в нерастворимом остатке.

Полученные результаты (рисунок 15, таблица 4) демонстрируют четкую зависимость степени извлечения оксидов от ключевых технологических параметров: концентрации серной

кислоты (варьировалась в диапазоне 20-60%), продолжительности процесса (от 30 до 180 минут), температурного режима (60-95°C).

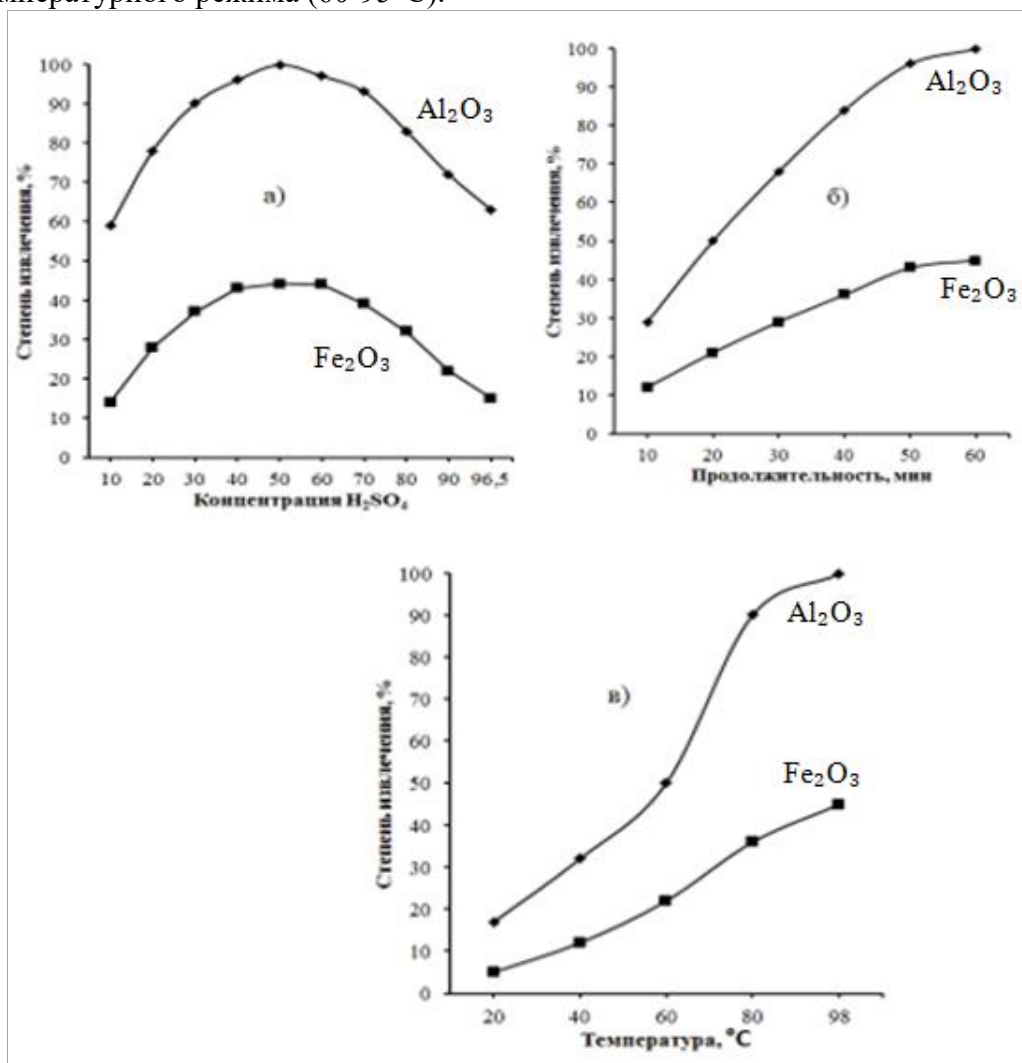


Рисунок 15. - Оптимизационные кривые извлечения оксидов: а) кислотность среды; б) продолжительность; в) температурный режим

Экспериментальные данные (рисунок 15а-в, таблица 4) демонстрируют чёткие закономерности процесса переработки нефелиновых сиенитов месторождения Турпи:

- По концентрационному фактору: пиковая эффективность достигается при 50% H_2SO_4 (извлечение Al_2O_3 99,8%, извлечение Fe_2O_3 44,91%), минимально эффективная концентрация 30% H_2SO_4 , критический порог 60% H_2SO_4 (наблюдается снижение селективности).

- По временному фактору: оптимальная продолжительность 60 мин, минимальное время для существенного извлечения 30 мин, кинетическое плато: после 45 мин обработки.

- По температурным характеристикам: при 98°C достигается максимальная эффективность, начало активации при 60°C, оптимальный эксплуатационный интервал 90-98°C.

Для достижения максимального извлечения Al_2O_3 (99,8+) при минимальном соизвлечении Fe_2O_3 (<45%) рекомендуется следующий режим: концентрация H_2SO_4 50±2%, температура 95-98°C, продолжительность 55-60 мин, размер частиц <100 мкм, соотношение Т:Ж: 1:3.

Оценка эффективности смешанного коагулянта из низкокачественного сырья относительно сульфата алюминия

Комплексный анализ показал, что применение нефелиновых сиенитов в качестве сырьевой базы позволяет получить раствор с содержанием оксида алюминия на уровне 5,5% и

оксида железа в пределах 0,5–1,0%. Такой состав демонстрирует потенциал для использования в качестве эффективного многокомпонентного коагулянта.

С целью количественной оценки коагулирующей способности проводился цикл лабораторных испытаний, в ходе которых варьировались ключевые технологические параметры: дозировка реагента (в г/л), показатели мутности и цветности обрабатываемой воды. В качестве модельной среды использовалась вода из поверхностных источников - рек Душанбинки и Варзоб. Все эксперименты были проведены при пониженных температурах, что позволило создать условия, приближенные к реальным.

На рисунке 16 сравнивается эффективность смешанного Al-Fe коагулянта (соотношение $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3=10:1$) и сульфата алюминия. Результаты показывают: при 5-10°C смешанный коагулянт превосходит сульфат алюминия по коагулирующей способности, оптимальная дозировка 10-150 мг/л безопасна (содержание металлов \leq ПДК); (рисунок 16а), время контакта 30 мин обеспечивает очистку 98,6% (против 97,2% у сульфата алюминия) при расходе реагента в 2-3 раза ниже (рисунок 16б).

Таким образом, смешанный Al-Fe коагулянт имеет ключевые преимущества сравнительно с сульфатом натрия – это высокая эффективность при низких температурах и экономия реагентов.

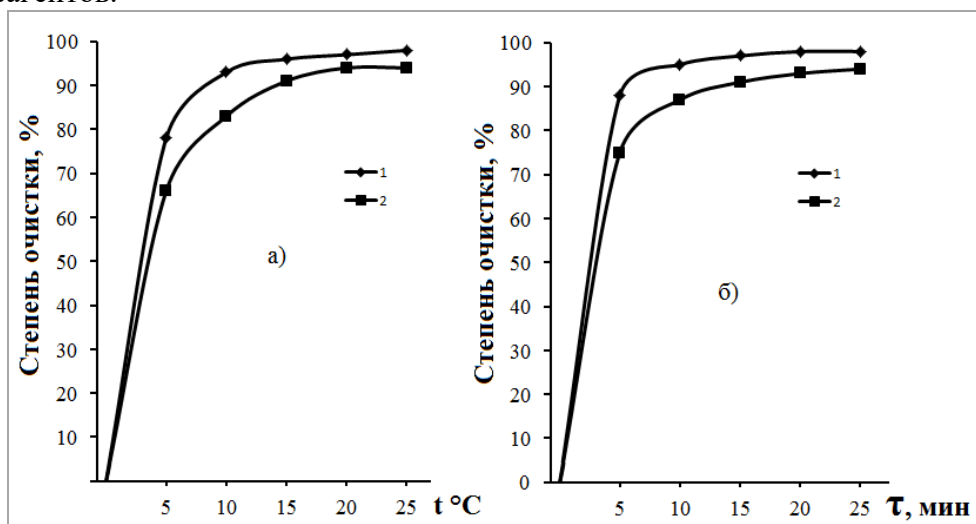


Рисунок 16. - Результаты сравнительных испытаний коагулянтов при варьировании: а) $T=5-25^\circ\text{C}$; б) $\tau=5-25$ мин (1 - смешанный коагулянт, 2 - сульфат алюминия)

Особенности кинетики кислотной переработки нефелиновых сиенитов месторождения Турпи с NaCl-активацией

В ходе исследования была изучена кинетика переработки нефелиновых сиенитов Турпийского месторождения (Таджикистан) методом спекания с NaCl с последующей сернокислотной обработкой.

Исследование профиля кинетических кривых (рисунок 17а) показало, что при оптимальных термодинамических условиях - температуре 98°C и продолжительности 60 минут - процесс деструкции железосодержащих соединений протекает с высокой интенсивностью, обеспечивая степень извлечения оксида железа 44,9%. При понижении температуры до 80°C наблюдается снижение растворимости железа, при этом его переход в жидкую фазу ограничивается диапазоном 34–36%.

Количественная интерпретация кинетики реакции была выполнена на основе модели реакции первого порядка, что позволило установить энергию активации процесса и разработать математическую модель, адекватно описывающую экспериментальные данные.

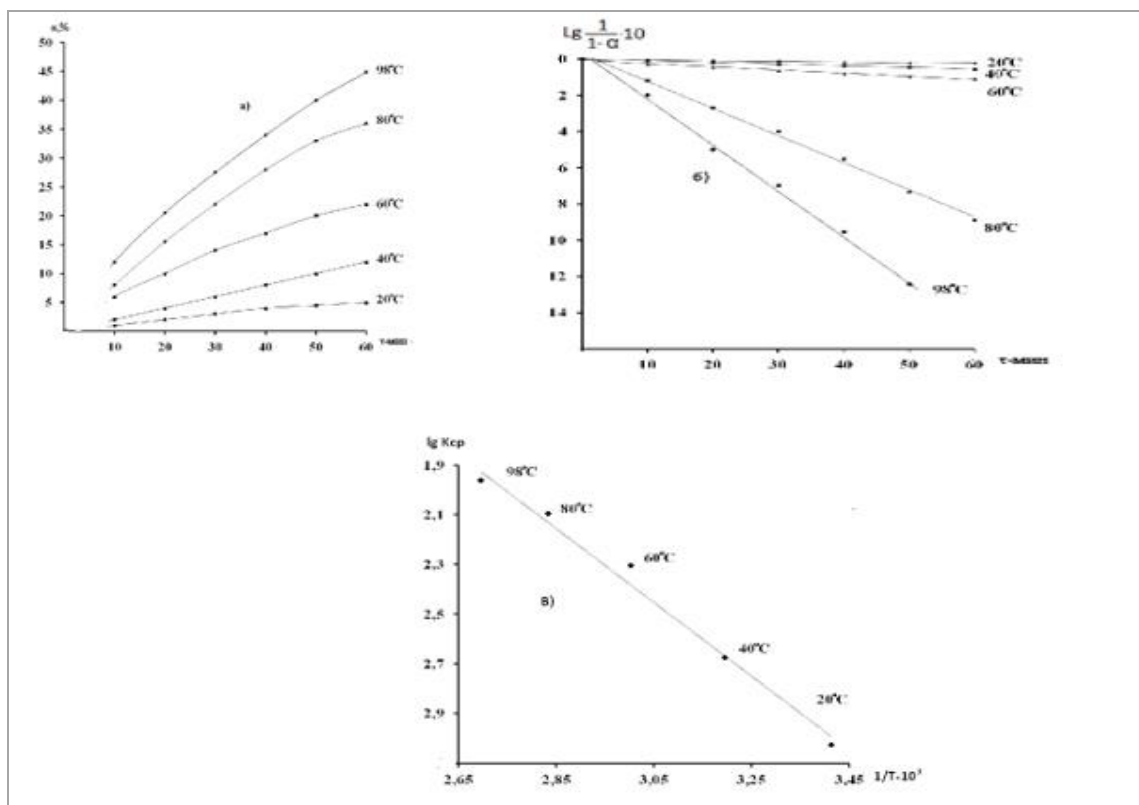


Рисунок 17. - Кинетика извлечения Fe_2O_3 при сернокислотной обработке нефелинового сиенита: а) зависимость степени разложения от времени; б) линейная форма кинетического уравнения; в) температурная зависимость константы скорости (50% H_2SO_4)

Кинетические исследования показали:

1. При 20-40°C кривые разложения линейны, выше 60°C – параболичны.
2. Процесс описывается уравнениями:
 - Основное кинетическое: $da/d\tau = K/(1-\alpha)$ (1).
 - Логарифмическая форма: $\lg(1-\alpha) = K\tau/2.303$ (2).
3. Анализ зависимости $\lg[1/(1-\alpha)] \cdot 10$ от времени (рисунок 17б):
 - Отрицательный наклон прямых = $-K/2.303$.
 - Константы скорости определялись по уравнению Аррениуса:

$$K = K_0 \cdot (E/RT) \quad (3).$$

$$\lg K = \lg K_0 - E/(2.303RT) \quad (4).$$

Соответственно, получены следующие результаты: энергия активации для $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 25.41$ кДж/моль, и процесс протекает в смешанной кинетической области, установлен переход от линейной к параболической кинетике при 60°C, подтверждена адекватность модели первого порядка, определены ключевые кинетические параметры процесса.

Экспериментальные данные (рисунок 18а) демонстрируют:

1. При 98°C и 60 мин обработки достигается 99.8% извлечение Al_2O_3 .
2. При 80°C степень извлечения снижается до 88-90%.

Кинетические особенности: в интервале 20-40°C наблюдается линейная зависимость, при температурах >60°C кинетики становится параболической, энергия активации процесса: 54.31 кДж/моль (рисунок 18в).

Математическое описание рисунка 16 основано на уравнениях (1)-(4). Высокое значение E_a (54.31 кДж/моль) указывает на смешанный кинетико-диффузионный режим.

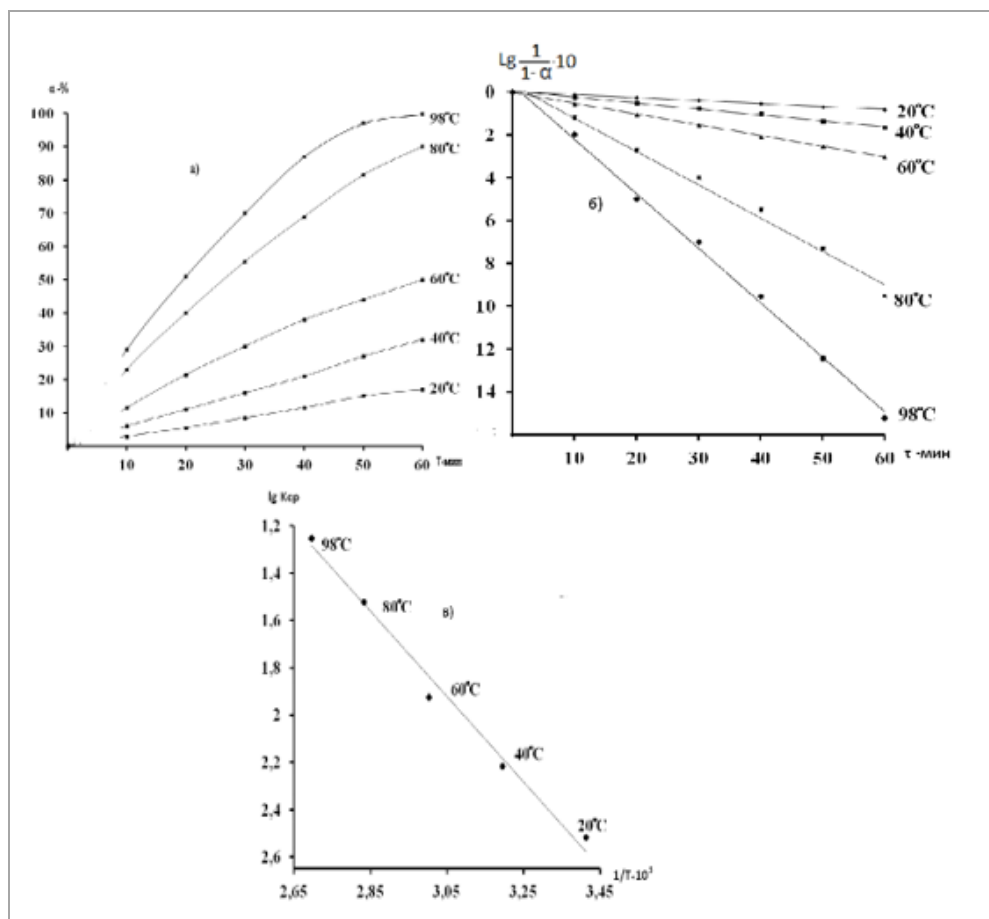


Рисунок 18. - Кинетика извлечения Al_2O_3 при сернокислотной обработке нефелинового сиеени: а) зависимость степени разложения от времени; б) линейная форма кинетического уравнения; в) температурная зависимость константы скорости (50% H_2SO_4)

Обсуждение результатов

Представленная работа охватывает хлорирование борного сырья и глинозёмсодержащих руд Таджикистана.

Ценными результатами является изучение хлорирования отдельных минералов боросиликатных руд, которые проводились впервые. Изучены зависимости степени извлечения ценного реагента BCl_3 из минералов данбурита и датолита. Хлорирование минерала данбурита начинается при 400°C и при 850°C степень извлечения оксида бора достигает 92%. Для минерала датолита хлорирование начинается при 450°C и при 950°C степень извлечения составляет 85%.

Разработана инновационная схема переработки боросодержащих минералов с использованием хлорных технологий, включающая следующие ключевые стадии: подготовка сырья, хлорирующий обжиг, улавливание и очистка продуктов. Схема адаптирована для промышленной реализации с учетом особенностей минерального состава месторождения Ак-Архар.

Изучено хлорирование минерала данбурита с $CaCl_2$ и сравнительный анализ спекания с другими реагентами. Обсуждается спекание борного сырья с натрий- и кальцийсодержащими реагентами.

В работе представлено низкотемпературное хлорирование сиаалитов. Получен хлорид железа и показано, что при низкотемпературном хлорировании получать соединения алюминия не эффективно.

