

На правах рукописи



УДК 546.621

ДАВЛАТОВ Дилшод Облокулович

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФЕЛИНОВЫХ
СИЕНИТОВ ТУРПИ И БОРНОГО СЫРЬЯ АК-АРХАРА
КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ**

05.17.01 – Технология неорганических веществ

АВТОРЕФЕРАТ
**диссертации на соискание учёной степени
кандидата химических наук**

Душанбе – 2020

Диссертация выполнена в лаборатории комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан.

Научный руководитель: доктор химических наук, заведующий лабораторией «Комплексная переработка минерального сырья и промышленных отходов» Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан
Назаров Шамс Бароталиевич

Научный консультант: доктор химических наук, профессор, академик АН Республики Таджикистан
Мирсаидов Ульмас Мирсаидович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор кафедры экологии Горно-металлургического института Таджикистана
Разыков Зафар Абдукахорович

кандидат химических наук, доцент кафедры органической и прикладной химии Худжандского государственного университета им. акад. Б. Гафурова
Тиллобоев Хакимджон Ибрагимович

Ведущая организация: кафедра прикладной химии Таджикского национального университета

Защита состоится 6 июля 2020 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2.
E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

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

Автореферат разослан «___» _____ 2020 года

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

Махкамов Х.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Таджикистане народное хозяйство развивается в зависимости от имеющихся в стране сырьевых источников, в частности, имеющихся месторождений глинозёмсодержащих руд, которые используются в получении солей алюминия, а также борсодержащих продуктов.

Комплексная переработка минерального сырья является эффективным методом для извлечения ценных компонентов. Одним из таких видов сырья являются боросиликатные руды Таджикистана, из которых могут быть получены борная кислота, соли алюминия и железа, магния, кальция и строительные материалы. Необходимость получения борных соединений обусловлена потребностями различных отраслей борными продуктами.

В Институте химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан разработаны принципиальные технологические схемы переработки боросиликатных руд кислотными и хлорным методами. Эти методы являются перспективными, так как в республике имеются большие количества хлорсодержащего сырья и намечается производство минеральных кислот.

Борные соединения нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Одними из разнообразных и многочисленных областей использования борных соединений являются: получение стёкол, стекловолокон и ряда стекловидных продуктов, в частности, эмали, глазури и др., а также производство отбеливателей и моющих средств.

Переработку боросиликатных руд Памира целесообразно проводить комплексными способами, поскольку возможно расширить сферу получения ценных борных продуктов, однако для создания таких производств требуется развитие некоторых других производств, в частности, получение минеральных кислот и др. Поэтому вопросы переработки боросиликатных руд необходимо рассматривать с точки зрения комплексных мероприятий.

В алюминиевой промышленности в качестве основного сырья используют высококачественные бокситы, из которых получают глинозём по наиболее известному способу Байера, который также является экономичным. Однако учитывая растущие потребности народного хозяйства в алюминии, а также множества ценных продуктов на основе алюминия, а кроме того имеющуюся ограниченность бокситного сырья, вызывают необходимость введения в процесс других видов сырья, содержащих в своём составе глинозём.

В настоящее время высококремнистое алюминиевое сырьё перерабатывается различными методами, в частности, кислотными, щелочными, термическими и комбинированными

Разработка и совершенствование перспективных методов переработки высококремнистого борного и алюминиевого сырья с получением ценных продуктов, установление химических реакций превращения минералов, входящих в состав сырья, усовершенствование стадий переработки является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является изучение процессов совместной переработки алюминий- и борсодержащих руд: нефелиновых сиенитов Турпи и

борного сырья Ак-Архар Республики Таджикистан методом спекания с сульфатом натрия, определение наиболее рациональных физико-химических и технологических параметров протекания спекания с дальнейшим разложением полученного спёка водой и HNO_3 , в результате которых происходит максимальное извлечение из состава сырья конечных продуктов, с дальнейшей разработкой эффективной и безотходной технологии переработки указанных руд Таджикистана.

Задачи исследования:

- исследование физико-химических характеристик исходного сырья, а также продуктов переработки сырья на промежуточных и конечной стадиях, изучение химических процессов, протекающих при вскрытии сырья методами комплексонометрии, ДТА и РФА, при использовании различных методов переработки алюминийсодержащих руд;

- анализ протекающих физико-химических процессов при совместном спекании нефелиновых сиенитов и боросиликатных руд с реагентом сульфатом натрия, изучение процессов, протекающих при водной обработке полученных спёков, а также при разложении азотной кислотой твёрдого силикатного остатка, полученного после водной обработки спёка, установление оптимальных условий переработки руд, извлечение полезных компонентов из их состава, содержащих бор, алюминий, железо, калий, натрий, кальций, магний и др;

- исследование кинетики процессов спекания с последующим разложением спёка водой и азотной кислотой;

- разработка технологии переработки руд.

Объекты и методы исследования, использованная аппаратура

Объектом исследования является изучение химического и минералогического состава нефелиновых сиенитов Турпи, боросиликатного сырья Ак-Архар, процесс их спекания с сульфатом натрия. Исследования процесса разложения упорных минералов входящих в состав руд: альбита, микроклина, ортоклаза, данбурита, датолита и др. в расплаве сульфата натрия. Поведение минералов и их взаимодействие в расплаве сульфата натрия как между собой, так и с другими минералами руд. Материальный баланс и приемлемые схемы переработки сырья.

Физико-химическое исследование сырья и продуктов их переработки проводилось на основании современных приборов, включая дифференциально-термический анализ (ДТА) и гравиметрический, рентгенометрический, микроскопический и комплексонометрический методы анализов.

Степень достоверности и апробация результатов

Кинетические расчеты и статистическая обработка всех полученных экспериментальных данных осуществлены с привлечением компьютерных программ «EXCEL».

Основные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на: Респ. науч.-практ. конф. «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан», посвя. Дню химика и 80-летию со дня рождения

д.т.н., проф., академика МИА А.В. Вахобова, Институт химии им. В.И.Никитина АН РТ (Душанбе, 2016); Конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-назариявӣ олимони ҷавони ДМТ «Мактаби сулҳпарваронаи пешвои миллат-роҳнамои ҷавонон барои имрӯзу ояндаи дурахшон» бахшида ба 20-солагии Ваҳдати Миллӣ ва Соли Ҷавонон (Душанбе, 2017); Респ. науч-прак. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» Таджикский национальный университет (Душанбе, 2017); Респ. конф. «Проблемы применения современных физико-химических методов для анализа и исследования веществ и материалов» Таджикский национальный университет (Душанбе, 2017); XIV Нумановских чтениях «Вклад молодых учёных в развитие химической науки», посвящённых Году молодёжи Институт химии им. В.И.Никитина АН РТ (Душанбе, 2017); Меж. науч-прак. конф. «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии, в промышленности Республики Таджикистан» Институт химии им. В.И.Никитина АН РТ (Душанбе, 2018), XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе 2019).

Научная новизна работы: разработаны научные основы технологических процессов совместного спекания нефелиновых сиенитов и борного сырья;

определены оптимальные параметры процесса совместного спекания нефелиновых сиенитов и боросиликатов с сульфатом натрия;

установлены физико-химические преобразования минералов состава руд при их совместном спекании с сульфатом натрия, а также на стадии азотнокислотного разложения алюмо- и боросиликатного твёрдого остатка. Определены химические реакции, протекающие при спекании руд с сульфатом натрия, водной обработке спека, а также азотнокислотном разложении твёрдой силикатной массы от водной обработки спека;

изучены кинетические параметры и определены области протекания процессов, происходящих при спекании бор и алюминийсодержащего сырья с реагентом сульфатом натрия, при разложении руд азотной кислотой;

проведена разработка комплексной технологической схемы, которая основана на спекании нефелиновых сиенитов и боросиликатов Таджикистана с реагентом сульфатом натрия;

проведена разработка технологии по разделению продуктов, полученных после переработки указанного сырья, в которой использован в качестве органического растворителя глицерин.

Теоретическая значимость работы. Физико-химические исследования переработки алюмосиликатных руд месторождения Турпи и боросиликатного сырья Ак-Архар методом спекания с сульфатом натрия и разработка на их основе технологических схем комплексной их переработки охватывает исследования различных факторов на степень извлечения компонентов состава руд, изучение химического и минералогического состава исходных руд, свойства промежуточных и конечных продуктов, материальный баланс расхода

материалов и получаемых продуктов на каждой технологических стадиях и ветвях.

Практическая значимость работы. Результаты, полученные в процессе исследования, возможно использовать при разработках различных технологий по переработке борного и алюмосодержащего сырья низкого качества с получением широкого спектра ценных продуктов.

На защиту выносятся:

- результаты анализа минералогических, химических и физических свойств нефелиновых сиенитов и боросиликатных руд;

- результаты исследований химизма и механизма преобразований и разложения минералов состава руд при спекании с реагентом (сульфат натрия), водной обработки полученного спёка с последующим азотнокислотным разложением твёрдых боросиликатных и алюмосодержащих остатков, их конечных продуктов разложения и определение на каждой стадии переработки форм химического и минералогического состояния указанных руд;

- результаты анализа кинетических процессов, протекающих при разложении борных и нефелиновых руд методом спекания;

- физико-химические особенности конечных полученных продуктов, расчёты материальных балансов исследованных методов переработки бор- и алюмосодержащего сырья;

- разработанные технологические схемы по переработки указанного сырья с разделением конечных продуктов с использованием глицерина в качестве органического растворителя.

Личный вклад автора. Автором диссертационной работы сформулированы цели и задачи исследования, проведены анализ литературных данных по теме, интерпретация и обработка экспериментальных результатов, сформулированы выводы. Все экспериментальные данные, включенные в диссертацию, получены лично автором или при его непосредственном участии, оформлены в виде публикаций.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 3 статей в журналах рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, Республики Таджикистан и 6 статей в материалах международных и республиканских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает 4 главы, введение, литературный обзор, методики экспериментов и геохимические характеристики, технологию и материальный баланс способа совместной переработки борсодержащих и алюминийсодержащих руд Таджикистана, представляет собой рукопись, изложенную на 114 страницах компьютерного набора, включает 4 таблицы, 24 рисунка, список литературы включает 137 источников.

Во **введении** отражена актуальность проблемы отрасли и практическая значимость выбранной темы исследования.

В **первой главе** диссертации приводится краткий обзор по переработке бор- и алюмосиликатных руд. Освещены вопросы хлорной переработки бор- и

алюмосодержащего сырья. Кислотное разложение бор- и алюмосодержащего сырья, технологические основы переработки руды хлором и минеральными кислотами.

В литературном обзоре также обобщены некоторые общие спекательные способы получения коагулянтов для очистки вод.

Во **второй главе** приведены методики проведения химических и физико-химических анализов, геологические характеристики и химико-минералогические составы бор- и алюмосодержащих руд. Изучены физико-химические характеристики борного сырья и нефелиновых сиенитов методами ДТА и РФА. Установлены химические реакции, лежащие в основе преобразования и разложения минералов руд на различных стадиях их переработки.

В **третьей главе** изучен спекательный способ переработки алюмо- и боросиликатных руд Таджикистана с сульфатом натрия, изучена кинетика спекания бор- и алюмосодержащих руд Таджикистана в присутствии Na_2SO_4 . Изучена кинетика процесса азотнокислотного разложения твердого остатка от водной обработки спека боросиликатной руды и нефелиновых сиенитов..

В **четвертой главе** предложена принципиальная технологическая схема переработки алюмо- и боросиликатных руд методом спекания с Na_2SO_4 и технология разделения компонентов азотнокислых растворов с применением глицерина. Рассматривается вопрос материального баланса разработанного способа совместной переработки нефелиновых сиенитов, борного сырья и сульфата натрия.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ БОР- И ГЛИНОЗЁМСОДЕРЖАЩИХ РУД

Исследованы химический и минералогический состав руд: нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатов месторождения Ак-Архар, результаты которых приведены в таблице. Проведён рентгенофазовый анализ исходного борсодержащего сырья (рисунок 1). РФА показал, что главными рудообразующими минералами являются: данбурит, кальцит, гранат, датолит, гидроборцит, кварц и др. Также была сделана и изучена термограмма исходного борсодержащей руды при более медленной скорости нагрева ($10^\circ\text{C}/\text{мин}$), результаты которой приведены на рисунке 2.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа исходного данбурита выявлено, что при температуре 950°C в составе данбурита происходит ряд изменений. В первую очередь удаляется механически и химически связанная вода, при этом руда не теряет кристаллическую структуру, а также при обезвоживании данбурита образуются соединения, обладающие большей реакционной способностью, чем в необожжённой руде.

Результаты РФА данбурита при температуре $950 - 980^\circ\text{C}$ приведены на рисунке 1. При прокаливании данбуритового сырья происходит термодеструкция минералов и перестройка кристаллической структуры α -модификаций в β - или γ -формы, которые отличаются хорошей растворимостью. Эти явления особенно характерны для кварца, который при высоких температурах превращается в более активную форму - аморфную.

Таблица – Химический состав борной руды Ак-Архарского месторождения и нефелиновых сиенитов Турпи

Сырьё	Компоненты, г/100 г руды												
	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п
Боросиликаты Ак-Архара	10.4	59.8	1.27	2.2	1.39	19.6	0.75	0.15	0.29	0.1	0.03	0.11	3.91
Нефелиновые сиениты Турпи		53.0	22.4	6.4	1.2	2.5		0.3	0.21	6.6	6.4		0.99

Согласно термограмме (рисунок 2), при температуре до 700°C данбурит не претерпевает никаких изменений. Выше этой температуры (первый эндотермический эффект) происходят изменения, связанные с удалением воды, которые полностью заканчиваются при 800°C.

