

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

УДК : 544.66.063

На правах рукописи

ББК : 28.071(2Р)

Д - 13



ДАВЛАТОВ Абдурахмон Сайрахмонович

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПОЛУЧЕНИЯ БОРНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ БОРОСИЛИКАТНЫХ РУД
МЕСТОРОЖДЕНИЯ АК-АРХАР ТАДЖИКИСТАНА

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание учёной степени

кандидата технических наук по специальности

05.17.00. – Химическая технология

(05.17.01. - Технология неорганических веществ)

Душанбе – 2025

Работа выполнена в лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и промышленных отходов» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина» Национальной академии наук Таджикистана (НАН Таджикистана).

Научный руководитель: Курбонов Амиршо Сохибназарович- доктор химических наук, директор филиала Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана в Хатлонской области

Официальные оппоненты: Эшов Бахтиёр Бадалович- доктор технических наук, доцент, директор ГНУ Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана

Низомов Исохон Мусоевич кандидат химических наук, доцент кафедры «Общей и неорганической химии» Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни

Ведущая организация: Таджикский технический университет им. акад. М. Осимӣ,

Защита состоится «17» сентября 2025 года в 11-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 6D.KOA-042 при Институте 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, +992934366463

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

Автореферат разослан «___» _____ 2025 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Хамидов Ф.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы и необходимость проведения исследований. Настоящая работа посвящена вопросам переработки рапы озера Сасык-Куль экстракционным способом с получением борной кислоты, а также вопросам переработки датолитовых и данбуритовых руд (боросиликатных руд) месторождения «Ак-Архар» Таджикистана методами спекания и кислотными методами. В Таджикистане в настоящее время большое внимание уделяется различным боросодержащим рудам, что связано с уменьшением запасов качественных боратных руд - гидроборацитовых, калиборитовых, борацитовых, и в условиях Республики Таджикистан снижется стоимость транспортных расходов на перевозку борных продуктов.

Руда месторождения «Ак-Архар» содержит в своём составе более 10% B_2O_3 и большие количества кремнезёма. Поэтому разработка эффективных способов её переработки является актуальной.

В данной работе рассматриваются в качестве эффективных способов кислотный способ, экстракционный способ и спекательный, которыми перерабатывалась исследуемые боросиликатные руды. По эффективности в этом направлении можно выделить кислотный способ, он позволяет селективно выделять борные продукты и кремнезём на первых стадиях технологических процессов, что, соответственно снижает материальные потоки в разрабатываемой технологии. Но кислотный способ разложения указанных руд кроме положительных характеристик имеет и негативные, которые заключаются в сложностях технологии, отделением и промывкой твердых остатков, сложностью очистки получаемых растворов от побочных примесных соединений.

Также представляется перспективным способ спекания указанных руд, так как высокотемпературное спекание разрушает минералы, представленные в рудах, что в свою очередь позволяет извлекать более высокие содержания полезных соединений.

В настоящей работе приводятся результаты исследования процессов экстракции борного продукта различными органическими реагентами и разложения сырья минеральными кислотами и спеканием.

Степень изученности научной проблемы. В предыдущих исследованиях, выполненных сотрудниками Института химии НАН Таджикистана, рассматривались различные подходы к разложению боросиликатных руд месторождения Ак-Архар, преимущественно с использованием кислотных и хлорных методов, а также спеканием с различными минеральными солями. Основное внимание при этом уделялось разработке научных основ комплексной переработки боросодержащего минерального сырья, характерного для месторождений Таджикистана.

В то же время вопросы, связанные с извлечением борных соединений из минерализованных природных рассолов озера Сасык-Куль, а также термическое разложение боросиликатной руды с применением гидрофторида аммония (NH_4HF_2) методом спекания, на сегодняшний день остаются

недостаточно изученными. Анализ доступной литературной информации свидетельствует об отсутствии систематических исследований в данном направлении, что подчёркивает актуальность и научную значимость рассматриваемой в настоящей работе проблемы.

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 исследования является изучение кислотного разложения боратовых руд, разработка технологических основ и технологий переработки боратовых руд методами спекания с участием реагента-активатора процесса - аммония фтористого кислого (NH_4HF_2 - гидродифторида аммония) и испытание данного метода переработки в лабораторных условиях. Оптимизация параметров спекания и кислотного разложения с выявлением оптимальных параметров, с целью извлечения максимальных содержаний конечных продуктов, исследование кинетики и кинетических параметров указанных разложений, разработка эффективных технологий разложения боратосодержащих руд. Извлечение борной кислоты из руд с вовлечением в процесс в качестве активаторов некоторых органических реагентов.

Задачами исследования являются:

- Провести анализ химического состава и минералого-геохимических характеристик борсодержащих руд месторождения «Ак-Архар», расположенного на территории Республики Таджикистан;
- Исследовать процессы деструкции борсодержащих руд с применением кислотных методов с участием ряда неорганических кислот, а также спекательного метода с использованием гидродифторида аммония (NH_4HF_2) в качестве активирующего агента;
- Осуществить термическую модификацию руды в условиях её активации реагентом — гидродифторидом аммония (NH_4HF_2);
- Проанализировать кинетику и установить кинетические параметры процессов разложения борсодержащих руд при кислотной обработке;
- Разработать высокоэффективные технологии разложения борсодержащих руд с предварительной активацией реагентом типа «царская водка»;
- Создать технологические решения по эффективному разложению борсодержащих руд с применением спекательной обработки.

Объект исследования: боросиликатное сырьё Ак-Архарского месторождения и рапы озера Сасык-Куль.

Предмет исследования – разработка эффективных способов выделения борной кислоты из рапы озера Сасык-Куль путём экстракции органическими

реагентами и переработки боросиликатных руд кислотными и спекательными способами.

Научная новизна работы.

Изучены процессы экстракции рапы озера Сасык-Куль органическими реагентами и переработки боратной руды методами кислотного разложения и спекательными методами, проведено изучение механизмов, согласно которым осуществляется непосредственное разложение руды, полученные результаты полностью подтверждены результатами ДТА и РФА. Проведена разработка и опробована в лабораторных условиях разработка технологии по разложению боратного сырья различными методами (кислотными, спекательными и др.).

Теоретическая ценность исследования. Теоретическая ценность работы это раскрытие механизмов кислотного разложения, экстракция бора, метод спекания, кинетика, термодинамическая оценка и технологический основы переработке борсодержащих материалов.

Практическая значимость работы. Экспериментальные результаты, полученные в настоящей работе, рекомендуется использовать в процессах переработки боратных руд различного качества и состава для эффективного извлечения из них ценных соединений, при разработке технологий переработки боратных руд комплексными способами, для получения различных соединений на основе бора.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Представлены результаты термодинамической оценки процесса разложения борной руды с применением активирующих агентов $\text{NaOH}-\text{CaCl}_2$ и NH_4HF_2 (гидрофторид аммония);
- Охарактеризованы термодинамические параметры процесса деструкции боросиликатных руд с использованием смеси концентрированных кислот типа «царская водка»;
- Приведены данные химико-минералогических, химических и физико-химических исследований борсодержащих руд, а также промежуточных и конечных продуктов переработки;
- Описаны результаты разложения борсодержащей руды с использованием кислотной технологии («царская водка») и спекательного метода с реагентом-активатором NH_4HF_2 ;
- Определены и оптимизированы параметры кислотного и спекательного методов переработки борсодержащих руд (температура, длительность процесса, соотношение руда/реагенты), а также аналогичные параметры при использовании органических экстрагентов для выделения борной кислоты;
- Исследована кинетика кислотного разложения борсодержащих руд и проанализированы соответствующие кинетические характеристики;
- Разработана и представлена лабораторная технологическая схема переработки указанных руд с применением кислотных, экстракционных и спекательных методов.

Достоверность диссертационных результатов. Подтверждается проведением экспериментальных работ и химическими методами анализа

нескольких образцов сырья. Обработка экспериментальных данных через компьютерные программы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.17.01. - Технология неорганических веществ по следующим пунктам:

1. Производственные процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты (получение борная кислота, фторида кальция, тетрафтороборат аммония, гексафторосилкат аммония и борного спирта из борсодержащие источники).

2. Технологические процессы (химические, физические и механические) изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала в производстве неорганических продуктов (измельчение и термическое обработки боросиликатное сырья).

3. Способы и процессы защиты окружающей среды от выбросов производств неорганических продуктов, утилизация и обезвреживание неорганических производственных отходов.(применение молотых технологий для переработки сырья)

4. Способы и средства разработки, технологических расчётов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции применительно к производственным процессам получения неорганических продуктов (расчёт термодинамические характеристики кислотного разложения боросиликатного сырья, а также вычисление энергия активации процесса разложения для определение кинетические параметры влияющие на технологические процессы).

Вклад автора соискателя заключается в постановке исследовательских задач, анализе литературных источников по теме диссертационного исследования, определении методов решения поставленных задач и обработке экспериментальных данных.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Результаты, представленные в диссертационной работе, были доложены и обсуждены на: XVII Нумановских чтениях «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке» (Душанбе, 2022); Республиканской научно-практической конференции (III-годовой) ГОУ «Хатлонский государственный медицинский университет», посвящ. 30-летию XVI сессии Верховного Совета Республики Таджикистан (Дангара, Таджикистан, 2022); Международной научно-практической конференции «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» (Гулистан, Таджикистан, 2023); XVIII Нумановских чтениях «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты» (Душанбе, 2023); Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана» (Ташкент, Узбекистан, 2023);

Международной научно-практической конференции «Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны» (Душанбе, 2024); Научно-практической конференции молодых учёных «Наука с точки зрения молодых учёных» (на тадж. яз.) (Душанбе, 2024).

Публикации по теме диссертации. По результатам исследований опубликовано 17 работ, из них 7 статей в рецензируемых журналах ВАК РТ, и 9 – в материалах конференций различного уровня. Получен 1 патент РТ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает 3 главы, введение, обсуждение полученных результатов, выводы и список литературных источников из 189 наименований. Представляет собой рукопись, изложенную на 154 страницах компьютерного набора, включает 43 рисунок, 23 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе представлены литературные данные об характеристиках и свойствах борных минералов, путях и способах переработки борсодержащего сырья с получением других полезных компонентов. На основании этого намечены направления собственных исследований.

Во второй главе приведены методики физико-химических анализов, определены химические и минералогические составы боросиликатных руд, и выявлены с помощью дериватографического метода исследования изменения процессов в составе руды. Приведены результаты термодинамических оценок разложения боросиликатных руд кислотными и спекательными способами.

В третьей главе изучены процесс выделения борной кислоты из природных рассолов с различными органическими экстрагирующими агентами путём экстракции, а также проведены результаты кислотного и спекательного способы разложения боросиликатной руды. Разработаны базовые технологические схемы разложения боросиликатных руд гидродифторидом аммонием, а также приведена сравнительная оценка разложения боросиликатных руд с различными реагентами спекательным способом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БОРСИЛИКАТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА

Дифференциально-термический анализ борсодержащих руд

В данном разделе изучен фазовые превращение минералов состава руды путём переработки боросиликатного сырья Ак-Архаского месторождения с хлоридами натрия и кальция, как хлорирующими агентами, дериватографическим методом (метод ДТА).

Термические исследования выполнены на дериватографе Labsys Evo-1600 фирмы Setaram, имеющим широкие исследовательские возможности, позволяющими определять тепловую природу, эндо- или экзотермический характер протекания химических реакций, температурные интервалы превращений.

Для образца боратовой руды была снята дериватограмма при определённой массе образца и скорости его нагрева до 1000°C (рисунок 1). Согласно термограмме, до температуры 500-550°C боросиликатное сырьё не претерпевает никаких изменений. Выше этих температур на кривых ДТА наблюдаются четыре эндоэффекта при 570, 600, 680 и 770°C.

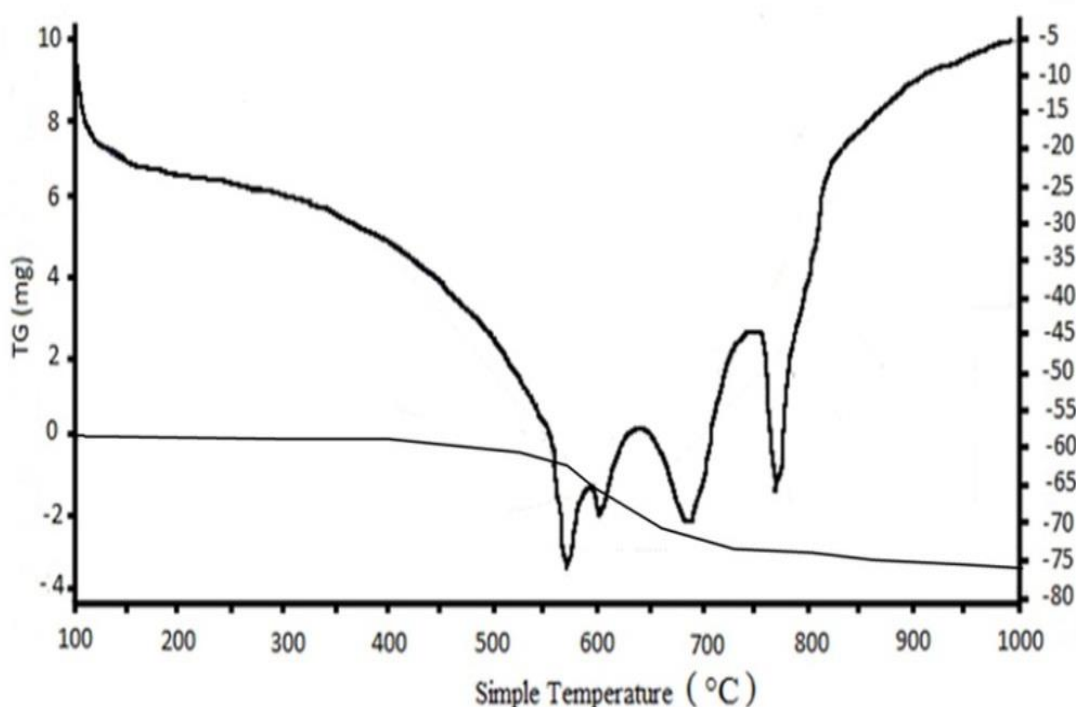


Рисунок 1. - Дериватограмма боросиликатного сырья с тепловыми эффектами (нагрев до 1000°C, при скорости 15°C/мин в течение 1 часа, масса навески 71 мг)

Эндотермические эффекты на участке температур 570-680°C свидетельствуют о значительных потерях массы образцов, что инициируется удалением молекул кристаллизационной и конституционной воды из минералов руды. Эндотермический эффект на участке температур 750-813°C характеризует разложение минералов кальцита, датолита, данбурита, и геденбергита с образованием дибората кальция, силиката кальция, кварца и андратита.

На дериватограмме шихты, состоящей из борного сырья и NaCl, имеется 3 эндоэффекта при температурах 680, 740 и 813°C (рисунок 2).

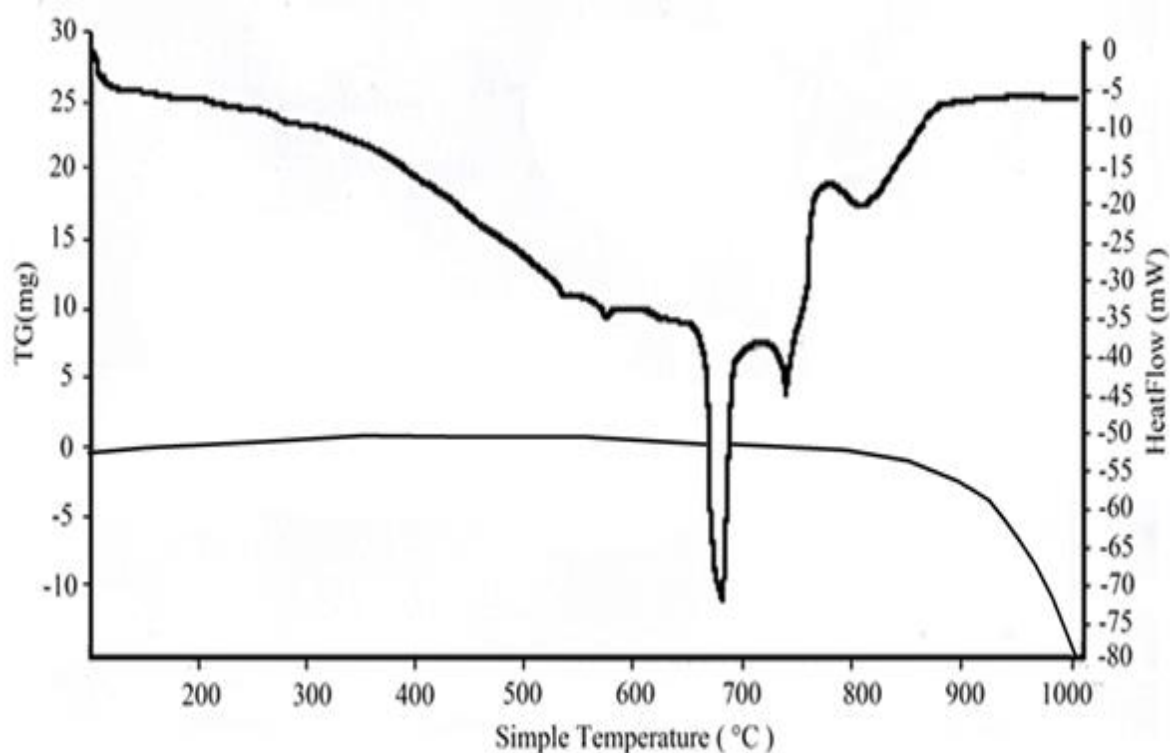
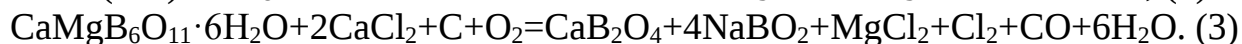
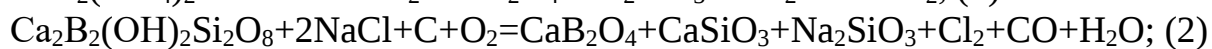
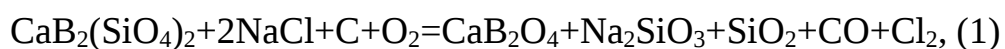


Рисунок 2. - Дериватограмма смеси боросиликатного сырья и NaCl с тепловыми эффектами (нагрев до 1000°C, при скорости 5°C/мин в течение 3 часов, масса навески 63 мг)

Эндоэффекты при температурах 680 и 740°C с незначительной потерей массы образца, очевидно, связаны с удалением химически связанной воды и превращением α -модификации кварца в β -форму. Проявляющийся эндоэффект при температуре 813°C с уменьшением массы образца может быть связан с разложением минералов состава руды и образованием дибората кальция, силиката кальция, силиката натрия, метабората натрия и выделением газов CO и Cl₂, согласно ниже приведённым реакциям:



На дериватограмме, снятой для боратосодержащей руды при её разложении хлоридом кальция, видно проявление пяти эндотермических эффектов, которые проявились на участках температур 520-610-630-670-750°C (рисунок 3).

Из термограммы (рисунок 3) видно, что в случае эндоэффекта, который происходит в диапазоне температур от 469 до 630°C изменение массы образца незначительно, следовательно это связано с превращением кварца в более активную форму – аморфную и удалением воды и гидроксильных групп состава минералов борного сырья. На линии TG уменьшение массы образца отмечается при диапазоне температур 630-800°C, что связано с выделением

газов CO и Cl₂ в ходе реакций. При температуре 750°C и участии хлорида кальция осуществляется разложение минералов боратовой руды и образуются соединения силикат и диборат кальция по химреакциям:

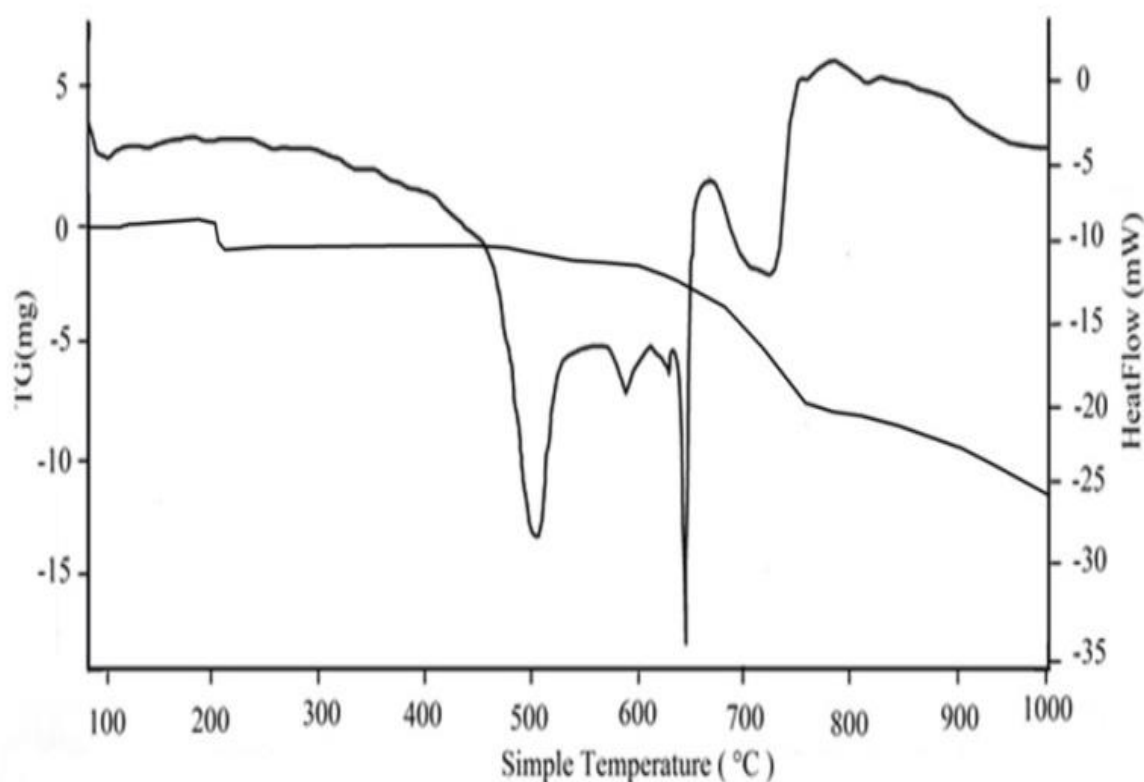
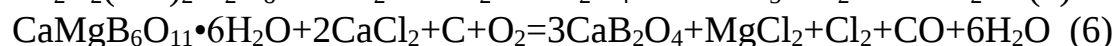
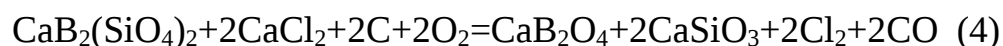


Рисунок 3. - Дериватограмма смеси боросиликатного сырья и CaCl₂ с тепловыми эффектами (нагрев до 1000°C, при скорости 5°C/мин в течение 3 часов, масса навески 45 мг)

Рентгенофазовый анализы борсодержащих руд (РФА).