Разработана комплексная технология хлорирования каолиновых глин месторождения Зидды, включающая ряд последовательных стадий.

Сравнительный анализ показал преимущества хлорного метода перед кислотными способами переработки: для каолинов Зидды достигается извлечение алюминия 92-95% при селективности Al/Fe 8-10 и снижении энергозатрат на 25-30%, тогда как для нефелиновых сиенитов извлечение алюминия составляет 88-90% с возможностью попутного получения хлоридов щелочных металлов. Разработанная универсальная технологическая схема включает модуль подготовки сырья, реактор хлорирования с кипящим слоем, систему многоступенчатой конденсации и узел регенерации хлора, что обеспечивает возможность комплексной переработки низкосортного алюмосиликатного сырья и выход востребованных соединений.

ВЫВОДЫ

1. Физико-химическими методами анализа определены химический и минералогический состав боро- и алюмосиликатных руд Таджикистана. Выявлено, что основными составляющими минералами являются датолит, данбурит, каолинит, кварц, полевопшпат, биотит и др. [1-А, 7-А, 9-А, 18-А, 21-А.].

2. Изучена термодинамика процесса хлорирования боро- и алюмосиликатных руд и получения хлоридов бора и алюминия, также проведён стехиометрический расчёт переработки борного сырья кислотой и расчёт используемых реагентов при разложении нефелиновых сиенитов с хлоридом натрия [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 7-А, 8-А, 9-А, 13-А, 15-А, 16-А, 18-А, 19-А, 22-А, 24-А, 25-А, 28-А.].

3. Показано, что данбурит в борных рудах хлорируется легче и быстрее, чем датолит, из-за различий в их кристаллической структуре. Данбурит имеет более рыхлую решетку, что облегчает доступ хлора, тогда как плотная структура датолита затрудняет процесс [1-А, 4-А, 5-А, 20-А, 29-А, 30-А.].

4. Изучено хлорирование минерала данбурита спеканием с хлоридом кальция и дан сравнительный анализ спекания с другими реагентами, такими как NaCl, NaNO₃ и Na₂SO₄. [1-А, 4-А, 5-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 17-А, 29-А, 30-А.].

5. Проведено низкотемпературное хлорирование сиаллитов и показано, что низкотемпературное хлорирование эффективно для выделения хлорида железа, но не подходит для получения AlCl₃ из-за разной реакционной способности оксидов [4-А, 5-А, 7-А, 8-А, 9-А, 18-А, 24-А.].

6. Разработана технология спекания руд с CaCl₂ с последующей кислотной обработкой, обеспечивающая извлечение: Al₂O₃ - 98.7% и Fe₂O₃ - 99.1%. Метод отличается высокой эффективностью и селективностью [1-А, 2-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 11-А, 12-А, 17-А, 18-А, 18-А, 21-А, 23-А, 24-А, 26-А, 28-А.].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- разработанные технологические схемы и методологические подходы, ориентированные на переработку боро- и алюмосиликатных минералов Таджикистана, рекомендованы к промышленному внедрению с целью получения ценных алюмо- и железосодержащих соединений;

- предложенная технология обеспечивает синтез коагулирующих реагентов, содержащих активные формы алюминия и железа, а также анионные компоненты - хлоридные и сульфатные группы. Такая композиция обеспечивает высокую эффективность реагентов при их применении в процессах очистки природных и сточных вод;

- разработанная схема хлорной переработки боросиликатного сырья позволяет получать стратегически важный химический агент - трихлорид бора (BCl₃), который служит исходным звеном для синтеза широкого спектра борсодержащих соединений, включая борогидриды щелочных металлов;

- в рамках безотходной переработки предусмотрено рациональное использование нерастворимого остатка, образующегося после кислотного разложения. Данный минеральный компонент может быть эффективно интегрирован в состав строительных смесей и материалов.

Список литературы

1. Маматов, Э. Д. Хлорирование данбурита месторождения Ак-Архар Таджикистана в присутствии смеси газообразного хлора и хлоридов серы / Э. Д. Маматов, П. М. Ятимов, У. М. Мирсаидов // В сб.: «Материалы семинаров: «2011 год - Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе, 2011. - С. 62-67.
2. Мирсаидов, У. М. особенности процесса хлорного разложения бор- и алюмосиликатных руд / У. М. Мирсаидов, Э. Д. Маматов, Х. С. Сафиев. – Душанбе: Дониш, 2013. – 74 с.
3. Мирсаидов, У. Комплексная переработка боратных руд Таджикистана / У. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2011. - № 2. – С 105-109.
4. Норматов, И. Ш. Об особенностях низкотемпературной плазмы в переработке феноло- и борсодержащих минералов / И. Ш. Норматов, У. М. Мирсаидов // Международная конференция «Физика плазмы и плазменная технология». – Минск, 1997. – С. 108.
5. Хлорирование данбурита месторождения Ак-Архар (Таджикистан) / Н. А. Ашуров, Э. Д. Маматов, А. Курбанов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2009. – Т. 52. - № 2. - С. 116-119.
6. Ятимов, П. М. Хлорирование данбуритового концентрата месторождения Ак-Архар Таджикистана / П. М. Ятимов, Э. Д. Маматов, У. М. Мирсаидов // В сб.: «Материалы семинаров: «2011 год Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе, 2011. - С. 71-73.
7. Процесс хлорирования данбурита с использованием углей Таджикистана / У. М. Мирсаидов, Э. Д. Маматов, У. Х. Усмонова [и др.] // Конференция «Комплексный подход к использованию и переработке угля»: Тезисы докладов. - Душанбе, 2013. - С. 149.

Список научных публикаций соискателя учёной степени по теме диссертации:

Монографии:

- 1-А. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исоев (А. М. Исозода)**, М. М. Тагоев, И. М. Рахимов, У. М. Мирсаидов. – Душанбе: Дониш, 2023. – 70 с.

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

- 2-А. **Исоев, А. М.** Термическая устойчивость минеральных руд Таджикистана, содержащих бор, алюминий и железо / М. М. Тагоев, **А. М. Исоев**, К. И. Неъматуллоев, С. К. Кодирзода, С. М. Досаев / Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 65. № 11-12. – С. 768-774.
- 3-А. **Исоев, А. М.** Особенности хлорирования отдельных минералов боросиликатных руд / А. М. Исоев, М. М. Тагоев, П. М. Ятимов, А. С. Курбонов, Р. С. Ёрмадов // Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 65. № 11-12. – С. 775-779.
- 4-А. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / А. М. Исоев // Доклады НАН Таджикистана. – 2023. – Т. 66. № 1-2. – С. 93-96.
- 5-А. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / М. М. Тагоев, А. М. Неъматуллоев, **А. М. Исоев**, Т. Б. Холматов, Д. Х. Мирзоев // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2023. - № 3 (192). – С. 80-84.
- 6-А. **Исоев, А. М.** Термодинамическая оценка процессов разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана минеральными кислотами и уксусной кислотой / И. М. Рахимов, Д. Х. Мирзоев, Т. Б. Холматов, **А. М. Исоев**, М. М. Тагоев // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2024. - № 1 (194). – С. 81-85.
- 7-А. **Исоев, А. М.** Термодинамический анализ процессов, протекающих при разложении нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исозода**, Х. Р. Рахмонов, И. М. Рахимов,

У Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2024. - № 4 (197). – С. 130-136.

8-А. **Исоев, А. М.** Сернокислотное разложение нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, Х. Р. Рахмонов, **А. М. Исозода**, И. М. Рахимов // Доклады НАН Таджикистана. – 2025. – Т. 68. № 1. – С. 64-68.

9-А. **Исоев, А. М.** Стехиометрический расчёт и разработка принципиальной технологической схемы переработки нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана при разложении серной кислотой с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, Х. Р. Рахмонов, **А. М. Исозода**, И. М. Рахимов, У. Х. Усмонова // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2025. - № 1 (198). – С. 93-98.

**Статьи, опубликованные в материалах научных конференций,
симпозиумов и семинаров:**

10-А. **Исоев, А. М.** Термическая устойчивость бор- и алюмосиликатных руд / Т. Б. Холматов, Д. Эшов, А. С. Давлатов, **А. М. Исоев**, К. И. Ньматуллоев // Республиканская научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвящённая 65-летию кафедры «Общая и неорганическая химия» и памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора химических наук, профессора Лутфулло Солиева. – Душанбе, 2023. – С. 67-73.

11-А. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе бора для водородной энергетики / У. М. Мирсаидов, **А. М. Исозода**, Ф. А. Назаров // Международная научно-практическая конференция, посвящённая 75-летию Таджикского национального университета и Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы). – Душанбе, ТНУ, 2023. – С. 49-54.

12-А. **Исоев, А. М.** Получение жидкого стекла из алюмосиликатных руд / А. М. Исоев, И. М. Рахимов, Т. Б. Холматов, К. И. Ньматуллоев, Д. Х. Мирзоев // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: проблемы и решения», посвящённая 20-летию образования Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана. – Гулистан, Таджикистан, 2023. – С. 136-138.

13-А. **Исоев, А. М.** Дифференциально-термический анализ борсодержащих минералов, как реагентов для защиты от нейтронов / А. М. Исоев, А. С. Курбонов, Р. С. Ёрматов, Х. Э. Пулатов, А. С. Давлатов // Там же. – С. 150-154.

14-А. **Исоев, А. М.** Синтез материалов для защиты от нейтронов / К. И. Ньматуллоев, А. С. Курбонов, **А. М. Исоев**, А. П. Тагаев, Б. Б. Баротов // Там же. – С. 156-160.

15-А. **Исоев, А. М.** Химическая безопасность при получении борных продуктов спекательным методом / А. С. Давлатов, А. С. Курбонов, Х. Э. Пулатов, **А. М. Исоев**, М. М. Тагоев, И. М. Рахимов // Там же. – С. 165-168.

16-А. **Исоев, А. М.** Химическая безопасность и производство химических веществ в Таджикистане / К. М. Назаров, **А. М. Исоев**, С. Кодирзода, И. М. Рахимов // Там же. – С. 172-174.

17-А. **Исоев, А. М.** Получение алюмогидридов металлов из алюмосиликатных руд / Ф. А. Хамидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, А. Бадалов, О. А. Азизов // XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты». – Душанбе, 2023. – С. 39-42.

18-А. **Исоев, А. М.** Получение глинозёма и оксида железа из алюмосиликатных руд спеканием с CaCl_2 / С. М. Гафорова, Х. Э. Пулатов, Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исоев**, Т. Б. Холматов // Там же. – С. 50-54.

19-А. **Исоев, А. М.** Получение борогидридов металлов для водородной энергетики / Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, Ф. А. Назаров, Х. А. Хисайнов, А. Бадалов // Там же. – С. 55-59.

20-А. **Исоев, А. М.** Оценка процессов разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана минеральными кислотами и уксусной кислотой / М. М. Тагоев, И. М. Рахимов, Т. Б. Холматов, **А. М. Исоев**, Д. Х. Мирзоев // Там же. – С. 57-60.

21-А. **Исоев, А. М.** Получение алюмогидридов металлов из алюмосиликатных руд / Ф. А. Хамидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, А. Бадалов, А. М. Исоев // Там же. – С. 61-64.

22-А. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе бора для водородной энергетики / У. М. Мирсаидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, Ф. А. Назаров // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвящённая 75-летию образования ТНУ и Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы). – Душанбе, 2023. – С. 46-48.

23-А. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе алюминия / У. М. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, А. Бадалов // Там же. – С. 48-50.

24-А. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение нефелиновых сиенитов / Д. Х. Мирзоев, И. М. Рахимов, **А. М. Исоев**, У. М. Мирсаидов // Международная научно-практическая конференция «Развитие новых направлений в химии и химической технологии», посвящённая памяти академика НАНТ, профессора Хайдара Сайфиева. – Душанбе, 2023. – С. 34-41.

25-А. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе бора для водородной энергетики / У. М. Мирсаидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, Ф. А. Назаров // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния», посвящённая 75 годовщине основания ТНУ, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя премии Международного Евразийского патентного Бюро и премии НАНТ имени С. Умарова, члена-корреспондента НАНТ, д. ф.-м. н., профессора Шарофидина Туйчиева. – Душанбе, 2023. – С. 72-74.

26-А. **Исоев, А. М.** Сравнительный анализ смешанного коагулянта, полученного из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья относительно сульфата алюминия / Д. Х. Мирзоев, И. М. Рахимов, **А. М. Исоев**, Х. Р. Рахмонов // XIX Нумановские чтения «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны». – Душанбе, 2024. – С. 38-41.

27-А. **Исоев, А. М.** Термическое разложение тетра- и гексаалюмината стронция / Д. Т. Исозода, А. Бадалов, У. М. Мирсаидов, А. М. Исоев // Вестник Института энергетики Таджикистана «Кушониён». – 2022. - № 3. – С. 5-9.

28-А. **Исоев, А. М.** Кинетика сернокислотного разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана, с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исозода**, Х. Р. Рахмонов, И. М. Рахимов // Журнал «Best Research CIS». – Актау. – Казахстан. – 2024. – С. 246-250.

Патенты и акты внедрения:

29-А. Малый патент № TJ 1489. Способ получения смешанного коагулянта из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья / **А. М. Исозода**, Д. Х. Мирзоев, Т. Б. Холматов, С. М. Гафорзода, К. И. Неъматуллоев, И. М. Рахимов, М. М. Тагоев, У. М. Мирсаидов. – 02.10.2023.

30-А. Акт о внедрении результатов НИР. Способ получения смешанного коагулянта из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья **А. М. Исозода**, Д. Х. Мирзоев, Т. Б. Холматов, С. М. Гафорзода, К. И. Неъматуллоев, И. М. Рахимов, М. М. Тагоев, У. М. Мирсаидов. – 26.07.2024.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
ИНСТИТУТИ ХИМИЯИ БА НОМИ В. И. НИКИТИН**

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК: 54 (575.3)

ББК: 35 (2 тадж)

И-87



ИСОЗОДА АКРАМ МУҲИБУЛЛО

**ТАҶЗИЯИ МАЪДАНҲОИ
БОР ВА АЛЮМОСИЛИКАТИИ ТОҶИКИСТОН БО УСУЛИ ХЛОРОНИДАН**

АВТОРЕФЕРАТИ
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ
доктори фалсафа (PhD), аз рӯи ихтисоси
6D060600 – Химия (6D060601 - Химияи ғайриорганикӣ)

Душанбе - 2025

Диссертатсия дар озмоишгоҳи «Коркарди комплекси ашё ва партовҳои саноатӣ»-и Институти кимиё ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро шудааст.

Рохбари илмӣ:

Мирсаидов Улмас, доктори илмҳои химия, профессор, академики АМИТ, ходими калони илмии Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядрой Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Такризгарони расмӣ:

Эшов Бахтиёр Бадалович, доктори илмҳои техникӣ, дотсент, директори Муассисаи давлатии илмии Маркази тадқиқоти технологияҳои инноватсионии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Зоиров Хусайн Абдурахмонов, номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи «Химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ»-и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ.

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Ҳимоя рӯзи «14» январи соли 2026, соати 11-00, дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-042 назди Институти химия ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядрой АМИТ бо суроғаи: 734063, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ 299/2 баргузор мегардад, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, тел.: +992934366463,.

Бо матни диссертатсия дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти химия ба номи В.И. Никитини АМИТ www.chemistry.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат рӯзи «_____» _____ соли 2025 ирсол гардид.

Котиби илмӣ Шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ



Ҳамидов Ф.А.

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзуъ ва зарурияти гузаронидани таҳқиқот.

Азхудкунии захираҳои маҳаллии маъданҳои пастсифати алюминии аз кремнезем гани гардида, дар рушди ашёи хоми минералии ҷумхури ба самти аҳамияти баланддошта табдил ёфта истодааст. Ба мураккабии таркиб ва паст будани ҷузъҳои мақсадноки ҷунин маъданҳо нигоҳ накарда, онҳо дар шароити истифодабарии усулҳои замонавии коркард метавонанд сарчашмаи арзишноки алюминия бошанд. Вазифаи асосӣ - ин таҷзияи таркиби устувори минералӣ бо истихроҷи оксидҳо ва моддаҳои дигари фойданок мебошад, ки имконияти ба истеҳсолот ҷалб намудани захираҳои истифоданашударо фароҳам меоварад.

Таҳқиқоти илмӣ барои муайянкунии аз ҷиҳати технологӣ коршоям будани намудҳои гуногуни ашёи хом, инчунин, ба омӯзиши равандҳои химиявии ба коркарди он мувофиқаткунанда мутамарказ кунонида шудааст. Таваҷҷуҳи махсус ба хлоркунонии аргиллитҳо-усуле, ки ҳангоми истихроҷи алюминия ва дигар элементҳо аз ҷинсҳои мураккаби алюмосиликатӣ, зоҳир карда мешавад. Муқаррарсозии қонуниятҳои ин реаксияҳо имконият медиҳад, ки параметрҳои коркард муносиб ва даромаднокии он баланд карда шаванд.

Мувозӣ ба ин, ба минералҳои элементҳои бордошта, ки спектри васеъи истифодабарӣ доранд, майлу рағбат меафзояд. Пайвастагиҳои элементҳои бор дар бахшҳои гуногун: дар саноат-барои истеҳсоли шишаи ба оташ тобовар, керамикаи техникӣ ва маводҳои ба оташ тобовар, дар соҳаи кишоварзӣ - ҳамчун микроэлемент дар ҳайати нуриҳои маъдани ба афзоиши растаниҳо мусоидаткунанда, дар тиб – дар шакли маводҳои антисептикӣ ва препаратҳои фармакологӣ, истифода мегарданд.

Наздиқшавии комплексӣ ба коркарди ашёи хоми элементҳои бор имконият медиҳад, ки на танҳо захираҳои дастрас васеъ карда шаванд, балки, самтҳои нави ҳосилкунии маводҳои элементҳои бор кушода шаванд, ки барои рушди истеҳсолоти баландтехнологӣ асос мегузорад ва иқтисодии содиротии мамлакатро меафзояд. Бо инобати гуногуншаклии истифодабарии пайвастагиҳои борӣ ва афзоиши талабот ба онҳо, азхудкунии қони Ак-Архари Тоҷикистон на танҳо ба мақсад мувофиқ аст, балки қадами зарурӣ барои васеъкунии истеҳсолот ва таъмини рушди устувори соҳаҳои гуногуни иқтисодиёт мебошад. Сармоягузориҳои барои коркарди он метавонанд ба иқтисодиёти минтақа таъсири мусбат расонида, ҷойҳои қори навро таъмин созанд.