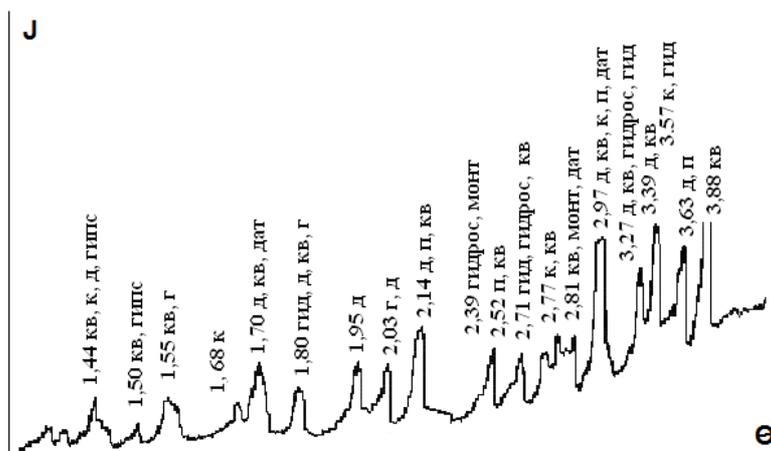


Рисунок 1 – Рентгенограмма исходного данбурита месторождения Ак-Архар: кв - кварц, к - кальцит, г – гранат, д – данбурит, дат - датолит, п – пироксены, г – гидрослюда, гид – гидроборацит, монт - монтмориллонит

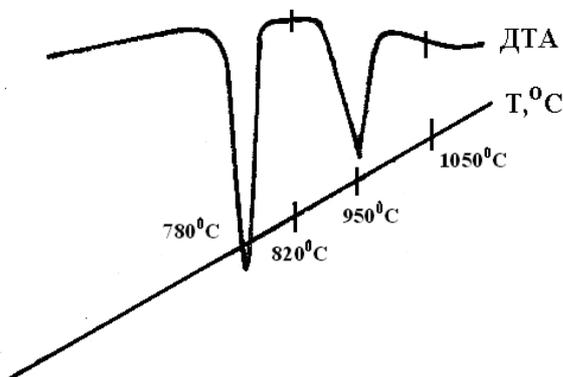


Рисунок 2 – Термограмма исходного боросиликатного сырья

При температуре 950 - 980°C (второй эндотермический эффект) данбурит разлагается с образованием дибората кальция $\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$, силиката кальция $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, кварца $\alpha - \text{SiO}_2$.

Термограмму исходного боросиликатного сырья, сняли на дериватографе марки Q-1500Д системы «Паулик-Паулик-Эрдей» до температуры 1500°C при скорости подъёма температуры 7.5⁰/мин. На рисунке четко выражены два эндоэффекта при температурах до 230°C, соответствующие процессам испарения кристаллизационной воды минералов.

*Рентгенофазовый анализ нефелиновых сиенитов
месторождения Турпи*

На рисунке 3 представлена рентгенограмма исходных нефелиновых сиенитов, где чётко наблюдаются линии, соответствующие минералам: нефелин, биотит, микроклин (ортоклаз), альбит и кальцит.

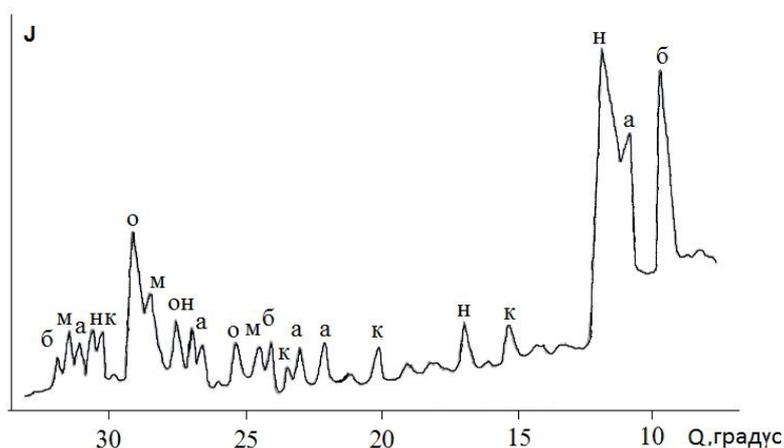


Рисунок 3 – Рентгенограмма исходного нефелинового сырья: б - биотит, а - альбит, н - нефелин, к - кальцит, о - ортоклаз, м – микроклин

Дифференциально-термический анализ нефелиновых сиенитов

Термограммы алюмосиликатных руд отличаются друг от друга. Термограмма нефелинового сырья представлена на рисунке 4, из которого видно, что эффекты при 150-240°C соответствуют процессу удаления воды. В интервале температур 690-850°C, по-видимому, происходит процесс сплавления и фазовых превращений минералов. Эндоэффект при 975°C соответствует процессу термического разложения минерала кальцита.

При более высоких температурах (1100-1260°C) наблюдается переход нефелина в корнегиит, а далее происходят процессы расплавления минералов, главным образом - полевошпатовых компонентов. Полученные данные по термическому анализу показывают, что при средней скорости нагрева 7°C/мин фиксируются основные эффекты алюмосиликатных руд. Среди алюмосиликатных руд наиболее сложный характер распада имеют нефелиновые сиениты (рисунок 4).

Полученные результаты показывают, что метод ДТА может быть эффективным при выборе режимов спекания сырья с другими реагентами.

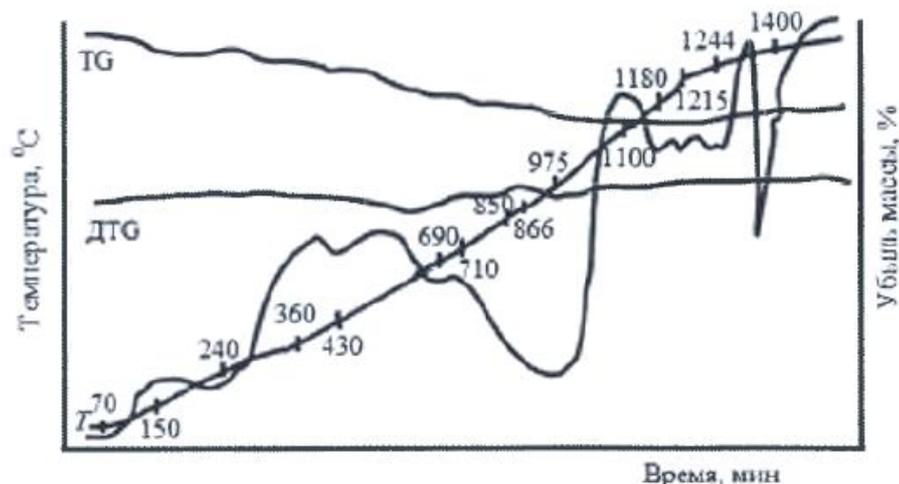


Рисунок 4 – Термограмма нефелинового сырья

Исследование образцов сырья методом ДТА показало для всех образцов наличие эффекта при температурах 120-240°C, соответствующего удалению кристаллизационной воды, а эндозффекты при более высоких температурах указывают на фазовые превращения и взаимодействие минералов в составе руды.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ ТУРПИ И БОРНОГО СЫРЬЯ АК-АРХАРА МЕТОДОМ СПЕКАНИЯ С СУЛЬФАТОМ НАТРИЯ

Выбор сульфата натрия, как реагента, разрушающего каркасные структуры упорных бор- и алюмосодержащих минералов, сводится к тому, что в природе сульфат натрия широко распространён и доступен. Кроме того, этот реагент в технологическом цикле не претерпевает значительного химического изменения, а после водной обработки спека на 80-90% его возможно возвращать обратно на стадию спекания руд, что уменьшает массу потока веществ в технологическом цикле.

Результаты исследования влияний различных физико-химических факторов на процесс совместного спекания и разложения нефелиновых руд и борного сырья с сульфатом натрия представлены на рисунке 5.

Влияние температуры спекания на степень разложения руд изучено в интервале от 600 до 1000°C (рисунок 5а). При этом неизменными факторами являлись продолжительность процесса спекания - 40 мин; массовое соотношение данбурит : нефелиновые сиениты к сульфату натрия = 1:1:3.5; крупность частиц сырья от 0.1 до 0.3 мм. По окончании спекания с целью перевода компонентов состава спека в растворимую форму твердый остаток подвергался вначале водной при 100°C и продолжительности 60 мин, а затем азотнокислотной обработкам при 100°C, продолжительности 60 мин и концентрации кислоты - 10-15%. В фильтратах определяли количество извлеченных в раствор компонентов. Начало заметного разложения минералов данбуритовой и нефелиновых руд наблюдается при температуре 700°C, где степень извлечения компонентов из сырья находится выше 55-75%. Однако при этом значении температуры упорные бор- и алюминийсодержащие минералы, такие как: данбурит, гидроборацит, альбит, микроклин и биотит не

претерпевают полного химического изменения и степень извлечения оксидов находится в пределах, %: V_2O_3 - 57.1; Al_2O_3 - 75.0; Fe_2O_3 - 81.2; CaO - 63.7. Степень извлечения оксидов натрия и калия достигает 58-68%. Оптимальной температурой спекания реакционной массы, обеспечивающей максимальную степень извлечения её составляющих, можно считать 950-1000°C. В этом пределе температуры происходит изменение структуры данбурита. В системе $\text{CaO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ при массовом отношении $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 0.9\text{-}1.0$ происходит образование твердой фазы, состоящей из $\text{CaO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ и SiO_2 .

Доскональное исследование продуктов спекания данбурита подтвердило образование этих соединений в соответствии со следующим преобразованием: $\text{CaO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$. При данной температуре также практически полностью разлагаются все трудновскрываемые минералы, включая полевые шпаты: альбит, микроклин (ортоклаз), и др.

При этих условиях в жидкую фазу практически полностью переходят основные компоненты сырья. Степень извлечения компонентов находится выше 97%, а точнее: для V_2O_3 - 98.0; Al_2O_3 - 97.5; Fe_2O_3 - 99.8; CaO - 98.9%. Также степени извлечения щелочных составляющих сырья - Na_2O , K_2O и MgO достигают 95.7-98.4%, т.е. практически все минералы подвергаются химическому изменению, а в твердом остатке остаются оксид кремния, имеющий аморфную структуру, и примеси геля кремниевой кислоты.

Важным фактором, влияющим на разложение минералов руд и определяющим массу потока сырьевых материалов в технологической ветви, является массовое соотношение нефелиновых сиенитов и борного сырья к сульфату натрия (рисунок 5б). Влияние данного фактора исследовано в пределах массовых соотношений: борное сырьё : нефелиновые сиениты : сульфат натрия от 1:1:1 до 1:1:5. Увеличение массовых соотношений сырья к сульфату натрия от 1:1:1 до 1:1:3 приводит к постепенному извлечению компонентов состава спека, где степень извлечения оксидов достигает, %: V_2O_3 - 82.0; Al_2O_3 - 84.5; Fe_2O_3 - 91.8; CaO - 85.9%. При значениях массовых соотношений сырья к Na_2SO_4 равных 1:1:3 и 1:1:3,5 степень извлечения компонентов достигает максимума и находится на уровне 95-99.9%. Оптимальным массовым соотношением сырья к сульфату натрия является: 1:1:3,5, где степень извлечения оксидов составляет, %: V_2O_3 - 97.3; Al_2O_3 - 98.5; Fe_2O_3 - 99.9; CaO - 98.4.

Продолжительность процесса спекания руд с сульфатом натрия исследована в интервале от 20 до 60 мин. (рисунок 5в). Длительность процесса спекания, равная 40 мин, обеспечивает достаточное разложение минералов из состава сырья. Степень извлечения компонентов из состава спека достигает значений от 96.5 до 99.9%, в частности: V_2O_3 - 97.4; Al_2O_3 - 98.6; Fe_2O_3 - 99.9; CaO - 98.8%. Проведение спекания реакционной массы более 40 мин нецелесообразно в связи с большими энергетическими затратами.

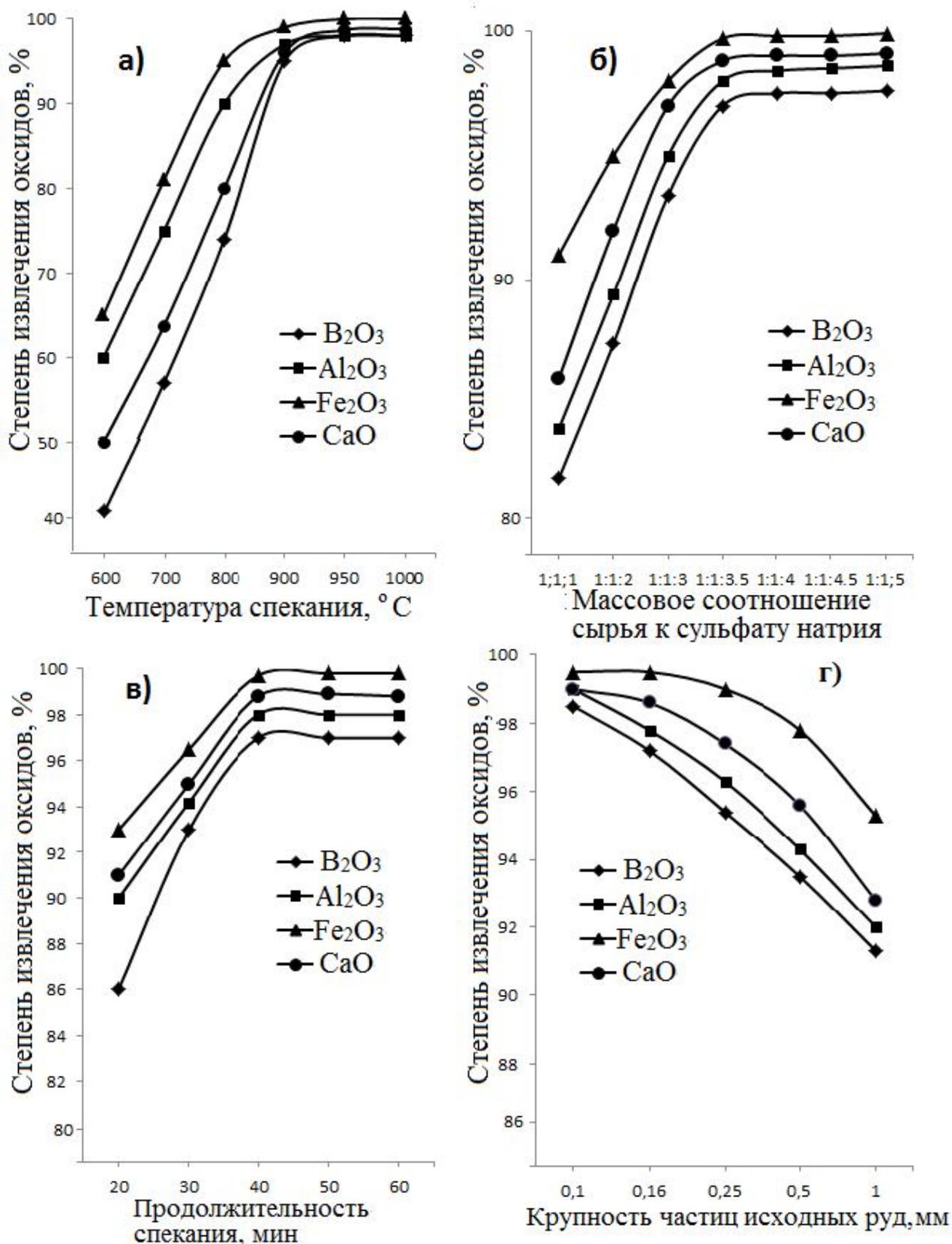


Рисунок 5 – Зависимость степени извлечения оксидов бора, алюминия, железа и кальция от температуры спекания (а); массового соотношения руд к сульфату натрия (б); продолжительности спекания (в) и размера частиц исходной руды

Растворы разбавленной азотной кислоты хорошо разлагают минералы состава нефелиновых сиенитов и борного сырья - нефелин, анортит, датолит, гидроборатит, лейцит, кальциборит, борат магния и др. Эти минералы при соотношении твёрдой к жидкой фазе (Т:Ж), равной 1:12, имеют большую скорость разложения. Первыми в течение 2-4 минут начала реакции взаимодействия разлагаются минералы нефелин, кальциборит, борат магния и гранат. Далее в течение 10 - 30 минут разлагаются датолит и гидроборатит на 60 - 70%. В течении 50 мин эти минералы полностью разлагаются. Такие минералы как данбурит, амфибол, биотит, пироксены, глинистые минералы и др. разлагаются постепенно в течение 60 мин. и более.