Образцы боратной руды исследовали методом РФА с привлечением современного дифрактометра дифрактометра «XRDynamic-500», который является автоматическим многоцелевым порошковым рентгеновским дифрактометром (рисунок 4)

Комплексом «XRDynamic-500» были проведены рентгенофазовые исследования исходной боратовой руды месторождения «Ак-Архар» (рисунок 5), которые показали наличие следующих основных рудообразующих минералов: гранат, гидроборатсит, кальцит, датолит, пироксены, данбурит, кварц, гидрослюда (или геденбергит) и др.

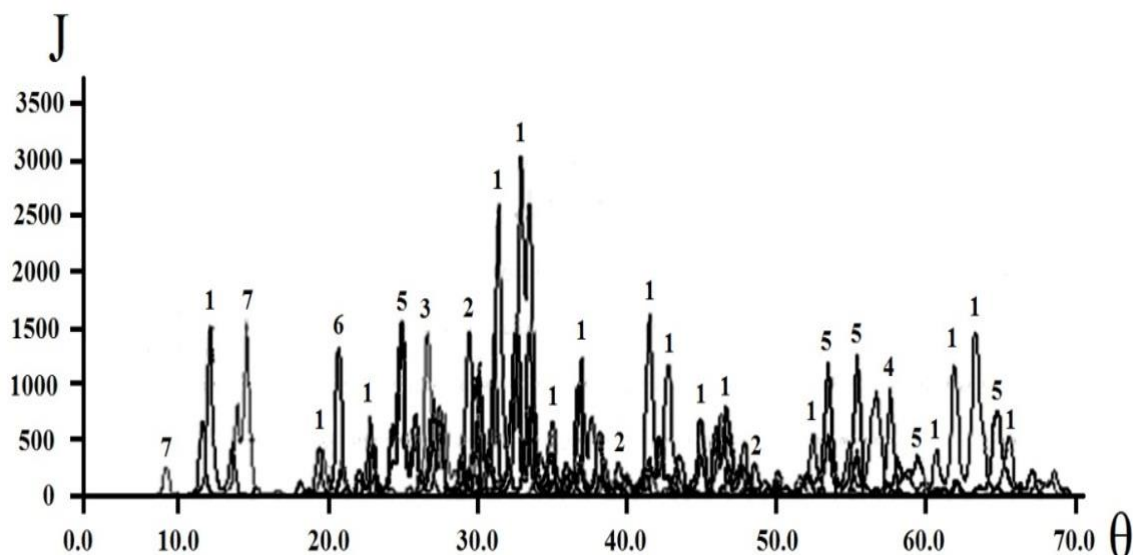


Рисунок 4.- Рентгенограмма исходной боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения. 1-данбурит, 2-кальцит, 3-кварц, 4-Геденбергит, 5-датолит, 6-гипс, 7-геденбергит

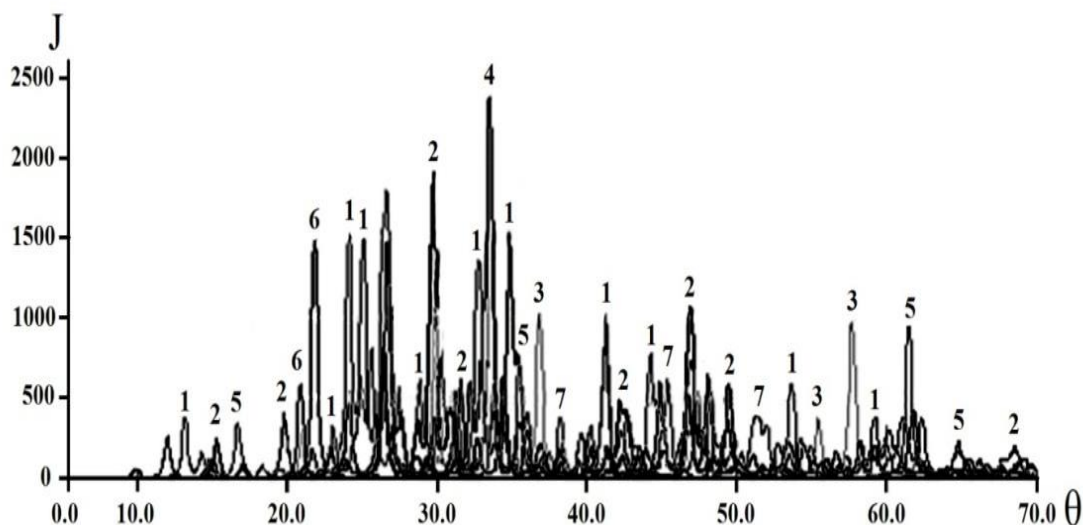
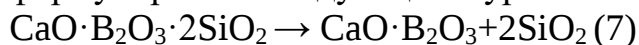


Рисунок 5. - Рентгенограмма исходной боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения после предварительного обжига. 1-диборта кальция, 2-борат кальций, 3-андрадит, 4-феррит кальций, 5-силлиманит, 6-кварц. 7-данбурит

Рентгенографические исследования также провели с исходной рудой, которая предварительно подвергалась термической обработке при температуре 900-950°C, и её рентгенограмма приведена на рисунке 5.

При сравнении рентгенограмм рисунков 4 и 5 можно увидеть изменения как размеров пиков, так и их количества, то есть после предварительной термообработки руда претерпевает значительные изменения.

Высокотемпературная обработка руды вызывает обезвоживание минералов, которые находятся в её составе, а также минералы претерпевают частично разрушение каркасных структур. Разложение минералов датолита и данбурита происходит с образованием кварца, силиката и дибората кальция, их разложение можно сформулировать следующими уравнениями::



Как видно из химреакций (2.7) и (2.8), кальцит при диссоциации боратосодержащей руды переходит в оксид кальция (CaO). На рисунке 5 также проявляются пики, которые относятся к дикальциевому борату. Можно сделать заключение, что происходит образование оксида кальция, который в свою очередь взаимодействует с оксидом кремния и диборатом кальция (образованными после терморазложения данбурит и датолита), в результате чего мы видим образование дикальциевого бората и силиката кальция.

Минерал гранат на обоих рисунках (4 и 5) его пики одинаковые, то есть его как количественное, так и структурное состояние не изменяется, он не разлагается при высокотемпературной обработке.

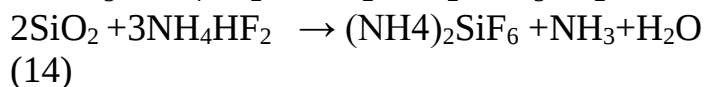
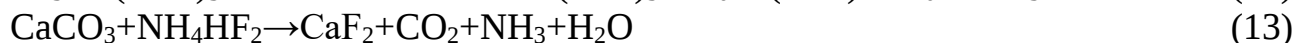
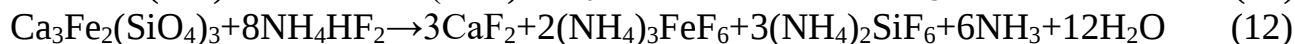
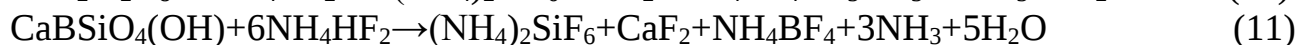
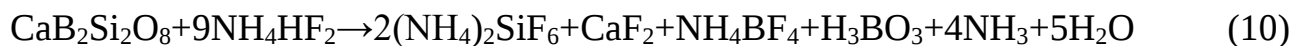
Минерал геденбергит под воздействием кислорода воздуха окисляется с превращением в изоморфный минерал андрадит, его превращение происходит по реакции:



При высокотемпературной обработке минерал кварц претерпевает структурные изменения, переходя в более активную форму, и взаимодействует с оксидом кальция.

Термодинамические характеристики процесса разложение борсодержащих руд с гидродифторидом аммония

При взаимодействии минералов состава боратовой руды с гидродифторидом аммония предполагается протекание следующих реакций:



Основными критериями, характеризующими направление протекания процессов, является значение энергии Гиббса. Если значение $\Delta G > 0$, то с большой вероятностью равновесие реакции смещается вправо, а если значение $\Delta G < 0$, в этом случае равновесие смещается влево.

Термодинамические характеристики вероятных протекающих реакций (10)-(14) разложения боратосодержащей руды гидрофторидом аммония (NH_4HF_2) обобщены в виде таблицы 1

Таблица 1. - Термодинамические параметры реакций

Реакции	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·град	ΔG^0_{298} , кДж/моль
10)	44.996	587.835	-130.17883
11)	961.304	797.395	723.68029
12)	-854.229	736.57	-1073.72686
13)	689.102	285.22	604.10644
14)	-903.525	83.04	-928.27092

Данные таблица 1 показывает, что реакции (10), (12) и (14) могут протекать самопроизвольно благодаря комбинации термодинамических факторов, а именно, $\Delta H < \text{нуля}$ и $\Delta S > \text{нуля}$. Что касается протекания реакций (11) и (13), то в них доминирует фактор энтропии, соответственно, у них $\Delta S < \text{нуля}$, что можно увидеть из таблицы 1, в которой энергия Гиббса вычислялась для реакций (10) - (14) по следующему уравнению:

$$\Delta G_p^0 = \Delta H_p^0 - T\Delta S_p^0.$$

Зависимость энергии Гиббса от температуры для рассматриваемых реакций (10)-(14) приведена в таблице 2, был изучен диапазон температур 323-623 К. Также зависимости энергии Гиббса от температуры при разложении боратосодержащей руды гидрофторидом аммония приводятся на рисунке 6

Таблица 2. - Значения энергии Гиббса (ΔG° , кДж/моль) при различных температурах

Реакции	ΔG°_{323}	ΔG°_{373}	ΔG°_{423}	ΔG°_{473}	ΔG°_{523}	ΔG°_{573}	ΔG°_{623}
10)	-144.8	-174.26	-203.65	-233.04	-262.4	-291.8	-321.2
11)	703.74	663.87	624	584.1	544.2	504.3	464.5
12)	-1092.1	-1129	-1165.7	-1202.6	-1239.4	-1276.2	-1313.1
13)	596.9	582.71	554.19	525.6	497.1	468.6	440.1
14)	-930.3	-934.4	-942.8	-951.1	-959.4	-967.7	-976.0

Из данных таблицы 2 и рисунка 6 сделано заключение, что вероятность протекания имеется у реакции (10), она протекает с ростом (Т) и ростом энтропии, согласно признаку ($\Delta S > 0$), энергия Гиббса для этой реакции отрицательная и сама реакция имеет большой шанс на протекание.

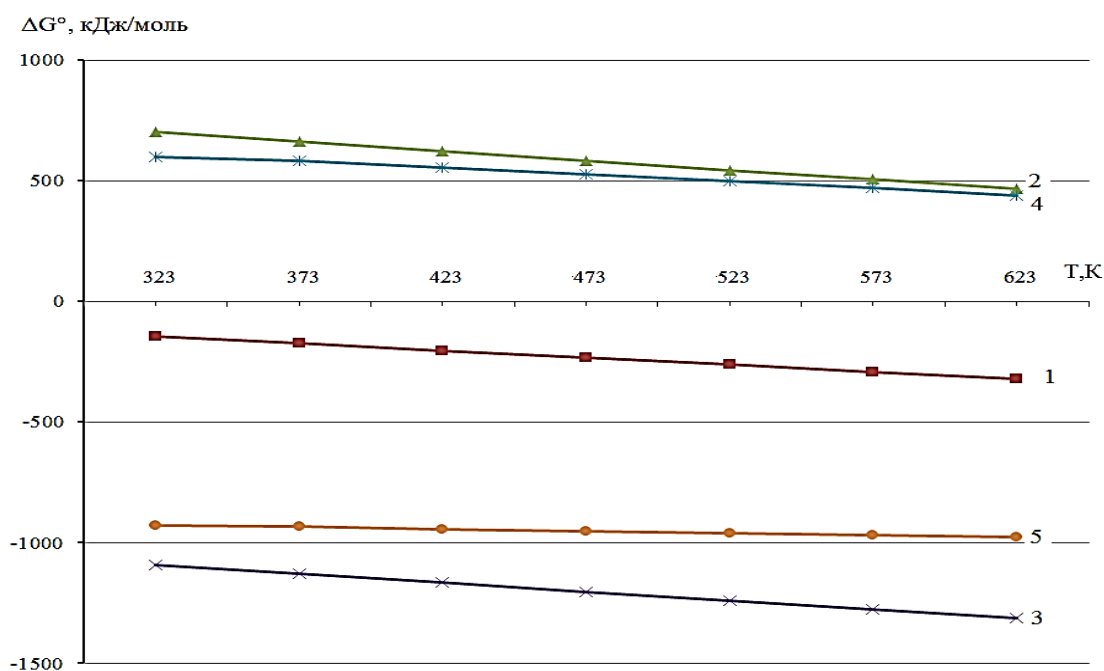


Рисунок 6.- Зависимости ΔG реакций от температуры (1- данбурит, 2 -датолит, 3- гидрослюда, 4 -кальцит, 5- оксид кремний), при разложение борсодержащие руды с гидродифторидом аммония

Остальные реакции (12)-(14) имеют тенденцию снижения энтропии, соответственно, роста (Т) и снижения отрицательных величин энергии Гиббса. Для этих реакций увеличение температуры тормозит их, так как при этом отрицательные величины энергии Гиббса переходят в положительные. Таким образом, для всех рассмотренных реакций (10)-(14) их протекание термодинамический обосновано.

ПЕРЕРАБОТКА БОРСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ЭКСТРАКЦИЙ, КИСЛОТНЫМ РОЗЛОЖЕНИЕМ И СПЕКАНИЕМ **Экстракция борной кислоты из рассолов озера Сасык-Куль (Таджикистан) с применением одноатомных алифатических спиртов.**

Рост промышленного спроса на бор и его соединения, особенно в сферах атомной энергетики, электроники, химической и стекольной промышленности, обуславливает актуальность разработки высокоэффективных методов извлечения бора. Важным направлением является получение борной кислоты из альтернативных природных источников, включая морские воды, сточные воды предприятий по переработке борсодержащих руд, а также минеральные рассолы некоторых озёр. В частности, интерес представляет экстракция борной кислоты из рассола озера Сасык-Куль (Таджикистан) с использованием одноатомных алифатических спиртов в качестве органических экстрагентов. Одной из задач данного исследования являлось изучение в лабораторных условиях экстракции борной кислоты из рапы озера Сасык-Куль с

использованием в качестве экстрагентов алифатических спиртов (гексанола и октанола), а также проведение стендовых испытаний данного процесса.

Рапа озера Сасык-Куль имеет щелочную среду, так как в её составе находится карбонат натрия в значительных количествах. Процесс экстракции из рапы борных соединений осуществляли следующим образом: предварительно пробы воды подкислялись до pH 1-2, так кислая среда снижает степень диссоциации H_3BO_3 , число недиссоциированных молекул увеличивается, и H_3BO_3 достаточно легко переходит к органическому реагенту.

Приготовление экстрагента: соотношение спирт/толуол = 1/1. Борная кислота экстрагировалась в стеклянной колбе при перемешивании магнитной мешалкой до образования эмульсии. После завершения процесса экстракции полученная эмульсия переносилась в делительную воронку для отстаивания с последующим разделением на водную и органическую фазы. Каждая из фаз далее отбиралась в отдельные ёмкости, где проводилось количественное определение содержания борной кислоты (H_3BO_3).

Определение концентрации H_3BO_3 в органической фазе осуществлялось путём проведения процесса реэкстракции с использованием водного раствора гидроксида натрия (NaOH), обеспечивающего переход борной кислоты из органической фазы в водную. При этом в щелочной продуктивный раствор переходит H_3BO_3 как соединение метаборат натрия.

Исследован процесс перехода H_3BO_3 из водной фазы в органическую фазу и влияние на экстракцию борной кислоты времени экстракции (τ) гексаноном и октаноном (рисунок 7).

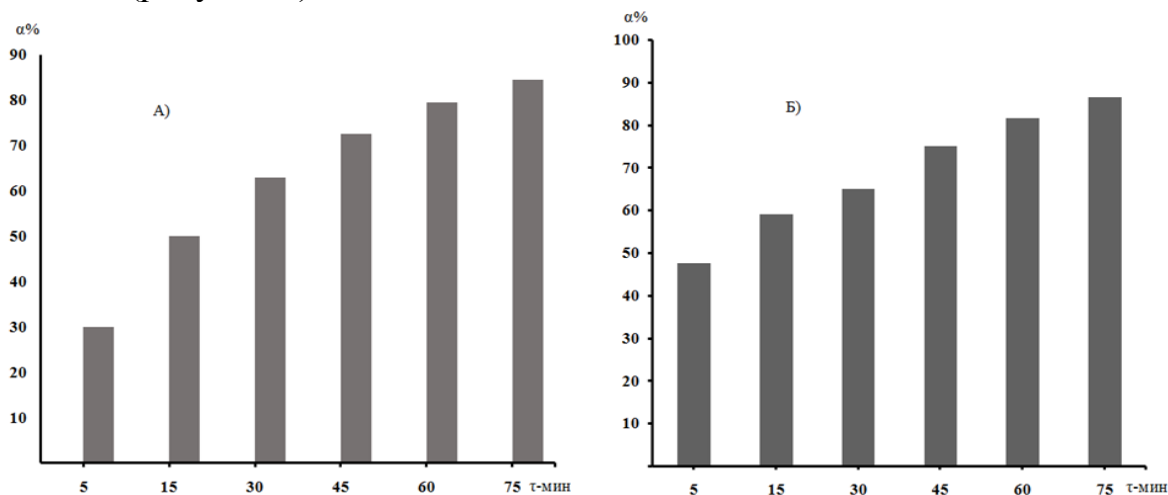


Рисунок 7. - Результаты исследования экстракции борной кислоты гексаноном (А) и октаноном (Б) в зависимости от продолжительности процесса экстракции.

На рисунке 7 можно увидеть, что диаграмма извлечения борной кислоты из водной фазы в органическую имеет тенденцию плавного увеличения с увеличением продолжительности извлечения до 75 мин, при которой экстракция борной кислоты достигает 85% и выше.

Таким образом, для извлечения H_3BO_3 из рапы озера Сасык-Куль были использованы экстрагенты – одноатомные спирты гексанол и октanol и

проведена оптимизация технологических параметров извлечения: $\tau=75$ мин, $pH=1-2$, отношение рапа/экстрагент = 1/1 с максимумом извлечения N_3VO_3 85% и выше.

Спекание боратовой руды с фторсодержащими реагентами.

В данного разделе приведен процесса спекание боросиликатного сырья месторождения «Ак-Архар» Таджикистана с гидродифторидом аммония с последующим получением ценных продуктов.

Основная задача исследования заключалась в повышении эффективности метода разложения боросиликатных руд с учётом и устранением недостатков, имеющихся в кислотных, хлорных и щелочных методах вскрытия руд, а также расширение номенклатуры товарной продукции, получаемой из боросиликатных руд.

Поставленная задача решалась вскрытием боросиликатной руды методом фторирования через твёрдофазное взаимодействие указанной руды с гидродифторидом аммония, который был выбран в качестве фторирующего агента.

На рисунке 8 представлены результаты дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрического анализа (TG) смеси, включающей боросиликатное сырьё и гидродифторид аммония. Дериватограмма получена при скорости нагрева $5^\circ C/мин$ до температуры $400^\circ C$ с использованием термоаналитической системы «Labsys Evo-1600» производства французской компании Setaram.

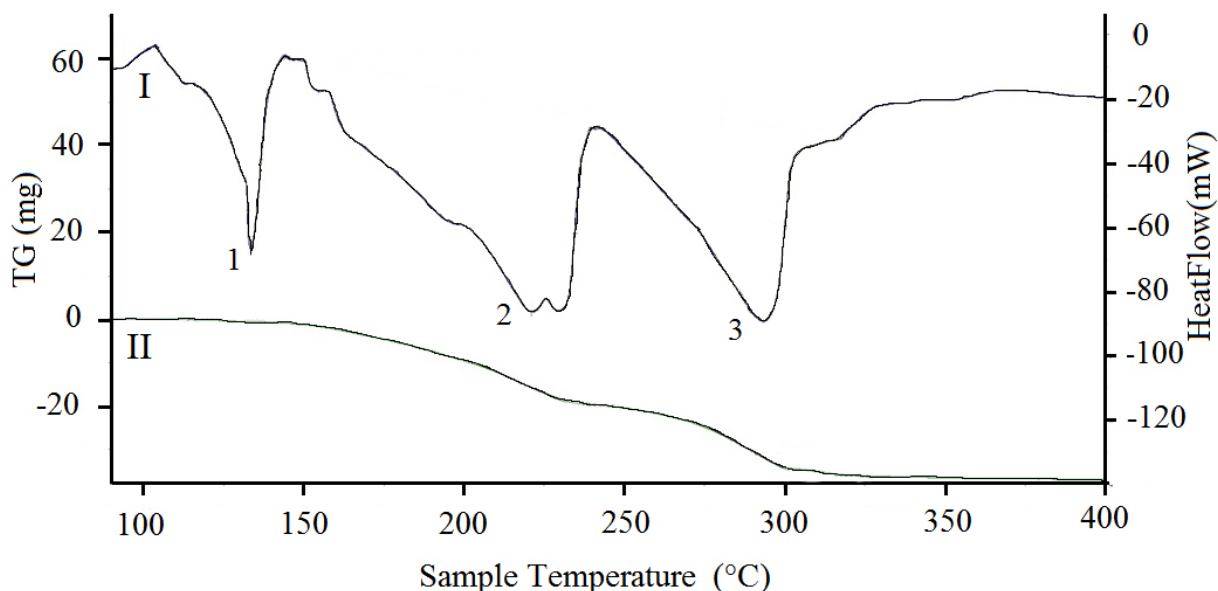


Рисунок 8. - Дериватограммы шихты боросиликатного сырья и гидрофторида аммония с указанием тепловых эффектов (нагрев до $400^\circ C$ при скорости $5^\circ C/мин$ в течении 1 ч, масса навески 48 мг): I - линия ДТА; II - линия ТГ; 1,2,3 - эндотермические эффекты

На кривых дифференциального термического анализа (ДТА) зафиксированы выраженные эндотермические эффекты при температурах 130, 240 и 280 °С. Обнаруженные эндоэффекты в температурном интервале 114–140 °С соответствуют слабовыраженной массовой потере образца, что связано преимущественно с удалением физически адсорбированной и кристаллизационной (гидратной) влаги из шихты. Эффекты при 240 и 280 °С могут соответствовать разложению боросиликатного сырья с образованием гексафторосиликата аммония, тетрафторобората аммония, фторида кальция и гексафтороферрата аммония соответствующими реаксиями (10-14).

Для подтверждения вышеуказанных превращений была снята рентгенограмма профторированного боросиликатного сырья на оборудовании «XRDynamic-500» (автоматическом многоцелевом порошковом рентгеновском дифрактометре), результаты которой приведены на рисунке 9 а.