Дар қори диссертатсионии мазкур масъалаи коркарди комплекси маъданҳои алюмо ва боросиликатӣ бо усули хлорӣ ва истифодаи реагентҳои хлордор баррасӣ гардидааст.

Дарачаи омӯзишии проблемаи илмӣ. Дар солҳои охир дар Институти химияи ба номи В. И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон таҳқиқот оид ба коркарди ҳамгирошудаи маъданҳои бор- ва алюмосиликат, аз ҷумла бо усулҳои хлоронӣ ва кислотагӣ, гузаронида шудаанд [1-7]. Ин нишон медиҳад, ки саъю кӯшиши амиқ ва дарозмуддат барои омӯзиши захираҳои маҳаллӣ вучуд аст. Бо вучуди ин, таҳқиқот дар соҳаи технологияи хлории маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ нокифоя мебошад, чунки дар раванди хлорикунони ашёи хом маводҳои зиёди ғайриасосии дуҷумдараҷа ҳосил мешавад ва ҳуди раванди мазкур интиҳоби параметрҳои оптималиро талаб менамояд. Хлоркунонии минералҳои алоҳидаи бор гузаронида нашудааст.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳои илмӣ (лоиҳаҳо) ва ё мавзуъҳои илмӣ. Тадқиқоти диссертатсионӣ дар озмоишгоҳи коркарди ашёи хоми минералӣ ва партовҳои Институти химияи ба номи В. И. Никитини АМИТ дар асоси ду лоиҳа: «Таҳияи усулҳои селективии таҷзияи маъданҳои серсиликати бор ва алюминии Тоҷикистон», рақами қайди давлатӣ 0116 ТҶ 00541 ва «Принсипҳои физикӣ-химиявӣ ва технологияи ба даст овардани пайвастагиҳои бор, алюминий, нуриҳои минералӣ, коагулянтҳо, ҷинӣ ва масолеҳи сохтмонӣ», рақами қайди давлатӣ 0121 ТҶ 1147 анҷом дода шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мақсади кори мазкур, коркарди усулҳои самарабахши ҳосил намудани пайвастагиҳои хлории бор, алюминия, оҳан ва дигар моддаҳои арзишманд барои эҳтиёҷоти техникаи нав ва ҳосил намудани маводҳои энергияғунҷоишашон баланд аз пайвастагиҳои хлории бор ва алюминия мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- баргузориҳои хлорикунони минералҳои алоҳидаи ашёи хоми элементҳои бор бо мақсади ҳосилкунии трихлориди бор – маводи зарурии мобайнӣ барои синтези оянда пайвастагиҳои элементҳои бор;

- омӯзиши ба оташ тобовариҳои маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ, аз он ҷумла, таҳлили хусусиятҳои физико-химиявии онҳо, коркард баъди коркарди термикӣ;

- амаликунии равандҳои таҷзияи хлории чинсҳои алюмосиликатӣ бо арзёбии муқоисавии самаранокии хлорикунонӣ дар муносибат бо навъҳои дигари ашёи хоми алюминия;

- ҳосил намудани маводҳои энергияғунҷоишашон баланд дар асоси моддаҳои дар натиҷаи хлорикунониҳои маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ, бо ояндабинии истифодаи онҳо дар бахшҳои гуногуни технологӣ;

- коркарди усулҳои раванди табдилёбии маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ ба массаи ҳамчинсаи саҳт тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо (спекание), барои истихроҷи компонентҳои арзишманд ва ҳосил намудани маводҳои саноатии дорои арзиши иловагии баланд.

Объекти таҳқиқот: Коркарди маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ бо усули хлорӣ ва табдилёбии маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ ба массаи ҳамчинсаи саҳт тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо, тавассути баъзе реагентҳои хлордор мебошад.

Мавзӯи (предмет) таҳқиқот: Коркарди усулҳои самарабахш ва муайянкунии параметрҳои оптималии маҳсулбарории ашёи хоми бор ва алюмосиликатӣ бо мақсади ҳосилкунии пайвастагиҳои хлоридӣ ва ба даст овардани маводҳои энергоғунҷоишашон баланд аз баъзе пайвастагиҳои хлории ҳосилшуда.

Навигарии илмӣ таҳқиқот:

- раванди термодинамикии таҷзияи маъданҳои алюмо ва боросиликатӣ бо усули хлорӣ арзёбӣ гардидааст;

- параметрҳои оптималии раванди коркарди ашёи хом, аз ҷумла, речаҳои ҳароратӣ, таркиби муҳити реагентӣ ва давомнокии давраҳои алоҳида ёфта шудаанд. Механизми ҷараёни равандҳои асосии физико-химиявӣ муайян карда шудаанд;

- нақшаҳои технологияи коркарди маъданҳои мураккаби алюмосиликатӣ ва боросиликати ба самти баланд бардоштани дараҷаи истихроҷи маводҳои фойданок равонашуда, коркард ва аз таҷриба гузаронида шуданд. Нақшаҳои пешниҳодшуда барои оптимизатсияи даврии истеҳсолот мусоидат намуда, метавонанд, ки барои мувофиқкунони навъҳои гуногуни ашёи хом, бо таркиби минералии бо ҳам монанд, истифода шаванд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ амалии таҳқиқот. Механизмҳои ҷараёни раванди ҳосилкунии пайвастагиҳои хлорӣ ва аз онҳо ба даст овардани моддаҳои энергоғунҷоишашон баланд, коркард гардидаанд. Эҳтимолияти ҷараёни равандҳои хлорӣ тавассути арзёбии термодинамикии таҷзия, муайян карда шудааст.

Аҳамияти амалии кор дар наздикшавӣ ба раванди хлоркунонӣ бо хлор ва маводҳои хлордор ва хлоркунони минералҳои алоҳидаи ашёи хом таҷассум ёфтааст. Механизмҳои раванди хлоркунонӣ муайян карда шудаанд.

Нуктаҳои ба ҷимоя пешниҳодшаванда:

- натиҷаҳои устувориҳои термикии маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ;

- натиҷаҳои арзёбии термодинамикии раванди хлоркунони маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ;

- хлоркунони минералҳои алоҳидаи маъданҳои боросиликатӣ;

- хлоркунонии маъданҳои алюмосиликатӣ (сиаллитҳо, гили каолинӣ);
- механизмҳои ҷараёни раванди хлоркунонӣ ва кинетикаи раванди таҷзияи маъданҳои алюмосиликатӣ ва табдилёбии маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ ба массаи ҳамчинсаи саҳт тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо, тавассути баъзе реагентҳои хлордор;
- коркарди нақшаҳои технологияи ҳосилкунии маводҳои хлорӣ ва моддаҳои энергоғунҷошашон баланд.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо. Эътимодияти натиҷаҳои ба дастмада тавассути баргузориҳои силсилаи санҷишӯ озмоишҳо, инчунин таҳлили химиявии якҷанд намунаҳо тасдиқ гардидааст, ки барои соқит намудани инҳирофи тасодуфӣ имконият додааст. Коркарди натиҷаҳо бо истифодаи барномаи таъмини махсусгардонидашуда, ки барои интерпретатсияи статикӣ ва графикаи маводҳои эксперименталӣ таъин шудаанд, гузаронида шудааст.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ (формула ва самти тадқиқот). Кори диссертатсионӣ ҷанбаҳои химиявии раванди хлоронии ашёҳои хомро дар бар мегирад.

Соҳаи тадқиқоти рисола ба муқаррароти зерини шиносномаи ихтисоси 6D060600 – Химия (6D060601 - Химияи ғайриорганикӣ) мувофиқат мекунад:

Банди 1. Асосҳои ба даст овардани объектҳои тадқиқотӣ ва мавод дар асоси онҳо;

Банди 4. Қобилияти реаксионии пайвастагиҳои ғайриорганикӣ дар ҳолатҳои гуногуни агрегатӣ ва шароити экстремалӣ;

Банди 5. Алоқамандӣ байни таркиб, сохтор ва хосиятҳои пайвастагиҳои ғайриорганикӣ. Маводҳои наноструктурии ғайриорганикӣ.

Саҳми шахсии докталаби дарёфти дарачаи илмӣ дар таҳқиқот. Ҳамаи марҳилаҳои калидии тадқиқотро, аз таҳияи ҳадафҳо то таъбиқи амалии расмиёти таҷрибавӣ, дар бар мегирад. Муаллиф мустақилона ҳадафҳои илмиро таҳия кардааст, ки самт ва сохтори тадқиқотро бо назардошти аҳамияти мавзӯ ва камбудии мавҷудаи илмӣ муайян мекунад. Ҷамъоварӣ, ба низомдорӣ ва таҳлили ҳамаҷонибаи манбаъҳои адабиёти ватанӣ ва хориҷӣ гузаронида шуд. Таҳқиқоти таҷрибавӣ барои гузаронидани таҷзияи хлори ашёи хоми минералӣ ҷамъоварӣ ва мутобиқ карда шуд. Як қатор таҷрибаҳои озмоишгоҳӣ, аз ҷумла параметрҳои гуногуни раванд, сабти нишондиҳандаҳо ва назорати шароити таҷрибавӣ гузаронида шуданд. Маълумоти бадастовардашуда барои муайян кардани қонуниятҳо ва тасдиқи фарзияҳо ба коркарди математикӣ, таҳлили омӯрӣ ва тафсир дучор карда шуданд.

Ҳамаи давраҳои калидии кори илмӣ – аз тасвияти ҳадафҳо то азхудкунии амалии таҷрибаву озмоишҳои эксперименталиро дар бар мегирад. Аз ҷониби муаллиф мустақилона масъалаҳои илмӣ ва таркиби таҳқиқот, бо инбати мубрамиати мавзӯ ва ҷойҳои холии мавҷудаи он, тасвир ёфтааст.

Тасвир ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Мавқеи калидии кори диссертатсионӣ дар як қатор форумҳои илмӣ пешниҳод ва баррасӣ гардида, дар маводҳои аз арзёбии эксперти гузашта таҷассум ёфтаанд, аз ҷумла:

Байналмилалӣ: «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: проблемы и решения» (Гулистан, Таджикистан, 2023); «Современные проблемы физики и химии полимеров» (Душанбе, ТНУ, 2023); XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты» (Душанбе, 2023); «Развитие новых направлений в химии и химической технологии», посвящённой памяти академика НАНТ, д.х.н., проф. Х. Сафиева (Душанбе, 2023); «Современные проблемы физики конденсированного состояния», посвящ. 75-летию ТНУ, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя Премии международного Евразийского патентного Бюро и Премии НАН Таджикистана имени С. Умарова, чл.-корр. НАН Таджикистана, д.ф.-м.н., проф. Ш. Туйчиева (Душанбе, 2023); XIX Нумановские чтения «Развитие

фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны» (Душанбе, 2024);

Чумхуриявӣ: «Ҳолати муосир ва дурнамои таҳлили физикию химиявӣ» (Душанбе, 2023).

Интишорот аз рӯи мавзуи диссертатсия. Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ дар 30 интишорот, аз ҷумла 1 монография, 8 мақолаҳо дар нашриётҳои илмӣ аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда, 19 маводҳои ба конференсияҳои илмӣ байналмилалӣ ва ҷумхуриявӣ пешниҳодшуда, инъикос гардидаанд. Муаллиф соҳиби 1 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон оиди ихтироот ва Санад дар бораи татбиқсозии КИИ мебошад.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Кори диссертатсионӣ аз се боби асосӣ иборат буда, дорои чунин элементҳои таркибӣ мебошад: қисми муқаддимаӣ, қисмати таҳлилӣ бо шарҳи интишороти илмӣ дар бораи проблемаи баррасишаванда, гузориши ботафсиلى усулҳо ва натиҷаҳои озмоишӣ-экспериментҳо, инчунин қисмати хотимаӣ бо ҷамъбасти хулосаҳои тавассути маводҳои эмпирикӣ тасдиқшуда. Ҳаҷми умумии дастанвис 175 саҳифаро (чопи компютерӣ) ташкил медиҳад, ки дар он 59 элементҳои графикӣ (нақшаҳо, диаграммаҳо, тасвирҳо), 16 ҷадвал бо натиҷаи таҳқиқоти амалӣ, 129 таркиботи библиографӣ бо рӯйхати адабиёти истифодашудае, ки бунёди назариявӣ ва методологияи корро дар бар гирифтаанд, ҷойгиранд.

МУҲТАВОИ АСОСИИ КОР

Дар **муқаддима** мубрамияти мавзӯ асоснок шуда, ҳадаф ва вазифаҳои кори диссертатсионӣ тасвирот ёфта, аҳамияти илмӣ ва амалии он дарҷ гардидааст.

Дар боби якум маълумотҳои адабиётӣ оид ба хлоркунонии маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ пешниҳод шудаанд.

Дар боби дуюм бо усули таҳлили химиявӣ хусусиятҳои физикавӣю химиявӣ маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ муайян ва натиҷаҳои арзёбии термодинамикии таъзияи маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ оварда шудаанд.

Дар боби сеюм хусусиятҳои хлоркунонии ашёи хоми элементҳои бор ва маъданҳои алюмосиликатӣ мавриди омӯзиш қарор дода шудаанд. Нақшаи технологияи усули хлорӣ коркард шудааст. Самаранокии коагулянти маъзулшуда аз ашёи хоми пастсифат арзёбӣ гардидааст. Кинетикаи раванди табдилёбии маъданҳои NaCl ба массаи ҳамчинсаи саҳт тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо мавриди омӯзиш қарор дода шудааст.

Дар боби ҷаҳоруми қисми хотимавӣ кор раванди хлоркунонии ашёи хом баррасӣ гаштааст.

ҚИСМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛӢ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКАВӢЮ ХИМИЯВӢИ МАЪДАНҲОИ БОРОСИЛИКАТӢ ВА АЛЮМОСИЛИКАТӢ

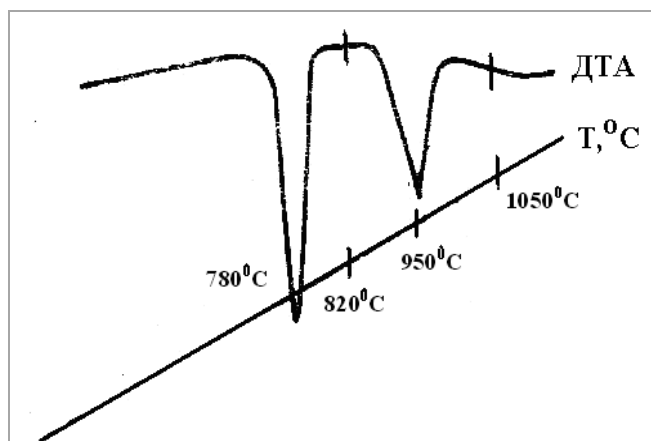
Таҳлили дифференциалӣ-термикӣ (ТДТ) ва рентгенофазаи (ТРФ) ашёи хоми боросиликатӣ

Дар ин қисми кор ТДТ ва ТРФ-и ашёи хоми элементҳои бор мавриди омӯзиш қарор дода шудаанд. Таҳқиқоти термикӣ дар дериватографи модели Q-1000, ки аз рӯи системаи Паулика–Эрдей коркард шуда, сабти дақиқи зухуроти гармоиро, ки табдилёбии химиявӣ ва фазаиро пайгирӣ менамояд, гузаронида шудааст.

Дар термограммаи ҳосилшудаи ашёи хоми элементҳои бор (расми 1) ду хусусияти эффекти эндотермикӣ ҳаммонанд карда шудаанд:

– кулла ҳангоми 780°C, мувофиқ ба раванди дегидрататсия ва дур кардани оби таркибан пайваست;

– кулла ҳангоми 950°C, алоқаманд ба таъзияи термикии компоненти минералии асосӣ – данбурит.

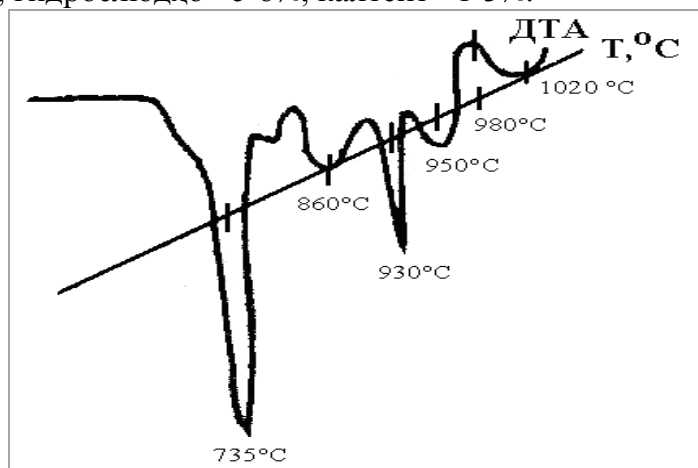


Расми 1. -Натиҷаи таҳлили ашёи хоми аввалияи данбурит

Ҳангоми гузаронидани таҳлили дифференциалӣ-термикии концентрати боросиликатӣ (расми 2) бо суръати гармшавии $5^{\circ}\text{C}/\text{дақ}$ эффектҳои гармоии зерин ба қайд гирифта шуда буданд:

- қуллаи эндотермикӣ ҳангоми 735°C соотвествует ба раванди дегидратация бо дур кардани оби таркибан пайваст;
- силсилаи эндоэффектҳои сустзохиршуда ҳангоми 860 , 950 ва 1020°C , эҳтимолан, алоқаманд аст бо: обшавии фазаҳои минералии алоҳида, табилёбии фазавии компонентҳо, таҷзияи пайвастагиҳои мураккаби элементи бор дошта.

Таҳқиқот бо усули ТРФ имконият дод, ки таркиби ашёи хоми аввалияи элементи бори кони Ак-Архарро ҳаммонанд-идентификатсия кунем. Ба минералҳои асосии маъданташаккулдиҳанда дохил мешаванд: кварц - $35\text{-}45\%$, данбурит - $20\text{-}30\%$, монтмориллонит - $10\text{-}15\%$, датолит - $5\text{-}10\%$, пироксенҳо - $3\text{-}7\%$, гранат - $2\text{-}5\%$, гидроборацит - $3\text{-}5\%$, гидрослюдаҳо - $5\text{-}8\%$, калтсит - $1\text{-}3\%$.