Теоретически минералы микроклин (ортоклаз) и альбит в кислотах практически не растворяются. Разрушение и разложение структур этих минералов, а также извлечение в раствор их составляющих компонентов связано с межминеральном преобразованием в процессе спекания и воздействием расплава Na_2SO_4 , вследствие чего минералы сырья преобразовываются в новые водо- и кислоторастворимые формы.

Влияние размера частиц данбуритового и нефелинового сырья на степень извлечения их составляющих компонентов изучено в пределе от 0.1 до 1.0 мм (рисунок 5г).

Неизменными факторами при исследовании являлись: температура спекания - 950°C , длительность спекания - 40 мин, массовое соотношение сырья к сульфату натрия 2:3.5. В интервале величин фактора диаметра частиц от 0.1-0.2 мм наблюдается максимальное разложение сырья с извлечением компонентов, составляющих спек, от 96 до 99%. Оптимальным можно считать размер частиц сырья 0.1-0.7 мм.

Для определения химического и минералогического состава полученных спеков проводили спекание смеси боро- и алюмосиликатного сырья с сульфатом натрия при оптимальных условиях: температура спекания - 950°C ; массовое соотношение боросиликатного сырья: нефелинового сырья к Na_2SO_4 - 1:1:2; продолжительность процесса - 50 мин; крупность материалов 0,16 мм и менее. Полученный спек подвергали рентгенофазовому анализу. Рентгенограмма спека показана на рисунке 6.

Составленная штрих-диаграмма спека от совместной переработки нефелиновых сиенитов, борного сырья и сульфата натрия методом спекания представлена на рисунке 6. Как видно из штрих-диаграммы, первоначально наблюдаются линии, характерные минералам: 1 - мета-тенардит - (Na_2SO_4 - 3.48; 3.10; 2.82; 2.63; 1,86); 2-гаюин ($3\text{Na}[\text{AlSiO}_4]\cdot\text{CaSO}_4$ - 6.44; 4.49; 3.23; 2.61); 3- α -кристобалит (SiO_2 - 4.15; 2.53; 2,07; 1.64; 1.46); 4 - анортит ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ - 4.03; 3.18; 2.94; 2.51; 2.14); 5 - силикат натрия (Na_2SiO_3 - 0.47; 0.32; 0.2; 0.15); 6 - силикат калия (K_2SiO_3 - 0.43; 0.37; 0.315; 0.216); 7 - кальциборит (CaB_2O_4 - 2.66; 1.97; 1.87; 1.78); 8 - гематит (Fe_2O_3 - 2.69; 2.52; 1.83; 1.69; 1.48); 9 - волластонит (CaSiO_3 - 3.30; 2.96; 2.16; 1.70; 1.53); 10 - диборат магния (MgB_2O_4 - 5.2; 4.45; 3.48; 2.83; 2.68; 1.92); 11- эгирин ($\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ - 6.54; 3.0; 2.92; 2.54; 2.48;); 12 - лейцит ($\text{KAl}[\text{Si}_2\text{O}_8]$ - 3.42; 3.11; 2.95; 2.36; 1.78; 1.66).

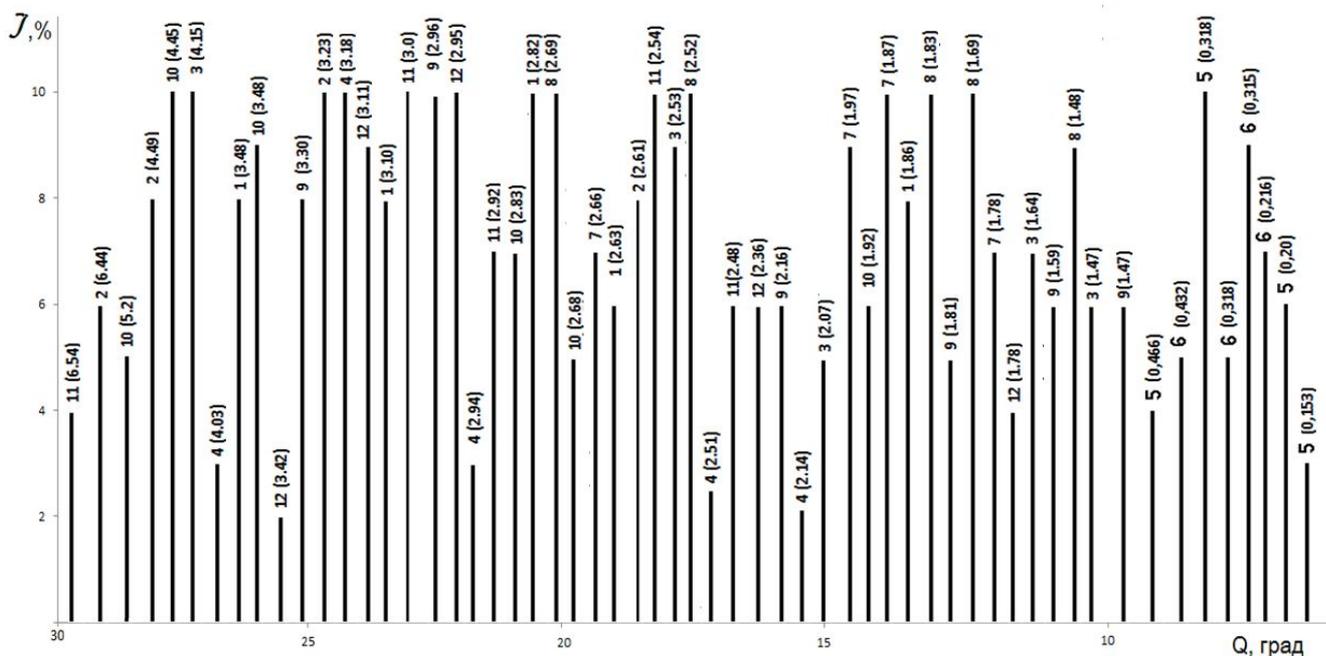
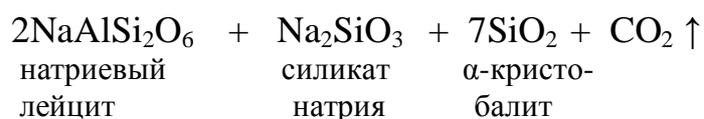
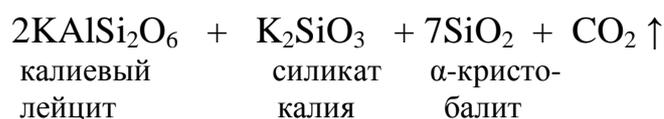


Рисунок 6 – Штрих-диаграмма спектра, полученного переработкой боросиликатных руд Ак-Архара и нефелиновых сиенитов Турпи с сульфатом натрия (1 - мета-тенардит; 2 - гаюин; 3 - α-кристобалит; 4 - анортит; 5 - силикат натрия; SiO₃); 6 - силикат калия; 7 - кальциборит; 8 - гематит; 9 - волластонит; 10 - диборат магния; 11 - эгирин; 12 – лейцит

На основании расшифровки рентгеновских характеристик минералов состава спектра разложение минерала альбита в процессе спекания с Na₂SO₄ можно представить следующим уравнением химической реакции:

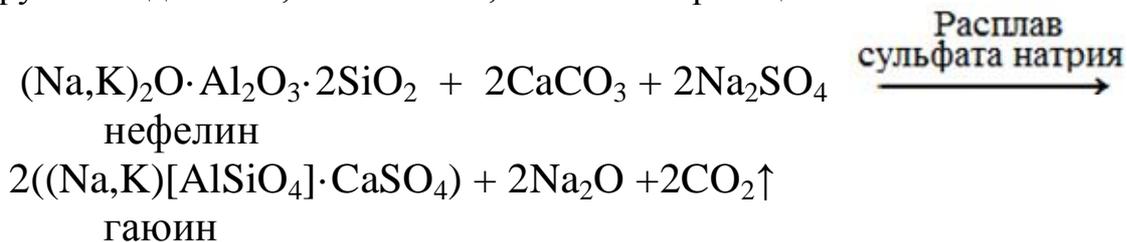


То есть кислотонерастворимый минерал альбит при спекании превращается в анортит, который растворим в растворах минеральных кислот. Таким же образом, минерал ортоклаз (микроклин) разрушается в расплаве сульфата натрия при взаимодействии с минералами данбурит и кальцит:



Минерал нефелин при спекании в расплаве сульфата натрия частично взаимодействует с ним и кальцийсодержащими минералами руд (CaO_{связанная} и

CaCO₃). Например, взаимодействуя с карбонатом кальция, превращается в другое соединение, в частности, в гаюин по реакции:



Что касается других минералов исходной руды, то железосодержащий минерал биотит при спекании также разрушается и при этом железо переходит в форму минерала гематита, а освободившийся кремнезем минералов альбита, микроклина, ортоклаза, нефелина, биотита превращается в кристобалит - α-SiO₂. Минерал кальцит при спекании разлагается по реакции:

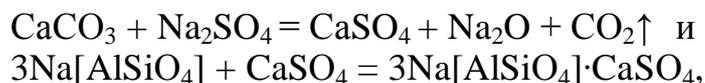
CaCO₃ = CaO + CO₂↑, а его кальций участвует в образовании минерала анортит и др.

Водная и кислотная обработка спека алюмо-и боросиликатного сырья

После спекания руды с сульфатом натрия структура минералов изменяется. Сульфат натрия, как реагент, разрушает каркасные структуры алюмо- и борсодержащих минералов. Нефелиновую и борную руды спекали с сульфатом натрия при температуре 650-900°C в течение 20-50 минут, затем проводили водную обработку. Целью проведения водной обработки спека являлось возвращение сульфата натрия для повторного его использования.

После водной обработки спека 80-95% сульфата натрия возвращается в жидкую фазу. Сульфат натрия остаётся в технологическом цикле для повторного использования. Максимальное извлечение сульфата натрия (95.8%) происходит при температуре водной обработки 100°C.

Водная обработка спека обеспечивает максимальное извлечение сульфата натрия до 94-96%. т.е. основная масса сульфата натрия не расходуется, а его можно возвращать в технологическую схему на стадии водной обработки спека. Всего лишь 4-6% сульфата натрия теряется при проведении процесса спекания руды с Na₂SO₄. Наличие минерала гаюина в спеке объясняет причины потери Na₂SO₄. Можно утверждать, что это количество сульфата натрия расходуется на образование минерала гаюина, в состав которого входит сульфат-ион по реакциям:



а в свою очередь, освободившийся Na₂O связывается с другими компонентами спека, образуя новое силикатное соединение.

Для подтверждения того, что основная масса сульфата натрия спека переходит в жидкую фазу, полученную пульпу от водной обработки спека фильтровали, разделяли твердую и жидкую фазы, раствор упаривали до сухого остатка. Остаток сушили в муфельной печи при 450-550°C и с него сняли рентгенометрические характеристики.

Компонентом жидкой фазы оказался метатенардит - безводная соль сульфата натрия (рисунок 8), а твердая фаза (твердый остаток) представляет собой алюмо-, боро-, железосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов, а также нерастворимые в воде бораты кальция и магния, силикат кальция и кремнезем, которые находились в составе исходного спека.