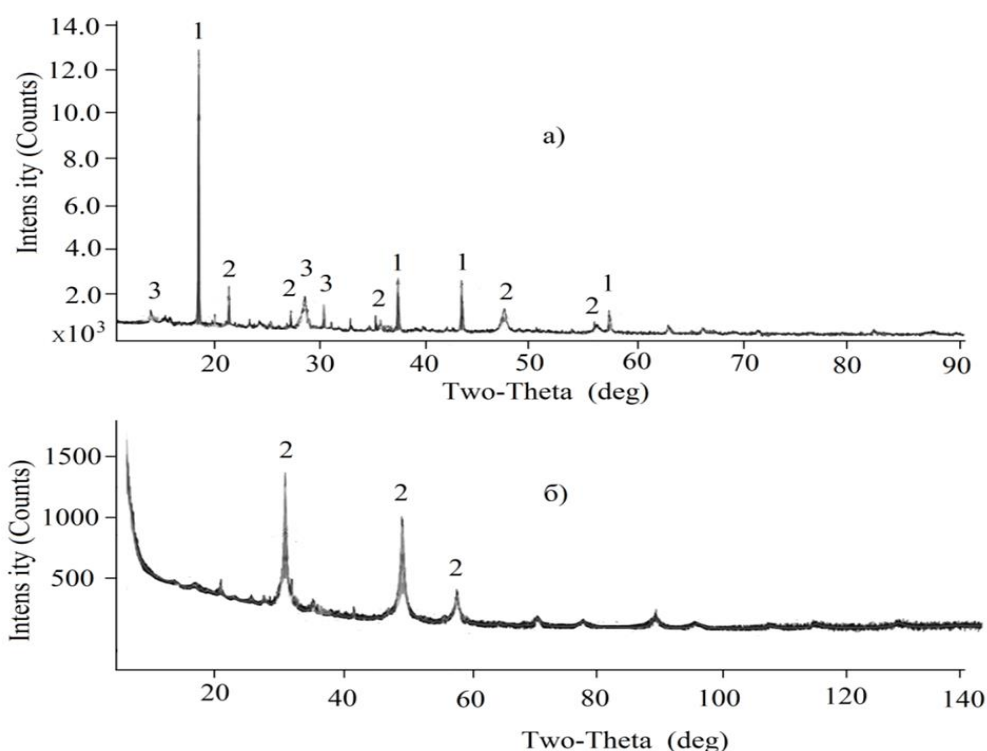


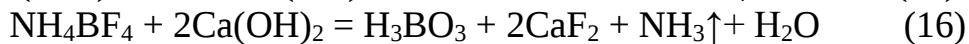
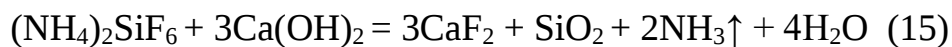
Рисунок 9. - Рентгенограммы профторированной боросиликатной руды (а) и остатка после щелочной обработки (б): 1 - гексафторосиликат аммония ((NH₄)SiF₆), 2 - фторид кальция (CaF₂), 3 - тетрафтороборат аммония (NH₄BF₄)

В соответствии с полученной рентгенограммой (рисунок 9 а) размеры пиков и их расположение полностью соответствуют продуктам реакции взаимодействия боросиликатного сырья и гидрофторида аммония. Основные пики рентгенограммы соответствуют гексафторосиликату аммония, тетрафтороборату аммония и фториду кальция.

В процессе фторирования боросиликатного сырья гидрофторидом аммония при температуре 250-300 °С шихта разделяется на две фракции. Согласно РФА, первая фракция соответствует гексафторосиликату аммония и

тетрафтороборату аммония (рис. 10 а), а вторая фракция в основном фториду кальция (рис. 10 б).

Далее с целью получения борной кислоты в соответствии со следующими реакциями первую фракцию обработали известковым молоком.



Далее для процесса фторирования боратовой руды исследовали некоторые физико-химические параметры с целью их оптимизации – изучали соотношение руда/гидродифторид аммония и варьировали t нагрева руды для максимального извлечения B_2O_3 (рисунок 11а).

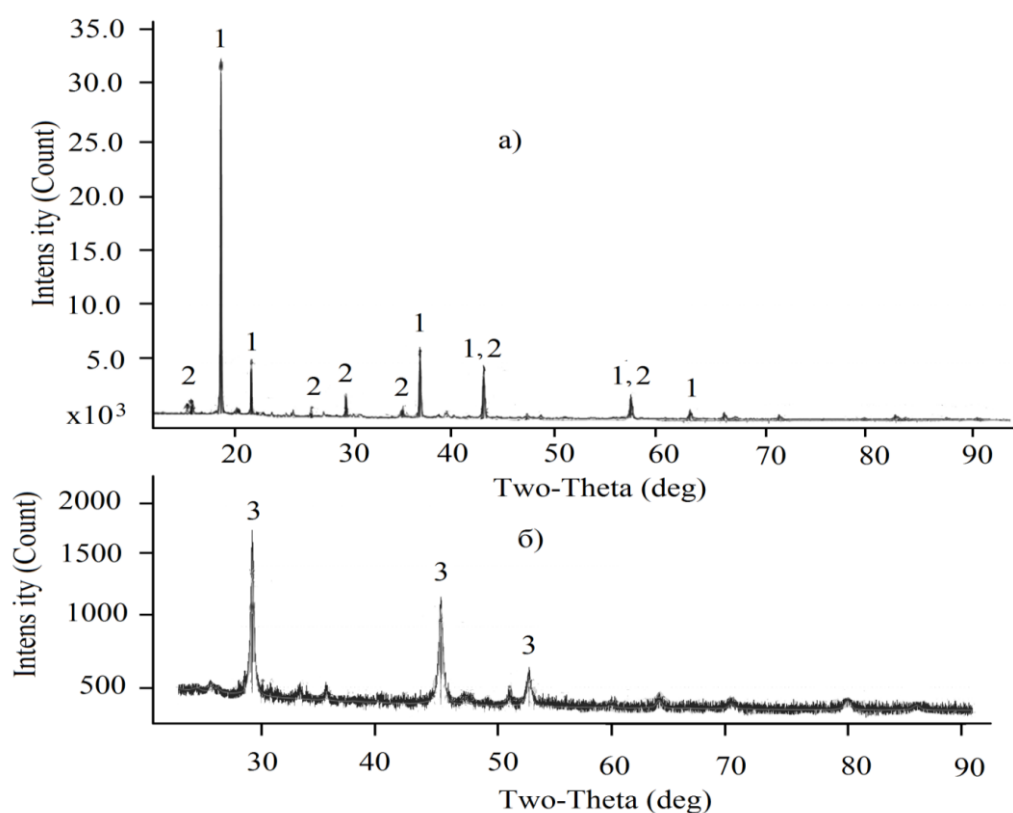


Рисунок 10. - Рентгенограмма первой (а) и второй фракции (б): 1 - гексафторсиликат аммония $((\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6)$, 2 - тетрафтороборат аммония (NH_4BF_4) , 3 - фторид кальция (CaF_2)

По кривой линии (рисунок 11 а), характеризующей извлечение борной кислоты, можно заключить, что на процесс разложения боратовой руды с гидродифторидом аммония значительное влияние оказывает соотношение руда/гидродифторид аммония. Оптимизацию этого параметра проводили при $T=250-300^\circ\text{C}$ с варьированием соотношений руды и NH_4HF_2 , и было определено оптимальное соотношение, равное 1:2.5, при котором достигалось максимальное извлечение боросодержащих соединений, достигающее 87,5% и более

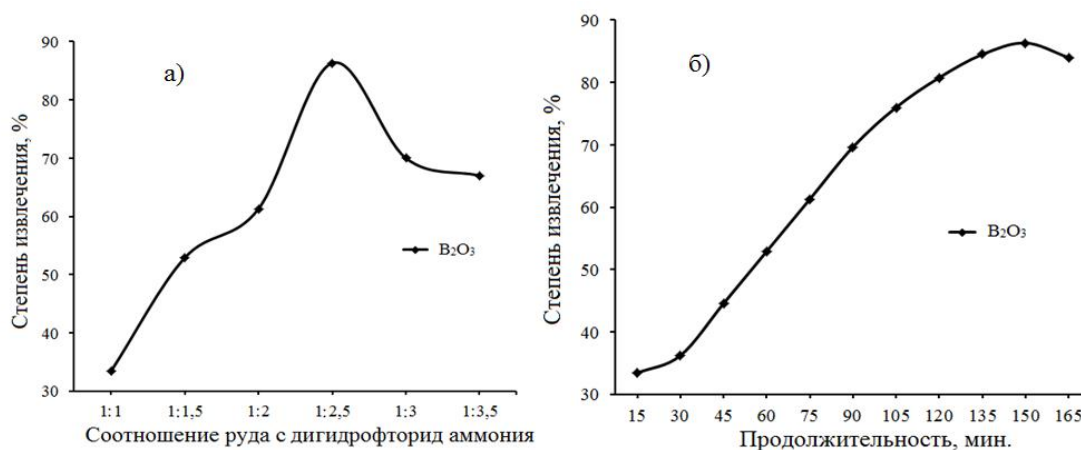


Рисунок 11. - Зависимости извлечения оксида бора от: а) массового соотношения сырья и гидрофторида аммония, б) продолжительности процесса нагрева

Рисунок 11б характеризует изменение извлечения B_2O_3 от технологического параметра - τ термообработки, величину (τ) варьировали от 15 минут до 165 минут. Как видно из рисунка 11 б, максимум извлечения B_2O_3 был достигнут при $\tau=150$ минут (2.5 часа), и составил 87,3%.

Достоверность полученные в данном эксперименте результатов по извлечению B_2O_3 была подтверждена рентгенограммами рисунков 9 б и 10 б, которые были сняты после щелочной обработки боратной руды. Здесь не проявляются пики исходных боросодержащих соединений, но чётко проявляются пики фторсодержащего соединения - фторида кальция (CaF_2), присутствие которого подтверждается расположением и высотой пиков.

Кинетика спекания боратовой руды с гидрофторидом аммония

Изучение кинетики спекания боратовой руды с $NH_4(HF_2)$ включало следующие этапы: боратовую руду (3.5 г) и $NH_4(HF_2)$ (3.5 г) смешивали и помещали в сублимационный аппарат, в котором поддерживалась определённая температура. Через 15 минут процесс останавливали, пульпа, образовавшаяся в сублиматоре, обрабатывалась известковым молоком, затем раствор отфильтровывали от твёрдой части (нерастворившиеся примеси), несколько раз фильтр промывали водой, собирая фильтрат в мерную колбу объёмом 250 мл, если фильтрата было меньше, доводили объём до 250 мл водой. Затем аликвотную часть – 25 мл раствора отбирали и на основании стандартной методики определяли в ней содержание B_2O_3 . Аналогичные опыты повторяли с $\tau=30, 45$ и 60 минут.

Кинетика спекания боратовой руды с $NH_4(HF_2)$ исследовалась на основании полученных экспериментальных зависимостей извлечения в раствор B_2O_3 от (T) спекания, (τ) спекания и соотношения боратовая руда/ $NH_4(HF_2)$. По полученным зависимостям каждого из параметров, известным классическим

кинетическим уравнениям, уравнению Аррениуса определяли порядок реакций и энергию активации всех протекающих реакций процесса.

Кинетика спекания боратовой руды с $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ исследовалась при следующих технологических параметрах: $T=50\text{--}250^\circ\text{C}$, $\tau=30\text{--}150$ минут.

На основании результатов исследования кинетики процесса спекания боратной руды с использованием гидродифторида аммония (NH_4HF_2) были построены кинетические кривые, отражающие влияние температурного режима (T) и продолжительности выдержки (τ) на степень извлечения оксида бора (B_2O_3). Соответствующие зависимости представлены на рисунке 12. Выявлена прямая зависимость извлечения оксида бора от (T) спекания (чем выше T , тем выше извлечение B_2O_3). Из рисунка 12а видно, что до $T=90^\circ\text{C}$ (363 К) кинетические кривые прямолинейные, но после достижения $T=250^\circ\text{C}$ (523 К) из прямолинейных переходят в параболические. При $\tau=150$ минут достигается максимум извлечения B_2O_3 . Построение кинетических кривых спекания боратовой руды с $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ подчиняется уравнению I порядка:

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

где: α – степень извлечения B_2O_3 ; τ – время, мин; K – константа скорости разложения, мин^{-1} .

После преобразований уравнение принимает следующий вид:

$$\lg(1 - \alpha) = -\frac{K \cdot \tau}{2,303}$$

Рисунок 12б иллюстрирует зависимость величины $\lg[1/(1-\alpha)]$ от времени спекания (τ). Все экспериментальные точки, полученные в температурном диапазоне $T = 50\text{--}250^\circ\text{C}$ (323–523 К), образуют линейную зависимость с отрицательным углом наклона, что свидетельствует о соответствии процесса кинетике первого порядка.

Энергия активации (E) и предэкспоненциальный множитель (K_0) были определены графическим методом с применением уравнения Аррениуса, позволяющего количественно описать температурную зависимость скорости химической реакции:

$$K = K_0 \cdot e^{-E/RT},$$

$$\text{или: } \lg = -\lg K_0 - \frac{E}{2,303 RT},$$

где: R – универсальная газовая постоянная, кДж/моль, град. T – абсолютная температура, К.

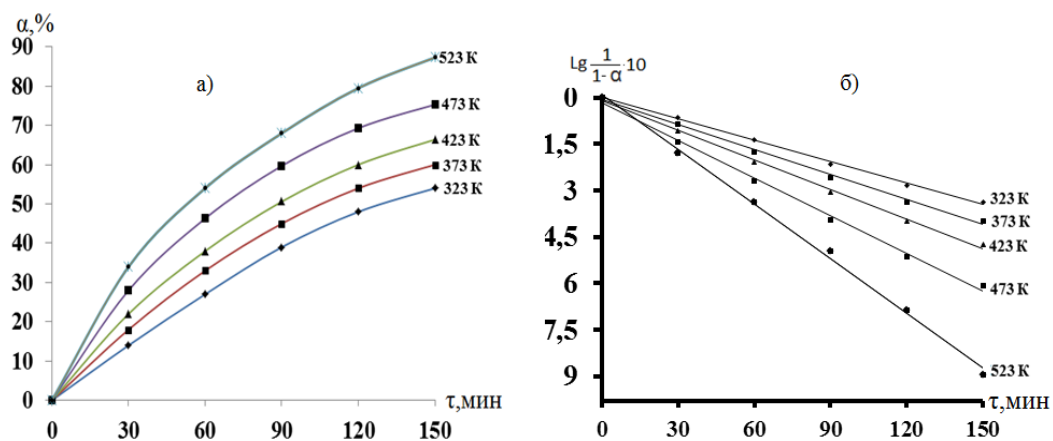


Рисунок 12. - Зависимость степени разложения (α) оксида бора от времени (а) и $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени (б) при спектельном способе разложении боросиликатного сырья.

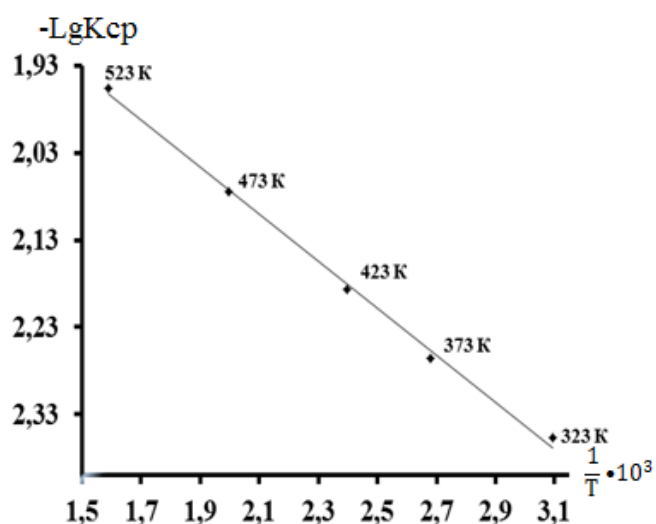


Рисунок 13. - Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры при спекании боратовой руды с гидрофторидом аммония

Энергия активации (E) определялась графическим методом на основании анализа графика, представленного на рисунке 13. С целью более точного определения энергетических параметров и установления температурной области активного протекания процесса спекания был построен график зависимости логарифма константы скорости ($\lg k$) от обратной абсолютной температуры ($1/T$). Полученная линейная зависимость позволила графически определить энергию активации (E) по тангенсу угла наклона прямой, согласно уравнению Аррениуса:

$$E = 2.3 \cdot R / \text{tg} \alpha / \xi$$

где: R - универсальная газовая постоянная, α - угол наклона прямой линии, ξ - отношение масштаба по оси абсцисс к масштабу по оси ординат.

Вычисленное графическим методом значение энергии активации процесса спекания боратной руды с гидрофторидом аммония составило 7,2 кДж/моль, что указывает на диффузионный характер протекания процесса. Такое низкое значение энергии активации свидетельствует о том, что лимитирующей стадией является диффузия реагентов или продуктов реакции, а сам процесс протекает в диффузионной области.

Вычисленные величины указанных кинетических параметров обобщены в таблице 3.

Таблица 3.- Внличины кинетических параметров при спекании боратовой руды с гидрофторидом аммония при $T=50-250^{\circ}\text{C}$ (323-523 K)

NH₄HF₂					
T (K)	323	373	423	473	523
1/T	0.00309	0.00268	0.00236	0.00211	0.00191
k_{ср}[(моль/л)·с⁻¹]	0.00444	0.00547	0.00656	0.00851	0.01118
Lg k_{ср}(моль/л)·с⁻¹	-2.3523	-2.2618	-2.1828	-2.0699	-1.9515

Следовательно, нами определены кинетические параметры, которые характеризуют спекание боратовой руды с гидрофторидом аммония с извлечением оксида бора, указанные кинетические параметры характеризуют механизм протекания этого процесса. Соответственно, на основании полученных кинетических параметров спекания можно сделать заключение о том, что кинетика процессов и механизмы протекания процессов разложения боратовых руд в основном определяются составом боросодержащих минералов, вступающих во взаимодействие с гидрофторидом аммония, а также определяются структурой этих минералов, их внутренними химическими связями, важное значение здесь также имеют физико-химические свойства растворителя, в данном случае - гидрофторида аммония (NH₄(HF₂)). Исходя из этого, важным является изучить химическую стабильность боросодержащих минералов, которые присутствуют в боратовых рудах, что позволит оптимизировать технологические параметры химического разложения и разработать перспективные технологии переработки данного типа природного сырья.

Спекательный метод разложения боратовой руды с гидрофторидом аммония является многоэтапным методом, в нём большое значение имеют (T) спекания, (τ) спекания. Нами определена энергия активации разложения и некоторые кинетические параметры, что позволит оптимизировать данный процесс с извлечением оксида бора

Технологическая схема разложения боросиликатной руды с гидрофторида аммония.

Сначала боросиликатную руду измельчают до размера частиц 0,01 мм и смешают с гидрофторидом аммония в соотношениях 1/2.5. Затем полученную шихту спекают при температуре 250-300°C.

В ходе фторирования боросиликатного материала гидродифторидом аммония смесь разделяется на две части. Согласно рентгенофазовому анализу, первая часть соответствует гексафторсиликату аммония и тетрафтороборату аммония, а вторая часть преимущественно состоит из фторида кальция. Первую часть обрабатывают известковой суспензией и фильтруют. При этом в жидкую фазу переходит борная кислота, а в твёрдом остатке сохраняется фторид кальция. Затем из жидкой фазы путём кристаллизации выделяют борную кислоту, которую после высушивания превращают в сухую борную кислоту. Технология обработки боратовой руды с использованием гидродифторида аммония методом спекания представлена в виде схемы на рисунке 14.

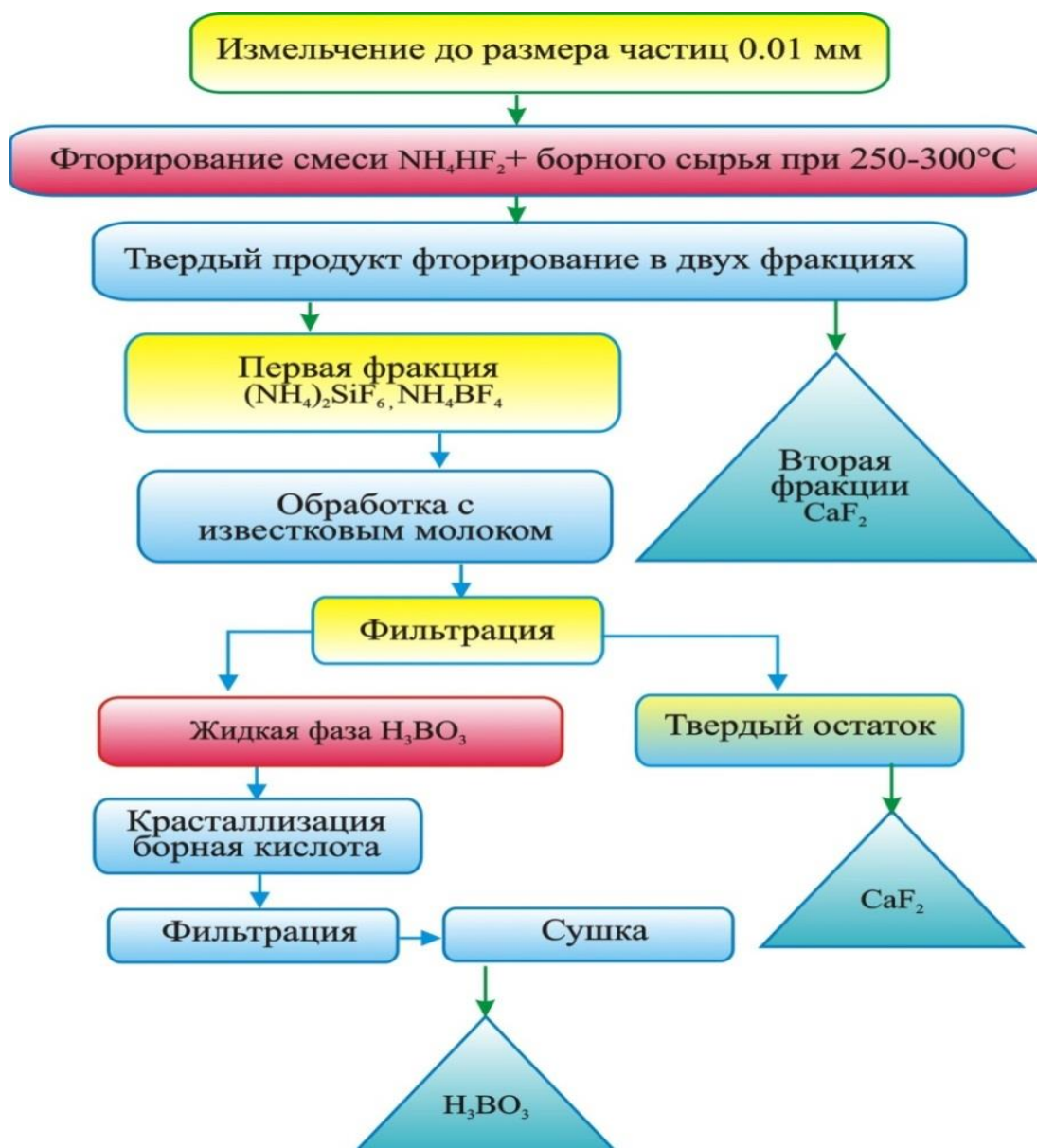


Рисунок 14. - Технологическая схема разложения боросиликатной руды с гидродифторида аммония

ВЫВОДЫ

1. С применением методов рентгенофазового анализа, дифференциального термического анализа и химического исследования определены химические составы и минералогические компоненты боратовой руды месторождения «Ак-Архар» и рапы озера Сасык-Куль в Таджикистане, а также изучены их физико-химические свойства [5-А, 11-А].