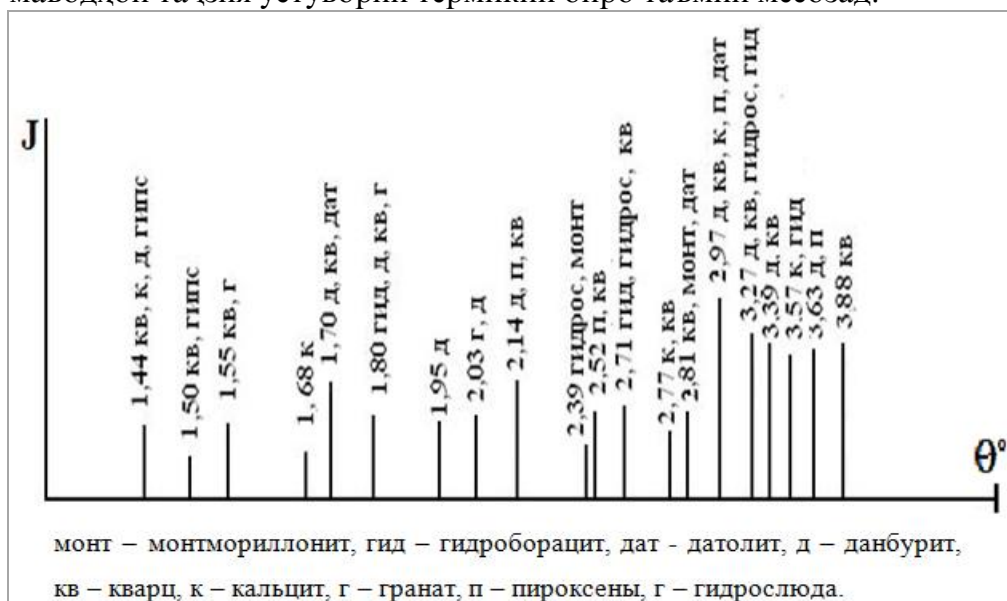
Расми 2. - Натиҷаи таҳлили термикии концентрати ашёи хоми данбурит

Натиҷаҳои ТРФ-и концентрати данбурит, ки дар расмҳои 3 ва 4 нишон дода шудаанд, нишон медиҳанд, ки то сурохкунӣ фазаҳои бартаридошта данбурит ва кварц мебошанд, инчунин, минералҳои дуумдараҷа низ ҳозиранд (калтсит, монтмориллонит), ҳуди намуна бошад, булурии хуб дорад.

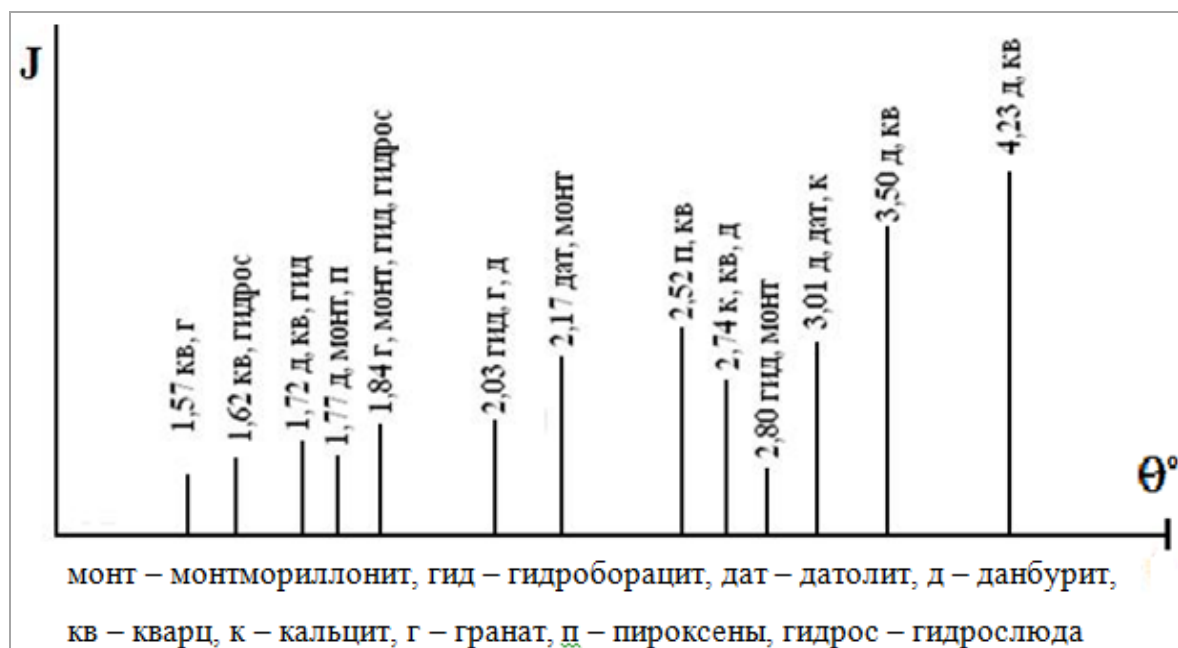
Баъди сурохкунӣ ҳангоми $950\text{-}980^{\circ}\text{C}$ нестшавии пурраи рефлексҳои данбурит ва пайдошавии пайвастагиҳои нав рух медиҳад, ба монанди: борати калтсий, волластонит ва кристобалит ва пастшавии шиддатноки қуллаҳо, ки деградацияи таркиби кристаллиро нишон медиҳад.

Ҳарорати хатарноки таҷзияи данбурит дар ҳудуди $950\text{-}980^{\circ}\text{C}$ қарор дошта, маводҳои таҷзияи термикӣ ҳам фазаҳои кристаллӣ ва ҳам аморфиро дар бар мегиранд.

Коркарди термикӣ ба бозсозии назарраси таркиби минерали меорад ва нигоҳдории кварцс дар маводҳои таҷзия устувории термикӣ онро таъмин месозад.



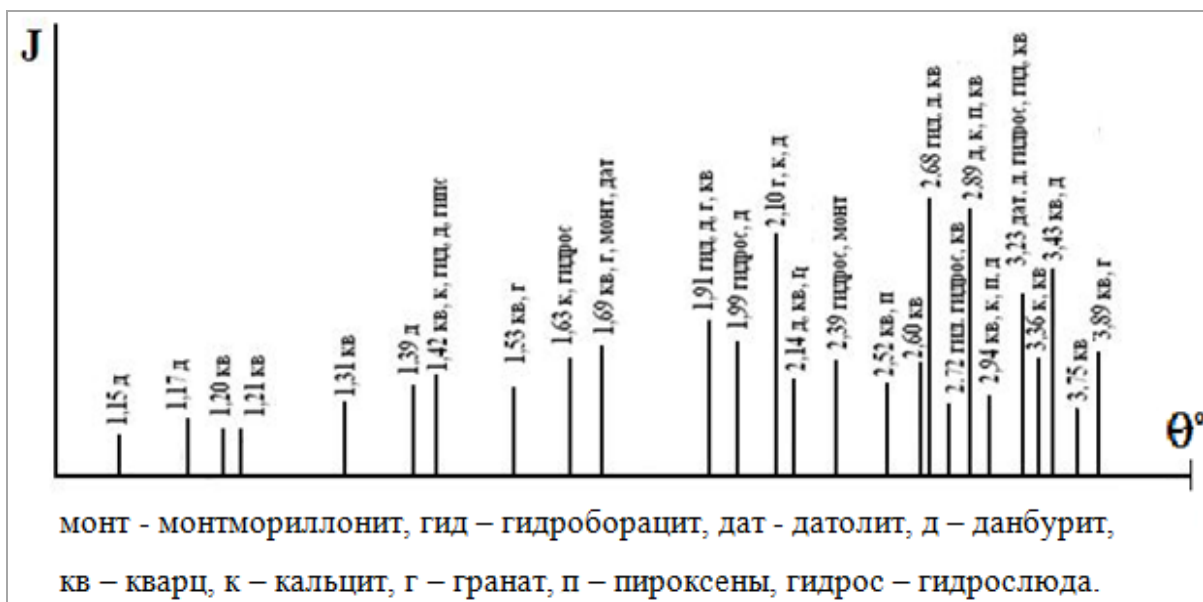
Расми 3.- Ҳаммонандкунии фазаҳо дар данбурити аввалия аз рӯи штрих-диаграмма



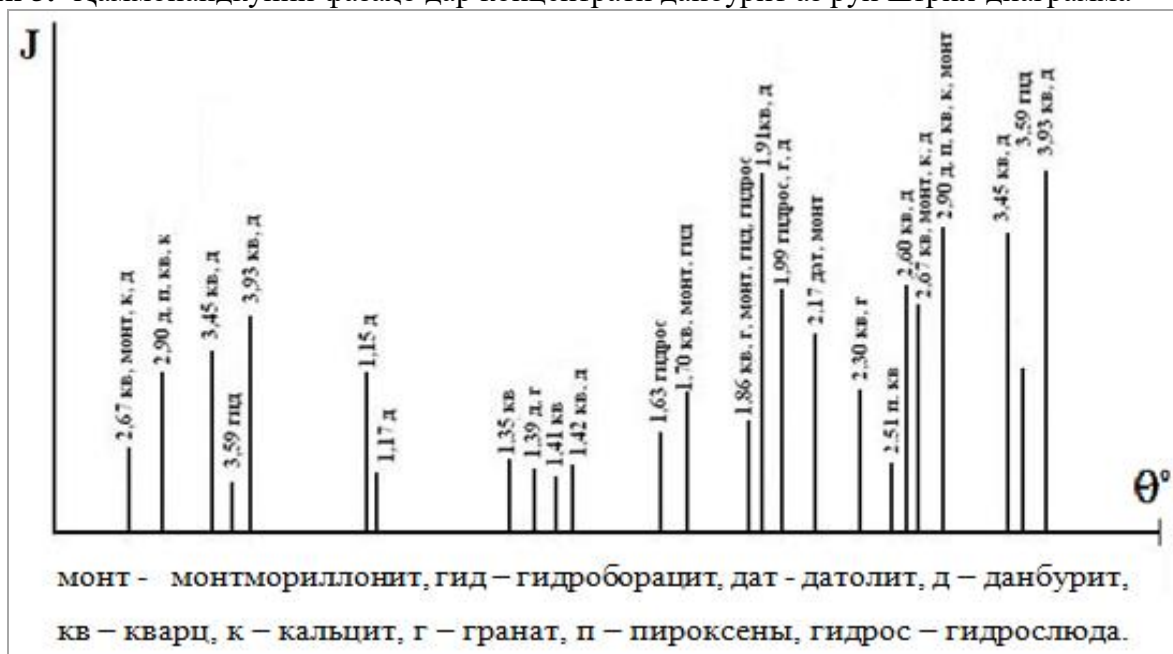
Расми 4.- Ҳаммонандкунии фазаҳо дар данбурити термокоркардшуда аз рӯи штрих-диаграмма

Таҳлили муқоисавии рентгенограммаи данбурит (расмҳои 3 ва 4) ва концентрати данбурит (расмҳои 5 ва 6) пурра ба ҳам рост омадани қуллаҳои дифраксионии мувофиқи бор, алюминий ва фазаҳои минералии оҳандорро нишон дод, ки аз нигоҳдории таркиби кристалии онҳо дар раванди ғанигардонӣ, шаҳодат медиҳад. Табдилёбии таркибии компонентҳои алюмосиликатӣ ҳангоми коркарди баландҳароратӣ дар ҳудуди 950-1000°C, таваҷҷуҳи хоссаро нишон медиҳанд.

Дар рафти таъсирасонии термикӣ трансформатсияи ҷузъии монтмориллонит ва гидрослюд ба муллит - фазаи алюмосиликати баландҳарорат ба амал меояд, ки бо пайдоиши рефлексҳои махсус дар рентгенограммаҳо ва тағйирёбии шиддатнокии онҳо, тасдиқ мегардад.



Расми 5. -Хаммонандкунии фазаҳо дар концентрати данбуриг аз рӯи штрих-диаграмма

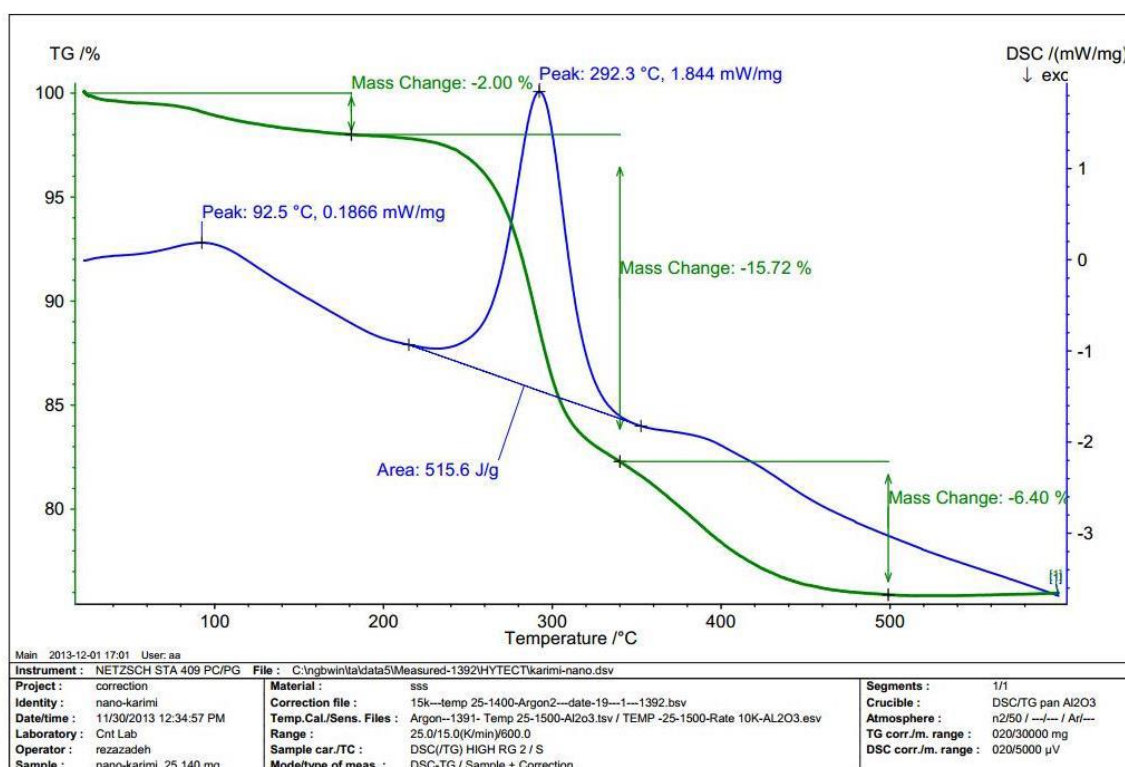


Расми 6.- Хаммонандкунии фазаҳо дар концентрати данбуриг пешакӣ термокардшуда аз рӯи штрих-диаграмма

ТАҲЛИЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛӢ - ТЕРМИКӢ (ТДА) ВА ТАҲЛИЛИ РЕНТГЕНӢ - ФАЗАВИИ (ТРФ) СИАЛЛИТҲО ВА ГИЛИ КАОЛИНӢ

Дастгоҳҳои муосири ТДА-ро тез-тез бо дигар усулҳои таҳлили термикӣ, ба монанди термогравиметрия (ТГ) ва ё калориметрияи дифференсиалии нухабардор (КДН) ба тарзи муштарак истифода мебаранд, ки барои ба даст овардани хусусиятҳои пурратари намунаҳои омӯхташаванда имконият медиҳад.

Мо ба сифати намуна ТДА барои сиаллитҳоро пешниҳод менамоем (расми 7).



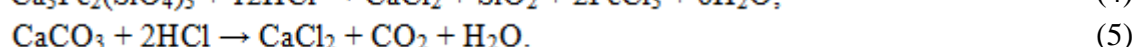
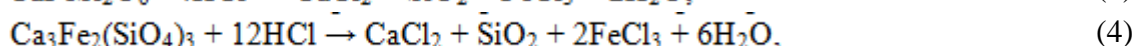
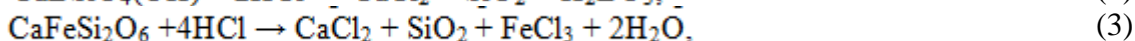
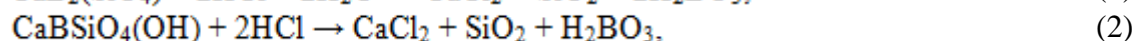
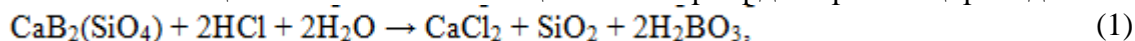
Расми 7. -Натиҷаҳои таҳлили дифференциалӣ- термикии (ТДТ) сиаллитҳо ТРФ-и сиаллитҳо ва гилҳои каолиний бо маълумотҳои адабиётӣ мувофиқ мебошанд

АРЗЁБИИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ТАҶЗИЯИ АШЁИ ХОМИ БОРОСИЛИКАТӢ БО УСУЛИ ХЛОРИӢ

Таҳқиқоти термодинамикии реаксияҳои табдилёбии маъданҳои бори кони Ак-Архар ба массаи ҳамчинсаи саҳт тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо (спекание), бо иловаи хлориди калтсий табдилёбиҳои мураккаби химиявии вобаста ба таркиби бисёркомпонентаи ашёи хоми минерализиро ошкор кард. Маводи таҳлилшаванда бо ҳузури якчанд фазаҳои элементи бордошта, аз ҷумла: данбурит $\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, датолит $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$ ва гидроборатсит $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, инчунин, минералҳои силикатӣ – пироксенҳои вобастабуда $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$, гранат $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ва пайвастиҳои карбонии калсит CaCO_3 , тавсиф мегардад.

Таҳқиқоти термодинамикии реаксияҳои табдилёбии маъданҳои бори кони Ак-Архар ба массаи ҳамчинсаи саҳт тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо (спекание), бо иловаи хлориди калтсий нишон дод, ки минералҳои аввалия бо кислотаи намаки ошӣ таъсири мутақобила доранд. Маълумоти дар ҷадвали 1-2 овардашуда аломати мусбати энергияи Гиббсро (ΔG) барои ҳамаи реаксияҳои таҷзияи маъдан бо HCl , намоиш медиҳанд.