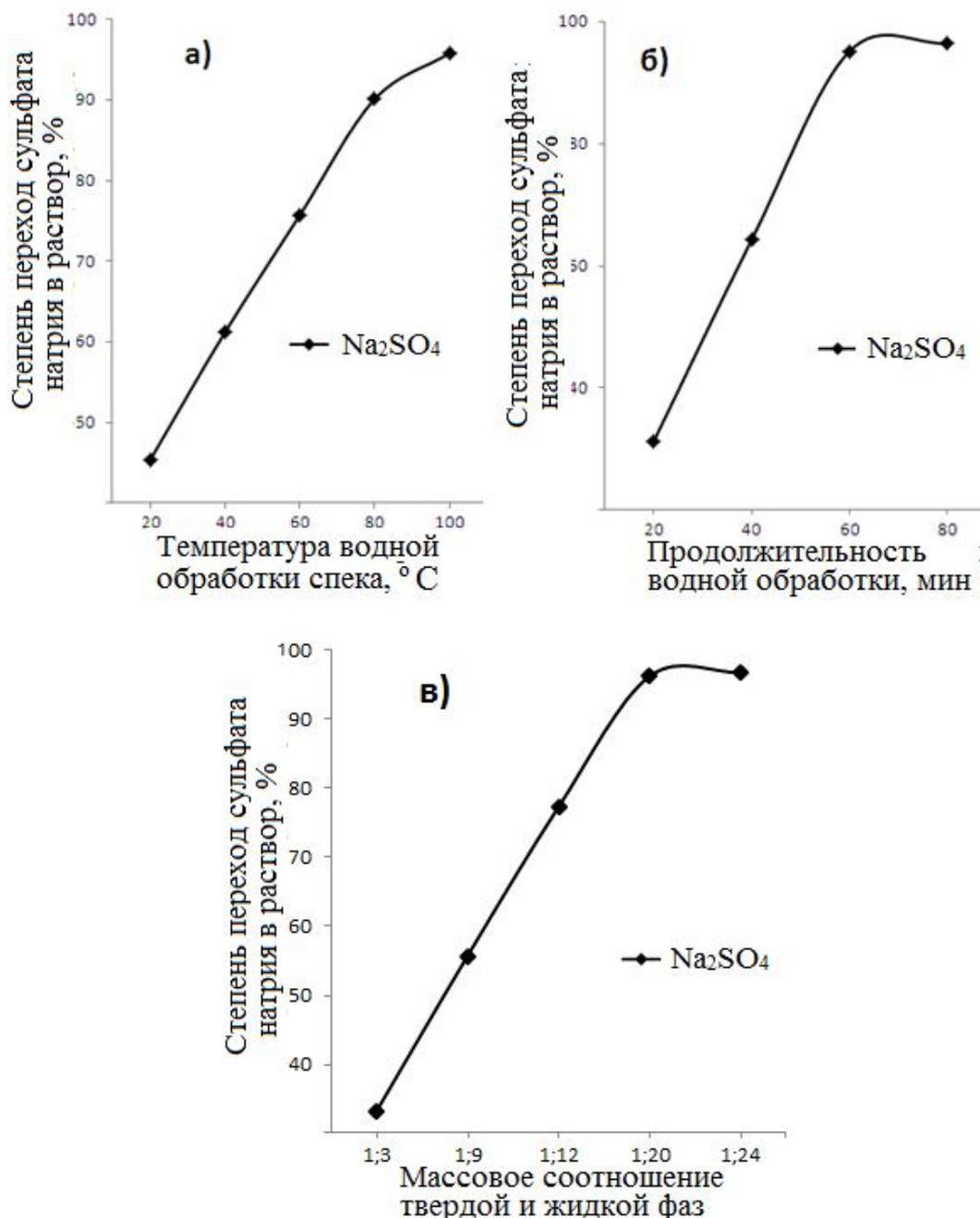


Рисунок 7 – Зависимости степеней перехода Na_2SO_4 в жидкую фазу при обработке спека водой от различных физико-химических факторов: а) температуры водной обработки спека; б) продолжительности водной обработки; в) массового соотношения твёрдой и жидкой фаз пульпы

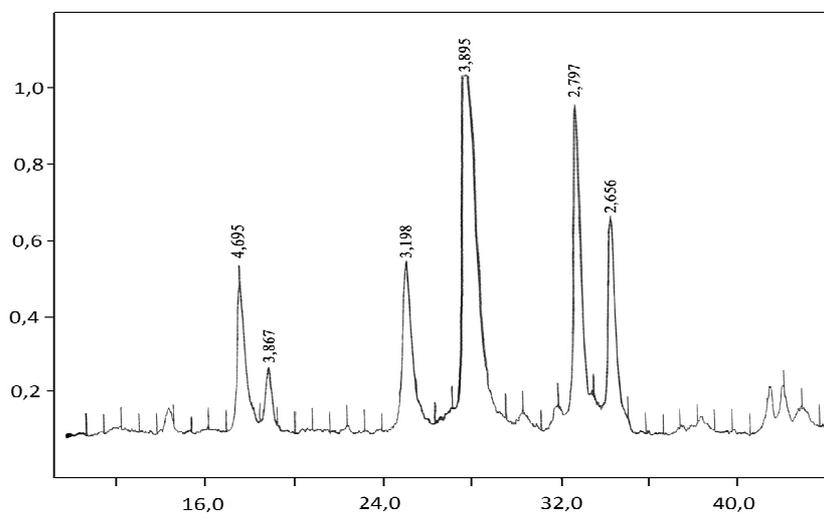


Рисунок 8 – Рентгенограмма сульфата натрия, полученного упариванием фильтратного раствора от водной обработки спека

Азотнокислотное разложение спе́ка, полученного совместной переработкой нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатных руд Ак-Архара с сульфатом натрия

Изучено влияние различных физико-химических факторов на степень извлечения компонентов. Результаты опытов представлены на рисунке 9. Оптимальными условиями физико-химических факторов, влияющих на процесс разложения спе́ка и обеспечивающим максимальное извлечение щелочных металлов при азотнокислотном разложении спе́ка можно считать: концентрация азотной кислоты - 15-20%; температура кислотного разложения - 90-100°C; продолжительность азотнокислотного разложения - 60-70 минут и дозировка кислоты - 120-130% от стехиометрически необходимого для получения азотнокислых солей натрия, калия, кальция алюминия, железа, магния и др. При этом бор извлекается в виде H_3BO_3 и степень его извлечения достигает 97-98%.

Таким образом, полученный спе́к от переработки нефелиновых сиенитов и боросиликатного сырья легко вскрывается при азотнокислотном разложении, обеспечивая комплексную переработку сырья. Далее твердый остаток от водной обработки спека подвергался азотнокислотной обработке, с целью извлечения составляющих компонентов. Продукты азотнокислотного разложения после сушки в вакууме подвергались рентгенофазовому анализу.

Таким образом, расшифровка продуктов азотнокислотного разложения твердого силикатного остатка от водной обработки спека свидетельствует об образовании азотнокислых солей металлов, входящих в состав исходных руд.

Минералогические формы калия, натрия, кальция и магния соответствуют минералам: селитра - KNO_3 (3,77; 3,03; 2,66; 2,19; 1,96), натриевая селитра - $NaNO_3$ (3,03; 2,31; 1,89; 1,65; 1,46; 1,17), нитрокальцит - $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (5,2; 3,13; 2,81; 2,32; 2,03), нитромагnezит - $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (5,84; 4,43; 4,15; 3,29). В смеси солей бор находится в виде минерала сассолина - H_3BO_3 со следующими дифракционными характеристиками: 5,94; 4,23; 3,18; 2,65; 1,58.

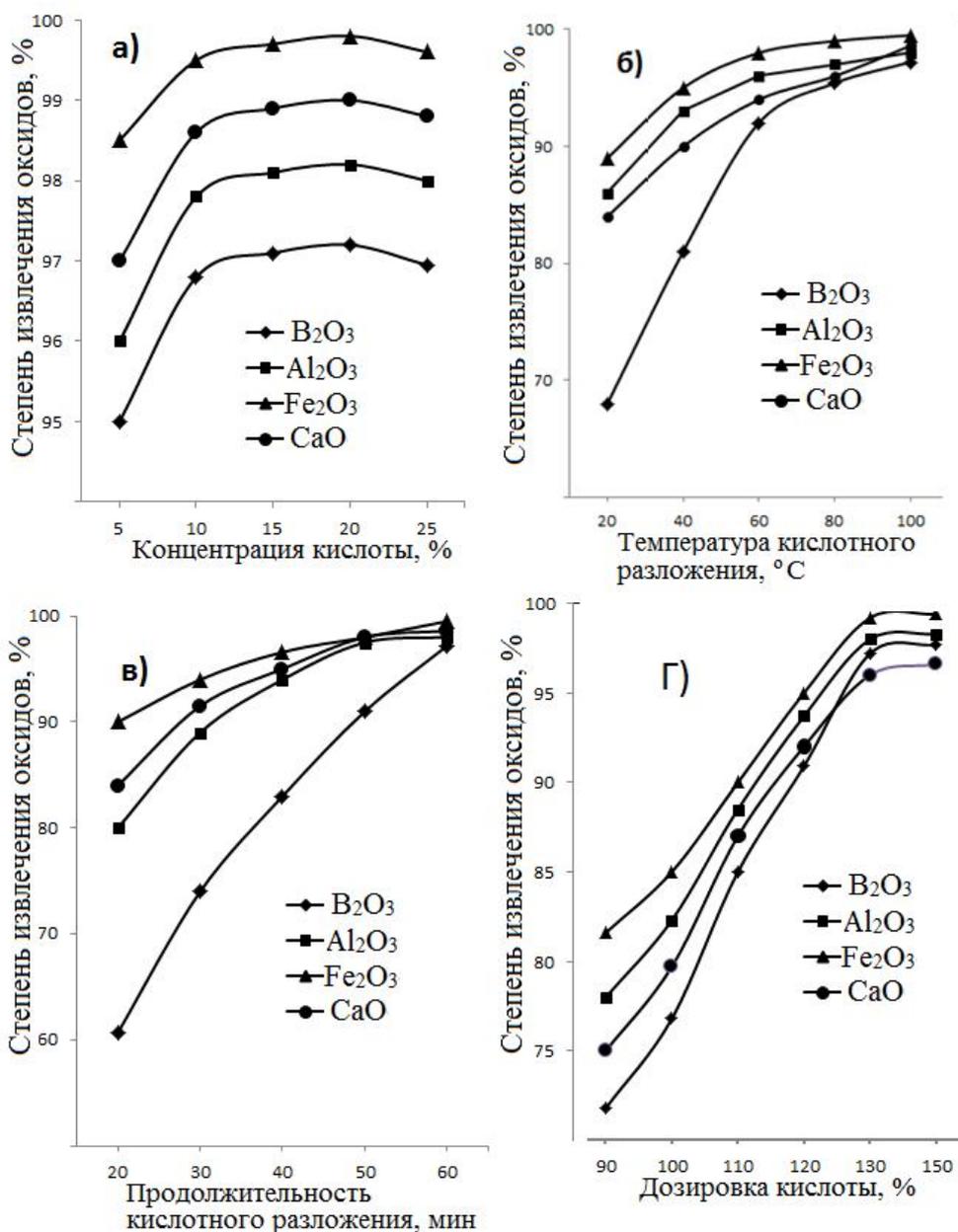


Рисунок 9 - Зависимость степени извлечения компонентов состава спёка при его азотнокислотной обработке от: а) концентрации азотной кислоты; б) температуры кислотного разложения; в) продолжительности обработки; г) дозировки кислоты.

Кинетика спекания алюмо - и борсодержащих руд с сульфатом натрия.
 Кинетику процесса совместного спекания нефелиновых сиенитов Турпи и борной руды Ак-Архарского месторождения Таджикистана с сульфатом натрия изучали при температурах спекания от 650 до 950°C, использовали исходные материалы крупностью 0,16 мм и менее. При этом массовое соотношение нефелиновых сиенитов, данбурита и Na_2SO_4 составляло 1:1:3.5. Перед спеканием исходные реагенты тщательно перемешивались в платиновой чашке до однородной массы. Спекание проводили в муфельной печи СШОЛ-116.12-МЗ-У4.2 с хромель-копелевой термопарой. Опыты проводили при значениях продолжительности спекания (мин): 10; 20; 30; 40 и 50 для каждой температуры.

После завершения процесса спекания сырья с Na_2SO_4 полученный спёк подвергался водной и азотнокислотной обработке при оптимальных условиях. В азотнокислых растворах титриметрическим и пламенно-фотометрическим методами определяли количество извлечённого в раствор оксида бора. Полученные кинетические кривые показаны на рисунке 10, где наблюдается, что при всех значениях температуры с увеличением длительности процесса спекания от 5 до 50 мин степени извлечения B_2O_3 и Al_2O_3 изменяются монотонно. Максимальное извлечение B_2O_3 и Al_2O_3 наблюдается при температуре спекания 950°C и продолжительности 40 мин и выше, где степень извлечения B_2O_3 находится в пределах 95.4-97.8% и степень извлечения Al_2O_3 - в пределах 96.5-98.7%.

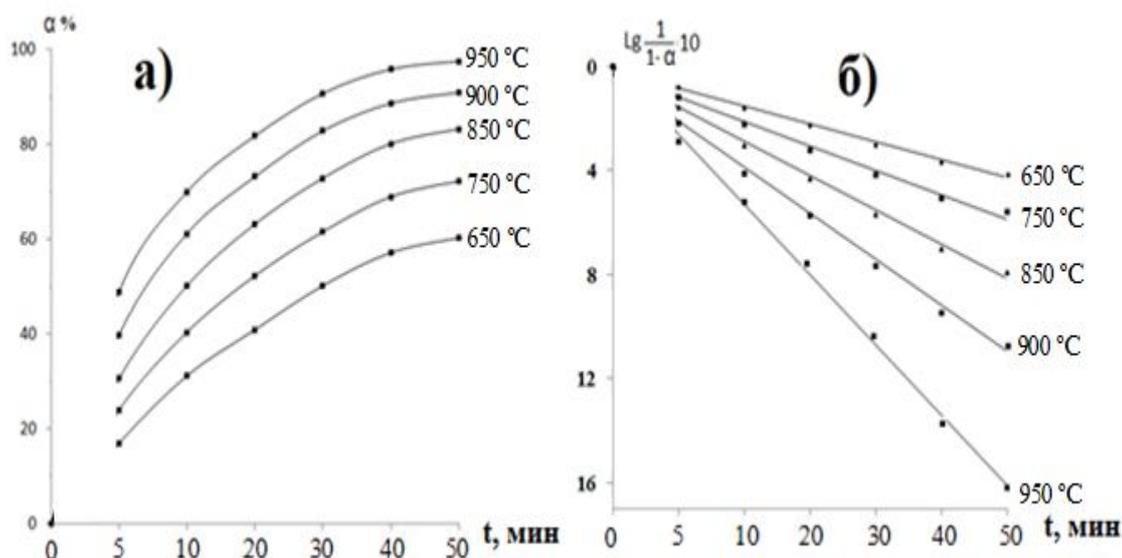


Рисунок 10 – Зависимость степени извлечения оксида бора от времени при различных температурах (а) и $\lg 1/1-\alpha$ от времени при различных температурах в процессе спекания руд (б)

Исследования показали, что кинетические кривые удовлетворительно описываются уравнениями Ротиняна и Б.В. Дроздова, предложенными для характеристики процессов обжига, выщелачивания, промывки и цементации:

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha} - \beta \frac{\alpha}{\tau}$$

где: K - константа скорости реакции, мин^{-1} ; α - степень превращения (извлечения) вещества, %; τ - время протекания процесса, мин; β - коэффициент торможение реакции.