2. Проведён термодинамический анализ протекания химреакций при разложении боратовой руды хлорирующими агентами и «царской водкой». Показано, что в исследуемых температурных диапазонах с использованием кислотных и спекательных методов практически во всех минералах руды происходит их разложение в соответствии с предполагаемыми реакциями [2-А, 7-А, 8-А].

3. Проведена оптимизация технологических параметров извлечения борной кислоты из рапы озера Сасык-Куль экстракционным методом с растворителями - одноатомными спиртами (гексанол и октанол). Для данного процесса получены следующие оптимизированные параметры: $pH=1-2$, $\tau=75$ минут, отношение рассол/экстрагент = 1:1, с извлечением борной кислоты (H_3BO_3) = 85 процентов. [4-А, 10-А, 17-А].

4. Проведена оптимизация технологических параметров извлечения борной кислоты из рапы озера Сасык-Куль экстракционным методом с растворителями - изобутиловым спиртом и трибутилфосфатом. Для данного процесса получены следующие оптимизированные параметры: $pH=1-2$, $\tau=60$ минут, отношение рассол/экстрагент = 1:1, с извлечением борной кислоты (H_3BO_3): реагентом (изобутиловый спирт) 210 мг/л, реагентом (трибутилфосфат) 198 мг/л. [9-А, 10-А, 17-А].

5. Исследовано разложение боратовой руды спекательным методом с реагентом гидродифтридом аммония $NH_4(HF_2)$, проведена оптимизация технологических параметров этого процесса: $T=250-300^\circ C$, $\tau=2.5$ часа, отношение руда/ $NH_4(HF_2)$ = 1:2,5, с извлечением B_2O_3 = 87,5% и более. [5-А, 6-А, 12-А, 15-А, 16-А].

6. Изучена кинетика разложения боратовой руды «царской водкой». Вычислена энергия активации процесса (22.75 кДж/моль) и определено, что процесс протекает в диффузионной области. [1-А, 2-А, 3-А, 6-А].

7. Разработана обобщённая технологическая схема по переработке боратовой руды «Ак-Архар» с применением гидродифтрида аммония $NH_4(HF_2)$, где в качестве конечных продуктов получены борная кислота, фторид кальция и оксид кремния. В схему включены следующие технологические процедуры: дробление, термическая обработка смеси боратовой руды и гидродифтрида аммония, выщелачивание известковым молоком, разделение твёрдой и жидкой фаз фильтрованием, кристаллизация борной кислоты. [5-А, 9-А, 13-А 14-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- полученные данные по энергии Гиббса, кинетика также термодинамические характеристики разложения боросиликатного сырья могут быть использованы специалистами в области физической химии для получения соединений бора;
- разработанная технология экстракции борной кислоты из рапы озера Сасык-Куль позволит расширить номенклатуру боросодержащих продуктов для нужд Таджикистана;
- выявленные эффективные реагенты для разложения боратовых руд Таджикистана (гексанол, октанол, этанол, гидродифторид аммония и др.) могут быть внедрены в производства боросодержащих продуктов с получением таких ценных продуктов, как медицинская борная кислота и другие.
- численные значения термодинамические характеристики реакции разложения боросиликатного сырья по полнят справочные данные и будут использованы при написании учебных пособия и книг по переработки минерального сырья ;

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

- [1-А]. Давлатов, А. С. Переработка боросиликатного сырья гидродифторидом аммония / А. С. Давлатов, А. С. Курбонов, А. П. Тагаев, И. М. Рахимов, У. М. Мирсаидов // Вестник технологического университета г. Казань РФ 2024. Т.27, №12. С- 81-87.
- [2-А]. Давлатов, А.С. Кинетика процесса спекания боросиликатного сырья гидродифторидом аммония / А.С. Давлатов, А.С. Курбонов, У.Х.Усмонова, Х.Э.Пулотов, У.М. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2024. - № 4 (197). – С. 136-142.
- [3-А]. А.С. Курбонов, Кинетика разложения боросиликатных руд Таджикистана минеральными кислотами / А.С. Курбонов, А.П. Тагаев, Р.Дж. Акрамзода, А.С. Давлатов, М.М.Тагоев // Док. НАН Таджикистан. -2022. -Том 65. №7-8. - С.518-522.
- [4-А]. Р.Дж. Акрамзода, Термодинамические характеристики процессов разложения борного сырья путём активации с NaOH и CaCl₂ / Р.Дж. Акрамзода, Ф.А. Назаров, М.М. Тагоев, А.С. Курбонов, А.С. Давлатов // Известия НАН Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. -2022. -№4(189).
- [5-А]. Курбонов А.С, Изучение кинетики процесса разложения исходной боросиликатной руды царской водкой / Курбонов А.С., Давлатов А.С., Тагаев А.П., Пулатов Х.Э., Тагоев М.М. // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2022. № 2-3 (102). с. 70-74.
- [6-А]. Курбонов А.С. Экстракция борной кислоты из рассола озера Сасык-Куль Таджикистана с одноатомными алифатическими спиртами / Курбонов А.С., Давлатов А.С., Сумани Неъматулло., Акрамзода Р.Дж., Бобоев К.О. // Вестник

Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2023. № 2/3 (113). с. 83-86.

[7-А]. Давлатов, А.С. Термодинамические характеристики процесса разложения борсодержащих руд с гидродифторидом аммония/ **А.С.Давлатов, А.С.Курбонов, М.М.Тагоев, Ф.Б.Миров У.М.Мирсаидов**// Доклады НАН Таджикистана. - 2025. – Т. 68. - № 1-2. - С. 81-87.

Публикации в материалах научных конференций:

[8-А]. А.П. Тагаев,Термодинамические характеристики процесса разложения боросиликатных руд «Царской водкой» / **А.П. Тагаев, А.С. Курбонов, М.М. Тагоев, А.С.Давлатов, Е. Кудратуллоев** // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке» - С. 48-50, Душанбе, 26 октября 2022

[9-А]. Давлатов А.С. Получение борной кислоты медицинского назначения из местных сырьевых материалов таджикистана / **А.С.Давлатов, А.П.Тагаев, Х.Э.Пулатов** // Актуальные вопросы современной медицины: проблемы и их решение. Материалы республиканской научно-практической конференции (III-годовая) ГОУ «Хатлонский государственный медицинский университет», посвященная 30-летию XVI-ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан. 16 декабри соли 2022. Дангара С. 427-428

[10-А]. И.Мирсаидзода, Комплексная переработка рапы озера сасык-куль таджикистана / **И.Мирсаидзода, А.С.Курбонов, Р.Акрамзода, Б.Б.Баротов, А.С.Давлатов** // Материалы Республиканской научно – практической конференции на тему “Современное состояние и перспективы физико-химического анализа”, посвященной провозглашению четвертой стратегической цели – индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора химических наук, профессора, Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.) с. 25-28

[11-А]. А.М.Исоев, Дифференциально-термический анализ борсодержащих минералов, как реагентов для защиты от нейтронов / **А.М.Исоев, А.С.Курбоно, Р.С.Ёрматов, Х.Э. Пулатов, А.С. Давлатов** // НАНТ.АХБРЯ Сборник материалов международной научно-практической конференции «химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» душанбе – 2023 с. 150-154

[12-А]. Давлатов А.С. Химическая безопасность при получении борных продуктов спекательным методом / **А.С.Давлатов, А.С.Курбонов, Х.С. Пулатов, А.М. Исоев, М.М. Тагоев, И.М. Рахимовм** // НАНТ.АХБРЯ Сборник материалов международной научно-практической конференции «химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» душанбе – 2023 с. 165-168

[13-А]. А.С. Курбонов, Химическая безопасность при получении борных продуктов разложением минеральными кислотами / **А.С. Курбонов, Р.С.**

Ерматов, А.С. Давлатов, Х.Э. Пулатов, С. Кодирзода // НАНТ. АХБРЯ Сборник материалов международной научно-практической конференции «химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» Душанбе – 2023 с. 168-172

[14-А]. Мирсаидов У.М., Комплексная переработка борсодержащих руд таджикстана / Мирсаидов У.М., Рахимов И.М., Курбонов А.С., Назаров Ф.А. **Давлатов А.С.** // НАН Узбекистон Международная научно-техническая конференция «актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально- сырьевых ресурсов узбекистана», посвященная 90-летию со дня создания института общей и неорганической химии академии наук республики узбекистан и 80- летию со дня создания академии наук республики узбекистан Тошкент 16-17 ноябрь 2023 с. 501-502

[15-А]. Курбонов А. С, Сравнительная оценка процесса спекания боросиликатной руды с хлор- и фторсодержащими агентами / Курбонов А. С., Тагаев А. П., **Давлатов А. С.**, Пулатов Х. Э. Мирсаидов У. М. // Материалы международной научно-практической конференции на тему “роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования” (24 мая 2024 года) Душанбе-2024 с. 104-108

[16-А]. **Давлатов А.С.** Спекание борного сырья фторидными соединениями / **Давлатов А.С.**, Солиев Д.А., Пулатов Х.Э., Рахмонов Х.Р., Кодирзода С. // Материалы международной научно-практической конференции на тему “роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования” (24 мая 2024 года) Душанбе-2024 с. 115-117

Патенты на изобретение:

Давлатова А.С. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1405. Способ получения борной кислоты медицинского назначения / **Давлатов А.С.**, Курбонов А.С, Тагоев М.М, Акрамзода Р.Дж, Пулатов Х.Э, Тагаев А.П, Мирсаидов У.- Заявка №2201728.-Заявл. 12.09.2022; Зарег.03.07.2023г.

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

УДК: 544.66.063

Бо ҳукуқи дастнавис

ББК: 28.071 (2Р)
Д- 13



ДАВЛАТОВ Абдурахмон Сайрахмонович

**АСОСҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВӢ ВА ТЕХНОЛОГИИ БА ДАСТ
ОВАРДАНИ МАҲСУЛОТИ БОРӢ АЗ МАӢДАНИ БОРИСИЛИКАТИ
КОНИ «АК-АРХАР» -И ТОҶИКИСТОН**

АВТОРЕФЕРАТ

**барои дарёфти дараҷаи илмӣ
номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси
05.17.00. – Технологияи химиявӣ
(05.17.01. – Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ)**

Душанбе – 2025

Кори диссертатсионӣ дар озмоишгоҳи «Коркарди комплекси ашёи минералӣ ва партовҳои саноатӣ»-и Институти химия ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (АМИТ) иҷро карда шудааст.

Роҳбар илмӣ:

Қурбонов Амиршо Соҳибназарович - доктори илмҳои химия, директори филиали Агентии амнияти химивӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИТ, дар вилояти Хатлон

Муқарризони расмӣ:

Эшов Бахтиёр Бадалович - доктори илмҳои техникӣ, дотсент, директори Муассисаи давлатии маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии назди АМИТ

Низмов Исоҳон Мусоевич – номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи “химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ”-и Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Ҳимояи диссертатсия «17» сентябри соли 2025, соати 11-⁰⁰ дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии муштаракӣ 6D.КОА-042 назди Институти химия ба номи В.И. Никитини АМИТ ва Агентии амнияти ХБРЯ-и АМИТ баргузор мегардад. Суроға: 734063, ш. Душанбе, куч. Айнӣ 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, +992934366463

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

Автореферат «____» _____ 2025с. аз рӯи феҳристи пешниҳод шуда, ғарбистода шуд.

Котиби илмӣ
шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ



Ҳамидов Ф.А.

Сарсухан

Мубрамияти кор ва зарурати гузаронидани таҳқиқот. Кори мазкур ба масъалаҳои коркарди намақоби кӯли Сасик-Кӯл бо усули экстракционӣ ба истехсоли кислотаи бор, инчунин масъалаҳои коркарди маъданҳои датолит ва данбурити (маъданҳои боросиликати) кони Ак-Архар дар Тоҷикистон бо усули гудозиш ва туршӣ бахшида шудааст. Дар ҳоли ҳозир дар Тоҷикистон ба маъданҳои гуногуни бордор таваҷҷуҳи калон зоҳир карда мешавад, ки ин бо кам шудани захираи маъданҳои боратҳои хушсифат - гидроборатсит, калиборит, боросит алоқаманд аст ва дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳазинаи ҳамлу накли маҳсулоти бордор коҳиш меёбад.

Дар маъдани кони Ак-Архар зиёда аз 10% B_2O_3 ва миқдори зиёди кремний мавҷуд аст. Аз ин рӯ, таҳияи равишҳои самараноки коркарди он муҳим аст.

Дар кори мазкур усули туршӣ, экстраксия ва гудозиш ҳамчун усулҳои самараноки коркарди маъданҳои боросиликати таҳқиқшаванда мавриди баррасӣ қарор шудааст. Аз ҷиҳати самаранокӣ дар ин самт усули турширо метавон аз дигар усулҳо ҷудо кард. Он имкон фароҳам меоварад, то маҳсулоти бор ва кремний дар марҳалаҳои якуми ҷараёни технологӣ ба таври селективӣ интиҳоб карда гирифта шавад, ки он ҷараёни моддиро дар технологияи коркардшуда кам мекунад. Аммо усули туршии таҷзияи маъданҳои номбаршуда, дар баробари хосиятҳои мусбат, хосиятҳои манфӣ низ дорад, ки аз мураккабии технология, ҷудо кардан ва шустани пасмондаҳои саҳт ва мушкилии тоза кардани маҳлулҳои ҳосилшуда аз пайвастагиҳои ғашӣ дуҷум иборат мебошад.

Усули гудозиши маъданҳои номбаршуда низ муфид ба назар мерасад, чунки гудохтан дар ҳарорати баланд минералҳои дар маъдан мавҷудбударо нобуд мекунад ва ин дар навбати худ имкон медиҳад, ки миқдори зиёди пайвастагиҳои ғашӣ истихроҷ карда шавад.

Дар кори мазкур натиҷаҳои таҳқиқи равандҳои истихроҷи маҳсулоти бор тавассути реагентҳои гуногуни органикӣ ва таҷзияи ашӣи хом бо кислотаҳои минералӣ ва гудохтан оварда шудаанд.

Дарачаи коркарди илмӣ проблемаи мавриди омӯзиш. Дар таҳқиқотҳои қаблан анҷомёфтаи кормандони Институти химияи АМИТ усулҳои коркарди маъданҳои боросиликати кони Ак-Архар мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд, ки асосан ба истифодаи усулҳои кислотагӣ ва хлорӣ, инчунин усули гудозиш бо намақҳои гуногуни минералӣ асос ёфтаанд. Дар ин таҳқиқот таваҷҷуҳи асосӣ ба таҳия ва тақмили асосҳои илмӣ коркарди комплекси ашӣи хоми минералии бордор, ки хоси конҳои Тоҷикистон мебошад, равона гардидааст.

Бо вучуди ин, масъалаҳои марбут ба ҷудо намудани пайвастагиҳои бордор аз намақҳои минерализатсионии табиӣ кӯли Сасык-Кӯл, инчунин таҷзияи термӣи маъданҳои боросиликатӣ бо истифода аз гидрофториди аммоний (NH_4HF_2) бо усули гудозишӣ, то ҳол кофӣ омӯхта нашудаанд. Таҳлили маълумоти мавҷудаи адабиёт нишон медиҳад, ки дар ин самт

таҳқиқоти систематикӣ амалан вуҷуд надоранд, ки ин зарурати омӯзиши амиқи масъалаи мазкурро дар доираи ин таҳқиқот нишон медиҳад.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳои илмӣ (лоиҳаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ. Таҳқиқоти диссертатсионӣ дар озмоишгоҳи коркарди ашёи хоми минералӣ ва партовҳои Институти химияи ба номи В. И. Никитинаи 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 технологии ба даст овардани пайвастагиҳои бор, алюминий, нуриҳои минералӣ, коагулянтҳо, чинӣ ва масолеҳи сохтмонӣ», рақами қайди давлатӣ 0121 ТҶ 1147 анҷом дода шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот аз омӯختани усули коркарди туршии маъданҳои борат, таҳияи асосҳои технологӣ ва технологияи коркарди маъданҳои борат бо усули ғудохтан бо иштироки реагент-фаъолкунандаи раванд - кислотаи фториди аммоний (NH_4HF_2 - гидрофториди аммоний) ва санҷиши ин усули коркард дар шароити лабораторӣ иборат мебошад.

Муносибосозии меъёрҳои ғудозиш ва таҷзияи кислотаҳо бо муайян кардани меъёрҳои оптималӣ ба мақсади истихроҷи ҳадди ниҳони таркиби маҳсулоти ниҳой, омӯختани кинетика ва меъёрҳои кинетикии таҷзияҳои номбаршуда, таҳияи технологияҳои самарабахши таҷзияи маъданҳои боратдор. Истихроҷи кислотаи бор аз маъданҳо бо ҷалби баъзе реагентҳои органикӣ дар ҷараён ба ҳайси фаъолкунандаҳо.

Вазифаҳои таҳқиқот инҳо мебошанд:

- таҳлили таркиби химиявӣ ва характеристикаи минералогияю геохимиявии маъданҳои бордор дар кони Ак-Архари дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷойгиршуда;

- таҳқиқи равандҳои нобудшавии маъданҳои бордор бо усули туршӣ бо иштироки як қатор кислотаҳои ғайриорганикӣ, инчунин усули ғудозиш бо истифода аз гидрофториди аммоний (NH_2HF_2) ба ҳайси агенти фаъолкунанда;

- гузаронидани модификатсияи термикӣ дар шароити фаъолсозии он бо реагент, яъне бо гидрофториди аммоний (NH_2HF_2);

- таҳлили кинетика ва мушаххас намудани меъёрҳои кинетикии ҷараёни таҷзияи маъданҳои бордор ҳангоми коркард бо усули туршӣ;

- таҳияи технологияҳои пурсамари таҷзияи маъданҳои бордор бо фаъолсозии пешакӣ тавассути реагенти навъи бо ном «арақи шохӣ»;

- таҳияи ҳаллу фасли технологӣ бобати таҷзияи самараноки маъданҳои бордор бо истифода аз коркарди ғудозиш.

Объекти таҳқиқот: ашёи хоми кони Ак-Архари ва намақоби кӯли Сасик-Кӯл.

Мавзӯи таҳқиқот – таҳияи усулҳои самараноки таҷзияи кислотаи бор аз намақоби кӯли Сасик-Кӯл бо роҳи экстраксия реагентҳои органикӣ ва коркарди маъданҳои борисиликат бо усули туршӣ ва ғудозиш.

Нагони илми кор. Равандҳои аз кӯли Сосик-Кӯл бо реактивҳои органикӣ истихроҷ кардани намакоб ва бо усулҳои туршӣ ва ғудохтан коркард кардани маъдани борат омӯхта, тадқиқоти механизмҳое, ки ба воситаи онҳо бевосита таъзияи маъдан ба амал меояд, гузаронда шуда, натиҷаҳои бадастомада бо натиҷаҳои ДТА ва РФА пурра тасдиқ гардиданд. Коркард карда баромадани технологияи таъзияи ашёи хоми борат бо усулҳои ғуногун (туршӣ, ғудозиш ва амсоли инҳо) дар шароити озмоишӣ гузаронда ва санчида шуд.

Аҳамияти назариявии таҳқиқот. Аҳамияти назариявии кор аз кушодани механизмҳои таъзия тавассути туршиҳо, истихроҷи бор, бо усули ғудохтан, кинетика, баҳодиҳии термодинамикӣ ва асосҳои технологияи коркарди маводи бордор иборат мебошад.

Аҳамияти амалии таҳқиқот. Натиҷаҳои озмоишӣ, ки дар ин кор ба даст оварда шудаанд, барои коркарди маъданҳои борати дорои сифат ва таркибашон ғуногун барои аз онҳо самаранок истихроҷ намудани пайвастиҳои пурқимат, дар кор карда баромадани технологияи коркарди маъданҳои борат бо усулҳои комплексӣ, ба даст овардани пайвастиҳои ғуногуни бордор тавсия карда мешаванд.

Нуктаҳои асосии ба ҷимоя пешниҳодшаванда

- натиҷаҳои арзёбии термодинамикии ҷараёни таъзияи маъдани бор бо истифода аз агентҳои ғайолкунандаи $\text{NaOH}-\text{CaCl}_2$ ва NH_4HF_2 (гидрофториди аммонӣ) пешниҳод карда шуданд;

- меъёрҳои термодинамикии ҷараёни нобудшавии маъданҳои боросиликат бо истифода аз омехтаи кислотаҳои концентратшудаи навъи «арақи шохӣ» тавсиф карда шуданд;

- маълумоти таҳқиқоти химиявӣ-минералогӣ, химиявӣ ва физикию химиявии маъданҳои бордор, инчунин маҳсулоти коркарди фосилавӣ ва ниҳой пешниҳод карда шуданд;

- натиҷаҳои таъзияи маъдани бордор бо истифодаи технологияи кислота («шароби шох») ва усули ғудозиш бо реагенти ғайолкунандаи NH_4HF_2 тавсиф карда шуданд;

- меъёри усулҳои туршӣ ва ғудохтани коркарди маъданҳои бордор (ҳарорат, давомнокии раванд, таносуби маъдан/реагент), инчунин меъёрҳои мушабх хангоми истифодаи экстрагентҳои органикӣ барои ҷудо кардани кислотаи бор муайян ва муносиб гардонида шуданд;

- кинетикаи таъзияи кислотаи маъданҳои бордор омӯхта ва хarakterистикаҳои кинетикии мувофиқ таҳлил карда шуданд;

- нақшаи ҷараёни лабораторӣ барои коркарди маъданҳои зикршуда бо усулҳои туршӣ, истихроҷ ва ғудохтан таҳия ва пешниҳод карда шуд.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот. Бо доир кардани корҳои озмоишӣ ва усулҳои химиявии таҳлили якҷанд намунаи ашёи хом ва коркарди маълумоти озмоишӣ бо истифода аз барномаҳои компютерӣ тасдиқ карда шудааст.

Мутобикати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.

Диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси 05.17.01. – Технологияи ашёи ғайриорганикӣ ва бандҳои зерин мутобикат мекунад:

1. Равандҳои истеҳсол ва ба даст овардани маҳсулоти ғайриорганикӣ: намакҳо, кислотаҳо ва ишқорҳо, нуриҳои маъданӣ, изотопҳо ва маҳсулоти ғайриорганикии дорои сифати баланд, катализаторҳо, сорбентҳо, пре-паратҳои ғайриорганикӣ (ба даст овардани кислотаи бор, фториди калсий, тетрафторборати аммоний, гексафторосиликати амоний ва спирти бор аз манбаъҳои бордор).