Реаксияҳои асосии химиявии ҳангоми қорқарди термикӣ ҷараёndoшта инҳоянд:



Ба раванди ба ҳамдигар таъсиррасонии минералҳои маъдани боросиликатӣ бо кислотаи намаки ошӣ тавачҷуҳи хосса дода шуда, параметрҳои мувофиқ дар ҷадвали 3 таркиббандӣ шудаанд.

Чадвали 1.- Ҳисобкунии параметрҳои энергетикӣ ба ҳамдигар таъсиррасонии фазаҳои боросиликатӣ бо HCl

Реакции	ΔH_{298}^0 , кДж/моль	ΔS_{298}^0 , Дж/моль · град.	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
(1)	1.245x10 ³	—32.36	1.254x10 ³
(2)	3.50x10 ²	63,62	3.312x10 ²
(3)	1.237x10 ³	59.48	1.220x10 ³
(4)	2.764x10 ³	98.72	2.735x10 ³
(5)	4.11x10 ²	233.23	3.428x10 ²

Чадвали 2 . Вобастагии ҳароратии энергияи стандартӣ Гиббс (ΔG^0) барои реаксияҳои хлоркунонӣ (1)-(5), кДж/моль

Реак-сияҳо	ΔG_{298}^0	ΔG_{308}^0	ΔG_{318}^0	ΔG_{328}^0	ΔG_{338}^0	ΔG_{348}^0	ΔG_{358}^0	ΔG_{368}^0
(1)	1.254x10 ³	1.255x10 ³	1.255x10 ³	1.255x10 ³	1.255x10 ³	1.256x10 ³	1.256x10 ³	1.256x10 ³
(2)	3.31x10 ²	3.31x10 ²	3.30x10 ²	3.2 x10 ²	3.29x10 ²	3.28x10 ²	3.27x10 ²	3.27x10 ²
(3)	1.219x10 ³	1.219x10 ³	1.218x10 ³	1.218x10 ³	1.217x10 ³	1.217x10 ³	1.216x10 ³	1.215x10 ³
(4)	2.735x10 ³	2.734x10 ³	2.733x10 ³	2.732x10 ³	2.731x10 ³	2.730x10 ³	2.729x10 ³	2.728x10 ³
(5)	3.43x10 ³	3.40x10 ²	3.38x10 ²	3.36x10 ²	3.33x10 ²	3.31x10 ²	3.29x10 ²	3.26x10 ²

Чадвали 3. - Маълумотҳои термодинамикӣ барои ҳисобкунии баробарвазнии химиявӣ

Компонент	Энтропия, кДж/моль · град.	Энthalпия, кДж/моль
CO	-0.111	1.975x10 ²
CaB ₂ Si ₂ O ₈ кр.	-3.883	1.548x10 ²
CaAl ₂ O ₄	-2.326	1.142x10 ²
CaBSiO ₄ (OH) _{кр.}	-2.466	1.10x10 ²
Fe ₂ O ₃	-0.822	0.875x10 ²
CaMgB ₆ O ₁₁ · 6H ₂ O _{кр.}	-6.480	3.665x10 ²
MgCl ₂ кр.	-0.645	0.895x10 ²
C _{кр.}	0	5.74
Cl ₂ газ.	0	2.223x10 ²
O ₂	0	2.05x10 ²
CaSiO ₃ кр.	-1.635	0.808x10 ²
CO _{газ.}	-0.394	2.136x10 ²
CaB ₂ O ₄	-2.031	1.05 x10 ²
H ₂ O _{газ.}	-0.242	1.887 x10 ²
SiO ₂ кр.	-0.905	0.435 x10 ²
CaCl ₂ кр.	-0.796	1.084x10 ²

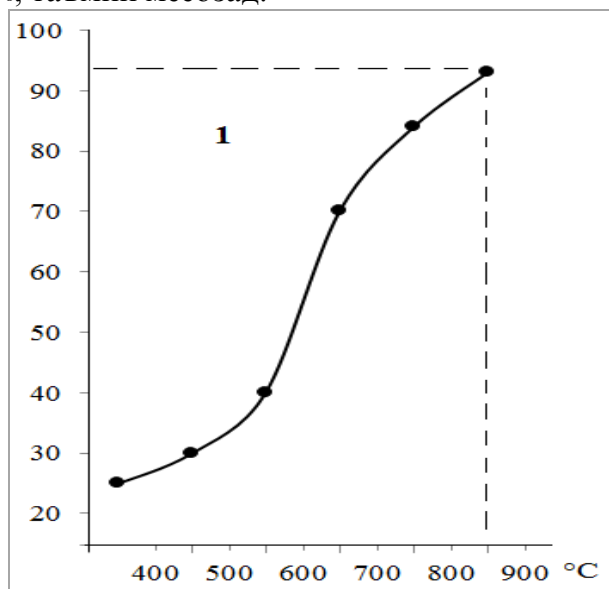
ХУСУСИЯТИ ХЛОРКУНОНИИ МАЪДАНҲОИ ЭЛЕМЕНТҲОИ БОР ВА АЛЮМИНИЙДОШТА

Хлоркунонии минералҳои алоҳидаи маъданҳои боросиликати

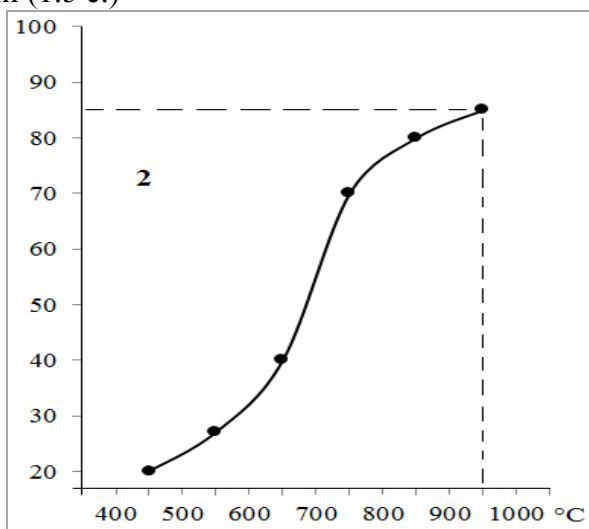
Таркиби минералогии маъданҳои боросиликати таҳқиқшаванда бо якчанд компонентҳои калидӣ: данбурит, датолит, пироксен, кварцс, калтсит ва гранат нишон дода шудаанд. Дар рафти корҳои эксперименталӣ ҳудуди ҳароратии хлоркунонӣ аз 400 то 900°C тағйир меёфт. Натиҷаҳои назаррас аз рӯи дараҷаи истихроҷи боридҳо аз данбурит ва датолит таркиббандӣ шуда, дар шакли вобастагӣҳои графикӣ дар расмҳои 8 ва 9 нишон дода шудаанд.

Таҳлили муфассали кинетикаи хлоркунонии данбурит (расми 8) ошкор намуд, ки фазаи фаъоли раванд алақай ҳангоми 400°C оғоз меёбад. Самаранокии баландтарини табиلىбӣ (то 92%) ҳангоми 850°C ва дар мавҷуд будани чунин параметрҳои оптималӣ ба даст оварда мешавад: давомнокии коркард - 90 дақиқа, ҳиссаи массавии барқароркунанда - 50% аз вазни ашёи хоми аввалия.

Дар мавриди хлоркунонии датолит (расми 9) ин раванд шартҳои шиддатноки ҳароратиро - аз 450 то 950°C-ро талаб намуда, зимнан истихроҷи як миқдор камтари оксидҳоро - наздики 85%, таъмин месозад.



Расми 8. - Таъсири ҳарорат ба самаранокии ҳосил намудани BCl_3 аз данбурит ҳангоми вақти сабтшудаи хлоркунонӣ (1.5 с.)



Расми 9. - Таъсири ҳарорат ба самаранокии ҳосил намудани BCl_3 аз датолит ҳангоми вақти сабтшудаи хлоркунонӣ (1.5 с.)

Таҳлили муқоисавии самаранокии раванд нишон дод, ки данбурит дорои кушодашавии хубтар – дараҷаи истихроҷ то 92% мерасад, мебошад, вақте, ки барои датолитин нишондод аз 85% зиёд нест. Чунин фарқияти асосӣ (7%) метавонад бо хусусиятҳои вобастагҳои химиявӣ дар панҷараи кристаллии ин минералҳо алоқаманд бошад.

Барои коркарди маъданҳои боросиликатии кони Ак-Архар дастгоҳи мукамал истифода шуд (расми 10), ки имконияти гузаронидани равандро дар ду марҳала фароҳам овард:

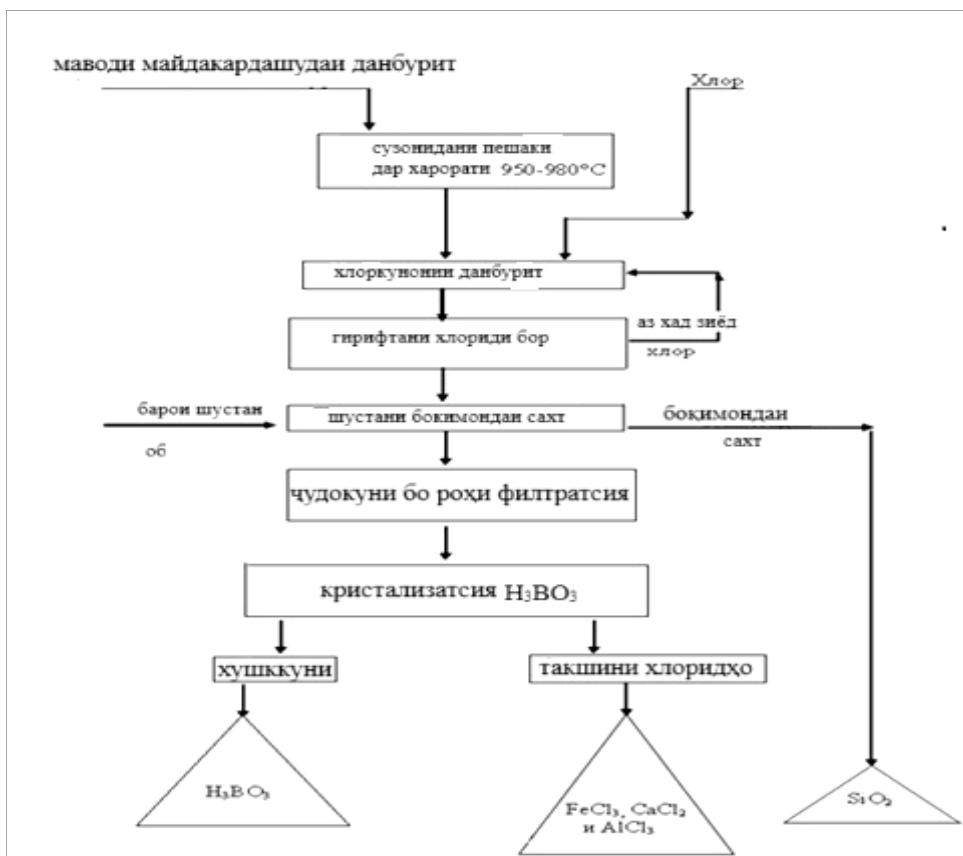
- хлоркунонии пешакӣ ҳангоми 350-450°C барои дур намудани хлориди оҳан (FeCl_3);
- марҳалаи асосӣ ҳангоми 750-850°C барои ҳосил намудани моддаи мақсаднок – элементи бори сеҳлора (BCl_3).



Расми 10. - Нақшаи дастгоҳи озмоишӣ барои хлоркунонии минералҳои боросиликатӣ (данбурит ва датолит)

Қарордоди технологӣ барои коркарди хлоридии ашёи хоми элементи бори кони Ак-Архар

Дар натиҷаи таҳқиқотҳои гузаронидашуда нақшаи технологии ҳосил намудани хлориди бор (BCl_3) аз компонентҳои минералии ашёи хоми элементи бордошта, коркард карда шуд. Усули пешниҳодшуда бо коркарди пайдарҳамии термохимивии маъдан, ки дараҷаи баланди истихроҷи моддаи мақсаднокро таъмин месозад, асоснок карда шудааст. Яке аз фарқиятҳои аслии нақшаи коркардшуда марҳалаи сӯзонидани баландҳароратии ашёи хом пеш аз хлорикунӣ мебошад. Баъди оморасозии термикӣ ҷинси данбуритӣ то фраксияи оптималӣ - 0.1–0.2 мм. реза-реза карда мешавад. Ашёи хоми резашуда ба реактор раво карда мешавад ва дар реактор раванди хлорикунӣ бо иштироки хлор газмонанд (Cl_2) ва барқароркунандаи гидрогенӣ (барои мисол, кокс ё графит), сурат мегирад.



Расми 11. - Нақша-технологияи раванди хлоркунонии боросиликатҳо

Нақшаи технологии коркарди данбуритҳои кони Ак-Архар (расми 11) зина ба зина ба даст овардани пайвастагиҳои хлоридиро пешбинӣ намудааст. Раванди технологӣ аз рӯйи аслияти истихроҷи пайдарҳамии моддаҳои хлордор сохта шудааст, ки дар марҳалаи якум хлориди оҳан ҷудо мешавад, баъд алюминия, ва дар марҳалаи хотимаҷи моддаи мақсаднок- бори сеҳлора. Чунин даррасӣ имконият медиҳад, ки на ин, ки дараҷаи баланди истихроҷро ноил шавем (то 92% барои BCl_3), балки покизагии зарурии моддаҳои охириро таъмин намоем.

Табдилёбии маъданҳои данбурит бо CaCl_2 ва бо агентҳои алтернативии хлорикунонӣ тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо

Таъсири параметрҳои физикавӣ-химиявӣ ба табдилёбии маъданҳои данбурит бо CaCl_2 ва раванди коркарди обӣ-кислотавӣ ин табдилёбӣ мавриди таҳқиқоти мазкур қарор дода шуданд.

Раванди бо ҳамдигар таъсиррасонии CaCl_2 бо данбурит дар ҳарорати зиёда аз 300°C ва таносуби $\text{CaCl}_2/\text{ашё} = 2/1$, оғоз мегардад.

Муқаррар гардидааст, ки ҳангоми сӯзондани CaCl_2 ва данбурит дар 800°C истихроҷи B_2O_3 91.8%-ро ташкил медиҳад, ки аз ҳарорати табдилёбии CaCl_2 бо ашёи хоми элементӣ бор фарқияти кам дорад. Давомнокии ин раванд 90 дақиқаро ташкил медиҳад.

Нақшаи технологии коркарди данбурит бо усули табдилёбии маъданҳо (спекание) бо хлориди калтсий ба ҳайати худ амалиёти бо ҳамдигар алоқаманди технологиро, ки дараҷаи баланди истихроҷи компонентҳои мақсаднокро таъмин месозанд, ворид мекунад. Дар марҳалаи омодагӣ омехтакунии дақиқи данбурити майда кардашуда бо CaCl_2 дар таносуби массавӣ ҷиддан речашудаи 1:2 амалӣ мегардад. Мутаносибии мазкур бо роҳи эксперименталӣ, ҳамчун раванди оптималӣ барои таъмини бо пуррагӣ чараён ёфтани реаксияҳои таъсири ҳамдигарӣ муқаррар гардидааст.

Марҳалаи калидии ин раванд табдилёбии баландҳароратии маъданҳо (спекание), шиктаи омодашуда ҳангоми 850°C мебошад. Ин речаи ҳароратӣ дар асоси ҳисобкуниҳои

термодинамикӣ интиҳоб ва тавассути маводҳои эксперименталӣ, ки дараҷаи баландарини табиёбии компонентҳои аввалияро таъмин менамоянд, тасдиқ шудаанд. Дар натиҷаи коркарди термикӣ моддаи пухтаи (спёк) дорои пайвстагиҳои табиёфтаи бор ва калтсий ба вуҷуд меояд.

Хусусияти хоси нақшаи технологӣ (расми 12) ин хусусияти сарбастагии он, ки сарфи минималии реагентҳои аввалияро, дараҷаи баланди истихроҷи элементи борро (то 92%), ҳосил намудани шакли молии кислотаи бории сифати стандартиро ва имконияти утилизатсия намудани моддаҳои дуҷумдараҷаи равандро таъмин месозад, мебошад.

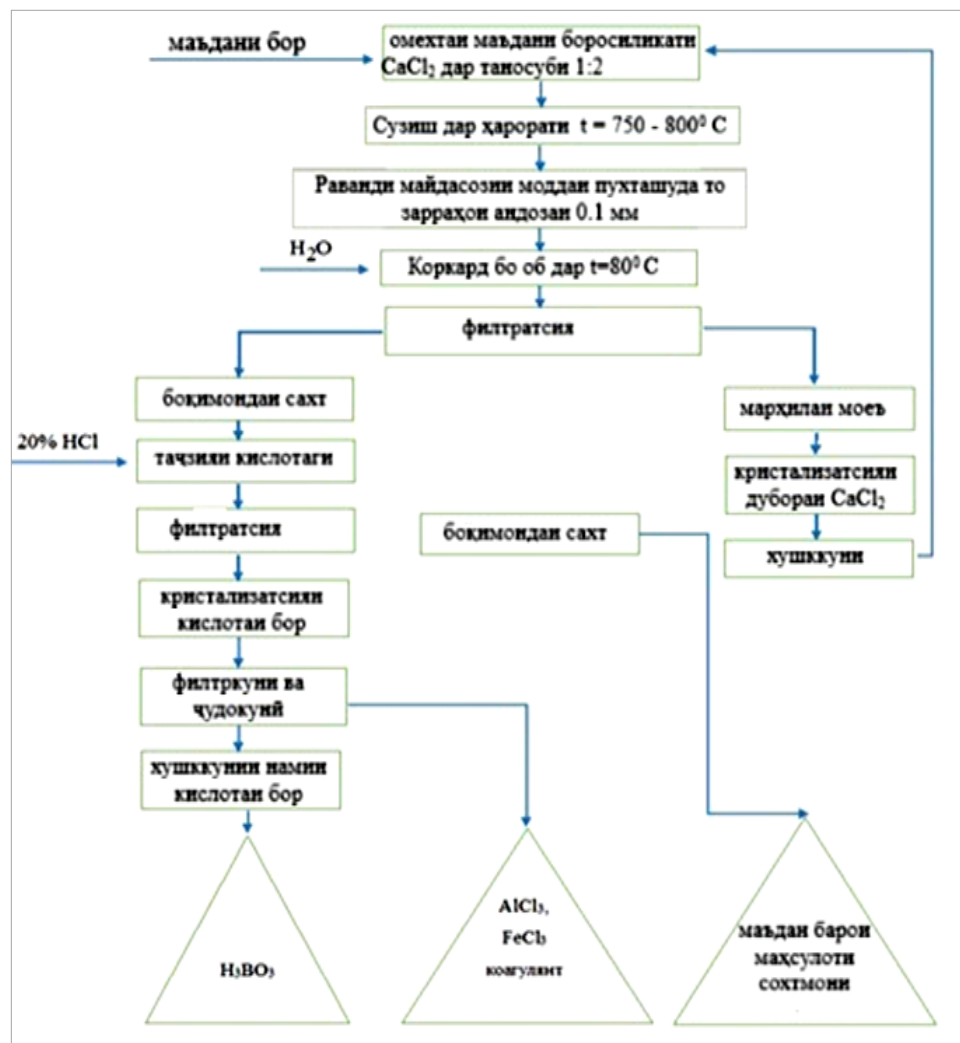
Таҷзияи хлории гилҳои каолинии кони Зиддӣ ноҳияи Варзоб

Пеш аз гузаронидани хлоркунонӣ маводи каолиниро аз коркарди кислотаӣ бо маҳлули 10%-и HCl бо ҳарорати 60°C дар муддати 2 соат, гузаронидем. Ин амал имконият дод, ки: то 85% ихтилоли оҳандоштаро дур кунем, матритсаи алюмосиликатири ниғох дорем, қобиляти реаксионии каолинитро баланд бардорем, таъсири оксидҳои оҳанро ба хлорикунонии минбаъдаи глинозём кам кунем.