Коэффициент торможения реакции находится графически. Для этого строят график зависимости $\frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha}$ от $\frac{\alpha}{\tau}$, получая прямую линию, тангенс угла наклона которой равен β . Предельное значение коэффициента торможения равно $\frac{1}{\alpha}$, то есть. оно стремится к $\frac{1}{\alpha}$, но не равно этой величине.

Если $\beta = \frac{\alpha}{\tau}$, то это значит, что $D=0$ и, следовательно, реакция заканчивается в поверхностном слое зёрен реагирующего вещества.

Расположение экспериментальных данных на прямой в координатах $\frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha}$ от $\frac{\alpha}{\tau}$, является условием применимости указанной уравнения.

Из рисунка 11 видно, что все опытные данные, полученные при спекании нефелиновых сиенитов и боросиликатов с сульфатом натрия, дают прямые линии.

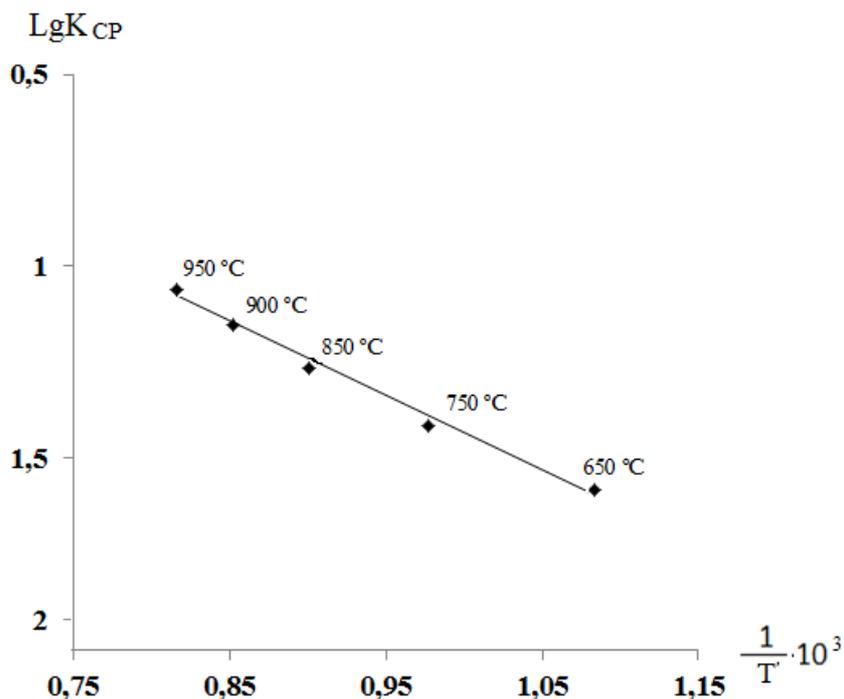


Рисунок 11 - Зависимость lgK от обратной абсолютной температуры при разложении алюмо- и боросиликатной руды

Разработка принципиальная технологическая схема переработки нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатов Ак-Архара методом спекания с сульфатом натрия

Исследована совместная переработка нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатов Ак-Архарского месторождения Таджикистана методом спекания с сульфатом натрия и определены оптимальные режимы технологических процессов спекания, водной обработки и азотнокислотного разложения твердой алюмо- и боросиликатной массы.

Продолжительность процесса спекания руд с сульфатом натрия исследована в интервале от 20 до 60 мин. Длительность процесса спекания, равная 40 мин, обеспечивает достаточное разложение минералов сырья. Степень извлечения компонентов из спёка достигает значений от 96.5 до 99.9%, в частности: V_2O_5 - 97.4; Al_2O_3 - 98.6; Fe_2O_3 - 99.9; CaO - 98.8%. Минералы спёка при соотношении жидкой к твёрдой фазе (Т:Ж), равной 1:12, имеют большую скорость разложения. Первыми в течение 2-4 минут начала реакции взаимодействия разлагаются минералы кальцит, нефелин и гранат. Далее в течение 10-30 минут разлагаются датолит и гидроборацит на 60-70%. Такие минералы, как данбурит (обожжённый), амфибол, биотит, пироксены,

монтмориллонит, глинистые минералы и др. разлагаются постепенно в течение 60 мин и более.

Влияние размера частиц данбуритового и нефелинового сырья на степень извлечения их составляющих компонентов изучено в пределах от 0.1 до 1.0 мм. Массовое соотношение сырья к сульфату натрия 2:3.5. В интервале величин фактора диаметра частиц от 0.1 до 0.2 мм наблюдается максимальное разложение сырья с извлечением компонентов от 96 до 99%.

На основании проведённых исследований и полученных результатов предложена следующая принципиальная технологическая схема совместной комплексной переработки нефелиновых сиенитов Турпи и данбуритовых руд Ак-Архарского месторождения (рисунок 12).

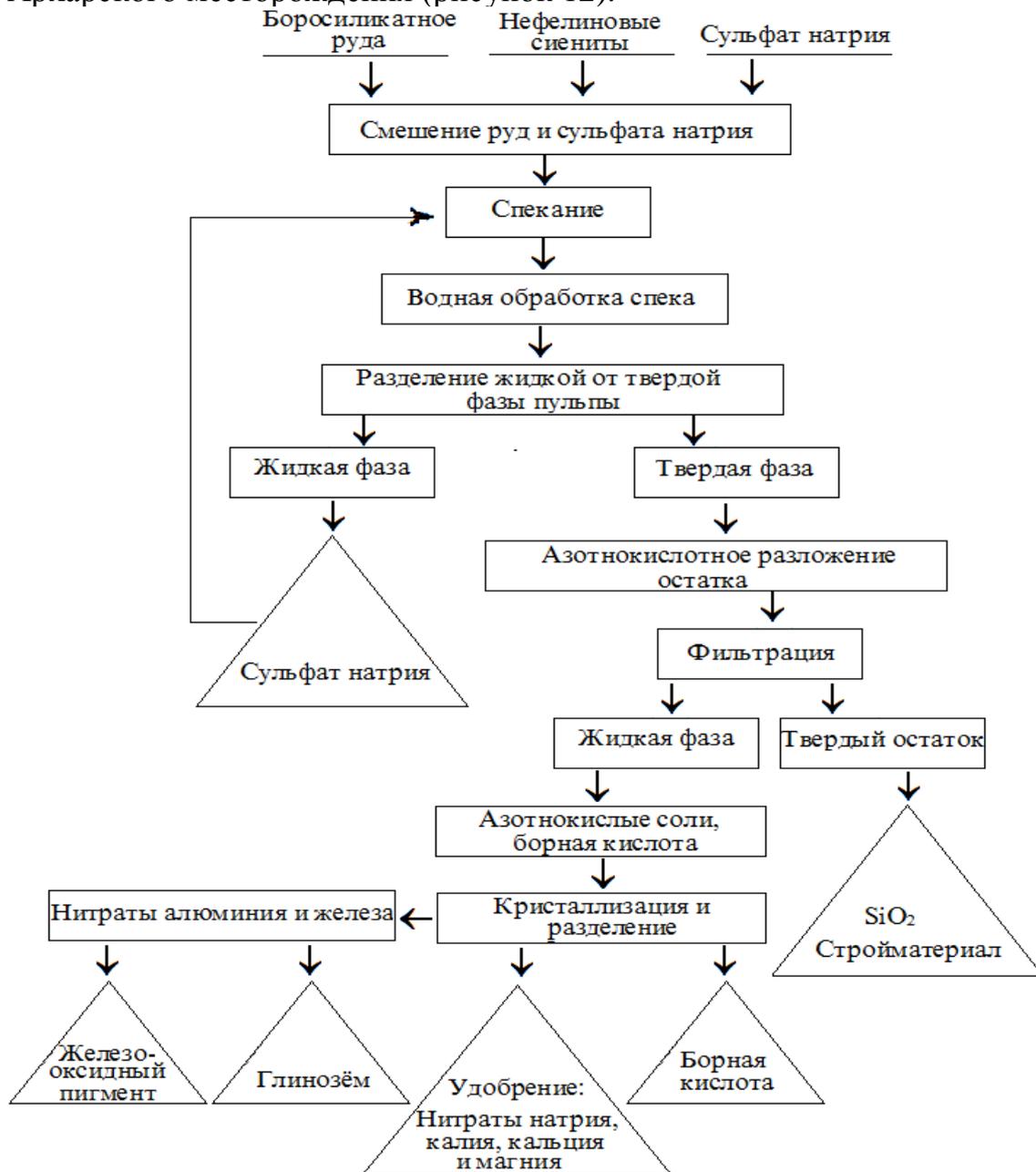


Рисунок 12 – Технологическая схема комплексной переработки нефелиновых сиенитов и боросиликатной руды методом спекания с сульфатом натрия

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты исследования:

1. Методами дифференциально-термического, рентгенофазового и химического анализов определены минералогические и химические составы нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатных руд Ак-Архара Таджикистана [2-А].

2. Изучен процесс совместной переработки нефелиновых сиенитов, боросиликатных руд методом спекания с сульфатом натрия с последующими водным и азотнокислотным разложением спека. Установлены оптимальные режимы проведения процессов для каждой стадии технологической ветви [5-А]:

- спекание руд с сульфатом натрия: температура спекания 900-950°C, продолжительность спекания 40-45 мин, массовое соотношение борная руда : нефелиновые сиениты : сульфат натрия - 1:1:3.5 и крупность частиц исходных руд – 0.16 мм и менее;

- водная обработка спека: температура обработки от 95 до 100°C в течение 50 мин - 1 часа; массовое соотношение Ж:Т от 5:1 до 10:1, тонкость помола спека <0.315 мм;

- кислотное разложение твёрдого алюмо- и боросиликатного остатков, полученных после обработки спека водой: обработка твёрдых остатков при $t=100^\circ\text{C}$ в течение 1 часа, азотная кислота с концентрацией от 15 до 18%, взятой в количестве 115% от стехиометрии расчёта выделения азотнокислых соединений состава рассматриваемых руд.

3. Установлены химические преобразования соединений из состава руд, фазовые переходы минералов руд для всех стадий переработки: спекания руд с сульфатом натрия, водной обработки спека и азотнокислотного разложения твёрдых алюмо- и боросиликатного остатков от водной обработки спека. Установлено, что на стадии спекания нефелиновых сиенитов, борного сырья и сульфата натрия трудновскрываемые минералы состава руд - альбит, ортоклаз, данбурит, биотит и пироксены преобразовываются в натриевый и калиевый лейциты, анортит, кальциборит, гематит, воласстонит и др., которые в дальнейшем легко разлагаются минеральными кислотами, в частности, азотной кислотой, образуя азотнокислые соли: селитру - KNO_3 , NaNO_3 , нитрокальцит - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, нитромагнезит - $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, нитраты $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В смеси солей бор находится в виде минерала сассолина - H_3BO_3 [3-А].

4. Изучена кинетика процесса спекания бор- и алюмосиликатных руд с Na_2SO_4 . Найдено численное значение энергии активации (65,3 кДж/моль), показывающее прохождение спекания в кинетическом режиме. Также изучена кинетика процесса азотнокислотного разложения твёрдого остатка от водной обработки спека и определена кажущаяся энергия процесса (20,1 кДж/моль), то есть процесс проходит в диффузионном режиме [9-А].

5. Разработана принципиальная технологическая схема переработки алюмо- и боросиликатного сырья, которая состоит из следующих основных

операций: смешение руды с Na_2SO_4 , спекание шихты, водная и кислотная обработка, разделение пульпы, возврат остатка Na_2SO_4 в начало процесса спекания, азотнокислотное разложение спека, разделения кремнезёма фильтрацией пульпы с получением строительных материалов, борной кислоты, удобрений (нитраты калия, кальция), сырья для получения глинозёма и коагулянтов (азотнокислые соли железа и алюминия), а также геля кремниевой кислоты.

6. Разработана технология разделения товарных продуктов, полученных при переработке руд органическим растворителем - глицерином и определены оптимальные параметры проведения процесса.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- разработанные технологии переработки нефелиновых сиенитов и борного сырья и разделения их товарных продуктов можно использовать в промышленности переработке алюмо- и боросодержащего руды;
- результаты исследования рекомендуются для получения ряда ценных продуктов из бор и алюмосиликатных руд, как борная кислота и глинозём при разработке технологических основ для комплексной переработки сырья, а также в сельском хозяйстве, как комплексное удобрение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А]. **Давлатов, Д.О.** Азотнокислотное разложение спека, полученного совместной переработкой нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатных руд Ак-Архара с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, Р. Шамсулло, Б.Ш. Назаров, А.С. Курбонов, Ш.Б. Назаров // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т.61. – № 5. – С. 470-475.

[2-А]. **Давлатов, Д.О.** Рентгенофазовый анализ спека от переработки бор - и алюмосиликатного сырья с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 3. – С. 191-197.

[3-А]. **Давлатов, Д.О.** Кислотное разложение спека от переработки бор - и алюмосиликатных руд / Д.О. Давлатов, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 4. – С. 127-132.

Статьи, опубликованные в материалах конференций:

[4-А]. Тагоев, М.М. Переработка боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения методом спекания / М.М. Тагоев, Э.Д. Маматов, **Д.О. Давлатов**, Д.Н. Худоёров, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Респ. науч.-практ. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической

промышленности Таджикистана». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 2-4.

[5-А]. **Давлатов, Д.О.** Исследование совместной комплексной переработки нефелиновых сиенитов Турпи и данбуритов Ак-Архарского месторождения методом спекания с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, М.М. Тагоев, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Респ. науч.-практ. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 45-48.

[6-А]. Назаров, Ш.Б. Применение физико-химических методов анализа для определения химических продуктов, получаемых при переработке азотнокислых растворов алюминия с карбонатом натрия / Ш.Б. Назаров, **Д.О. Давлатов**, М.М. Тагоев, У.М. Мирсаидов // Респ. конф. «Проблемы применения современных физико-химических методов для анализа и исследования веществ и материалов». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 14-18.

[7-А]. Тагоев, М.М. Пламенно-фотометрическое определение щелочных и щёлочноземельных металлов при переработке данбуритов Ак-Архарского месторождения Таджикистана / М.М. Тагоев, **Д.О. Давлатов**, Ш.Б. Назаров // Респ. конф. «Проблемы применения современных физико-химических методов для анализа и исследования веществ и материалов». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 34-37.