2. Равандҳои технологӣ (химиявӣ, физикӣ ва механикӣ) тағйироти таркиб, ҳолат, хосиятҳо, шаклҳои ашёи хом, мавод ҳангоми истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ (хурду реза кардан ва коркарди гармии ашёи боросиликатӣ).

3. Усулҳо ва чараёнҳои ҳифзи муҳити зист аз партовҳои истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ, коркард ва несту нобуд кардани партовҳои истеҳсолоти ғайриорганикӣ (истифодаи технологияи молотхонии коркарди ашёи хом).

4. Усул ва воситаҳои кор карда баромадан, ҳисобҳои технологӣ, лоиҳакашӣ, идораи равандҳои технологӣ ва сифати маҳсулот, ки дар чараёни истеҳсолот барои ба даст овардани маҳсулоти ғайриорганикӣ истифода мешаванд (ҳисоб кардани характеристикаҳои термодинамикии таҷзияи туршии ашёи хоми боросиликат, инчунин, ҳисоб кардани энергияи фаъолгардонии раванди таҷзия барои муайян кардани меъёрҳои кинетикии таъсиррасонанда ба чараёнҳои технологӣ).

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ аз гузоштани мақсадҳои таҳқиқотӣ, таҳлили адабиёт ва сарчашмаҳо аз рӯи таҳқиқоти диссертатсионӣ, муайян кардани усулҳои ҳаллу ҷасли вазифаҳои гузошташуда ва коркарди маълумотҳои озмоишӣ иборат мебошад.

Тасвир ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои дар диссертатсия пешниҳодшуда дар конференсия ва нишастҳои зерин гузориш ва муҳокима карда шуданд: Хонишҳои XVII Нуъмоновӣ бо номи «Натиҷаҳои таҳқиқоти инноватсионӣ дар соҳаи илмҳои химия ва техникӣ дар асри XXI» (Душанбе, 2022); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ - амалии (соли III) Муассисаи давлатии таълимии «Донишгоҳи давлатии тиббии Хатлон», бахшида ба 30-солагии Иҷлосияи XVI Шурои Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон (Данғара, Тоҷикистон, 2022); Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии «Амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ҳастай: дастовардҳо, мушкилот ва дурнамои оянда» (Гулистон, Тоҷикистон, 2023); Хонишҳои XVIII Нуъмоновӣ бо номи «Инкишофи химияи муосир ва ҷанбаҳои назариявӣ ва амалии он» (Душанбе, 2023); Конференсияи байналмилалӣ илмӣю техникӣ бо номи «Мушкилоти актуалии сохт ва истифодаи технологияҳои дараҷаи олӣ барои коркарди маъданҳои минералии Ўзбекистон» (Тошканд, Ўзбекистон, 2023); Конференсияи байналмилалӣ илмӣ - амалии «Нақши химия ва саноати химия дар саноатикунории босуръати мамлакат» (Душанбе, 2024); Конференсияи

илмӣ - амалии олимони ҷавон бо номи «Илм аз нигоҳи олимони ҷавон» (ба забони тоҷикӣ) (Душанбе, 2024).

Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Мутобиқ ба натиҷаи таҳқиқот 17 мақола ба нашр расонида шудааст, ки аз онҳо 7-тоаш дар маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА ҚТ ва 9-тои боқимодааш бошад, дар маводи конференсияҳои сатҳи гуногун ба нашр расонида шудаанд. 1 адад патент дар ҚТ ба қайд гирифта шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, се боб, муҳокимаи натиҷаҳои бадастовардашуда, хулоса, рӯйхатти адабиёт ва сарчашмаҳо шомили 189 номгӯ иборат мебошад. Матни диссертатсия дар 153 саҳифаи чопи компютерӣ таҳия карда шуда, шомили 43 расм ва 23 ҷадвал мебошад.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ҚОР

Дар муқаддимаи қор аҳаммияти мавзӯ, ҳадаф ва вазифаҳои рисола асоснок ва мураббаъ карда шуда, аҳаммияти илмӣ ва амалии он инъикос ёфтаанд

Дар боби якум маълумотҳо аз адабиётҳои илмӣ оид ба хусусият ва хосиятҳои маъдани бор, роҳ ва усулҳои коркарди ашёи хоми бордор барои ба даст овардани дигар унсурҳои фойданок оварда шудаанд. Дар ин асос, самтҳои тадқиқоти мо муайян карда шуданд.

Дар боби дуюм усулҳои таҳлили физикӣ ва химиявӣ пешниҳод карда шуда, таркибҳои химиявӣ минералогии маъданҳои боросиликат муайян карда шуда, тағйироти ҷараёнҳои таркиби маъдан бо усули дериватографии таҳқиқ ошкор карда шуданд. Натиҷаҳои баҳодиҳии термодинамикии таъзияи маъдани боросиликат бо усулҳои туршӣ ва ғудохтан оварда шудаанд.

Дар боби сеюм ҷараёни аз намақҳои табиӣ бо воситаҳои гуногуни экстракционии органикӣ ҷудо кардани кислотаи бор бо роҳи экстраксия таҳқиқ карда шуда, инчунин натиҷаи таъзияи маъдани боросиликат бо усулҳои туршӣ ва ғудозиш оварда шудаанд. Нақшаҳои асосии технологияи бо гидродифториди аммонийтаъзия кардани маъданҳои боросиликат тартиб дода шуда, инчунин баҳои муқоисавии таъзияи маъданҳои боросиликат бо усули ғудохтан тавассути реактивҳои гуногун оварда шудаанд.

БАҲШИ ОЗМОИШӢ.

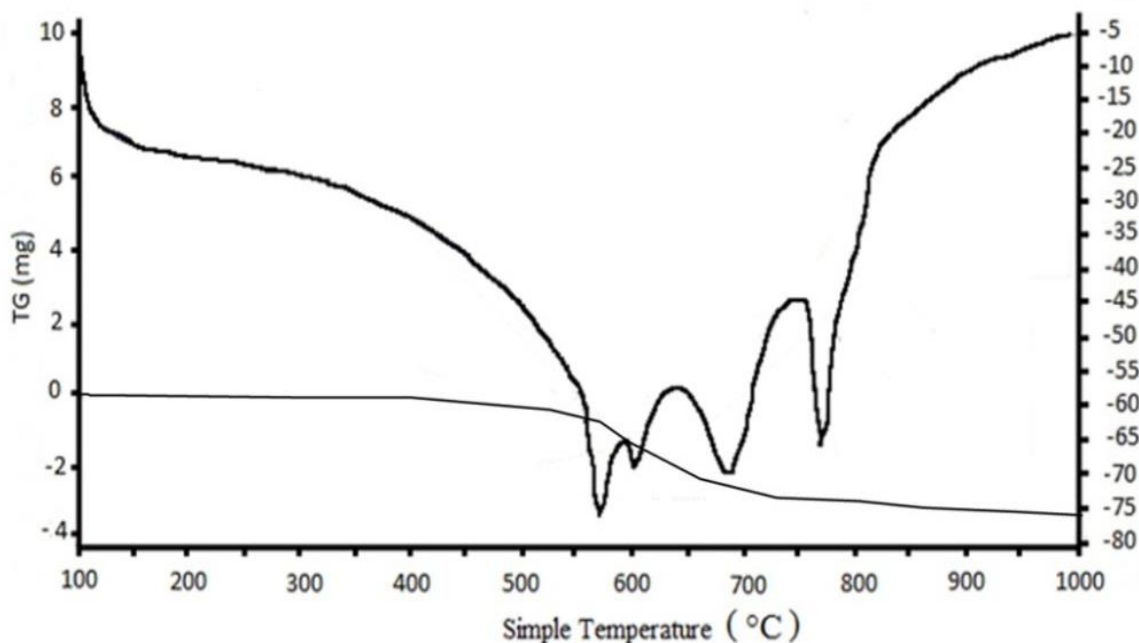
МЕТОДИКАИ ОЗМОИШИ ТАҲЛИЛИ ХИМИЯВӢ, ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ МАЪДАНҲОИ БОРОСИЛИКАТИ ТОҶИКИСТОН

Дар ин бахш табилии фазагии минералҳои таркиби маъдан бо роҳи коркарди ашёи хоми боросиликати кони Ак-Архар бо хлориди натрий ва калсий ҳамчун агентҳои хлордор бо усули дериватографӣ (усули ДТА) омӯхта шуданд.

Тадқиқотҳои термикӣ дар як дастгоҳи дериватографи бо номи Labsys Evo-1600 аз ширкати Setaram гузаронида шуданд, ки дорои имконоти васеи тадқиқотӣ буда, имкон фароҳам меоварад, ки табиати гармӣ, табиати эндо - ё

экзотермикии реаксияҳои химиявӣ ва диапазони ҳарорати табдилҳоро муайян кунад.

Барои намунаи маъдани борат, дериватограмма бо массаи муайяни намуна ва суръати гармкунӣ то 1000°C гирифта шуд (расми 1). Мувофиқи термограмма ашёи хоми боросиликат то ҳарорати $500 - 550^{\circ}\text{C}$ ягон тағйир намеёбад. Болотар аз ин ҳароратҳо дар қачҳои ДТА дар $570, 600, 680$ ва 770°C ҷор адад эндоэффёкт ба мушоҳида мерасад.

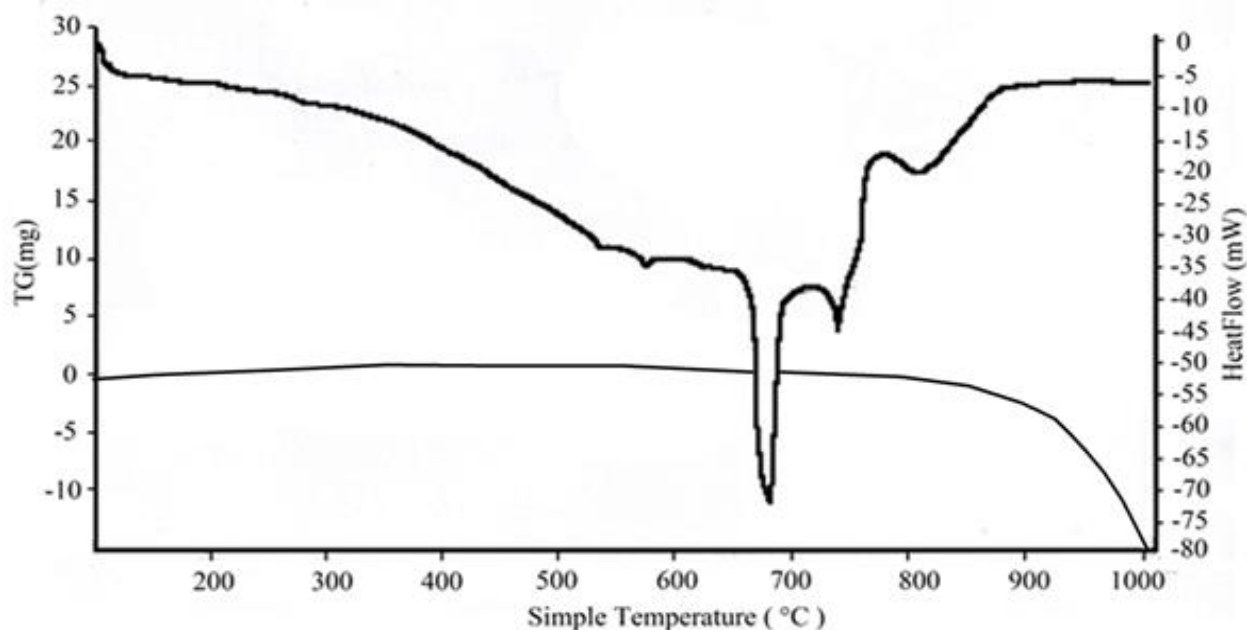


Расми 1. - Дериватограммаи ашёи хоми боросиликатӣ бо таъсири ҳарорат (гармкунӣ то 1000°C , бо суръати $15^{\circ}\text{C}/\text{дақиқа}$ дар давоми 1 соат, массаи намуна 71 мг)

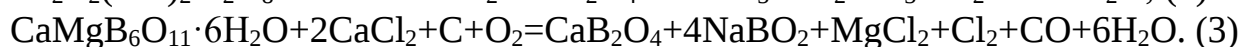
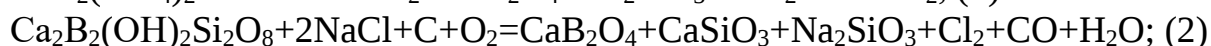
Таъсири эндотермикӣ дар диапазони ҳарорати $570-680^{\circ}\text{C}$ талафоти зиёди массаи намунаҳоро нишон медиҳад, ки он бо хориҷ кардани молекулаҳои кристаллизатсия ва оби конститутсионӣ аз минералҳои маъдан боис мешавад. Таъсири эндотермикӣ дар ҳудуди ҳарорати $750-813^{\circ}\text{C}$ таҷзияи минералҳои калсит, датолит, данбурит ва геденбергитро бо ҳосил шудани диборати калсий, силикати калсий, кварцс ва андратит тавсиф мекунад.

Дар дериватограммаи гудоза, ки аз ашёи хоми бор ва NaCl иборат аст, 3 эндоэффёкт дар ҳарорати $680, 740$ ва 813°C мавҷуд мебошад (расми 2).

Эндоэффёктҳо дар ҳарорати 680 ва 740°C бо талафоти ночизи массаи намуна, ба эҳтимоли қавӣ, бо хориҷ кардани обҳои аз ҷиҳати химиявӣ пайваستшуда ва табдил ёфтани α -модификатсияи кварцс ба шакли β - алоқаманд аст. Таъсири эндо, ки дар ҳарорати 813°C бо камшавии массаи намуна пайдо мешавад, метавонад бо таҷзияи минералҳои таркиби маъдан ва ташаккули диборати калсий, силикати калсий, силикати натрий, метаборати натрий ва ҷудошавии газҳои CO ва Cl_2 мувофиқи реаксияҳои зерин алоқаманд бошад.



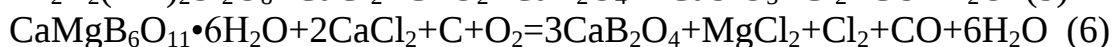
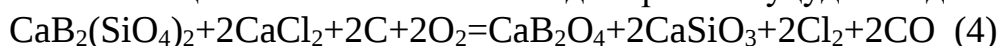
Расми 2. – Дериватограммаи омехтаи ашёи хоми боросиликатӣ ва NaCl бо таъсири ҳарорат (гармкунӣ то 1000°C, бо суръати 5°C/дақиқа дар давоми 3 соат, массаи намуна 63 мг)

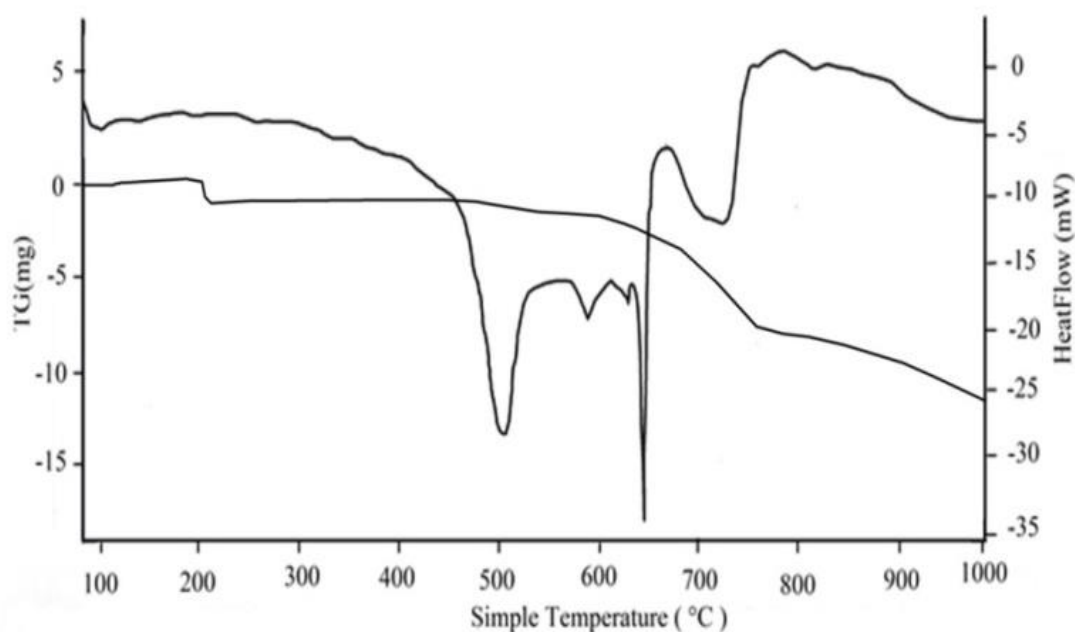


Дар дериватограммае, ки барои маъдани боратдор ҳангоми таҷзияи он тавассути хлориди калсий гирифта шудааст, зуҳури панҷ эффекти эндотермикиро дар ҳудуди ҳароратҳои 520-610-630-670-750°C мушоҳида кардан мумкин аст (расми 3).

Аз термограммаи (расми 3) маълум мешавад, ки дар сурати эндоэффект, ки дар доираи ҳарорати аз 469 то 630°C ба амал меояд, тағйирёбии массаи намуна ночиз аст, пас, он ба шакли фаъолтар - аморф табдил ёфтани квартс ва аз байн рафтани гурӯҳҳои минералии об ва гидроксил вобаста аст.

Дар ҳатти TG камшавии массаи намуна дар диапазони ҳарорати 630-800°C ба мушоҳида мерасад, ки ин ҳангоми реаксияҳо бо баровардани газҳои CO ва Cl₂ алоқаманд аст. Дар ҳарорати 750°C ва бо иштироки хлориди калсий таҷзияи минералҳои маъдани борат ба амал меояд ва аз рӯи реаксияҳои химиявӣ пайваस्ताгҳои силикати калсий ва диборат ба вуҷуд меояд:



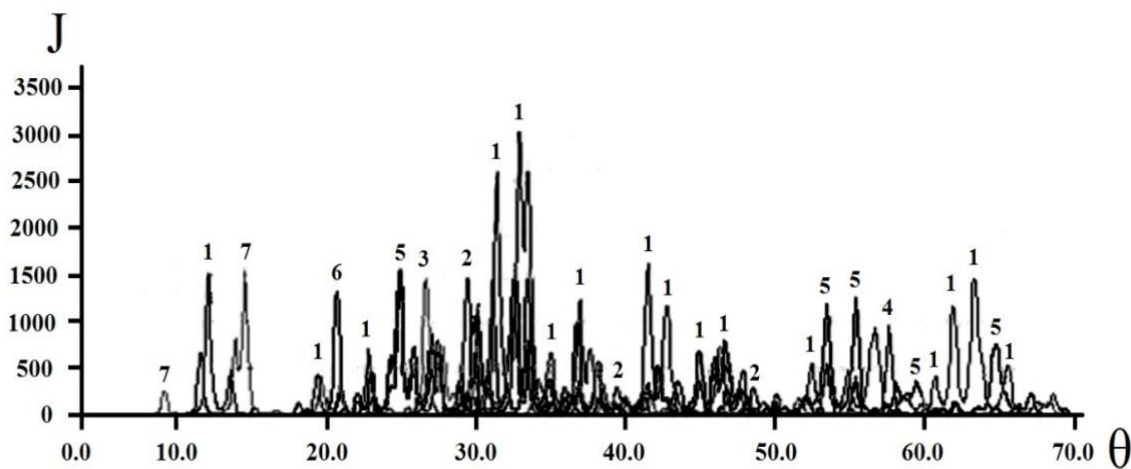


Расми 3. – Дериватограммаи омехтаи ашёи хоми боросиликатӣ ва CaCl_2 бо таъсири ҳарорат (гармкунӣ то 1000°C , бо суръати $5^\circ\text{C}/\text{дақиқа}$ дар давоми 3 соат, массаи намуна 45 мг)

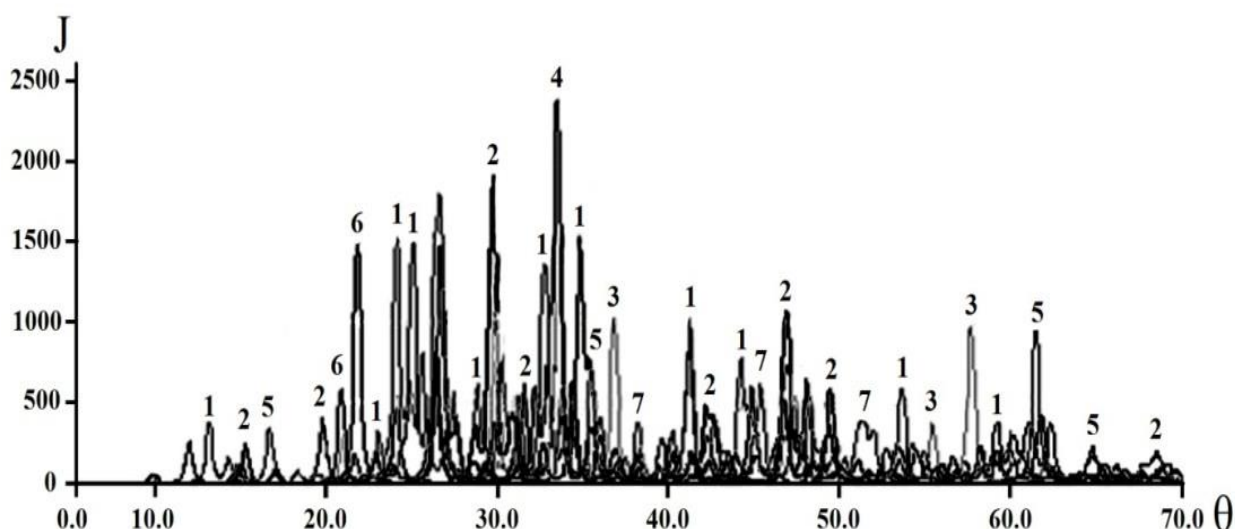
Таҳлили марҳилаи рентгении маъдани бордор (РФА)

Намунаҳои маъдани борат бо усули РФА бо ҷалб ва истифода аз дифрактометри ҳозиразамони навъи «XRDynamic-500», ки дифрактометри автомати рентгении гуногунмақсад ба ҳисоб меравад (расми 4) омӯхта шуд.

Комплекси «XRDynamic-500» барои гузаронидани тадқиқоти марҳилаи рентгении маъдани боратҳои кони Ак-Архар мавриди истифода қарор шуд (расми 5), ки мавҷудияти минералҳои асосии зерини маъдансозро нишон дод: гранат, майдони гидроборат, калсит, датолит, пироксенҳо, данбурит, квартс, гидрослюда ва амсоли инҳо.