Натиҷаи хлоркунонии гилҳои каолини дар расми 13 оварда шудаанд.

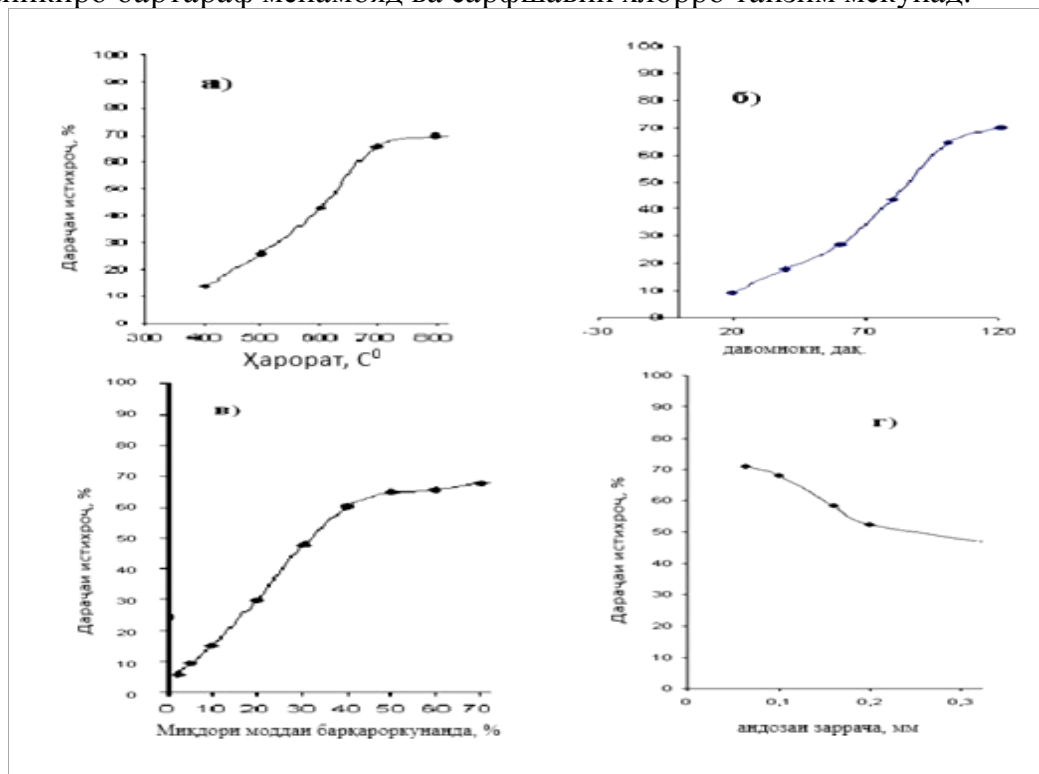
Тибқи маълумоти эксперименталӣ (расми 13), чунин речаҳои тавсиявии коркарди ашёи хоми каолини кони Зиддӣ коркард шудаанд:

- омодагии термикӣ: ҳудуди ҳароратӣ: 600-650°C, дегидроксилизатсияи таркибии каолини;
- пухташавии хлоркардашуда: ҳарорати оптималӣ: 750±25°C, давомнокии раванд: 120±10 дақиқа, таркиби гранулометрӣ - фракция ≤0.1 мм.
- таркиби шихта: барои барқароркунонда: 30-35% (оптимум 33%), таркиби газӣ: Cl₂ + CO дар таносуби 3:1.



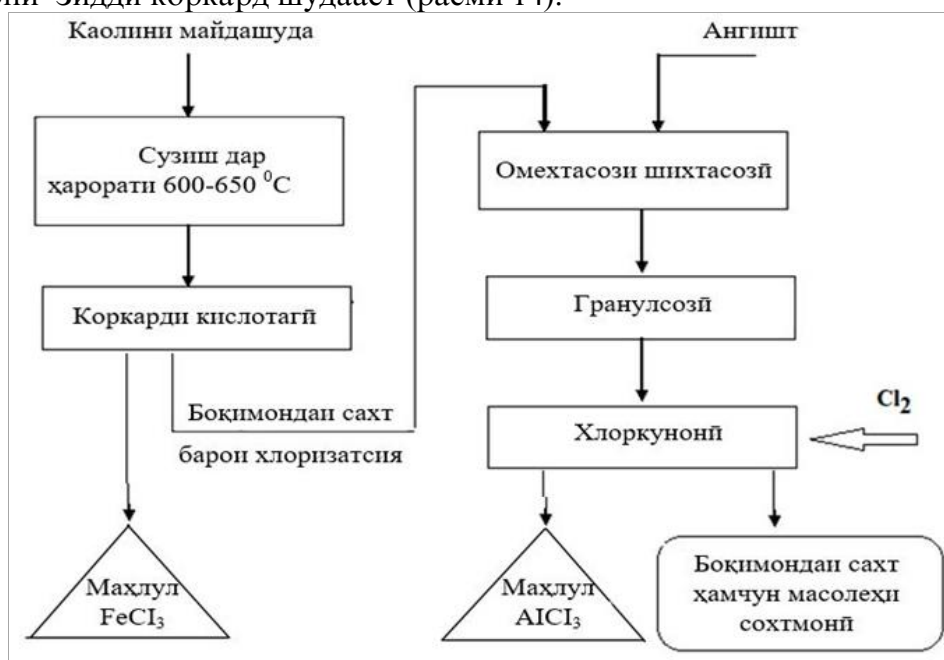
Расми 12.- Нақшаи технологӣ барои коркарди минерали данбурит бо табиلىбӣ бо CaCl_2

Речаи ҳароратии нишондодашуда 92-95% дараҷаи таҷзияи каолинитро, табиلىбии минималии ҳиссаҷаҳоро, дараҷаи максималии хлоркуноиро (то 87%), ворид кардани барқароркунандаро бо миқдори нишон додашуда, таъмин месозад. Ба ғайр аз ин, пуррагии реаксияҳои хлоркуноиро кафолат медиҳад, бавучудоии пайвастиҳои хлорорганикиро бартараф менамояд ва сарфшавии хлорро танзим мекунад.



Расми 13. - Натиҷаҳои оптимизатсияи параметрҳои хлоркунонии Al_2O_3 : а) омили ҳароратӣ; б) омили муваққатӣ; в) омили барқароршавӣ; г) омили дисперсионӣ

Дар асоси параметрҳои оптималӣ нақшаи аслии технологӣ коркарди гилҳои каолинии кони Зиддӣ коркард шудааст (расми 14).

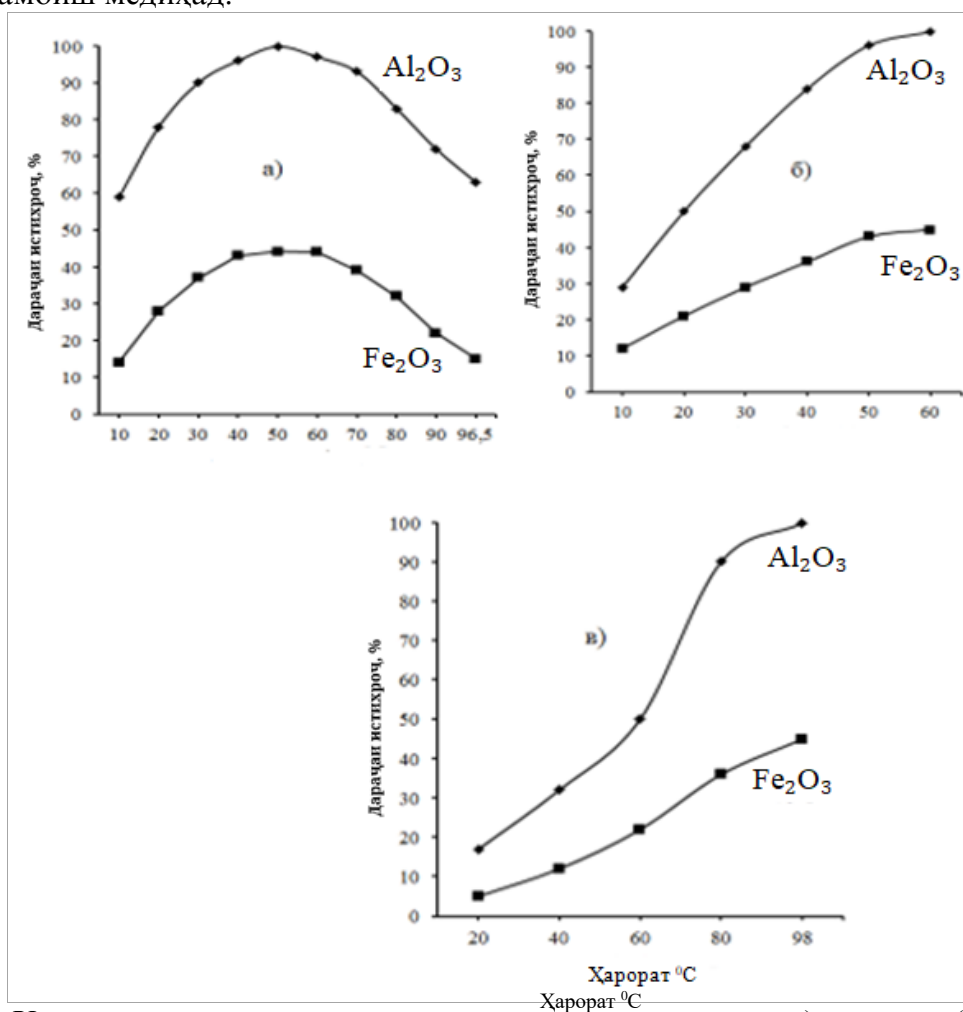


Расми 14.- Нақшаи аслии технологӣ хлоркунонии гилҳои каолинии кони Зиддӣ

Мавқеи хлориди натрий дар интенсификатсияи таҷзияи кислотагии нефелинҳои кони Турпӣ

Дар ин қисмати таҳқиқот масъалаи омӯзиши хусусиятҳои таҷзияи сулфуркислотагии сиенитҳои нефелинии кони Турпӣ (Тоҷикистон) бо иловаи хлориди натрий гузошта шуда буд. Корҳои эксперименталӣ нишон доданд, ки ҳангоми табилабӣ маъдан бо NaCl тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо дар ҳарорати $900-950^\circ\text{C}$ дар муддати 60 дақиқа ва баъдан бо экстракцияи обӣ (80°C , 30-50 дақиқа) гузариш ба маҳлули 13-14%-и Al_2O_3 ҳангоми нигоҳдории пурраи Fe_2O_3 дар боқимондаи маҳлулнашаванда ба амал меояд.

Натиҷаҳои бадастомада (расми 15) вобастагии равшани дараҷаи истихроҷи оксидҳоро аз параметрҳои калидии технологӣ: консентратсияи кислотаи сулфур (тағйирёбӣ дар ҳудуди 20-60%), давомнокии раванд (аз 30 то 180 дақиқа), речаи ҳароратӣ ($60-95^\circ\text{C}$), намоиш медиҳад.



Расми 15. - Хатҳои каҷи оптимизатсионии истихроҷи оксидҳо: а) туршии (кислотность) муҳит; б) давомноқӣ; в) речаи ҳароратӣ

Маълумотҳои эксперименталӣ (расми 15а-в, ҷадвали 4) қонуниятҳои равшани раванди коркарди сиенитҳои нефелинии кони Турпиро чунин намоиш медиҳанд:

- аз рӯи омили консентратсионӣ: қуллаи самаранокӣ ҳангоми 50% H_2SO_4 (истихроҷи Al_2O_3 99,8%, истихроҷи Fe_2O_3 44,91%) ба даст меояд, консентратсияи минималии самаранокӣ бошад - 30% H_2SO_4 , остонаи хатарнок - 60% H_2SO_4 (пастшавии селективӣ мушоҳида мешавад);

- аз рӯи омили муваққатӣ: давомнокии оптималӣ - 60 дақиқа, вақти минималӣ барои истихроҷи назаррас-30 дақиқа, платои кинетикӣ —баъди 45 дақиқаи коркард;

- аз рӯи омили ҳароратӣ: самаранокии максималӣ ҳангоми 98°C, остонаи ҳароратии фаъолгардӣ - 60°C, ҳудудикории тавсиявии корӣ- 90-98°C.

Барои ба даст овардани истихрочи максималии Al_2O_3 (99,8%) ҳангоми истихроч минималии Fe_2O_3 (<45%) чунин реча тавсия дода мешавад: концентрацияи H_2SO_4 $50 \pm 2\%$, ҳарорат 95-98°C, давомнокӣ 55-60 мин, андозаи ҳиссаҳо <100 мкм, таносуби Т:Ж: 1:3.

Арзёбии самаранокии коагулянти омехта аз апҳи хомии пастсифат нисбати сулфати алюминий

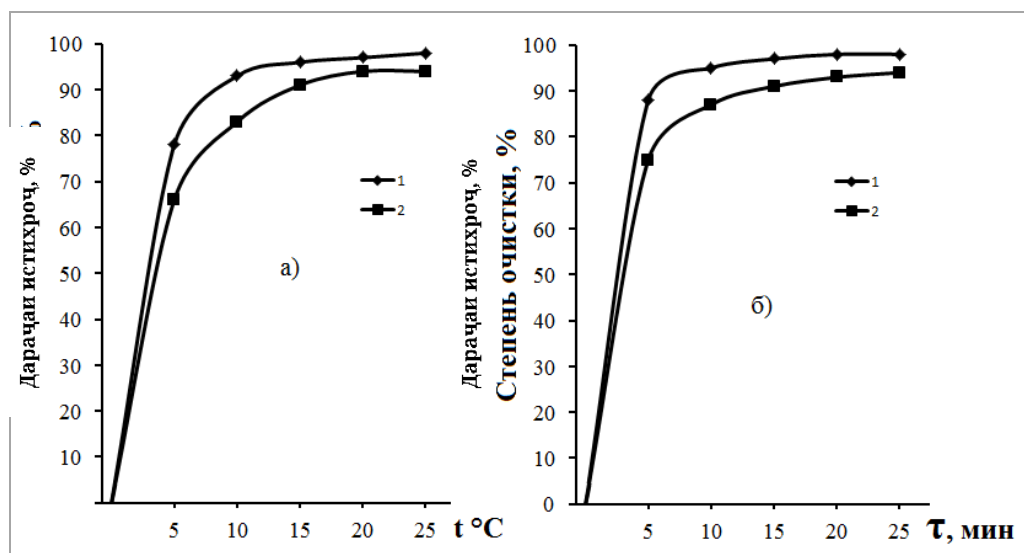
Таҳлил нишон медиҳад, ки истифодабарии сиенитҳои нефелинӣ имконият медиҳанд, ки маҳлуле ҳосил кунем, ки дар он консентратсияи Al_2O_3 -5.5% ва Fe_2O_3 - 0.5-1.0%-ро ташкил медиҳад ва онро ба сифати коагулянти омехта истифода бурдан мумкин аст.

Баъди ин, экспериментро барои муайянкунии самаранокии коагулянт гузаронидем. Дар ин ҳолат параметрҳои асосӣ сарфшавии реагент (воя), тирагӣ ва ранга будан мебошанд. Вояҳои коагулянтҳо бо в г/л. ифода ёфтааст.

Дар ҳамаи экспериментҳо оби обанбори сатҳӣ-оби дарёҳои Душанбе ва Варзоб истифода гардидаанд. Озмоишҳо зимни ҳарорати паст гузаронида шуданд, чунки ҳангоми баланд будани ҳарорат раванди гидролиза ва коагулятсия тезтар меравад ва фарқият дар натиҷаҳо камтар намоён шуданаон мумкин аст.

Дар расми 16 самаранокии коагулянти омехтаи Al-Fe (таносуби $Al_2O_3:Fe_2O_3=10:1$) ва сулфати алюминий муқоиса карда мешавад. Натиҷаҳо нишон медиҳанд: ҳангоми 5-10°C коагулянти омехта нисбати сулфати алюминий аз рӯи қобилияти коагуликунонӣ бартарӣ дорад, ба вояҳо тақсикунӣ оптималӣ 10-150 мг/л беҳатар аст (металлниҳоҳдорӣ \leq ПДК); (расми 16а), вақти бархӯрд 30 дақиқа, 98,6% (муқобили 97,2% -и сулфати алюминий) ҳангоми сарфшавии реагент 2-3 маротиба пасттар, поққуниро таъмин месозад (расми 16б).

Ҳамин тавр, коагулянти омехтаи Al-Fe нисбати сулфати натрий бартарият дорад, ки ин самаранокии баланд ҳангоми ҳароратҳои паст ва сарфшавии реагентҳоро таъмин месозад.