[8-А]. **Давлатов, Д.О.** Применение физико-химических методов анализа для исследования процесса вскрытия нефелиновых сиенитов Турпи и данбуритов Архарского месторождения Таджикистана / Д.О. Давлатов, М.М. Тагоев, Ш.Б. Назаров / Химический факультет, Таджикский национальный Университет, Душанбе-2017. - С.37-42.

[9-А]. **Давлатов Д.О.** Кинетика совместного спекания боро- и алюмосиликатных руд Таджикистана с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, Ш.Б. Назаров, Ш.Х. Савзаева, Р. Шамсулло // XV Нумановские чтения «Современное состояние достижений науки в народном хозяйстве Республики Таджикистан». Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан. – Душанбе. – 2019. – С. 20-21.

Бо ҳуқуқи дастнавис



УДК 546.621

ДАВЛАТОВ Дилшод Облоқулович

**АСОСҲОИ ФИЗИКӢ-ХИМИЯВИИ ҚОРҚАРДИ ЯҚЗОЯИ
НЕФЕЛИНҲОИ СИЕНИТИИ ТУРПИ ВА АШӢИ ХОМИ
БОРДОШТАИ АҚ-АРҲАР БО УСУЛИ КОМБИНИРОНӢ**

05.17.01 – Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ
номзади илмҳои химия

Душанбе – 2020

Диссертатсия дар озмоишгоҳи коркарди комплекси ашё ва партовҳои саноати Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон иҷро шудааст

Роҳбари илмӣ: доктори илмҳои химия, мудири озмоишгоҳи «Коркарди комплекси ашё ва партовҳои саноатӣ»-и Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон
Назаров Шамс Бароталиевич

Мушовири илмӣ: доктори илмҳои химия, профессор, академики АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон
Мирсаидов Улмас Мирсаидович

Муқарризони расмӣ: доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи экологияи Институти куҳӣ-металлургии Тоҷикистон
Розиқов Зафар Абдуқаҳорович

Номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи химияи органикӣ ва амалии факултети биология ва химияи Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи акад. Б. Ғафуров
Тиллобоев Ҳақимҷон Иброҳимович

Муассисаи пешбар: кафедраи химияи амалии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Химояи диссертатсия 6 июли соли 2020, соати 11⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6Д.ҚОА-007 назди Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон баргузор мегардад.
Суроға: 734063, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2.
E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон шинос шавед: www.chemistry.tj

Автореферат санаи «_____» _____ соли 2020 тавзеъ шудааст.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои химия

Махкамов Ҳ.Қ.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мубрамияти мавзӯ. Хоҷагии халқи Тоҷикистон дар заминаи манбаъҳои ашёи хоми дар мамлакат мавҷудбуда, аз ҷумла конҳои маъдани гилхокдошта, ки онҳо барои ҳосил кардани намакҳои алюминий, инчунин маҳсулоти бордошта истифода бурда мешаванд, рушд меёбад.

Коркарди комплекси ашёи минералӣ усули самарабахши ҷудо карда гирифтани компонентҳои пурқимат маҳсуб меёбад. Яке аз ҳамин гуна намудҳои ашё маъданҳои боросиликати Тоҷикистон ба ҳисоб мераванд, ки аз онҳо кислотаи борат, намакҳои алюминий ва оҳан, магний, калсий ва маводи сохтмонӣ ҳосил кардан мумкин аст. Зарурати ҳосил кардани пайвастагиҳои бор ба талаботи соҳаҳои гуногун нисбат ба маҳсулоти бордошта вобаста мебошад.

Дар Институти кимиё ба номи В.И. Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон тарҳҳои технологияи принсипиалӣ оид ба коркарди маъданҳои боросиликатӣ бо усули кислотагӣ ва хлоронидан таҳия гардидаанд. Ин методҳо хеле ояндадор ба шумор мераванд, зеро дар ҷумҳурӣ миқдори зиёди ашёи бордошта мавҷуд аст ва дар оянда истеҳсоли кислотаҳои минералӣ дар назар дошта шудааст.

Пайвастагиҳои бордошта дар соҳаҳои гуногуни саноат ва хоҷагии қишлоқ истифодаи васеи худро пайдо кардаанд. Соҳаҳои сершумор ва гуногуни истеъмоли пайвастагиҳои бордошта асосан ҳосил кардани шиша, нахшиша ва як қатор маҳсулоти шишамонанд, аз ҷумла эма́л, глазу́р ва дигарҳо, инчунин истеҳсоли воситаҳои шӯянда ва сафедкунанда мебошанд.

Коркарди конҳои боросиликати Помирро бо усули комплексӣ амалӣ кардан ба мақсад мувофиқ мебошад, зеро ба ин тариқ имконияти васеъ намудани соҳаи ҳосил кардани маҳсулоти пурқимати бордошта муҳайё мегардад, вале аз тарафи дигар, барои ба роҳ мондани ҷунин истеҳсолот тараққӣ додани баъзе соҳаҳои дигари истеҳсолот, аз қабилӣ истеҳсоли кислотаҳои минералӣ ва ғайра зарур мегардад. Аз ин рӯ, масъалаи коркарди конҳои бордоштаро аз мавқеи тадбирҳои комплексӣ баррасӣ кардан қобили қабул аст.

Дар саноати коркарди алюминий ба сифати ашёи асосӣ бокситҳои сифаташон баланд истифода бурда мешаванд, ки аз он бо усули маъмули Байер, ки аз ҷиҳати иқтисодӣ нисбатан камхарҷ мебошад, гилхок ба даст меоранд. Вале бо назардошти талаботи рӯзафзуни нисбат ба алюминий ва маҳсулоти пурқимати дар асоси алюминий сохташуда доштаи хоҷагии халқ, инчунин маҳдуд будани ашёи бокситӣ, зарурати ба ин раванд ворид кардани дигар намудҳои ашёи хоми дар таркибаш гилхокдошта ба миён овардааст.

Айни замон ашёи алюминийгии дар таркибаш миқдори зиёди силитсӣдошта бо усулҳои гуногун, аз ҷумла усулҳои кислотагӣ, ишқорӣ, термикӣ ва муштарак мавриди коркард қарор гирифтааст.

Таҳия ва такмил додани усулҳои ояндадори коркарди ашёи бор ва алюминийгии дар таркибаш миқдори зиёди силитсӣдошта бо мақсади ба

даст овардани маҳсулоти пурқимат, муқаррар кардани реаксияҳои химиявӣ табаддулоти минералҳое, ки ба таркиби ин ашё дохиланд, такмил додани зинаҳои коркард аз ҷумлаи вазифаҳои актуалӣ ба ҳисоб мераванд.

Мақсади асосии таҳқиқот аз омӯзиши равандҳои коркарди якҷояи маъданҳои алюминий ва бордошта: нефелинҳои сиенитӣ Турпи ва ашёи бордоштаи Ак-Архари Ҷумҳурии Тоҷикистон бо усули гудохтан бо сулфати натрий, муайян кардани параметрҳои нисбатан ратсионалии физикӣ-химиявӣ ва технологияи гузариши гудозиш бо таҷзияи минбаъдаи гудохтаи ба дастамада бо таъсири об ва кислотаи HNO_3 , ки дар натиҷаи онҳо аз таркиби ашё миқдори максималии маҳсули ниҳой ба даст меояд, инчунин коркарди минбаъдаи он тавассути технологияи самаранок ва бепартови коркарди маъданҳои зикргардидаи Тоҷикистон иборат мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- таҳқиқи тавсифи физикӣ-химиявӣ ашёи ибтидоӣ ва маҳсули коркарди ашё дар зинаҳои мобайнӣ ва ниҳой, омӯзиши равандҳои химиявӣ, ки дар рафти истифодаи усулҳои комплексонометрӣ, ДТА ва РФА, инчунин методҳои гуногуни коркарди маъданҳои алюминийгӣ ба даст омадаанд;

- таҳлили равандҳои физикӣ-химиявӣ, ки ҳангоми гудоختани якҷояи нефелинҳои сиенитӣ ва маъданҳои боросиликатӣ бо таъсири сулфати натрий ба амал меоянд, омӯзиши равандҳое, ки дар мавриди бо об коркард намудани гудохтаҳои ба дастамада, инчунин раванди бо таъсири кислотаи нитрат таҷзия намудани боқимондаи саҳти силикатӣ, ки баъди бо об коркард кардан ҳосил шудааст, муқаррар кардани компонентҳои фойданоки таркиби он, ки бор, алюминий, оҳан, калий, натрий, калсий, магний ва дигар элементҳо дорад;

- таҳқиқи кинетикаи равандҳои гудохтакуни бо таҷзияи минбаъдаи он бо таъсири об ва кислотаи нитрат;

- таҳияи технологияи коркарди маъданҳо.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда

Маводи таҳқиқот ин омӯхтани таркиби химиявӣ ва минералогии нефелинҳои сиенитӣ Турпи ашёи хоми боросиликати Ак-Архар, раванди гудозиши онҳо бо сулфати натрий мебошад. Омӯзиши таҷзияи минералҳои: албит, микроклин, ортоклаз, данбурит, датолит ва дигарон ки дар таркиби маъдан мавҷуд аст ҳангоми гудохтаи бо сулфати натрий. Тартиби маъданҳо ва таъсири онҳо дар гудохтаи сулфати натрий, ҳам дар байни худ ва ҳам бо дигар минералҳои маъдан. Тавозуни моддӣ ва нақшаҳои бештар коркарди ашё.

Таҳқиқоти физикию химиявӣ ашёи хом ва маҳсулоти коркарди онҳо дар асоси асбобҳои муосир, аз ҷумла таҳлили дифференциалии гармидиҳӣ (ДТА) ва усулҳои гравиметрӣ, рентген, микроскопӣ ва комплексометрии таҳлил гузаронида шуданд.

Дарачаи сахехият ва баррасии натиҷаҳо. Ҳисобу китоби кинетика ва коркарди омории натиҷаҳои эксперименталии ба дастмада бо ёрии барномаи компютери «EXCEL» амалӣ карда шудааст. Натиҷаҳои асосии рисолаи диссертатсионӣ дар конференсияҳои зерин баррасӣ шудааст: Респ. науч-практ. конф. «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан», посвя. Дню химика и 80-летию со дня рождения д.т.н., проф., академика МИА А.В. Вахобова, Институт химии им. В.И.Никитина АН РТ (Душанбе, 2016); Конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-назариявӣ олимони ҷавони ДМТ «Мақтаби сулҳпарваронаи пешвои миллат-роҳномаи ҷавонон барои имрӯзу ояндаи дурахшон» бахшида ба 20-солагии Ваҳдати Миллӣ ва Соли Ҷавонон (Душанбе, 2017); Респ. науч-практ. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» Таджикский национальный университет (Душанбе, 2017); Респ. конф. «Проблемы применения современных физико-химических методов для анализа и исследования веществ и материалов» Таджикский национальный университет (Душанбе, 2017); XIV Нумановских чтениях «Вклад молодых учёных в развитие химической науки», посвящённых Году молодёжи Институт химии им. В.И.Никитина АН РТ (Душанбе, 2017); Меж. науч-практ. конф. «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии, в промышленности Республики Таджикистан» Институт химии им. В.И.Никитина АН РТ (Душанбе, 2018), XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе 2019).

Навгониҳои илмии рисола: асосҳои илмии равандҳои технологияи яқҷоя пухтани нефелинҳои сиенитӣ ва ашёи бордошта коркард шудаанд;

параметрҳои оптималии раванди яқҷоя пухтани нефелинҳои сиенитӣ ва боросиликатҳо бо таъсири сульфати натрий муайян карда шудаанд;

табдилоти физикӣ-химиявӣ минералҳои таркиби маъданҳо ҳангоми яқҷоя бо сульфати натрий пухтани онҳо, инчунин боқимондаи саҳти алюмо-ва боросиликатҳо, ки дар зинаи бо таъсири кислотаи нитрат таҷзияшавӣ ҳосил шудаанд, муқаррар карда шудааст. Реаксияҳои химиявӣ, ки ҳангоми гудохтани маъдан бо сульфати натрий, бо об коркард намудани гудохта, инчунин бо таъсири кислотаи нитрат таҷзияшавӣ массаи саҳти силикати ҳангоми бо об коркард намудани гудохта мегузаранд, муайян карда шудаанд.

параметрҳои кинетикӣ омӯхта, ҳудудҳои гузариши равандҳое, ки ҳангоми бо сульфати натрий яқҷоя пухтани ашёи бор ва алюминийдошта ва бо таъсири кислотаи нитрат таҷзияшавӣ онҳо омӯхта шудаанд;

тарҳи технологияи комплекси коркард таҳия гардид, ки он ба пухтани нефелинҳои сиенитӣ ва боросиликатҳои Тоҷикистон бо таъсири сульфати натрий асос ёфтааст;

коркарди технологияи тақсимои маҳсулоте, ки баъди коркарди ашёи зикргардида ба даст омада, дар раванди он ба сифати ҳалқунандаи органикӣ глицерин истифода шудааст, гузаронида шуд.

Аҳамияти назариявии рисола: Тадқиқотҳои физикӣ ва химиявии коркарди маъдани алюмосиликати кони Турпи ва ашёи хоми боросиликатӣ Ак-Архар бо сулфат ва таҳияи схемаҳои технологияи коркарди комплекси онҳо дараҷаи истихроҷи ҷузъҳои таркибии маъданҳо ба омилҳои мухталифи, омӯзиши таркиби химиявӣ ва минералогии маъданҳои аввалия ва хусусиятҳоро дар бар мегиранд. Маҳсулоти фосилавӣ ва ниҳой, тавозуни моддии истеъмоли мавод ва маҳсулоти бадастомада дар ҳар як марҳила ва шохаҳои технологӣ.

Аҳамияти амалии рисола. Натиҷаҳоеро, ки дар раванди таҳқиқот ба даст оварда шудаанд, ҳангоми коркарди технологияҳои гуногун бо мақсади коркард намудани ашёи бор ва алюминийдоштаи сифаташ паст барои ба даст овардани маҷмӯи васеи маҳсулоти пурқимат истифода бурдан мумкин аст.