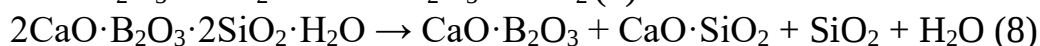
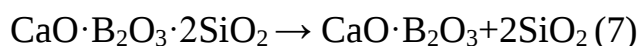
Расми 4. – Рентгенограммаи маъдани аслии боросиликати кони Ак-Архар. 1 – данбурит, 2 – калсит, 3 – кварс, 4 – ҳеденбергит, 5 – датолит, 6 – гипс, 7 – ҳеденбергит



Расми 5. – Рентгенограммаи маъдани аслии боросиликати кони Ак-Архар пас аз гудохтан. 1 – диборати калтсий, 2 – борати калтсий, 3 – андрадит, 4 – феррити калтсий, 5 – силлиманит, 6 – кварс, 7 – данбурит

Тадқиқоти рентгенӣ инчунин оид ба маъдани аслии гузаронда шуд, ки ин маъдан қаблан дар ҳарорати 900 - 950°C коркард карда шуда буд ва шакли рентгенограммаи он дар расми 5 нишон дода шудааст.

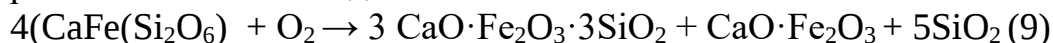
Ҳангоми муқоисаи шакли рентгенограмма дар расмҳои 4 ва 5 ҳам дар андозаи қуллаҳо ва ҳам шумораи онҳо тағйиротро дидан мумкин аст, яъне пас аз коркарди пешакии гармӣ маъдан тағйироти назаррасро аз сар мегузаронад. Коркарди маъдан дар ҳарорати баланд боиси хушкшавии маъданҳои дар таркиби он дохилшаванда мегардад ва инчунин қисман сохтори минералҳо осеб дида, вайрон мешаванд. Дар натиҷаи таҷзияи минералҳои датолит ва данбурит квартс, силикат ва диборати калсий ҳосил мешавад, таҷзияи онҳоро бо муодилаҳои зерин ифода кардан мумкин аст:



Чунон ки аз реаксияҳои химиявӣ (2.7) ва (2.8) дида мешавад, калсит ҳангоми диссоциатсияи маъдани боратдор ба оксиди калсий (CaO) мубаддал мешавад. Дар расми 5 инчунин қуллаҳое нишон дода шудаанд, ки бо борати дикалсий алоқаманд мебошанд. Ба хулосае омадан мумкин аст, ки оксиди калсий ҳосил мешавад ва он дар навбати худ бо оксиди кремний ва диборати калсий (пас аз таҷзияи термӣи данбурит ва датолит ба вуҷуд меояд) ба ҳамдигар таъсир мерасонад, ки дар натиҷа борати дикалсий ва силикати калсий ҳосил мешавад.

Минерали гранат дар ҳар ду рақам (4 ва 5) қуллаҳои якхела дорад, яъне ҳолати миқдорӣ ва сохтории он тағйир намеёбад, ҳангоми коркард бо ҳарорати баланд низ таҷзия намешавад.

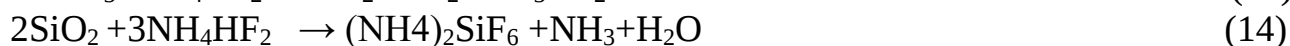
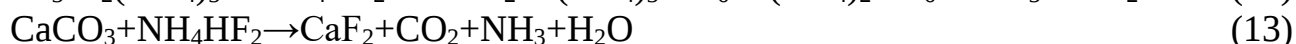
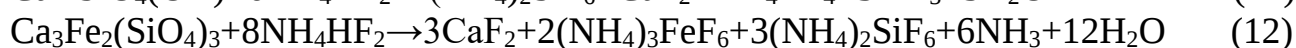
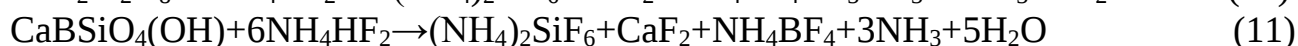
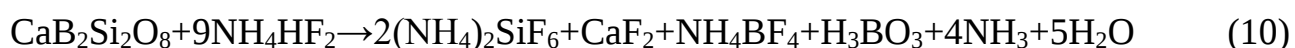
Минерали гендебергит дар зери таъсири оксигени ҳаво турш шуда, бо минерали изоморфии андрадит табдил меёбад ва табдилёбии он мувофиқи реаксия ба амал меояд.



Ҳангоми коркард бо ҳарорати баланд минерали кварцс ба тағйироти сохторӣ дучор шуда, ба шакли фаъолтар мегузарад ва бо оксиди калсий ҳамкорӣ мекунад.

Характеристикаи термодинамикии раванди таҷзияи маъданҳои бордор бо гидрофториди амоний

Вақте минералҳои таркиби маъдани борат бо гидрофториди аммоний ҳамкорӣ мекунад, интизор меравад, ки реаксияҳои зерин ба амал оянд:



Меъёри асосии тавсифкунандаи самти равандҳо арзиши энергияи Гиббс мебошад. Агар қимати $\Delta G > 0$ бошад, пас бо эҳтимолияти зиёд мувозинати реаксия ба тарафи рост ва агар қимати $\Delta G < 0$ бошад, дар ин ҳолат мувозинат ба тарафи чап майл мекунад.

Хусусиятҳои термодинамикии реаксияҳои эҳтимолии (10)-(14) таҷзияи маъдани боратдор бо гидрофториди аммоний (NH_4HF_2) дар ҷадвали 1 ҷамъбаст карда шудаанд.

Таблитсаи 1. - Параметрҳои термодинамикии реаксияҳо

Реаксияҳо	ΔH°_{298} , кДж/моль	ΔS°_{298} , Дж/моль·град	ΔG°_{298} , кДж/моль
10)	44.996	587.835	-130.17883
11)	961.304	797.395	723.68029
12)	-854.229	736.57	-1073.72686
13)	689.102	285.22	604.10644
14)	-903.525	83.04	-928.27092

Маълумоти ҷадвали 1 нишон медиҳад, ки реаксияҳо (10), (12) ва (14) ба шарофати комбинатсияи омилҳои термодинамикӣ, яъне $\Delta H < \text{сифр}$ ва $\Delta S > \text{сифр}$ ба таври мустақилона пеш рафта метавонанд. Дар мавриди ҷараёни реаксияҳо

(11) ва (13) гуфтан лозим аст, ки дар онҳо омили энтропия бартарӣ дорад, пас дар онҳо мутаносибан $\Delta S < \text{сифр}$ аст, ки онро дар ҷадвали 1 дидан мумкин аст. Дар он энергияи Гиббс барои реаксияҳои (10) - (14) бо истифода аз муодилаи зерин ҳисоб карда шудааст:

$$\Delta G_p^0 = \Delta H_p^0 - T\Delta S_p^0.$$

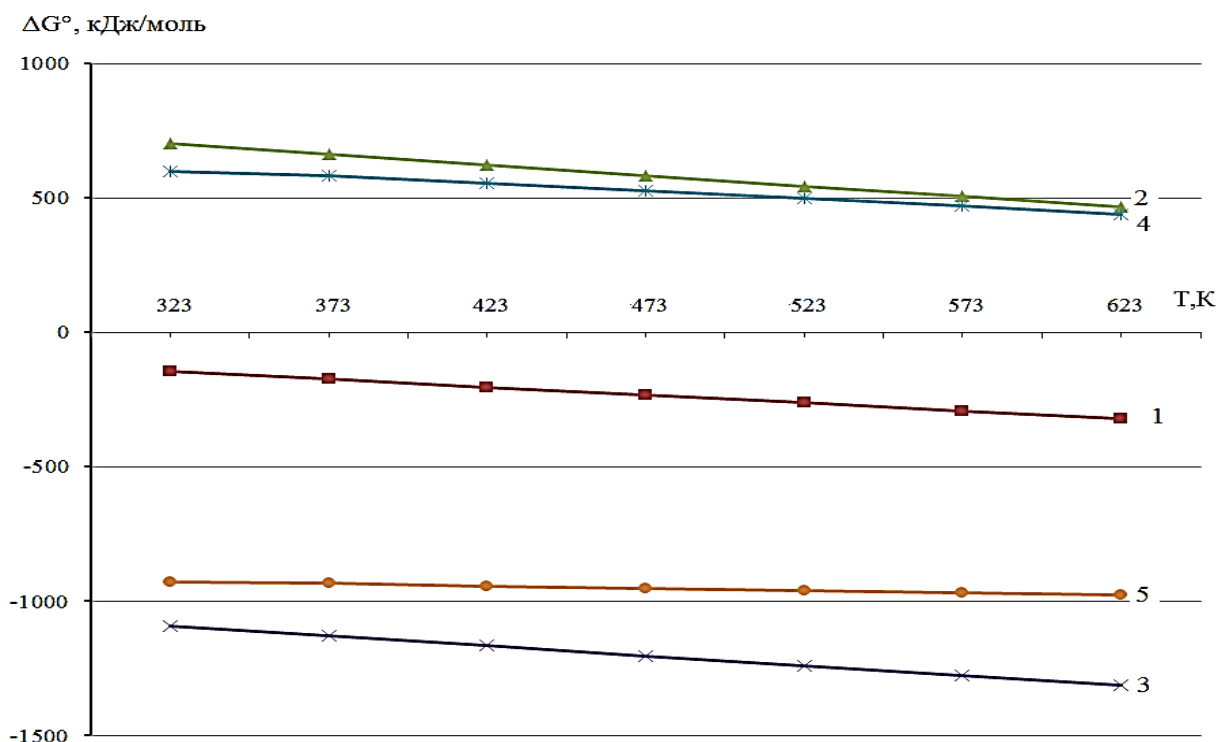
Вобастагии энергияи Гиббс ба ҳарорат барои реаксияҳои (10)-(14) баррасишаванда дар ҷадвали 2 оварда шудааст; диапазони ҳарорати 323-623 К омӯхта шуд. Инчунин, вобастагии энергияи Гиббс ба ҳарорат ҳангоми таҷзияи маъдани боратдор бо гидродифториди аммонийдар расми 6 оварда шудааст.

Ҷадвали 2. - Арзишҳои энергияи Гиббс (ΔG° , кДж/мол) ҳангоми ҳарорати гуногун

Реакции	ΔG°_{323}	ΔG°_{373}	ΔG°_{423}	ΔG°_{473}	ΔG°_{523}	ΔG°_{573}	ΔG°_{623}
10)	-144.8	-174.26	-203.65	-233.04	-262.4	-291.8	-321.2
11)	703.74	663.87	624	584.1	544.2	504.3	464.5
12)	-1092.1	-1129	-1165.7	-1202.6	-1239.4	-1276.2	-1313.1
13)	596.9	582.71	554.19	525.6	497.1	468.6	440.1
14)	-930.3	-934.4	-942.8	-951.1	-959.4	-967.7	-976.0

Аз маълумотҳои ҷадвали 2 ва расми 6 ба хулосае омадан мумкин аст, ки эҳтимолияти ба вуҷуд омадани реаксия (10) мавҷуд мебошад, он зимни афзоиши (Т) ва зиёдшавии энтропия ба амал меояд, мутобиқ ба аломат ($\Delta S > 0$), энергияи Гиббс барои ин реаксия манфӣ буда, имкони ба амал омадани реаксия хеле зиёд аст.

Реаксияҳои боқимонда (12)-(14) тамоюли паст шудани энтропияро доранд, дар онҳо мутаносибан (Т) зиёд шуда ва қиматҳои манфии энергияи Гиббс қоҳиш меёбад. Барои ин реаксияҳо афзоиши ҳарорат онҳоро мутавақиф мекунад, чунки дар ин ҳолат қиматҳои манфии энергияи Гиббс ба мусбат табдил меёбанд. Ҳамин тавр, барои ҳамаи реаксияҳои (10)-(14) баррасишуда, пайдоиши онҳо аз ҷиҳати термодинамикӣ асоснок аст.



Расми 6. – Вобастагии ΔG -и реаксияҳо аз ҳарорат (1 – данбурит, 2 – датолит, 3 – гидрослюда, 4 – калтсит, 5 – оксиди силитсий) ҳангоми таҳлили маъдани бордошта бо гидродифториди аммоний

КОРКАРД КАРДАНИ МАВОДИ БОРДОР ТАВАССУТИ ЭКСТРАКЦИЯКУНӢ, ТАҶЗИЯИ КИСЛОТАГӢ ВА ГУДОХТАКУНӢ Истихроҷи кислотаи бор аз намакобҳои кӯли Сосик-Кӯл (Тоҷикистон) бо истифода аз спиртҳои алифатии якатоми.

Афзоиши талаботи саноат ба бор ва пайвастагиҳои он, махсусан дар саноати энергетикаи атомӣ, электроника, химия ва шиша, аҳамияти кор карда баромадани усулҳои хеле самарабахши ҳосил кардани борро муайян мекунад. Соҳаи муҳимми истеҳсоли кислотаи бор аз манбаъҳои алтернативии табиӣ, аз ҷумла оби баҳр, оби партови корхонаҳои коркарди маъдани бор ва намакҳои минералии баъзе кӯлҳо мебошад. Истихроҷи кислотаи бор аз намакобҳои кӯли Сосик-Кӯл (Тоҷикистон) бо истифода аз спиртҳои як атомии алифатӣ ҳамчун экстрагенти органикӣ таваҷҷуҳи хосса дорад.

Яке аз ҳадафҳои ин тадқиқот дар шароити лабораторӣ омӯختани истихроҷи кислотаи бор аз намакобҳои кӯли Сосик-Кӯл бо истифода аз спиртҳои алифатикӣ ба ҳайси экстрагентҳо (гексанол ва октанол), инчунин гузаронидани озмоишҳои стендии ин раванд мебошад.

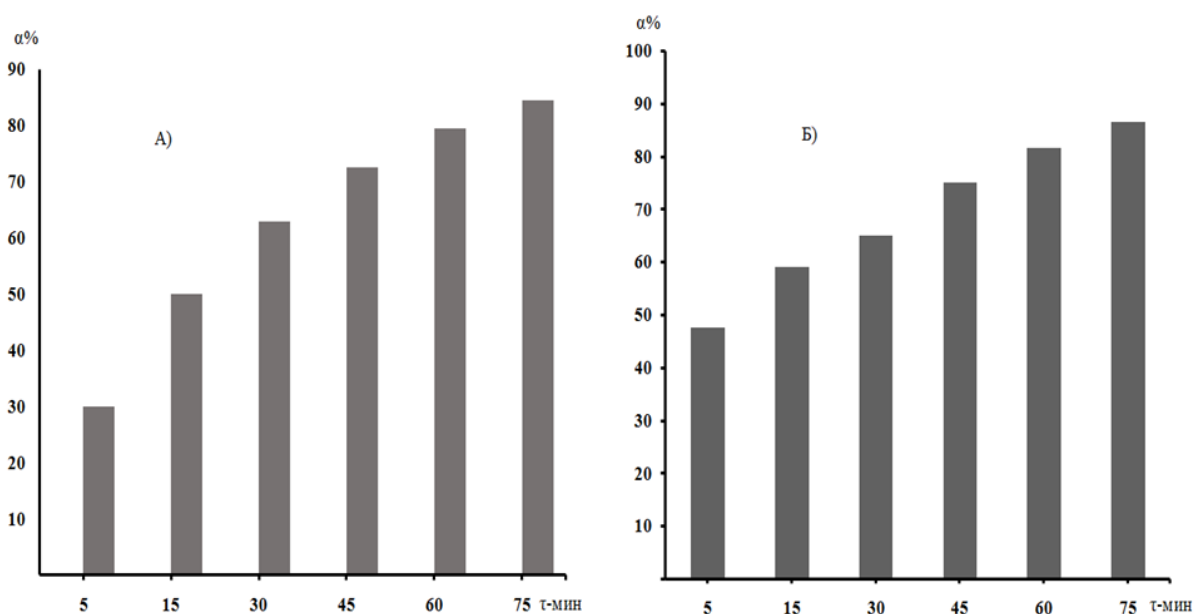
Намакоби кӯли Сосик-Кӯл муҳити ишқорӣ дорад, зеро дар он миқдори зиёди карбонати натрий мавҷуд аст. Раванди истихроҷи пайвастагиҳои бор аз намакоб ба таври зерин сурат мегирад: намунаҳои об аввал то pH 1-2 кислота карда мешаванд, зеро муҳити туршӣ дараҷаи диссоциатсияи H_3BO_3 -ро коҳиш

медихад, шумораи молекулаҳои ғайридиссоцсияшаванда меафзояд ва H_3BO_3 ба реагенти органикӣ хеле осон мегузарад.

Тайёр кардани экстрагент: таносуби спирт/толуол = 1/1 мебошад. Кислотаи борро дар зарфи шишагӣ рехта, онро бо омехтаи магнитӣ то ба вучуд омадани эмулсия омехта мекунем. Пас аз ба итмом расидани раванди омезиш, эмулсияи ҳосилшуда ба воҳиди ҷудокунанда барои ҷойгиршавӣ интиқол дода шуд ва пас аз он ба фазаҳои обӣ ва органикӣ ҷудо карда мешавад. Пас аз он дар ҳар як марҳила натиҷа дар зарфҳои алоҳида ҷамъ карда шуда, дар он миқдори кислотаи бор (H_3BO_3) муайян карда шуд.

Концентратсияи H_3BO_3 дар фазаи органикӣ бо роҳи гузаронидани раванди реэкстраксия бо истифода аз маҳлули обии гидроксиди натрий (NaOH), ки гузариши кислотаи борро аз фазаи органикӣ ба обӣ таъмин мекунад, муайян карда шуд. Дар ин ҳолат, H_3BO_3 ба маҳлули ишқорӣ ҳамчун пайвастагии метаборати натрий мегузарад.

Раванди аз фазаи обӣ ба фазаи органикӣ гузаштани H_3BO_3 ва таъсири вақти истихроҷ (τ) бо гексанол ва октанол ба истихроҷи кислотаи бор таҳқиқ карда шуд (расми 7).



Расми 7. – Натиҷаҳои таҳқиқоти экстраксияи кислотаи бор бо гексанол (А) ва октанол (Б) вобаста ба давомнокии раванди экстраксия

Дар расми 7 дида мумкин аст, ки диаграммаи истихроҷи кислотаи бор аз фазаи обӣ ба фазаи органикӣ бо зиёд шудани давомнокии истихроҷ то 75 дақиқа тамоюли ҳамвор афзоиш меёбад, ки дар ин вақт истихроҷи кислотаи бор ба 85% ва аз он зиёдтар мерасад.

Ҳамин тариқ, барои истихроҷи H_3BO_3 аз намакоби экстрагентҳо - спиртҳои якатомаи гексанол ва октанол истифода шуда, муносибосозии меъёрҳои технологияи истихроҷ гузаронида шуд: $\tau = 75$ дақиқа, $\text{pH} = 1-2$, таносуби намакоб/экстрагент = 1/1 бо истихроҷи максималии H_3BO_3 ва зиёдтар.

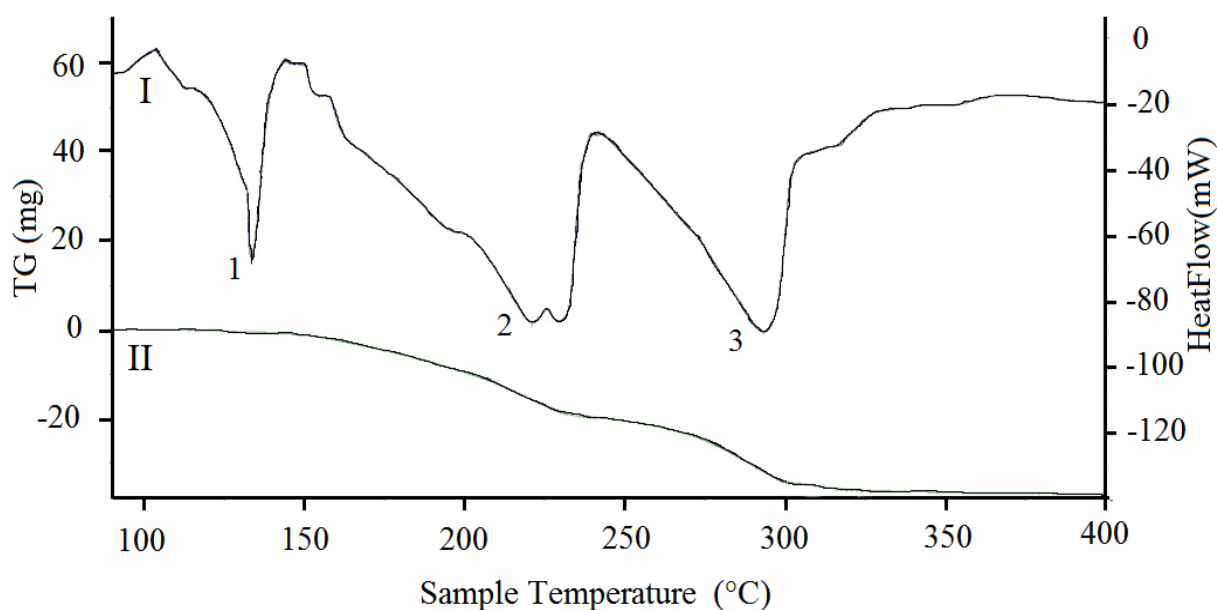
Гудохтакуни маъданҳои бордор бо реагентҳои фтордор

Дар ин бахш раванди гудозиши ашёи хоми боросиликати кони Ак-Архари Тоҷикистон бо гидрофториди аммоний ва ба даст овардани маҳсулоти пураарзиш оварда шудааст.

Вазифаи асосии тадқиқот аз баланд бардоштани самаранокии усули таҷзияи маъданҳои боросиликат бо ба назар гирифтани ва бартараф намудани камбудии усулҳои туршӣ, хлор ва ишқорӣ кушодани маъдан, инчунин васеъ намудани номгуӣ маҳсулоти тиҷоратӣ, ки аз маъданҳои боросиликат гирифта мешавад, иборат мебошад.

Вазифаи гузашта шуда, бо роҳи кушодани маъдани боросиликат бо усули фторкунонӣ тавассути ҳамкориҳои саҳтфазагии маъдани номбурда бо гидрофториди аммоний, ки ҳамчун агенти фтордор интихоб шудааст, ҳал карда шуд.

Дар расми 8 натиҷаҳои таҳлили дифференсиалии термикӣ (ДТА) ва таҳлили термогравиметрии (ТГ) омехтаи дорои ашёи хоми боросиликат ва гидрофториди аммоний оварда шудааст. Дериватограмма бо суръати гармкунии $5^{\circ}\text{C}/\text{дақиқа}$ то ҳарорати 400°C бо истифода аз низоми термоаналитикии «Labsys Evo-1600», ки аз ҷониби ширкати франсузӣ Setaram истехсол шудааст, ба даст оварда шудааст.