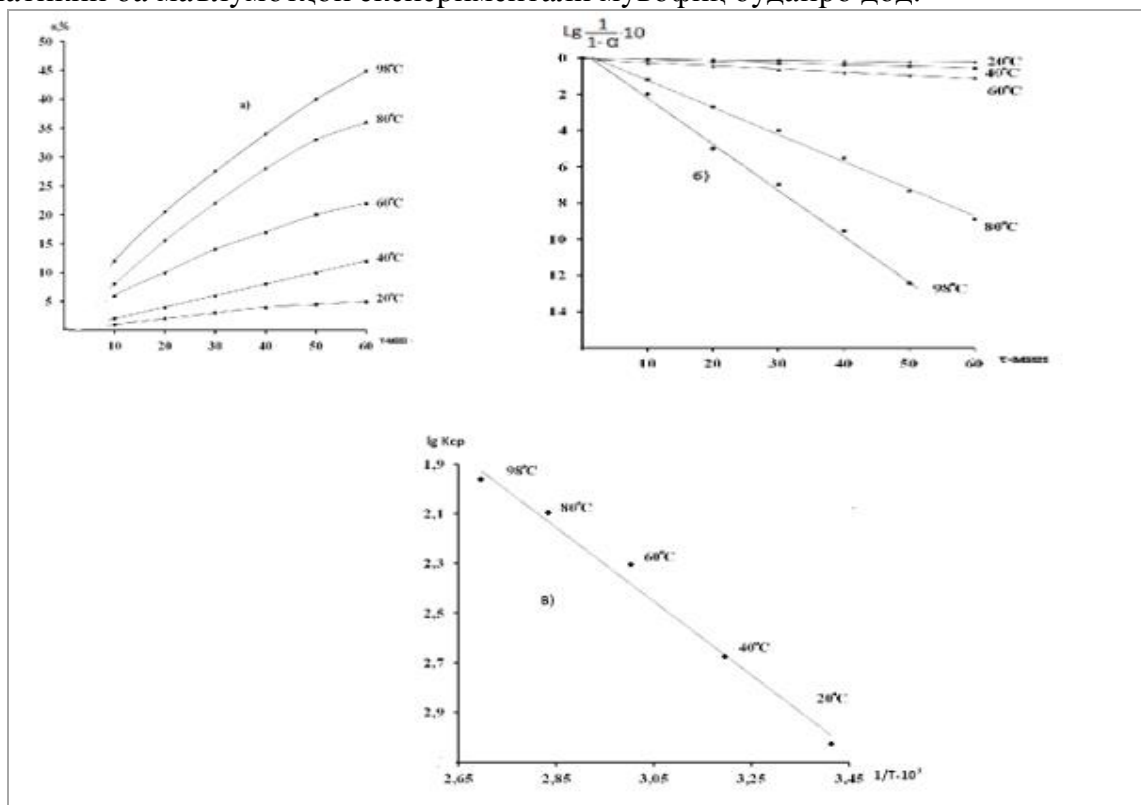
Расми 16. - Натиҷаҳои озмоишҳои муқоисавии коагулянтҳо ҳангоми тағйирёбии: а) $T=5-25^\circ C$; б) $\tau=5-25$ дақиқа (1 – коагулянти омехта, 2 - сулфати алюминий)

Хусусияти кинетикаи коркарди кислотавии сиенитҳои нефелинии кони Турпӣ бо NaCl-фаъолнокӣ

Дар рафти таҳқиқот кинетикаи коркарди кислотавии сиенитҳои нефелинии кони Турпӣ (Тоҷикистон), бо усули табдилёбии маъдан бо NaCl тавассути гармкунӣ бе обшавии онҳо ва коркарди баъдии онҳо бо кислотаи сулфур, мавриди омӯзиш қарор дода шуда буд.

Таҳлили хатҳои қач (расми 17а) нишон дод, ки таъзияи компонентҳои оҳанниғодоранда ҳангоми шароитҳои оптималӣ (98°C, 60 дақиқа) пуршиддат мегузарад ва истихроҷи Fe_2O_3 -ро дар сатҳи 44,9% таъмин месозад. Ҳангоми пастшавии ҳарорат то 80°C бошад, дараҷаи гузариши степен ь оксиди оҳан ба маҳдудшавӣ то 34-36% кам мешавад.

Кинетикаи раванд бо ёрии муодилаи тартиби якум миқдоран тасвир карда шуда буд, ки имконияти муқарраркунии энергияи фаъолкунони равандро ва коркарди амсилаи математикии ба маълумотҳои эксперименталӣ мувофиқ буданро дод.



Расми 17. - Кинетикаи истихроҷи Fe_2O_3 зимни коркарди нефелинӣ сиенити бо кислотаи сулфур: а) вобастагии дараҷаи таъзия аз вақт; б) шакли хатии муодилаи кинетикӣ; в) вобастагии ҳароратии константаи суръат (50% H_2SO_4)

Таҳқиқоти кинетикӣ нишон доданд, ки :

-ҳангоми 20-40°C хатҳои қачи таъзия хаттӣ ва ҳангоми аз 60°C баланд будан – параболикӣ мебошанд;

-раванд бо муодилаҳои зерин тасвир меёбад:

- Асосӣ кинетикӣ: $da/dt = K/(1-\alpha)$ (1).
- Шакли логарифмӣ: $\lg(1-\alpha) = K\tau/2.303$ (2).

-таҳлили вобастагии $\lg[1/(1-\alpha)] \cdot 10$ аз вақт (расми 17б):

- Майли манфии хатҳои рост = $-K/2.303$.
- Константаи суръат тибқи муодилаи Аррениус муайян карда шуд:

$K = K_0 \cdot (E/RT)$ (3).

- $\lg K = \lg K_0 - E/(2.303RT)$ (4).

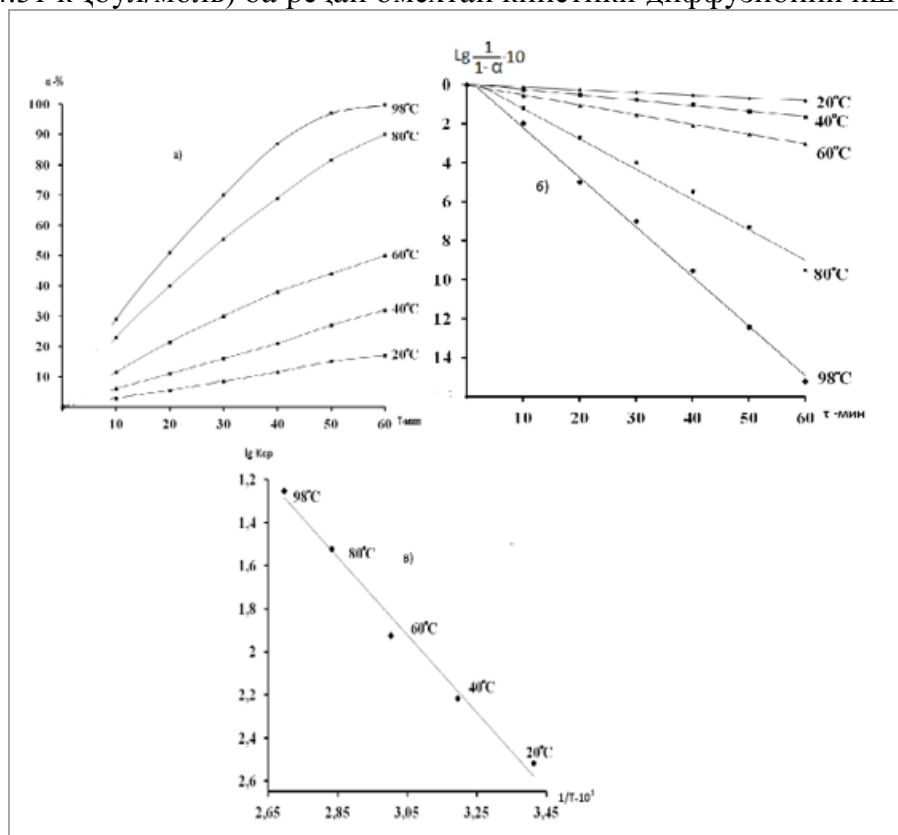
Мутаносибан чунин натиҷаҳо ҳосил шуданд: энергияи фаъолсозӣ барои $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 25.41$ кҶоул/моль ва раванд дар муҳити кинетикии омехта мегузарад, гузариш аз кинетикаи хаттӣ ба параболикӣ ҳангоми 60°C, мувофиқати амсилаи тартиби якум тасдиқ шудааст, параметрҳои калидии кинетикии раванд муайян карда шуданд.

Маълумотҳои эксперименталӣ (расми 18а) нишон медиҳанд, ки :

- ҳангоми 98°C ва 60 дақиқаи коркард 99.8% истихроҷи Al_2O_3 ба даст меояд;
- ҳангоми 80°C то 88-90% паст мешавад.

Хусусиятҳои кинетикӣ: дар ҳудуди 20-40°C вобастагии ҳаттӣ мушоҳида мешавад, ҳангоми ҳарорати >60°C кинетика параболикӣ мешавад, энергияи фаъолкунонии раванд бошад: 54.31 кҶ/моль (расми 18в).

Тасвири математикии расми 16 ба муодилаҳои (1) -(4) асоснок гардидааст. Қиматҳои баланди E_a (54.31 кҶ/моль) ба речаи омехтаи кинетикӣ-диффузионӣ ишора менамояд.



Расми 18. - Кинетикаи истихроҷи Al_2O_3 ҳангоми бо кислотаи сулфур коркард намудани сиенити нефелинӣ: а) вобастагии дараҷаи таҷзия аз вақт; б) шакли ҳаттии муодилаи кинетикӣ; в) вобастагии ҳароратии константаи суръат (50% H_2SO_4)

МУҲОКИМАИ НАТИҶАҲО

Кори диссертатсионии пешниҳодшуда хлоркунонии ашёи хоми элементи химиявии бор ва маъданҳои гилхокдори (глинозёмдор) Тоҷикистонро дар бар мегирад.

Натиҷаҳои арзишманди кор омӯзиши хлоркунонии минералҳои алоҳидаи маъданҳои боросиликатӣ мебошад, ки аввалин маротиба гузаронида шудааст. Инчунин, вобастагии дараҷаи истихроҷи регенти арзишманди BCl_3 аз минералҳои данбурит ва датолит, мавриди омӯзиш қарор дода шудааст. Хлоркунонии минерали данбурит ҳангоми 400°C ва 850°C оғоз мегардад ва дараҷаи истихроҷи оксиди бор ба 92% мерасад. Барои минерали датолит бошад, хлоркунонӣ ҳангоми 450°C ва 950°C оғоз гардида, дараҷаи истихроҷ 85%-ро ташкил медиҳад.

Нақшай инноватсионии коркарди минералҳои элементи бордошта, бо истифодаи технологияи хлорӣ, ки чунин марҳалаҳои калидиро дар бар мегирад: омода сохтани ашёи хом, сӯختани хлоркунонӣ, дошта гирифтани ва покиза намудани маводҳо, таҳия ва омода шудааст. Нақша барои амалӣ гардонидан дар саноат бо инобати хусусиятҳои хоси таркиби минералии кони Ак-Архар пешниҳод гардидааст.

Хлоркунонии минерали данбурит бо $CaCl_2$ ва таҳлили муқоисавии табдилёбии он тавассути гармкунӣ бе обшавӣ бо дигар реагентҳо, мавриди омӯзиш қарор дода шудааст. Табдилёбии ашёи хоми элементи бор бо натрий ва реагентҳои калтсийдошта тавассути гармкунӣ бе обшавӣ, баррасӣ гаштааст.

Дар кори мазкур хлоркунонии пастҳароратии сиаллитҳо пешниҳод гардидааст. Хлориди оҳан ҳосил карда шуда, нишон дода шудааст, ки ҳангоми хлоркунонии пастҳароратӣ ҳосил намудани пайвастагиҳои алюминий самарабахш нест.

Технологияи комплекси хлориркунонии гилҳои каолинии кони Зиддӣ коркард шудааст, ки як қатор марҳалаҳои пайдарҳамро дар бар мегирад.

Таҳлили муқоисавӣ бартарии усули хлориро нисбати усули коркарди кислотагӣ нишон дод: барои каолинҳои кони Зиддӣ истихроҷи алюминий то 92-95%, ҳангоми селективнокии Al/Fe 8-10 ва пастшавии сарфшавии энергия то ба 25-30% ба даст меояд, вақте ки барои сиенитҳои нефелинӣ истихроҷи алюминий 88-90%-ро, бо имконияти ҳамрадиҳои ба даст овардани хлоридҳои металлҳои ишқорӣ, ташкил медиҳад. Нақшаи коркардшудаи универсалии технологӣ дар худ амсилаи-модули омодаسازیи ашёи хом, реактори хлоркунонӣ бо қабати бачӯшмода, системаи бисёрқабатаи конденсатсия ва гиреҳ-узели регенератсияи хлор, ки имконияти коркарди комплекси ашёи хоми пастсифати алюмосиликатиро бо ҳосил намудани маводҳои баландсифат таъмин месозад, ҷой додааст.

ХУЛОСАҲО

1. Тавассути таҳлилҳои физикӣ-химиявӣ таркиби химиявӣ ва минералогии маъданҳои бор ва алюмосиликати Тоҷикистон муайян карда шуданд. Ошкор карда шуд, ки таркибидандаи асосии минералҳо датолит, данбурит, каолинит, кварц, шпати саҳроӣ, биотит ва дигарҳо мебошанд [1-М, 7-М, 9-М, 18-М, 21-М].

2. Термодинамикаи раванди хлоркунонии маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ ва ҳосил намудани хлориди бор ва алюминий мавриди омӯзиш қарор дода шуда, инчунин, ҳисобкунии стехиометрии коркарди ашёи хоми бор тавассути кислота ва ҳисобкунии реагентҳои истифодашаванда ҳангоми таҷзияи сиенитҳои нефелинӣ бо хлориди натрий, гузаронида шудаанд [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 5-М, 7-М, 8-М, 9-М, 13-М, 15-М, 16-М, 18-М, 19-М, 22-М, 24-М, 25-М, 28-М].

3. Нишон дода шудааст, ки данбурит дар маъданҳои элементҳои бор нисбати датолит, аз сабаби фарқият дар таркиби кристалии онҳо сабуктар ва тезтар хлоркунонӣ мешавад. Данбурит панҷараи кристалии нармтар дошта, воридшавии хлорро осон менамояд, вақте ки таркиби зич ва саҳти датолит ин равандро мушкул месозад [1-М, 4-М, 5-М, 20-М, 29-М, 30-М].

4. Хлоркунонии минерали данбурит тавассути табдилёбии ин ашёи хом, бо роҳи гармкунӣ бе обшавӣ, бо хлориди калтсий мавриди омӯзиш қарор дода шуда, таҳлили муқоисавии чунин табдилёбӣ бо реагентҳои дигар, ба монанди $NaCl$, $NaNO_3$ ва Na_2SO_4 , пешниҳод гардидааст [1-М, 4-М, 5-М, 7-М, 8-М, 9-М, 10-М, 17-М, 29-М, 30-М].

5. Хлоркунонии пастҳароратии сиаллитҳо гузаронида, нишон дода шудааст, ки хлоркунонии пастҳароратӣ барои ҷудошавии хлориди оҳан самарабахш мебошад, вале барои ҳосил намудани $AlCl_3$, бо сабаби қобилияти гуногуни реаксионии оксидҳо, номувофиқ аст [4-М, 5-М, 7-М, 8-М, 9-М, 18-М, 24-М].

6. Технологияи табдилёбии ашёи хоми маъданҳо бо $CaCl_2$ тавассути гармкунӣ бе обшавӣ, бо коркарди баъдии кислотагии таъминкунандаи ҷудошавии: Al_2O_3 - 98.7% ва Fe_2O_3 - 99.1%, омода карда шудааст. Ин усул бо самаранокии баланд ва селективияти худ фарқкунанда мебошад [1-М, 2-М, 4-М, 5-М, 6-М, 7-М, 8-М, 9-М, 11-М, 12-М, 17-М, 18-М, 18-М, 21-М, 23-М, 24-М, 26-М, 28-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

- схемаҳои таҳияшудаи технологӣ ва равишҳои методологӣ, ки ба коркарди маъданҳои боро- ва алюмосиликати Тоҷикистон нигаронида шудаанд, барои татбиқи саноатӣ бо мақсади ба даст овардани пайвастагиҳои арзишманди алюминий ва оҳан тавсия дода мешаванд;

- технологияи пешниҳодшуда синтези реагентҳои коагулянтсиониро, ки шаклҳои фаъоли алюминий ва оҳан доранд, инчунин ҷузъҳои анионӣ гурӯҳҳои хлоридӣ ва сульфатӣ

таъмин мекунад. Чунин таркиб самаранокии баланди реагентхоро ҳангоми истифодаи онҳо дар равандҳои тозакунии обҳои табиӣ ва партов таъмин мекунад;

- схемаи коркарди хлории ашеи хоми боросиликатӣ имкон медиҳад, ки агенти химиявии муҳими стратегӣ трихлориди бор (BCl_3) ба даст оварда шавад, ки ҳамчун пайвандҳои ибтидоӣ барои синтези доираи васеи пайвастиҳои бордор, аз ҷумла боргидридҳои металлҳои щелолӣ хизмат мекунад;

- дар доираи коркарди бебозгашт истифодаи оқилонаи боқимондаи ҳалнашаванда, ки пас аз вайроншавии кислота ба вучуд меояд, пешбинӣ шудааст. Ин ҷузъи минералӣ метавонад ба таркиби омехтаҳои сохтмонӣ ва маводҳо самаранок ворид карда шавад.

Рӯйхати адабиётҳо

1. Маматов, Э. Д. Хлорирование данбурита месторождения Ак-Архар Таджикистана в присутствии смеси газообразного хлора и хлоридов серы / Э. Д. Маматов, П. М. Ятимов, У. М. Мирсаидов // В сб.: «Материалы семинаров: «2011 год - Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе, 2011. - С. 62-67.

2. Мирсаидов, У. М. особенности процесса хлорного разложения бор- и алюмосиликатных руд / У. М. Мирсаидов, Э. Д. Маматов, Х. С. Сафиев. – Душанбе: Дониш, 2013. – 74 с.