Барои ҷимоя пешниҳод карда мешавад:

- натиҷаҳои таҳлили минерологӣ, хосиятҳои химиявӣ ва физикавии нефелинҳои сиенитӣ ва маъданҳои боросиликатӣ;

- натиҷаҳои таҳқиқи химизм ва механизми табдилот ва таҷзияи минералҳои таркиби маъдан ҳангоми бо реагент (сулфати натрий) якҷоя пухтани он, бо таъсири об коркард намудани пухтаи ба дастомада ва таҷзияи минбаъдаи боқимондаи саҳти боросиликатҳо ва алюминийдошта бо таъсири кислотаи нитрат, маҳсули ниҳоии таҷзия ва дар ҳар як зинаи коркард муайян намудани шакли химиявӣ ва минералогии таркиби маъданҳои зикршуда;

- натиҷаи таҳлили равандҳои кинетикӣ, ки дар ҷараёни бо усули гудохтан таҷзияшавии маъданҳои бордошта ва нефелинӣ мегузаранд;

- хусусиятҳои физикӣ-химиявии маҳсули ниҳоии ҳосилшуда, ҳисобу китоби баланси моддии методҳои таҳқиқотии коркарди ашёи бор ва алюминийдошта;

- таҳияи тарҳи технологӣ оид ба коркарди ашёи зикршуда, ҷудокунии маҳсули ниҳой бо истифодаи ҳалқунандаи органикӣ – глитсерин.

Саҳми шахсии муаллиф. Аз тарафи муаллиф мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот таҳия гардида, таҳлили адабиёти илмӣ ба мавзӯ бахшидашуда гузаронида шуда, шарҳу эзоҳ ва коркарди натиҷаҳои эксперименталӣ коркард гардида, хулосабарорӣ карда шудааст. Ҳамаи натиҷаҳои ба кори диссертатсионӣ воридшуда шахсан аз тарафи муаллиф ва ё иштироки бевоситаи ӯ ба даст оварда, дар шакли интишорот таҳия гардидааст.

Интишорот. Аз рӯи мавзӯи диссертатсия 3 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои аз тарафи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда ва 6 мақола дар маводи конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ нашр шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисолаи диссертатсионӣ 4 бобро дар бар гирифта, аз муқаддима, тафсири адабиёт, методикаи экспериментҳо, тавсифи геохимиявӣ, технология ва баланси моддии коркарди якҷояи маъданҳои бор ва алюминийдоштаи Тоҷикистон иборат мебошад. Он дар

ҳачми 114 саҳифаи компютерӣ омода гардида, 4 ҷадвал, 24 расм, рӯйхати адабиёти истифодашудаи иборат аз 137 сарчашмаро дар бар мегирад.

Дар муқаддима муҳимияти мушкилоти соҳа ва аҳамияти амалии мавзӯи ихтиробшудаи таҳқиқотӣ инъикос гардидааст.

Дар боби якуми диссертатсия тафсири мухтасари адабиёт оид ба коркарди маъданҳои бор- ва алюмосиликатӣ гузаронида шудааст. Масъалаҳои бо хлор коркард шудани ашёи бор- ва алюминийдошта, ҷудокунии кислотагии маъдани бор ва алюминийдор, асосҳои технологияи коркарди маъданҳо бо хлор ва кислотаҳои минералӣ оварда шудааст.

Дар шарҳи адабиёт инчунин якҷанд усули умумии гудозиши бадастории коагулянтҳо барои тозакунии об нишон дода шудааст.

Дар боби дуюм методикаи гузаронидани таҳлилҳои химиявӣ ва физикӣ-химиявӣ, тавсифи геологӣ ва таркиби химиявӣ-минералогии маъдани бор ва алюминийдошта оварда шудааст. Тавсифи физикию химиявии маъдани бор ва нефелинҳои сиенитӣ бо усули ДТА ва РФА омӯхта шудааст. Реаксияҳои химиявии ҷойдошта дар асоси азнавҳосилшавӣ ва ҷудокунии минералҳои таркиби маъдан дар зинаҳои коркарди онҳо тартиб дода шудааст.

Дар боби сеюм роҳи гудохтакунии коркарди маъданҳои алюминий ва борсиликатии Тоҷикистон бо таъсири сульфати натрий омӯхта шудааст, коркарди якҷояи данбурит ва нефелинҳои сиенитӣ бо Na_2SO_4 таҳқиқ карда шудааст, раванди кинетикии ҷудокунии гудохтаи аввалаи маъдани борсиликатӣ ва нефелинҳои сиенитӣ бо таъсири кислотаи нитрат омӯхта шудааст.

Дар боби чаҳорум тарҳи технологияи принсипиалии коркарди маъданҳои алюминий ва борсиликатӣ бо усули гудозиш бо таъсири Na_2SO_4 ва технологияи ҷудокунии қисматҳои маҳлули кислотаи нитрат бо истифодаи глитсерин пешниҳод карда шудааст. Масъалаи тартибдиҳии баланси моддии усули якҷоя коркард кардани нефелинҳои сиенитӣ, ашёи хоми бордошта ва сульфати натрий дида баромада шудааст.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

УСУЛҲОИ КОРКАРДИ МАЪДАНҲОИ БОР- ВА АЛЮМИНИЙДОР

Таҳқиқи натиҷаҳои химиявӣ ва минералогии таркиби маъданҳои сиенитҳо нефелинии Турпи ва боросиликатҳои кони Ак-Архар, дар ҷадвал оварда шудааст. Таҳлили рентенофазавии (РФА) маъдани аввалаи боросиликатӣ (расми 1), нишон медиҳад ки минералҳои асосии маъданҳосилкунанда: данбурит, калтсит, гранат, датолит, гидроборасит, кварс ва ғайра мебошанд. Инчунин термограммаи маъдани аввалаи бордошта дар суръати оҳиста-оҳиста гармкунӣ ($10^\circ\text{C}/\text{дақ}$) омӯхта ва гузаронида шудааст, ки натиҷаи он дар расми 2 оварда шудааст.

Натиҷаҳои таҳлили рентгеносохторӣ данбурити аввала нишон доданд, ҳангоми ҳарорати 950°C дар таркиби данбурит як қатор тағйирот рух медиҳад. Дар навбати аввал алоқамандии оби механикӣ ва химиявӣ

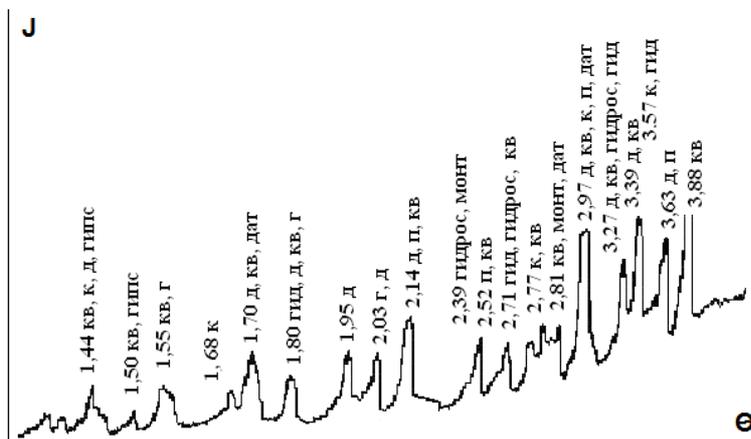
нест мешавад, дар ин ҳолат маъдан сохти кристаллияшро гум намекунад ва инчунин ҳангоми беобкунии данбурит пайвастагиҳо ҳосил мешавад, ки қобилияти зиёди реаксиониро нисбат ба маъдани носўзонда дорад.

Чадвал – Таркиби химиявии маъдани бори кони Ак-Архар ва нефелинҳои сиенитӣ Турпи

Ашёи хом	Қисматҳо, г/100г маъдан												
	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	аз дигар омехтаҳо
Боросиликатҳои Ак-Архар	10.4	59.8	1.27	2.2	1.39	19.6	0.75	0.15	0.29	0.1	0.03	0.11	3.91
Нефелинҳои сиенитӣ Турпи		53.0	22.4	6.4	1.2	2.5		0.3	0.21	6.6	6.4		0.99

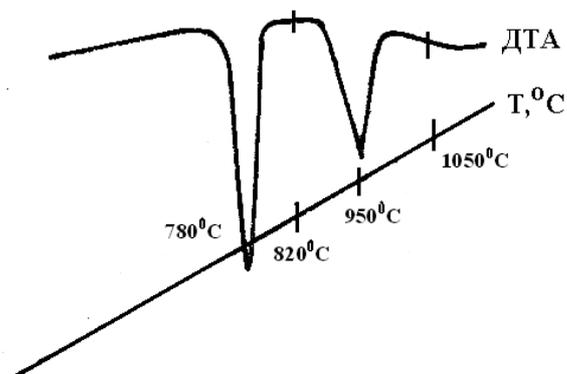
Натиҷаҳои таҳлили рентгенофазаии данбурит дар ҳароратҳои 950 - 980°C дар расми 1 оварда шудааст. Ҳангоми тафсонидани ашёи хоми данбурит сохтори минерал аз ҳарорат вайрон шуда, сипас гузариши сохтори кристалли α-модификатсия ба β- ё γ-сохтор рух медиҳад, ки ин нағз ҳалшаванда будани онро мефаҳмонад. Ин зухурот, махсусан барои кварс, ки ҳангоми ҳарорати баланд ба сохти хеле фаъол – аморфӣ мегузарад, хос мебошад.

Мувофиқи термограмма (расми 2), ҳангоми то ҳарорати 700°C гарм кардан данбурит ба он тоб оварда, ягон ҳел тағйирот дида намешавад. Ҳангоми аз ин ҳарорат зиёд шудани ҳарорат (самарайи аввали эндотермӣ) тағйирот рух медиҳад, ки ин ба дуршавии об, ки он дар ҳарорати 800°C пурра бухор мешавад, вобастагӣ дорад.



Расми 1 – Рентгенограммаи данбурити аввалаи кони Ак-Архар: кв – кварс, к – калсит, г – гранат, д – данбурит, дат – датолит, п – пироксени, г – гидрослюда, гид – гидроборасит, монт – монтморилонит

Дар ҳарорати 950-980°C самарайи дуҷуми эндотермӣ мушоҳида шуда, данбурит бо ҳосилшавии диборати калсий $\text{CaO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$, силикати калсий $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, кварс $\alpha - \text{SiO}_2$ таҷзия мешавад.

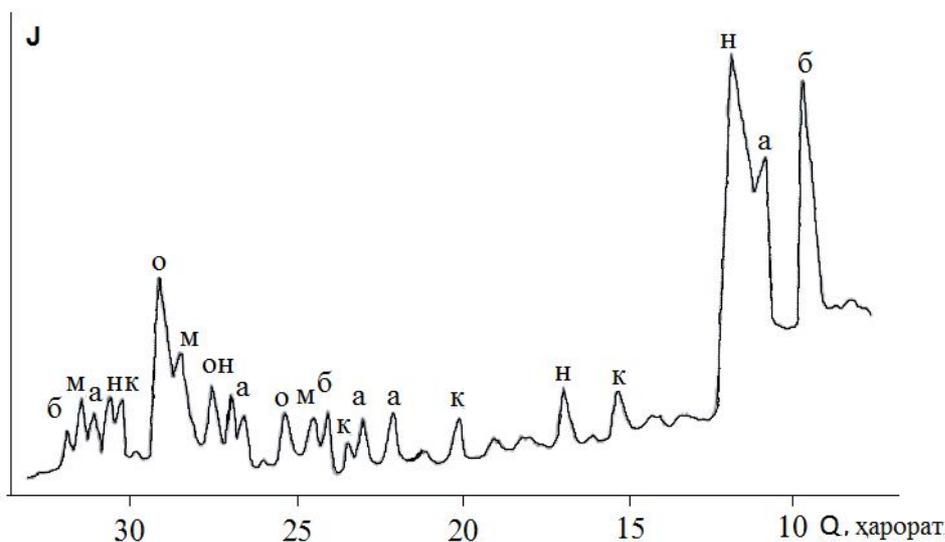


Расми 2 – Термограммаи ашёи хоми аввалаи боросиликатӣ

Термограммаи ашёи хоми боросиликати аввала дар дериватографи тамғаи Q-1500Д тартиби «Паулик-Паулик-Эрдей» дар ҳарорати то 1500°C ҳангоми болоравии суръати ҳароратӣ 7,5°/дақ қайд карда шудааст. Дар расм ифодаи ду эндоеффе́кт хангоми то ҳарорати 230°C, раванди мувофиқи бухоршавии оби кристаллизатсионии минералҳо возеҳ мегардад.

Таҳлили рентгенофазавии нефелинҳои сиенитӣ кони Турпи

Дар расми 3 рентгенограммаи нефелинҳои сиенитӣ аввала нишон дода шудааст, ки хати минералҳои мувофиқ: нефелин, биотит, микроклин (ортоклаз), албит ва калсит возеҳ ба мушоҳида мерасанд.

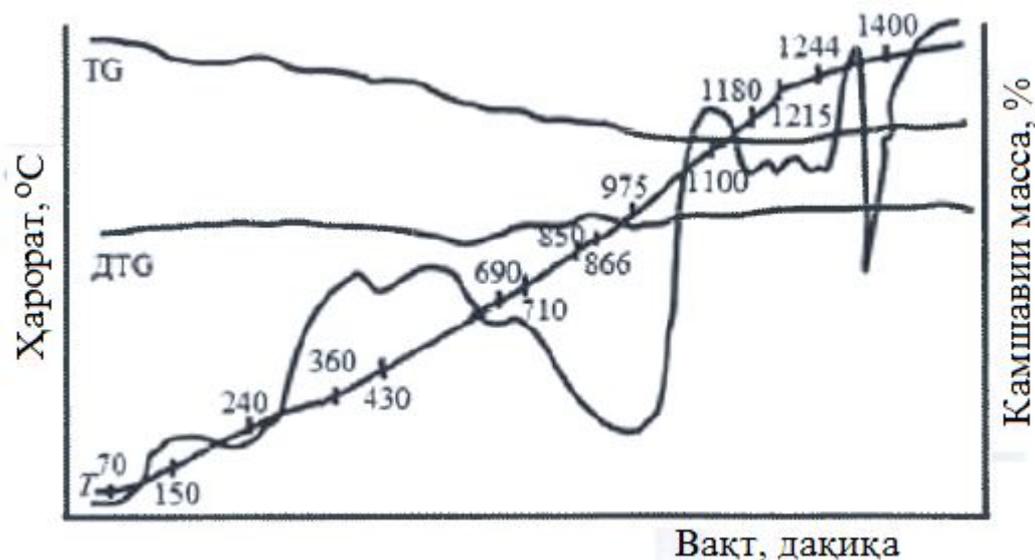


Расми 3 – Рентгенограммаи ашёи хоми нефелинӣ: б – биотит, а – албит, н – нефелин, к – калсит, о – ортоклаз, м – микроклин

Таҳлили дифференциалӣ-ҳароратии нефелинҳои сиенитӣ

Термограммаи маъданҳои алюмосиликатӣ аз якдигар фарқ доранд. Термограммаи ашёи хоми нефелинӣ дар расми 4 нишон дода шудааст. Аз ҳар кадом маълум мешавад, ки самараҳо хангоми 150–240°C ба раванди нестшавии об мувофиқат мекунанд. Дар худуди ҳароратҳои 690–850°C

раванди гудохташавӣ ва дигаргуншавии минералҳо рӯй медиҳад. Самари дохилӣ ҳангоми 975°C ба раванди вайроншавии ҳарорати минерали калтсит мувофиқат мекунад.