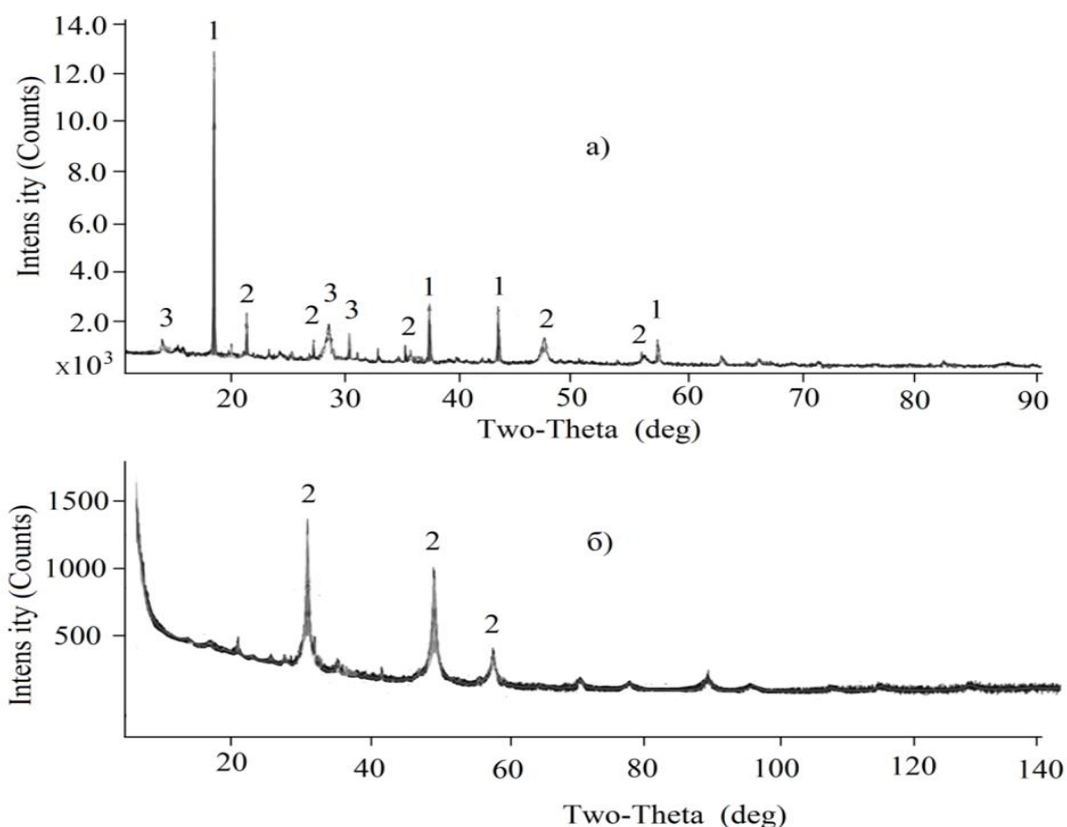
Расми 8. – Дериватограммаи шихтаи ашёи хоми боросиликатӣ ва гидрофториди аммоний бо нишондоди таъсирҳои ҳароратӣ (гармкунӣ то 400°C бо суръати $5^{\circ}\text{C}/\text{дақиқа}$ дар давоми 1 соат, массаи намуна 48 мг): I – хати ДТА (ТДТ); II – хатти ТГ; 1, 2, 3 – эффектҳои эндотермӣ

Дар қачҳои дифференсиалии таҳлили термикӣ (ДТА) дар ҳароратҳои 130, 240 ва 280°C таъсири равшани эндотермикиро нишон доданд. Эндоэффектҳои ошкоршуда дар фосилаи ҳарорати $114\text{--}140^{\circ}\text{C}$ ба талафоти заифи массаи намуна

мувофиқат мекунад, ки асосан бо хориҷ кардани рутубати аз ҷиҳати ҷисмонӣ адсорбшуда ва кристаллизатсия (гидрат) ба ғудоза алоқаманд аст. Таъсир дар ҳарорати 240 ва 280°C метавонад ба таҷзияи ашёи хоми боросиликат мувофиқат кунад, то гексафторосиликати аммонӣ, тетрафторборати аммонӣ, фториди калсий ва гексафтороферрати аммонӣ бо реаксияҳои мувофиқ (10-14) ҳосил шавад.

Барои тасдиқи табилоқҳои дар боло зикршуда бо ёрии таҷҳизоти XRDynamic-500 (дифрактометри автоматии хокаренгтении бисёрмақсад) рентгенограммаи ашёи хоми фтордори боросиликат гирифта шуд, ки натиҷаи он дар расми 9а оварда шудааст.

Мувофиқи рентгенограммаи ба дастмада (расми 9а) андозаи қуллаҳо ва ҷойгиршавии онҳо ба маҳсулоти реаксияи ҳамкориҳои ашёи хоми боросиликат ва гидрофториди аммонӣ қомилан мувофиқат мекунад. Қуллаҳои асосии рентгенограмма ба гексафторосиликат аммонӣ, тетрафторборати аммонӣ ва фториди калсий мувофиқат мекунад.

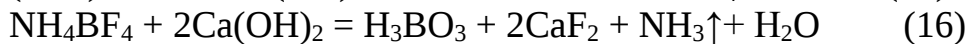
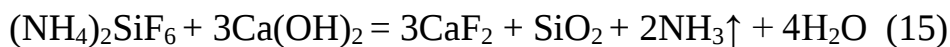


Расми 9. – Рентгенограммаи маъдани боросиликати фторонидашуда (а) ва боқимонда пас аз коркарди ишқорӣ (б): 1 – гексафторосиликати аммонӣ ($(\text{NH}_4)\text{SiF}_6$), 2 – фториди калсий (CaF_2), 3 – тетрафторборати аммонӣ (NH_4BF_4)

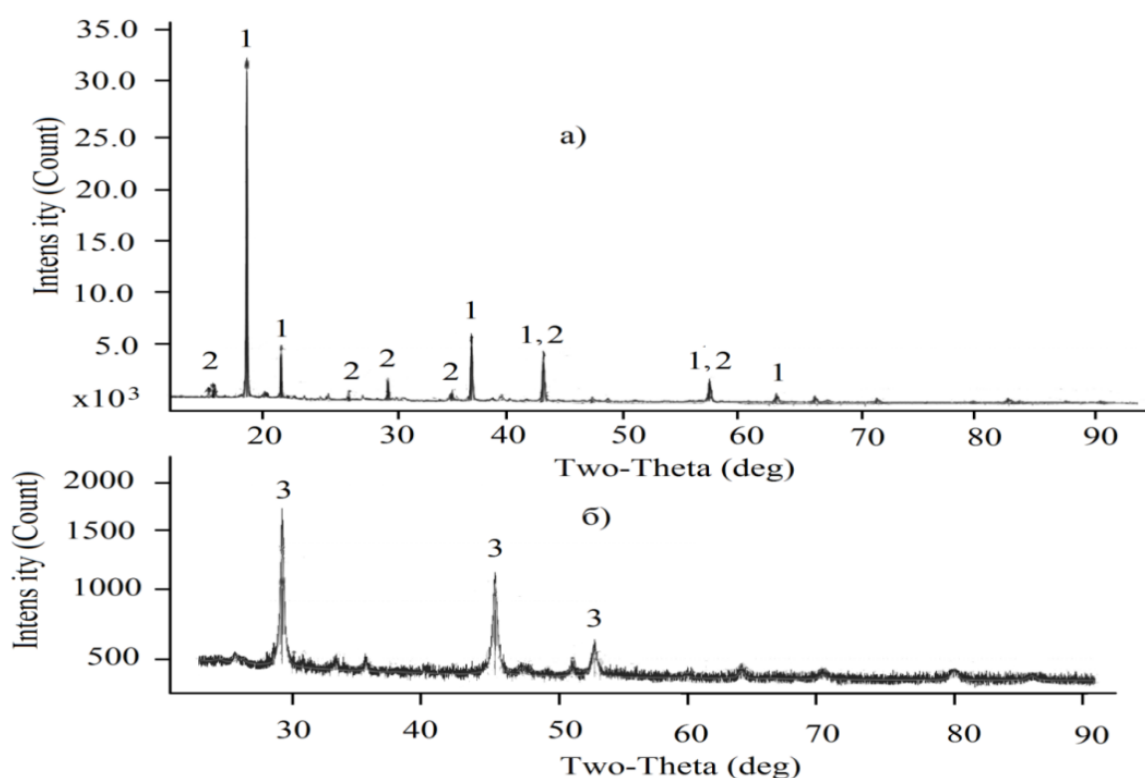
Дар ҷараёни фтор кардани ашёи хоми боросиликат бо гидрофториди аммонӣ дар ҳарорати 250-300°C ғудоза ба ду фраксия тақсим мешавад. Мувофиқи РФА, фраксияи якум ба гексафторосиликати аммонӣ ва

тетрафторборати аммоний (расми 10 а) ва фраксияи дуюм асосан ба фториди калсий (расми 10 б) мувофиқ мебошанд.

Минбаъд, барои ба даст овардани кислотаи бор мувофиқи реаксияҳои зерин, фраксияи якум бо шири оҳак коркард карда шуд.

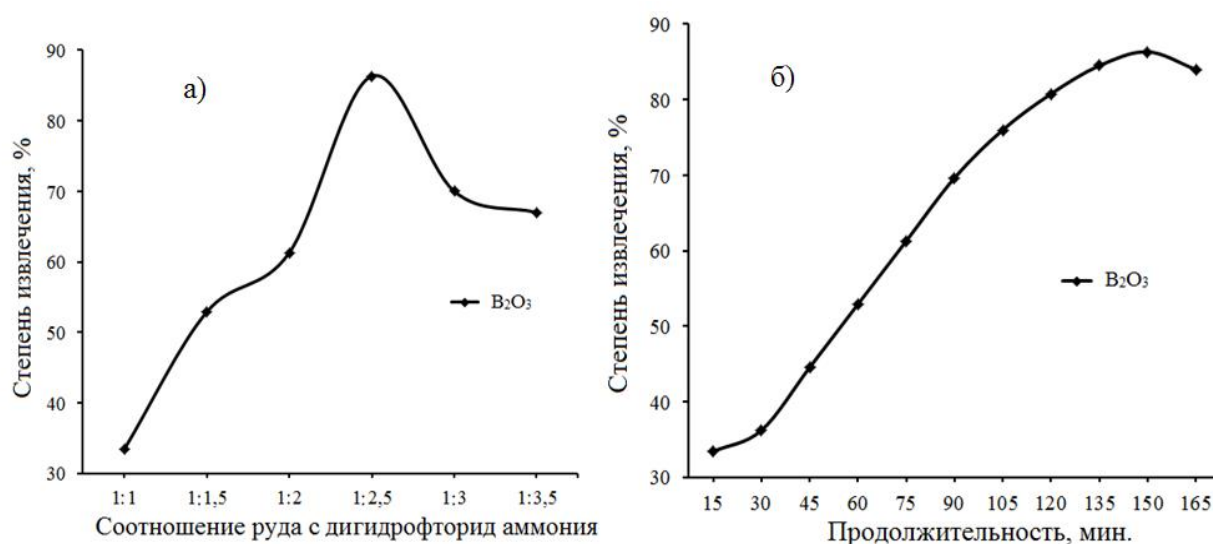


Минбаъд барои чараёни фторикунории маъдани борат ба мақсади муносибсозии онҳо баъзе меъёрҳои физикию химиявӣ таҳқиқ карда шуданд: таносуби маъдан/гидродифториди аммоний таҳқиқ карда шуд ва гармшавии маъдан т барои истихроҷи максималии B_2O_3 тағйир дода шуд (расми 11а).



Расми 10. – Рентгенограммаи фраксияи аввал (а) ва дуюм (б): 1 – гексафторсиликати аммоний ((NH₄)SiF₆), 2 – тетрафторборати аммоний (NH₄BF₄), 3 – фториди калтсий (CaF₂)

Дар асоси хатти қач (расми 11а), ки истихроҷи кислотаи борро тавсиф мекунад, метавон хулоса кард, ки таносуби маъдан/гидродифториди аммоний ба раванди таҷзияи маъдани борат бо гидродифториди аммоний таъсири калон мерасонад. Муносибсозии ин меъёр дар T=250-300°C бо таносуби мухталифи маъдан ва NH₄HF₂ гузаронида шуда, таносуби оптималӣ 1:2,5 муайян карда шуд, ки он ба ҳадди аксар истихроҷи пайвастагиҳои бордор ноил гардида, ба 87,5% ва бештар аз он расидааст.



Расми 11. – Вобастагии ҷудошавии оксиди бор аз: а) таносуби массавии ашёи хом ва гидрофториди аммоний, б) давомнокии раванди гармкунии

Дар расми 11б тағирёбии истихроҷи B_2O_3 аз параметри технологӣ - τ коркарди термикӣ тавсиф карда шудааст, ки арзиш (τ) аз 15 дақиқа то 165 дақиқа фарқ мекунад. Тавре аз расми 11 б дида мешавад, ҳадди аксари истихроҷи B_2O_3 дар $\tau = 150$ дақиқа (2,5 соат) ба даст омад ва 87,3% -ро ташкил дод.

Эътимоднокии натиҷаҳои дар ин озмоиши оид ба истихроҷи B_2O_3 бадастомадаро рентгенограммаи расмҳои 9б ва 10б, ки баъд аз коркарди ишқории маъдани борат гирифта шудаанд, тасдиқ карданд. Дар ин ҷо қуллаи пайвастагиҳои аслии бордор ба назар намерасанд, вале қуллаҳои таркиби фтордор - фториди калсий (CaF_2) баръало намоён мешавад, ки мавҷудияти онҳоро ҷойгиршавӣ ва баландии қуллаҳо тасдиқ мекунад.

Кинетикаи ғудохтани маъдани борат бо гидрофториди аммоний

Омӯзиши кинетикаи ғудохтани маъдани борат бо NH_4HF_2 марҳилаҳои зеринро дар бар гирифт: маъдани борат (3,5 г) ва $NH_4 HF_2$ (3,5 г) омехта ва дар дастгоҳи сублиматсия ҷойгир карда шуданд, ки дар он ҳарорати муайян нигоҳ дошта мешуд. Пас аз 15 дақиқа ҷараёноро қатъ карда, лойобаеро, ки дар сублиматор пайдо шуда буд, бо шири оҳақ коркард карда, баъд маҳлулро аз боқимондаҳои саҳт (ифлосҳои ҳалнашуда) тоза мекунанд, филтро чанд маротиба бо об шуста, филтратро дар колбачаи ченаки 250 мл ҷамъ мекунанд, агар филтрат камтар бошад, ҳаҷмро бо об ба 250 мл мерасонанд. Сипас як қисми алиқвот - 25 мл маҳлулро гирифта, дар он аз рӯйи усули стандартӣ миқдори B_2O_3 муайян карда шуд. Чунин таҷрибаҳо бо $\tau=30$, дар фосилаи 45 ва 60 дақиқа такрор карда шуданд.

Кинетикаи ғудохтани маъдани борат бо NH_4HF_2 дар асоси вобастагии таҷрибавии истихроҷ ба маҳлули B_2O_3 аз ғудохтани (Т), (τ) ва таносуби маъдани борат/ NH_4HF_2 таҳқиқ карда шуд. Дар асоси вобастагии бадастомадаи

хар як меъёр, муодилаҳои маъруфи кинетикии классикӣ ва муодилаи Аррениус тартиби реаксияҳо ва энергияи фаъолшавии ҳама реаксияҳои давомдори раванд муайян карда шуданд.

Кинетикаи ғудохтани маъдани борат бо NH_4HF_2 аз рӯи меъёрҳои раванди зерин омӯхта шуданд: $T=50-250^\circ\text{C}$, $\tau=30-150$ дақиқа.

Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқи кинетикаи раванди ғудохтани маъдани борат бо истифода аз гидродиффוזи аммоний (NH_4HF_2) ҳаҷми қачи кинетикӣ сохта шуданд, ки таъсири режими ҳарорат (T) ва давомнокии таъсирро (τ) ба дараҷаи истихроҷи оксиди борро (B_2O_3) инъикос мекунанд.

Вобастагии мувофиқ дар расми 12 нишон дода шудааст. Вобастагии мустақими истихроҷи оксиди бор аз ғудохтани (T) ошкор гардид (ҳар қадаре ки T баланд бошад, истихроҷи B_2O_3 ҳамон қадар зиёд мешавад). Аз расми 12а маълум мешавад, ки то $T=90^\circ\text{C}$ (363 K) қачҳои кинетикӣ ростхаттӣ мебошанд, аммо пас аз расидан ба $T=250^\circ\text{C}$ (523 K) онҳо аз ростхаттӣ ба параболӣ мегузаранд. Дар $\tau=150$ дақиқа, ҳадди аксар истихроҷи B_2O_3 ба даст меояд. Сохтани ҳаҷми қачи кинетикӣ барои ғудохтани маъдани борат бо $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ бо муодилаи тартиби якум тобеъ мебошад:

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

дар ин ҷо: α – дараҷаи истихроҷи B_2O_3 ; τ – вақт, дақиқа; K – константаи суръати таҷзия дақиқа⁻¹.

Пас аз тағйирёбии муодила ба худ шакли зеринро мегирад:

$$\lg(1 - \alpha) = -\frac{K \cdot \tau}{2,303}$$

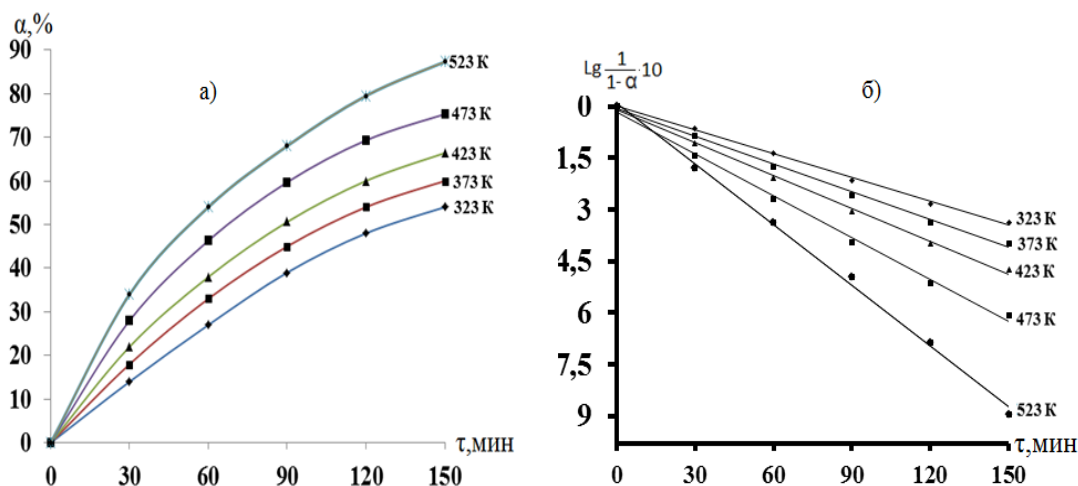
Расми 12б вобастагии бузургии $\lg[1/(1-\alpha)]$ -ро аз вақти ғудохтан нишон медиҳад (τ). Ҳамаи нуқтаҳои озмоишӣ, ки дар диапазони ҳарорати $T = 50-250^\circ\text{C}$ (323–523K) гирифта шудаанд, вобастагии хаттиро бо нишебии манфӣ ташкил медиҳанд, ки дар бораи муовифиқати он ба раванди кинетикаи тартиби дараҷаи якум ғувохӣ медиҳанд.

Энергияи фаъолсозӣ (E) ва омили пеш аз экспоненсиалӣ (K_0) бо истифода аз муодилаи Аррениус ба таври графикӣ муайян карда шуданд, ки имкон медиҳад вобастагии ҳарорат ба суръати реаксияи химиявӣ ба таври микдорӣ тавсиф карда шавад:

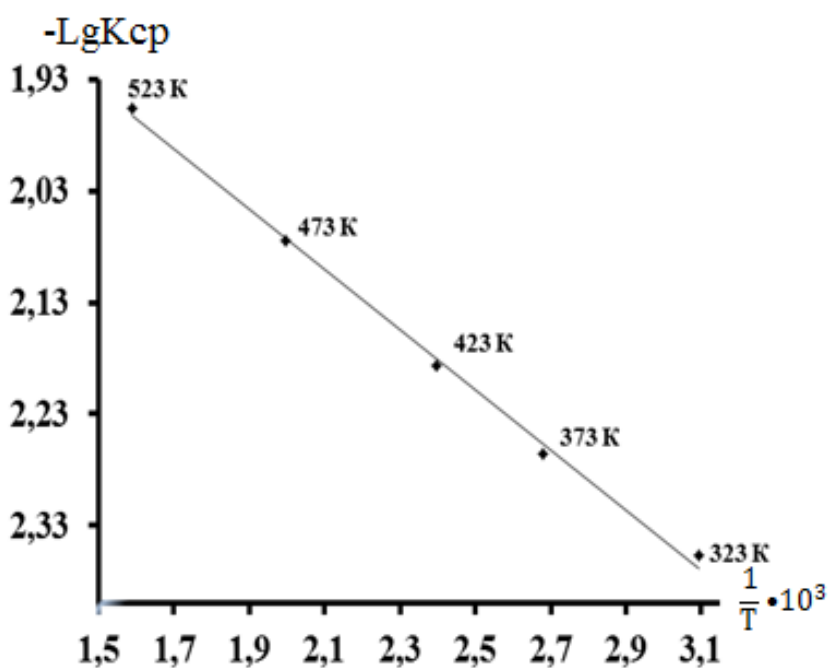
$$K = K_0 \cdot e^{-E/RT},$$

$$\text{ё: } \lg = -\lg K_0 - \frac{E}{2,303 RT},$$

дар ин ҷо: R – доимии умумии газ, кДж/мол, ҳарорат. T – ҳарорати мутлақ, K.



Расми 12. – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии (α) оксиди бор аз вақт (а) ва $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ аз вақт (б) бо усули ғудохтани таҷзияи ашӯи хоми боросиликатӣ



Расми 13. – Вобастагии $\lg K$ аз ҳарорати мутлақи баръакс ҳангоми ғудозиши маъдани бордор бо гидродифториди аммонӣ

Энергияи фаъолшавӣ (E) бо усули графикӣ дар асоси таҳлили графикӣ дар расми 13 нишон додашуда муайян карда шуд. Ба мақсади дурусттар муайян кардани меъёрҳои энергетикӣ ва муқаррар намудани минтақаи ҳарорати ҷараёни фаъоли ғудохтан графики вобастагии логарифми доимии суръат ($\lg k$) ба ҳарорати мутлақи баргашт ($1/T$) сохта шуд. Вобастагии ҳаттии бадастомада имкон дод, ки энергияи фаъолшавиро (E) ба тангенсӣ нишебии ҳатти рост аз рӯйи муодилаи Аррениус ба таври графикӣ муайян карда шавад:

$$E = 2.3 \cdot R / \operatorname{tg} \alpha / \xi$$

дар ин ҷо: R - доимии универсалии газ, α - кунчи нишебии хатти рост, ξ - таносуби масоҳат аз рӯйи меҳвари абсиссаҳо нисбат ба масоҳати меҳвари ордината мебошад.

Қимати энергияи фаъолгардонии раванди ғудохтани маъдани борат бо гидрофториди аммоний, ки бо усули графикӣ ҳисоб карда шуд, 7,2 кҶ/молро ташкил дод, ки ин аз хусусияти диффузии раванд шаҳодат медиҳад. Чунин арзиши пасти энергияи фаъолкунӣ нишон медиҳад, ки марҳилаи маҳдудкунанда паҳншавии реагентҳо ё маҳсулоти реаксия мебошад ва ҳуди раванд дар минтақаи диффузия ба амал меояд.