3. Мирсаидов, У. Комплексная переработка боратных руд Таджикистана / У. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2011. - № 2. – С 105-109.

4. Норматов, И. Ш. Об особенностях низкотемпературной плазмы в переработке феноло- и борсодержащих минералов / И. Ш. Норматов, У. М. Мирсаидов // Международная конференция «Физика плазмы и плазменная технология». – Минск, 1997. – С. 108.

5. Хлорирование данбурита месторождения Ак-Архар (Таджикистан) / Н. А. Ашуров, Э. Д. Маматов, А. Курбанов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2009. – Т. 52. - № 2. - С. 116-119.

6. Ятимов, П. М. Хлорирование данбуритового концентрата месторождения Ак-Архар Таджикистана / П. М. Ятимов, Э. Д. Маматов, У. М. Мирсаидов // В сб.: «Материалы семинаров: «2011 год Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе, 2011. - С. 71-73.

7. Процесс хлорирования данбурита с использованием углей Таджикистана / У. М. Мирсаидов, Э. Д. Маматов, У. Х. Усмонова [и др.] // Конференция «Комплексный подход к использованию и переработке угля»: Тезисы докладов. - Душанбе, 2013. - С. 149.

Рӯйхати интишороти илмӣи унвонҷӯи дараҷаи илмӣи аз рӯи мавзӯи диссертатсия:

Монографияҳо:

1-М. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исоев (А. М. Исозода)**, М. М. Тагоев, И. М. Рахимов, У. М. Мирсаидов. – Душанбе: Дониш, 2023. – 70 с.

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

2-М. **Исоев, А. М.** Термическая устойчивость минеральных руд Таджикистана, содержащих бор, алюминий и железо / М. М. Тагоев, **А. М. Исоев**, К. И. Неъматуллоев, С. К. Кодирзода, С. М. Досаев / Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 65. № 11-12. – С. 768-774.

3-М. **Исоев, А. М.** Особенности хлорирования отдельных минералов боросиликатных руд / А. М. Исоев, М. М. Тагоев, П. М. Ятимов, А. С. Курбонов, Р. С. Ёрмадов // Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 65. № 11-12. – С. 775-779.

4-М. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / А. М. Исоев // Доклады НАН Таджикистана. – 2023. – Т. 66. № 1-2. – С. 93-96.

5-М. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / М. М. Тагоев, А. М. Неъматуллоев, **А. М. Исоев**, Т. Б. Холматов, Д. Х. Мирзоев // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2023. - № 3 (192). – С. 80-84.

6-М. **Исоев, А. М.** Термодинамическая оценка процессов разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана минеральными кислотами и уксусной кислотой / И. М. Рахимов, Д. Х. Мирзоев, Т. Б. Холматов, **А. М. Исоев**, М. М. Тагоев // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2024. - № 1 (194). – С. 81-85.

7-М. **Исоев, А. М.** Термодинамический анализ процессов, протекающих при разложении нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исозода**, Х. Р. Рахмонов, И. М. Рахимов, У. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2024. - № 4 (197). – С. 130-136.

8-М. **Исоев, А. М.** Сернокислотное разложение нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, Х. Р. Рахмонов, **А. М. Исозода**, И. М. Рахимов // Доклады НАН Таджикистана. – 2025. – Т. 68. № 1. – С. 64-68.

9-М. **Исоев, А. М.** Стехиометрический расчёт и разработка принципиальной технологической схемы переработки нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана при разложении серной кислотой с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, Х. Р. Рахмонов, **А. М. Исозода**, И. М. Рахимов, У. Х. Усмонова // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2025. - № 1 (198). – С. 93-98.

***Статьи, опубликованные в материалах научных конференций,
симпозиумов и семинаров:***

10-М. **Исоев, А. М.** Термическая устойчивость бор- и алюмосиликатных руд / Т. Б. Холматов, Д. Эшов, А. С. Давлатов, **А. М. Исоев**, К. И. Неъматуллоев // Республиканская научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвящённая 65-летию кафедры «Общая и неорганическая химия» и памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора химических наук, профессора Лутфулло Солиева. – Душанбе, 2023. – С. 67-73.

11-М. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе бора для водородной энергетики / У. М. Мирсаидов, **А. М. Исозода**, Ф. А. Назаров // Международная научно-практическая конференция, посвящённая 75-летию Таджикского национального университета и Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы). – Душанбе, ТНУ, 2023. – С. 49-54.

12-М. **Исоев, А. М.** Получение жидкого стекла из алюмосиликатных руд / А. М. Исоев, И. М. Рахимов, Т. Б. Холматов, К. И. Неъматуллоев, Д. Х. Мирзоев // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: проблемы и решения», посвящённая 20-летию образования Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана. – Гулистан, Таджикистан, 2023. – С. 136-138.

13-М. **Исоев, А. М.** Дифференциально-термический анализ борсодержащих минералов, как реагентов для защиты от нейтронов / А. М. Исоев, А. С. Курбонов, Р. С. Ёрматов, Х. Э. Пулатов, А. С. Давлатов // Там же. – С. 150-154.

14-М. **Исоев, А. М.** Синтез материалов для защиты от нейтронов / К. И. Неъматуллоев, А. С. Курбонов, **А. М. Исоев**, А. П. Тагаев, Б. Б. Баротов // Там же. – С. 156-160.

15-М. **Исоев, А. М.** Химическая безопасность при получении борных продуктов спекательным методом / А. С. Давлатов, А. С. Курбонов, Х. Э. Пулатов, **А. М. Исоев**, М. М. Тагоев, И. М. Рахимов // Там же. – С. 165-168.

- 16-М. **Исоев, А. М.** Химическая безопасность и производство химических веществ в Таджикистане / К. М. Назаров, **А. М. Исоев**, С. Кодирзода, И. М. Рахимов // Там же. – С. 172-174.
- 17-М. **Исоев, А. М.** Получение алюмогидридов металлов из алюмосиликатных руд / Ф. А. Хамидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, А. Бадалов, О. А. Азизов // XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты». – Душанбе, 2023. – С. 39-42.
- 18-М. **Исоев, А. М.** Получение глинозёма и оксида железа из алюмосиликатных руд спеканием с CaCl_2 / С. М. Гафорзода, Х. Э. Пулатов, Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исоев**, Т. Б. Холматов // Там же. – С. 50-54.
- 19-М. **Исоев, А. М.** Получение борогидридов металлов для водородной энергетики / Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, Ф. А. Назаров, Х. А. Хисаайнов, А. Бадалов // Там же. – С. 55-59.
- 20-М. **Исоев, А. М.** Оценка процессов разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана минеральными кислотами и уксусной кислотой / М. М. Тагоев, И. М. Рахимов, Т. Б. Холматов, **А. М. Исоев**, Д. Х. Мирзоев // Там же. – С. 57-60.
- 21-М. **Исоев, А. М.** Получение алюмогидридов металлов из алюмосиликатных руд / Ф. А. Хамидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, А. Бадалов, А. М. Исоев // Там же. – С. 61-64.
- 22-М. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе бора для водородной энергетики / У. М. Мирсаидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, Ф. А. Назаров // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвящённая 75-летию образования ТНУ и Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы). – Душанбе, 2023. – С. 46-48.
- 23-М. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе алюминия / У. М. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, А. Бадалов // Там же. – С. 48-50.
- 24-М. **Исоев, А. М.** Хлорное разложение нефелиновых сиенитов / Д. Х. Мирзоев, И. М. Рахимов, **А. М. Исоев**, У. М. Мирсаидов // Международная научно-практическая конференция «Развитие новых направлений в химии и химической технологии», посвящённая памяти академика НАНТ, профессора Хайдара Сайфиева. – Душанбе, 2023. – С. 34-41.
- 25-М. **Исоев, А. М.** Физико-химические основы получения энергоёмких веществ на основе бора для водородной энергетики / У. М. Мирсаидов, Д. Т. Исозода, **А. М. Исоев**, Ф. А. Назаров // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния», посвящённая 75 годовщине основания ТНУ, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя премии Международного Евразийского патентного Бюро и премии НАНТ имени С. Умарова, члена-корреспондента НАНТ, д. ф.-м. н., профессора Шарофидина Туйчиева. – Душанбе, 2023. – С. 72-74.
- 26-М. **Исоев, А. М.** Сравнительный анализ смешанного коагулянта, полученного из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья относительно сульфата алюминия / Д. Х. Мирзоев, И. М. Рахимов, **А. М. Исоев**, Х. Р. Рахмонов // XIX Нумановские чтения «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны». – Душанбе, 2024. – С. 38-41.
- 27-М. **Исоев, А. М.** Термическое разложение тетра- и гексаалюмината стронция / Д. Т. Исозода, А. Бадалов, У. М. Мирсаидов, А. М. Исоев // Вестник Института энергетики Таджикистана «Кушониён». – 2022. - № 3. – С. 5-9.
- 28-М. **Исоев, А. М.** Кинетика сернокислотного разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана, с предварительным спеканием с хлоридом натрия / Д. Х. Мирзоев, **А. М. Исозода**, Х. Р. Рахмонов, И. М. Рахимов // Журнал «Best Research CIS». – Актау. – Казахстан. – 2024. – С. 246-250.

Патенты и акты внедрения:

29-М. Малый патент № TJ 1489. Способ получения смешанного коагулянта из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья / **А. М. Исозода**, Д. Х. Мирзоев, Т. Б. Холматов, С. М. Гафорзода, К. И. Неъматуллоев, И. М. Рахимов, М. М. Тагоев, У. М. Мирсаидов. – 02.10.2023.

30-М. Акт о внедрении результатов НИР. Способ получения смешанного коагулянта из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья **А. М. Исозода**, Д. Х. Мирзоев, Т. Б. Холматов, С. М. Гафорзода, К. И. Неъматуллоев, И. М. Рахимов, М. М. Тагоев, У. М. Мирсаидов. – 26.07.2024.

АННОТАЦИЯ

на автореферат диссертации Исозода Акрам Мухибулло на тему: «Хлорное разложение бор- и алюмосиликатных руд Таджикистана» на соискание учёной степени доктора философии (PhD), доктора по специальности 6D060600 – Химия (6D060601 - Неорганическая химия)

Ключевые слова: хлорсодержащие реагенты, алюминия, бор, руда, кремнезём, минерально-сырьевая база, компоненты, переработка, минеральная структура, извлечение, оксиды, ресурсы, сырьё, хлорирование, аргиллиты, алюмосиликатные породы, закономерность, реакция, оптимизация, параметры, рентабельность, борсодержащие минералы, спектр, соединения, термостойкость, техническая керамика, огнеупорные материалы, микроэлементы, высокотехнологичное производства, Ак-Архарское месторождение, инвестиция.

Объект исследования: Объектом исследования является переработка боро- и алюмосиликатных руд хлорным методом и спекание сырья некоторыми хлорсодержащими реагентами.

Целью настоящей работы является разработка эффективных методов получения хлорных соединений бора, алюминия, железа и других ценных веществ для нужд новой техники, и получения энергоёмких веществ из полученных хлорных соединений бора и алюминия.

Методы исследования. Для работы использованы химический метод определения основных компонентов боро- и алюмосиликатных руд. Кроме того, широко использованы РФА, ДТА и другие методы анализа. Применены полуэмпирический и расчётные методы термодинамической оценки процесса разложения руд.

Достигнутые результаты и их новизна:

- дана термодинамическая оценка процесса разложения боро- и алюмосиликатных руд хлорным методом;
- найдены оптимальные параметры процесса переработки сырья, включая температурные режимы, состав реагентной среды и продолжительность отдельных стадий. Выявлены механизмы протекания основных физико-химических процессов;
- разработаны и апробированы технологические схемы переработки сложных алюмосиликатных и боросиликатных руд, направленные на повышение степени извлечения полезных веществ. Предложенные схемы способствуют оптимизации производственного цикла и могут быть адаптированы для различных типов сырья с аналогичным минеральным составом.

Использование результатов исследования заключается в новом подходе к процессу хлорирования с хлором и хлорсодержащими продуктами. Хлорирование отдельных минералов сырья. Выявлены механизмы процессов хлорирования.

Степень изученности научной проблемы в области хлорной технологии бор- и алюмосиликатных руд является недостаточной, так как в процессе хлорирования сырья получается много побочных продуктов и сам процесс требует подбора оптимальных параметров.

АННОТАЦИЯ

ба автореферати диссертасияи Исозода Акрам Муҳибулло дар мавзӯи: «Таҷзияи маъданҳои бор ва алюмосиликати Тоҷикистон бо усули хлоронидан» барои дарёфти унвони илмии доктори фалсафа (PhD), доктори илм аз рӯи ихтисоси 6D060600 – Химия (6D060601 – Химияи ғайриорганикӣ)

Калидвожаҳо: реактивҳои хлордор, алюминий, бор, маъдан, кремний, заминаи маъданӣ, чузъҳо, коркард, сохтори маъданӣ, истихроҷ, оксидҳо, захираҳо, ашёи хом, хлоризатсияи аргиллитҳо, ҷинсҳои алюмосиликатӣ, мунтазамӣ, реаксия, оптимизатсия, параметрҳо, даромадноки, реаксия, оптимизатсия, параметрҳо, даромадноки, муқовимати минералӣ, пайвастагии бор, конспекти техники масолиҳи ба оташ тобовар, микроэлементҳо, истеҳсоли технологияи баланд, кони Ак-Архар, маблағгузорӣ.

Объекти омӯзиш: Объекти омӯзиш коркарди маъданҳои бор ва алюмосиликат бо усули хлор ва агломератсияи ашёи хом бо баъзе реагентҳои хлордор мебошад..

Мақсади ин кор карда баромадани усулҳои самарабахши ба даст овардани пайвастагиҳои хлори бор, алюминий, охан ва дигар моддаҳои киматбаҳо барои эҳтиёоти технологияи нав ва аз пайвастагиҳои хлори бор ва алюминий ба даст овардани моддаҳои энергияталаб мебошад.

Усулҳои тадқиқот. Усулҳои химиявии муайян кардани қисмҳои асосии маъданҳои бор ва алюмосиликат истифода шуданд. Флуоресцентсияи рентгенӣ, таҳлили дифференсиалии термикӣ ва дигар усулҳои таҳлиلى низ васеъ истифода мешуданд. Барои баҳодиҳии раванди таҷзияи термодинамикии маъданҳо усулҳои нимэмпирикӣ ва ҳисоббарорӣ истифода шуданд.

Натиҷаҳои бадастомада ва навоварии онҳо:

- арзёбии термодинамикии таҷзияи маъданҳои бор ва алюмосиликат бо усули хлор таъмин карда шуд;

- параметрҳои оптималии коркарди ашёи хом, аз ҷумла режимҳои ҳарорат, таркиби муҳити реактив, давомнокии даврони алоҳида муайян карда шуданд. Механизмҳои муайян карда шуданд, ки процессҳои асосии физики-химиявӣ ба амал меоянд;

- схемаҳои ҷараёни коркарди маъданҳои мураккаби алюмосиликат ва боросиликат таҳия ва санҷида шуданд, ки ба баланд бардоштани суръати истихроҷи моддаҳои муфид нигаронида шудаанд. Диаграммаҳои ҷараёни пешниҳодшуда ба оптимизатсияи сикли истеҳсолот мусоидат мекунанд ва метавонанд барои намудҳои гуногуни ашёи хом бо таркибҳои якхелаи минералӣ мутобиқ карда шаванд.

Натиҷаҳои тадқиқот барои кор карда баромадани усули нави хлоркунонӣ бо маҳсулоти хлор ва хлордор истифода мешаванд. Хлор кардани ашёи хоми алоҳида низ тадқиқ карда мешавад. Механизмҳои равандҳои хлоризатсия низ равшан карда шудаанд.

Дарачаи омӯзиши проблемаҳои илмӣ. Дарачаи омӯзиши проблемаи илмӣ соҳаи технологияи хлори маъданҳои бор ва алюмосиликат нокифоя аст, зеро дар процесси хлор кардани ашёи хом бисёр маҳсулоти иловагӣ ба даст оварда мешавад ва ҳуди процесс интиҳоби параметрҳои оптималиро талаб мекунад.

ANNOTATION

on the dissertation of Isozoda Akram Mukhibullo on the topic: "Chlorine decomposition of boron and aluminosilicate ores of Tajikistan" submitted for the application of Doctor of Philosophy (PhD),
Doctor of specialty 6D060600 – Chemistry (6D060601 - Inorganic Chemistry)

Key words: chlorine-containing reagents, aluminum, boron, ore, silica, mineral raw material base, components, processing, mineral structure, extraction, oxides, resources, raw materials, chlorination of argillites, aluminosilicate rocks, regularity, reaction, optimization, parameters, profitability, boron-containing minerals, spectrum, compounds, heat resistance, technical ceramics, refractory materials, microelements, high-tech production, Ak-Arkhar deposit, investment

Object of study: The object of study is the processing of boron and aluminosilicate ores by the chlorine method and sintering of raw materials with some chlorine-containing reagents

The aim of this work is to develop efficient methods for obtaining chlorine compounds of boron, aluminum, iron and other valuable substances for the needs of new technology, and for obtaining energy-intensive substances from the obtained chlorine compounds of boron and aluminum.

Research methods. Chemical methods were used to determine the main components of boron and aluminosilicate ores. X-ray fluorescence, differential thermal analysis, and other analytical methods were also extensively employed. Semi-empirical and computational methods were employed to evaluate the thermodynamic decomposition process of the ores.

The results achieved and their novelty:

- a thermodynamic assessment of the decomposition of boron and aluminosilicate ores using the chlorine method was provided;

- optimal parameters for raw material processing were identified, including temperature regimes, reagent medium composition, and the duration of individual stages. The mechanisms underlying the main physicochemical processes were identified;

- process flow charts for processing complex aluminosilicate and borosilicate ores were developed and tested, aimed at increasing the extraction rate of useful substances. The proposed flow charts facilitate the optimization of the production cycle and can be adapted for various types of raw materials with similar mineral compositions.

The study's results are used in a new approach to the chlorination process using chlorine and chlorine-containing products. Chlorination of individual raw minerals is explored. The mechanisms of chlorination processes are elucidated.

The level of scientific study of the problem in the field of chlorine technology of boron and aluminosilicate ores is insufficient, since the process of chlorination of raw materials produces many by-products and the process itself requires the selection of optimal parameters.