Бузургиҳои ҳисобшудаи меъёрҳои кинетикии зикршуда дар ҷадвали 3 ҷамъбаст карда шудаанд.

Ҷадвали 3. - Бузургиҳои меъёрҳои кинетикӣ ҳангоми ғудохтани маъдани борат бо гидрофториди аммонийдар $T=50-250^{\circ}\text{C}$ (323-523 K)

NH_4HF_2					
T (K)	323	373	423	473	523
1/T	0.00309	0.00268	0.00236	0.00211	0.00191
$k_{\text{cp}}[(\text{моль/л}) \cdot \text{с}^{-1}]$	0.00444	0.00547	0.00656	0.00851	0.01118
$\text{Lg } k_{\text{cp}}(\text{моль/л}) \cdot \text{с}^{-1}$	-2.3523	-2.2618	-2.1828	-2.0699	-1.9515

Аз ин рӯ, мо меъёрҳои кинетикиро муайян кардем, ки ғудохтани маъдани боратро бо гидрофториди аммонийбо истихроҷи оксиди бор тавсиф мекунанд; ин меъёрҳои кинетикӣ механизми ин равандро тавсиф мекунанд.

Мутаносибан, дар асоси меъёрҳои кинетикии ба даст омадаи ғудохтан ба ҳулосае омадан мумкин аст, ки кинетикаи равандҳо ва механизмҳои таъзияи маъданҳои борат асосан аз рӯйи таркиби минералҳои бордор, ки бо гидрофториди аммонийҳамкорӣ мекунад, инчунин бо сохтори ин минералҳо, робитаҳои дохилии химиявии онҳо, дар ин ҷо аҳамияти муҳим хосиятҳои физикию химиявии маҳлул аммоний, яъне гидрофторид ($\text{NH}_4(\text{HF}_2)$) дорад, муайян карда мешаванд. Дар асоси ин омӯхтани устувории химиявии маъданҳои бордор, ки дар маъданҳои борат мавҷуданд, аҳамияти калон дорад, ки он имкон медиҳад меъёрҳои технологияи таъзияи химиявӣ ва кор карда баромадани технологияи перспективии коркарди ин навъи ашёи хоми табиӣ имкон фароҳам меоварад.

Усули ғудозиши таъзияи маъдани борат бо гидрофториди аммоний усули бисёрзинагӣ мебошад, ки дар он (T) ғудозиш, (τ)-и ғудозиш аҳамияти калон дорад. Мо энергияи фаъолшавии таъзия ва баъзе меъёрҳои кинетикиро муайян кардем, ки ба мо имкон медиҳад, ки ин равандро бо истихроҷи оксиди бор муносиб созем.

Нақшаи технологии таҷзияи маъдани боросиликат бо гидрофториди аммоний



Расми 14. – Нақшаи технологии таҷзияи маъдани боросиликатӣ бо гидрофториди аммоний

Аввал маъдани боросиликатро то андозаи заррачааш 0,01 мм майда карда, бо таносуби 1/2,5 бо гидрофториди аммоний омехта мекунад. Баъд омехтаи ҳосилшударо дар ҳарорати 250-300°C меғудозанд.

Ҳангоми фторикунории маводи боросиликат бо гидрофториди аммоний омехта ба ду қисм ҷудо карда мешавад. Мувофиқи таҳлили фазаи рентгенӣ қисми якум ба гексафторосиликат аммоний ва тетрафторборати аммоний ва қисми дуюм асосан афзалан аз фториди калсий иборат аст. Қисми

якум бо суспензияи оҳак коркард ва филтр карда мешавад. Дар ин ҳолат кислотаи бор ба фазаи моеъ мегузарад ва фториди калсий дар боқимондаи сахт боқӣ мемонад. Сипас, кислотаи борӣ аз марҳилаи моеъ тавассути кристаллизатсия ҷудо карда мешавад, ки пас аз хушк шудан ба кислотаи бории хушк табдил меёбад. Технологияи коркарди маъдани борат бо истифодаи гидрофториди аммоний бо усули гудозиш дар шакли нақша дар расми 14 оварда шудааст.

ХУЛОСАҲО

1. Бо истифода аз усулҳои таҳлили фазаҳои рентгенӣ, таҳлили дифференсиалии термикӣ ва тадқиқоти химиявӣ таркибҳои химиявӣ ва унсурҳои минералогии маъдани борати кони Ак-Архар ва намақоби кӯли Сосиқ-Кӯли Тоҷикистон муайян карда шуда, хосиятҳои физикию химиявии онҳо омӯхта шуданд [5-А, 11-А].

2. Таҳлили термодинамикии ҷараёни реаксияҳои химиявӣ ҳангоми бо моддаҳои хлордор ва «шароби шохӣ» таҷзия кардани маъдани борат гузаронида шуд. Нишон дода шудааст, ки дар диапазонҳои ҳарорати таҳқиқшуда бо усулҳои туршӣ ва гудозиш қариб ҳамаи минералҳои маъдан мувофиқи реаксияҳои пешбинишуда аз ҳам ҷудо мешаванд [2-А, 7-А, 8-А].

3. Муносибсозии меёрҳои технологияи истихроҷи кислотаи бор аз намақобҳои кӯли Сосиқ-Кӯл бо усули истихроҷ бо ҳалқунандаҳо - спиртҳои якатоӣ (гексанол ва октанол) анҷом дода шуд. Барои ин раванд меёрҳои муносибкардашудаи зерин ба даст оварда шуданд: $\text{pH}=1-2$, $\tau=75$ дақиқа, таносуби намақоб/экстрактант = 1:1, бо барқароркунии кислотаи бор (H_3BO_3) = 85 Ҷоиз. [4-А, 10-А, 17-А].

4. Параметрҳои оптималии раванди ҷудошавии кислотаи бор аз намақоби кӯли Сосиқ-Кӯл бо усули экстраксия бо ҳалқунандаҳо — спирти изобутил ва трибутилфосфат гузаронида шуд. Барои ин раванд параметрҳои зерини оптималӣ: $\text{pH} = 1-2$, $\tau = 60$ дақиқа, таносуби намақоб/экстрактант = 1:1, ба ҳисоб меравад, ки ҷудошавии кислотаи бор (H_3BO_3): бо (спирти изобутил) 210 мг/л ва (трибутилфосфат), 189 мг/л-ро дар бар мегирад. [9-А, 10-А, 17-А].

5. Таҷзияи маъдани борат бо усули гудохтан бо реагенти аммоний гидрофториди $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ таҳқиқ карда шуда, меёрҳои технологияи ин раванд муносиб карда шуданд: $T=250-300^\circ\text{C}$, $\tau=2,5$ соат, таносуби маъдан/ $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ = 1:3,0, бо истихроҷи В = 2:3.2. ё бештар. [5-А, 6-А, 12-А, 15-А, 16-А].

6. Кинетикаи таҷзияи маъдани борат бо «арақи шохӣ» омӯхта шуд. Энергияи ғаёлшавии раванд (22,75 кҶ/мол) ҳисоб карда шуд ва муайян карда шуд, ки ин раванд дар минтақаи диффузия ба амал меояд. [1-А, 2-А, 3-А, 6-А].

7. Нақшаи умумии равандҳои коркарди маъдани борати Оқ-Архар бо истифода аз гидрофториди аммоний $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ тартиб дода шудааст, ки дар он кислотаи бор, фториди калсий ва оксиди кремний ҳамчун маҳсулоти ниҳой ба даст оварда мешавад. Нақшаи равандҳои технологияи зеринро дарбар мегирад: майда кардан, коркарди гармии омехтаи маъдани борат ва

гидрофториди аммоний, бо шираи оҳак истихроҷ кардан, бо роҳи филтрата ҷудо кардани фазаҳои сахт ва моеъ, кристаллизатсияи кислотаи бор [5-А, 9-А, 13-А 14-А].

Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо:

- маълумотҳои бадастомада дар бораи энергияи Гиббс, кинетика ва характеристикаҳои термодинамикии ашёи хоми таҷзияи боросиликатиро мутахассисони соҳаи химияи физикӣ барои ба даст овардани пайвастагиҳои бор истифода бурда метавонанд;

- технологияи таҳияшудаи истихроҷи кислотаи бор аз намакобҳои кӯли Сосиқ-Кӯл доираи маҳсулоти бордорро барои эҳтиёҷоти Тоҷикистон васеъ мекунад;

- реагентҳои самарабахши муайяншуда барои таҷзияи маъданҳои борат (гексанол, октанол, этанол, гидродифториди аммоний ва ғайра) дар истеҳсоли маҳсулоти бордор барои ба даст овардани чунин маҳсулоти пураарзиш ба монанди кислотаи бории тиббӣ ва амсоли инҳоро истифода кардан имконпазир аст;

- қиматҳои адабии характеристикаҳои термодинамикии таҷзияи реаксияи ашёи хоми боросиликат маълумотҳои маълумотномаро такмил мекунад ва зимни таҳияи китобҳои дарсӣ ва китобҳои коркарди ашёи хоми минералӣ истифода хоҳанд шуд;

РҶҲАТИ ИНТИШОРОТ ОИД БА МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳои, ки дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шуданд:

[1-М]. Давлатов, А. С. Переработка боросиликатного сырья гидрофторидом аммония / А. С. Давлатов, А. С. Курбонов, А. П. Тагаев, И. М. Рахимов, У. М. Мирсаидов // Вестник технологического университета г. Казань РФ 2024. Т.27, №12. С- 81-87.

[2-М]. Давлатов, А.С. Кинетика процесса спекания боросиликатного сырья гидрофторидом аммония / А.С. Давлатов, А.С. Курбонов, У.Х.Усмонова, Х.Э.Пулотов, У.М. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2024. - № 4 (197). – С. 136-142.

[3-М]. А.С. Курбонов, Кинетика разложения боросиликатных руд Таджикистана минеральными кислотами / А.С. Курбонов, А.П. Тагаев, Р.Дж. Акрамзода, А.С. Давлатов, М.М.Тагоев // Док. НАН Таджикистан. -2022. -Том 65. №7-8. -С.518-522.

[4-М]. Р.Дж. Акрамзода, Термодинамические характеристики процессов разложения борного сырья путём активации с NaOH и CaCl₂ / Р.Дж. Акрамзода, Ф.А. Назаров, М.М. Тагоев, А.С. Курбонов, А.С. Давлатов // Известия НАН Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. -2022. - №4(189).

[5-М]. Курбонов А.С, Изучение кинетики процесса разложения исходной боросиликатной руды царской водкой / Курбонов А.С., Давлатов

А.С., Тагаев А.П., Пулатов Х.Э., Тагоев М.М. // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2022. № 2-3 (102). с. 70-74.

[6-М]. Курбонов А.С. Экстракция борной кислоты из рассола озера Сасык-Куль Таджикистана с одноатомными алифатическими спиртами / Курбонов А.С., **Давлатов А.С.**, Сумани Неъматулло., Акрамзода Р.Дж., Бобоев К.О. // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2023. № 2/3 (113). с. 83-86.

[7-М]. **Давлатов, А.С.** Термодинамические характеристики процесса разложения борсодержащих руд с гидродифторидом аммония/ **А.С.Давлатов**, А.С.Курбонов, М.М.Тагоев, Ф.Б.Миров У.М.Мирсаидов// Доклады НАН Таджикистана. - 2025. – Т. 68. - № 1-2. - С. 81-87.

Мақолаҳо ва фишурдаи мақолаҳо, ки дар маводи конференсияҳои илмӣ нашр шуданд:

[8-М]. А.П. Тагаев, Термодинамические характеристики процесса разложения боросиликатных руд «Царской водкой» / А.П. Тагаев, А.С. Курбонов, М.М. Тагоев, **А.С.Давлатов**, Е. Кудратуллоев // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке» - С. 48-50, Душанбе, 26 октября 2022

[9-М]. **Давлатов А.С.** Получение борной кислоты медицинского назначения из местных сырьевых материалов таджикистана / **А.С.Давлатов**, А.П.Тагаев, Х.Э.Пулатов // Актуальные вопросы современной медицины: проблемы и их решение. Материалы республиканской научно-практической конференции (III-годовая) ГОУ «Хатлонский государственный медицинский университет», посвященная 30-летию XVI-ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан. 16 декабря соли 2022. Дангара С. 427-428

[10-М]. И.Мирсаидзода, Комплексная переработка рапы озера сасык-куль таджикистана / И.Мирсаидзода, А.С.Курбонов, Р.Акрамзода, Б.Б.Баротов, **А.С.Давлатов** // Материалы Республиканской научно – практической конференции на тему “Современное состояние и перспективы физико-химического анализа”, посвященной провозглашению четвертой стратегической цели – индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора химических наук, профессора, Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.) с. 25-28

[11-М]. А.М.Исоев, Дифференциально-термический анализ борсодержащих минералов, как реагентов для защиты от нейтронов / А.М.Исоев, А.С.Курбоно, Р.С.Ёрматов, Х.Э. Пулатов, **А.С. Давлатов** // НАНТ.АХБРЯ Сборник материалов международной научно-практической конференции «химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» душанбе – 2023 с. 150-154

[12-М]. Давлатов А.С. Химическая безопасность при получении борных продуктов спекательным методом / **А.С.Давлатов,** А.С.Курбонов, Х.С. Пулатов, А.М. Исоев, М.М. Тагоев, И.М. Рахимов // НАНТ.АХБРЯ Сборник материалов международной научно-практической конференции «химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» душанбе – 2023 с. 165-168

[13-М]. А.С. Курбонов, Химическая безопасность при получении борных продуктов разложением минеральными кислотами / А.С. Курбонов, Р.С. Ерматов, **А.С. Давлатов,**Х.Э. Пулатов, С. Кодирзода // НАНТ.АХБРЯ Сборник материалов международной научно-практической конференции «химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» душанбе – 2023 с. 168-172

[14-М]. Мирсаидов У.М., Комплексная переработка борсодержащих руд таджикистана / Мирсаидов У.М., Рахимов И.М., Курбонов А.С., Назаров Ф.А. **Давлатов А.С.** // НАН Узбекистон Международная научно-техническая конференция «актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально- сырьевых ресурсов узбекистана», посвященная 90-летию со дня создания института общей и неорганической химии академии наук республики узбекистан и 80- летию со дня создания академии наук республики узбекистан Тошкент 16-17 ноябрь 2023 с. 501-502

[15-М]. Курбонов А. С, Сравнительная оценка процесса спекания боросиликатной руды с хлор- и фторсодержащими агентами / Курбонов А. С., Тагаев А. П., **Давлатов А. С.,** Пулатов Х. Э. Мирсаидов У. М. // Материалы международной научно-практической конференции на тему “роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования” (24 мая 2024 года) Душанбе-2024 с. 104-108

[16-М]. Давлатов А.С. Спекание борного сырья фторидными соединениями / **Давлатов А.С.,** Солиев Д.А., Пулатов Х.Э., Рахмонов Х.Р., Кодирзода С. // Материалы международной научно-практической конференции на тему “роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования” (24 мая 2024 года) Душанбе-2024 с. 115-117

Патентҳо ва ихтироот:

Давлатов А.С. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1405. Способ получения борной кислоты мадицинского назначения / **Давлатов А.С,** Курбонов А.С, Тагоев М.М, Акрамзода Р.Дж, Пулатов Х.Э, Тагаев А.П, Мирсаидов У.- Заявка №2201728.-Заявл. 12.09.2022; Зарег.03.07.2023г.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Давлатова Абдурахмона Сайрахмоновича на тему: «Физико-химические и технологические основы получения борных продуктов из боросиликатных руд месторождения Ак-Архар Таджикистана», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.00. – Химическая технология (05.17.01. - Технология неорганических веществ)

Ключевые слова: Боросиликатное сырьё, рапы озера Сасык-Куль, спекания, гидрофторид аммония, термодинамические характеристики, процесс термического разложения, гексафторосиликат аммония.

Объекты и методы исследования, использованные аппаратуры: объектами являются боросиликатное сырьё Ак-Архарского месторождения и рапы озера Сасык-Куль. Используются традиционные методы приборного анализа и современная прецизионная аппаратура - автоматизированный многоцелевой порошковый рентгеновский дифрактометр "XRDynamic 500", дериватограф "Labsys Evo-C1600" фирмы "Setaram".

Целью исследования является изучение кислотного разложения боратовых руд, разработка технологических основ и технологий переработки боратовых руд методами спекания с участием реагента-активатора процесса - аммония фтористого кислого и испытание данного метода переработки в лабораторных условиях. Оптимизация параметров спекания и кислотного разложения с выявлением оптимальных параметров, исследование кинетики и кинетических параметров указанных разложений, разработка эффективных технологий разложения боратосодержащих руд. Извлечение борной кислоты из руд с вовлечением в процесс в качестве активаторов некоторых органических реагентов.

Полученные результаты и их новизна. Изучены процессы экстракции рапы озера Сасык-Куль органическими реагентами и переработки боратной руды методами кислотного разложения и спекательными методами, проведено изучение механизмов, согласно которым осуществляется непосредственное разложение руды, полученные результаты полностью подтверждены результатами ДТА и РФА.

Теоретическая и научно-практическая ценность работы заключается в раскрытии механизмов кислотного разложения, экстракция бора, метод спекания, кинетика, термодинамическая оценка и технологические основы переработки борсодержащих материалов.

Экспериментальные результаты, полученные в настоящей работе, рекомендуется использовать в процессах переработки боратных руд различного качества и состава для эффективного извлечения из них ценных соединений, при разработке технологий переработки боратных руд комплексными способами, для получения различных соединений на основе бора.

Область применения: химическая промышленность.

АННОТАТСИЯ

ба диссертатсияи Давлатов Абдурахмон Сайрахмонович дар мавзуи “Асосҳои физикию химиявӣ ва технологияи ба даст овардани маҳсулоти борӣ аз маъдани боросиликати кони Ак-Архар -и Тоҷикистон” барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.17.00. – Технологияи химиявӣ (05.17.01. – Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ)

Калимаҳои калидӣ: Маъдани боросиликатӣ, намакоби кӯли Сасиқ-Кӯл, гудозиш, гидрофторид аммоний, тавсифи термодинамикӣ, (характеристикаҳои термодинамикӣ), раванди таҷзияи ҳароратӣ, гексафторосиликат аммоний.

Объектҳо ва усулҳои таҳқиқот, истифодаи дастгоҳҳо: объектҳо ин маъданҳои боросиликати кони Ак-Архар ва намакоби кӯли Сасиқ-Кӯл ба ҳисоб мераванд. Усулҳои анъанавии таҳлилҳои асбобӣ ва дастгоҳҳои муосири дақиқияташ баланд - ҳокаи автоматии рентгении дифрактометри “XRDynamic 500” дериватографи “Labsys Evo-C1600” ширкати “Setaram” истифода шуданд.

Мақсади тадқиқот омӯзиши таҷзияи кислотагии маъдани бордошта, асосҳои коркарди технологӣ ва технологияи раванди коркарди маъдани бордошта бо усули гудозш истифода аз реагент- фаолкунанда гидрофторид аммоний ва озмоиши ин усули коркард дар шароити озмоишгоҳӣ. Оптимизатсияи параметрҳои усулҳои гудохтакунӣ ва коркарди кислотагӣ бо муайянсозии шароити оптималӣ, таҳқиқи кинетикӣ ва параметрҳои кинетикии таҷзияи мазкур, коркарди самаранокӣ технологияи коркарди маъданҳои бордоштаро дар бар мегирад. Кислотаи борро аз маъданҳо бо ҷалб намудани баъзе реагентҳои органики ба сифати фаолкунандагони раванд иштирокмекунанд ҷудо намудан мумкин аст.

Натиҷаҳои бадастовардашуда ва навиштаҳои онҳо. Раванди экстраксияи намакоби кӯли Сасиқ-Кӯл бо реагентҳои органикӣ ва коркарди таҷзияи маъданҳои бордошта истифода аз усулҳои кислотагӣ ва гудохтан омехта шуда, механизмҳое, ки таҷзияи бевоситаи маъдан мавриди омӯзиш қарор дода шудаанд ва натиҷаҳои ба даст овардашуда пурра тавассути натиҷаҳои таҳлили ҳароратии дифференциалӣ (ТХД) ва таҳлили рентгенофазавӣ (ТРФ) тасдиқ гардиданд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ амалии кор дар он ифода меёбад, ки механизмҳои таҷзияи кислотагӣ, равандҳои экстраксиякунии бор, усули гудохтакунӣ, хосиятҳои кинетикӣ, баҳодиҳии термодинамикӣ ва асосҳои технологияи коркарди маводҳои бордошта асоснок карда шудааст. Натиҷаҳои таҷрибаӣ, ки дар ҷараёни таҳқиқоти мазкур оварда шудааст, барои истифода дар равандҳои коркарди маъданҳои бордоштаи дорои таркиб ва сифати гуногун, бо мақсади аз онҳо ҷудо намудани моддаҳои арзишманд, дар асоси тарҳи технологияҳои коркарди комплекси маъданҳои бордошта ва барои истеҳсоли як қатор моддаҳои гуногун тавсия дода мешавад.

Соҳаи татбиқ: саноати химиявӣ

ANNOTATION

dissertation by Abdurakhmon Sayrahmonovich Davlatov on the topic: "Physicochemical and technological foundation for obtaining boron products from borosilicate ores of the Ak-Arkhar deposit of Tajikistan", submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.17.00. - Chemical technology (05.17.01. - Technology of inorganic substances)

Keywords: Borosilicate raw materials, Sasyk-Kul Lake brines, sintering, ammonium hydrofluoride, thermodynamic characteristics, thermal decomposition process, ammonium hexafluorosilicate.

Objects and methods of research, equipment used: The objects of study include borosilicate raw materials from the Ak-Arkhar deposit and brines from Lake Sasyk-Kul. Traditional instrumental analysis methods and modern precision equipment were employed, including an automated multipurpose powder X-ray diffractometer "XRDynamic 500" and a derivatograph "Labsys Evo-C1600" by "Setaram".

The aim of this study is to investigate the acid decomposition of borate ores, develop the technological foundations and processing methods for borate ores by sintering with the involvement of an activator reagent—ammonium bifluoride—and to test this processing method under laboratory conditions. The optimization of sintering and acid decomposition parameters with the identification of optimal conditions, the study of the kinetics and kinetic parameters of the mentioned decompositions, and the development of effective technologies for decomposing borate-containing ores are carried out. The extraction of boric acid from ores is also investigated, involving certain organic reagents as activators in the process.

The results obtained and their novelty. The study investigated extraction processes of Sasyk-Kul lake brine using organic reagents, along with borate ore processing through acid decomposition and sintering methods. The mechanisms underlying direct ore decomposition were examined, with all experimental results being verified by differential thermal analysis (DTA) and X-ray fluorescence (XRF) data.

Theoretical and scientific-practical value of the work consists in revealing the mechanisms of acid decomposition, boron extraction, sintering method, kinetics, thermodynamic evaluation and technological foundations for processing boron-containing materials.

Experimental results obtained in this study are recommended for use in processing borate ores of varying quality and composition to efficiently extract valuable compounds, in developing comprehensive borate ore processing technologies, and for producing diverse boron-based compounds.

Application area: chemical industry.