Расми 4 – Термограммаи ашёи хоми нефелинӣ

Ҳангоми ҳарорати хеле баланд ($1100\text{--}1260^{\circ}\text{C}$) гузариши нефелин ба корнегит зоҳир мегардад, дар идома раванди гудохташавии минералҳо, тасвири асосӣ – қисматҳои шпатҳои сахроӣ рӯй медиҳад.

Маълумоти аз таҳлили ҳароратӣ бадастомада нишон медиҳад, ки ҳангоми $7^{\circ}\text{C}/\text{дақ}$ баробар будани суръати миёни гармкунӣ самараҳои асосии маъдани алюмосиликатиҳо қайд аён мегардад. Дар байни маъдани алюмосиликатиҳо ҳосияти аз ҳама мураккабро таҷзияшавии сиенитҳои нефелинӣ доро мебошанд (расми 4).

Натиҷаҳои бадастомада нишон медиҳанд, ки усули таҳлили ҳароратӣ (ДТА) метавонад ҳангоми интихоби қоидаи гудоختани ашёи хом бо дигар реагентҳо самарабахш бошад.

Таҳқиқи намуди ашёи хом бо усули таҳлили ҳароратии дифференсиалӣ (ДТА) барои ҳамаи намудҳои самараи мавҷудбуда ҳангоми $120\text{--}240^{\circ}\text{C}$ аз раванди нестшавии оби кристаллизасионӣ шаҳодат медиҳад, эндоэффектҳо бошанд ҳангоми ҳарорати баланд гузариши фазавӣ ва боҳамтаъсиркунии минералҳои таркиби маъдан нишон медиҳанд.

ТАҲҚИҚИ ҚОРҚАРДИ ЯҚҶОЯ ГУДОХТАКУНИИ АШЁИ НЕФЕЛИНҶОИ СИЕНИТӢ КОНИ ТУРПИ ВА БОРОСИЛИКАТҶОИ АК-АРҲАР БО УСУЛИ ГУДОЗИШ БО СУЛФАТИ НАТРИЙ

Интихоби сулфати натрий ҳамчун реагент, таркиби қолибии минералҳои бор ва алюминийдоштаи мустаҳкамро вайрон мекунад, ҳамаи ин чунин маъно дорад, ки дар табиат сулфати натрий васеъ паҳн шуда ва дастрас мебошад. Ғайр аз ин, ин реагент дар доираи технологӣ ба бисёр тағйироти химиявӣ тоб намеорад, аммо баъд аз қорқарди оби гудохта дар

марҳалаи гудозиши маъдан 80-90% эҳтимолияти баргардонидан мавҷуд аст, ки массаи миқдори моддаро дар доираи технологӣ кам мекунад

Натиҷаҳои таҳқиқи таъсири омилҳои физикию химиявӣ дар раванди гудозиши якҷоя ва таҷзиякунии маъдани данбурит ва нефелин бо сульфати натрий дар расми 5 нишон дода шудааст.

Таъсири ҳарорат ба гудозиш ба дараҷаи таҷзия маъдан дар интервали ҳарорати аз 600 до 1000°C охта шудааст (расми 5а). дар баробари ин омилҳои тағйирнаёбанда ин давомнокии раванди гудозиш – 40 дақ., таносуби массавии данбурит: нефелинҳои сиенитӣ нисбат ба сульфати натрий =1:1:3.5; андозаи зарраҳои ашёи хом аз 0,1 то 0,3 мм мебошад. Бо анҷом ёфтани гудозиш бо мақсади ба шакли халшаванда гузаронидани компоненти таркиби гудохта боқимондаи сахтро аввал дар об дар ҳарорати 100°C, муддати 60 дақиқа нигоҳ дошта, сипас бо кислотаи нитрати 10 - 15% коркард намудем. Дар филтрат миқдори компонентҳои ба маҳлул гузаштаре муайян намудем. Оғози таҷзияи намоёни минералҳои таркиби данбурит ва маъданҳои нефелинӣ дар ҳарорати 700°C ба мушоҳида расид, ки дар ин маврид дараҷаи компонентҳои аз таркиби ашёи хом ҷудогардида аз 55 - 75% зиёдро ташкил дод. Вале дар ин қимати ҳарорат минералҳои тобовари бор ва алюминийдошта, аз қабилҳои данбурит, гидроборатсит, албит, микроклин ва биотит ба тағйироти пурраи химиявӣ дучор намешаванд ва дараҷаи ҷудошавии оксидҳо бо ғоиз дар ҳудуди B_2O_3 - 57,1; Al_2O_3 - 75,0; Fe_2O_3 - 81,2; CaO - 63,7 қарор мегирад. Дараҷаи ҷудошавии оксиди натрий ва калий ба 58-68% мерасад. Ҳарорати оптималии гудозиши массаи реаксионие, ки дараҷаи максималии ҷудошавии қисматҳои таркиби омехтаре таъмин месозад, 950-1000°C ҳисобин мумкин аст. дар ҳудуди ин ҳарорат тағйироти сохтори данбурит ба амал меояд. Дар системаи $CaO-B_2O_3-SiO_2$ дар таносуби массавии $CaO:SiO_2=0,9-1,0$ ҳосилшавии фазаи саҳти иборат аз $CaO \cdot B_2O_3$, $CaO:SiO_2$ ва SiO_2 ба амал меояд.

Таҳқиқи ҳаматарафаи маҳсули гудозиши данбурит ҳосилшавии ин пайваستاҳоро мувофиқан бо табaddулоти зерин $CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow CaO \cdot B_2O_3 + 2SiO_2$ нишон медиҳад. Дар ҳарорати додашуда ҳамчунин ҳамаи минералҳои душворҳалшаванда, аз қабилҳои шпатҳои саҳроӣ: албит, микроклин (ортоклаз) ва дигарҳо пурра таҷзия мегарданд.

Дар ин шароит ҳамаи компонентҳои асосии таркиби ашёи хом амалан ба фазаи моеъ мегузаранд. Дараҷаи ҷудошавии компонентҳо аз 97% зиёдтар, аниқтараш B_2O_3 -98,0; Al_2O_3 -97,5; Fe_2O_3 -99,8; CaO -98,9% дод. Ҳамчунин дараҷаи ҷудошавии қисматҳои ишқорӣ таркиби ашё Na_2O , K_2O ва MgO ба 95,7-98,4% расид, яъне ҳамаи минералҳо амалан ба тағйироти химиявӣ дучор гардида, дар шакли боқимондаи саҳт танҳо оксиди силитсий, ки сохтори аморфӣ дорад ва ғашҳои гели кислотаи силикат боқӣ мемонанд.

Омили муҳимме, ки ба таҷзияи минералҳои таркиби маъдан таъсир карда, массаи воридоти маводи ашёиро дар шоҳаи технологӣ муқаррар менамояд, таносуби массавии нефелинҳои сиенитӣ ва ашёи бордоштаро

нисбат ба кислотаи сулфат ташкил медиҳад (расми 5б). Таъсири ин омил дар ҳудуди таносуби массавии ашёи бордошта: нефелинҳои сиенитӣ:сулфати натрий аз 1:1:1 то 1:1:5 таҳқиқ карда шуд. Афзудани таносуби ассавии ашё нисбат ба кислотаи сулфат дар ҳудуди аз 1:1:1 то 1:1:3 ба ҷудошавии пайдар пайи компонентҳои таркиби ғудохта оварда мерасонад, ки дар ин маврид дараҷаи ҷудошавии оксидҳо: V_2O_3 -82,0; Al_2O_3 -84,5; Fe_2O_3 -91,8; CaO -85,9% ташкил медиҳад. Дар қимати ба 1:1:3 ва 1:1:3,5 баробар будани ашё ва Na_2SO_4 дараҷаи ҷудошавии компонентҳо ба максимум расида, дар сатҳи 95-99,9% қарор мегирад. Таносуби массавии оптималии ашё ва сулфати натрий 1:1:3,5 муқаррар шудааст, ки дар ин ҳолат дараҷаи ҷудошавии оксидҳо: V_2O_3 -97,3; Al_2O_3 -98,5; Fe_2O_3 -99,9; CaO -98,4 фоизро ташкил менамояд.

Давомнокии раванди ғудозиши маъдан бо сулфати натрий дар фосилаи аз 20 то 60 дақиқа таҳқиқ гардид (расми 5в). Давомнокии раванди ғудозиш 40 дақиқаро ташкил дод, ки дар ин ҳолат таҷзияи пурраи минералҳои таркиби ашё таъмин гардид. Дараҷаи ҷудошавии компонентҳои таркиби ғудохта қиматҳои аз 96,5 то 99,9%, аз ҷумла: V_2O_3 -97,4; Al_2O_3 -98,6; Fe_2O_3 -99,9; CaO -98,8% ташкил дод. Дар ҳарорати аз 40 дақиқа зиёдтар ғузaronидани ғудозиш бинобар сабаби ҳарочоти зиёди энергетикӣ доштани ба мақсад мувофиқ нест.

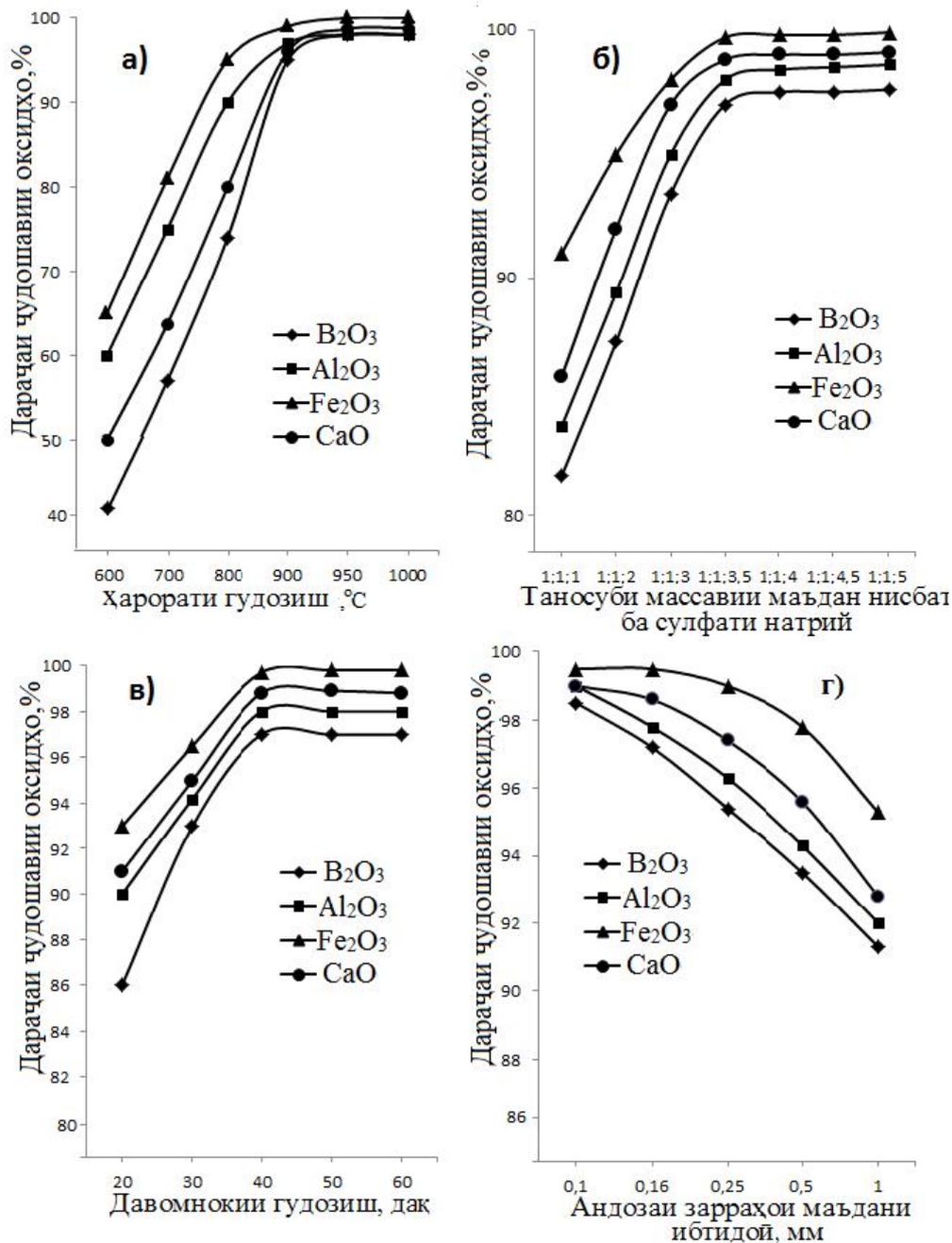
Маҳлулҳои сероби кислотаи нитрат минералҳои таркиби нефелинҳои сиенитӣ ва ашёи бордошта – нефелин, анортит, датолит, гидроборатсит, лейтсит, калтсийборит, борати магний ва дигарҳоро хуб таҷзия месозад. Ин минералҳо дар таносуби 1:12 фазаи моеъ ва саҳт (М:С) суръати баланди таҷзияшавӣ доранд. Аввалин шуда дар давоми 2-4 дақиқаи оғози таъсири реаксия минералҳои нефелин, калтсийборит, борати магний ва гранат таҷзия мешаванд. Сонӣ дар давоми 10-30 дақиқаи минбаъда датолит ва гидроборатсит то 60 - 70% таҷзия мегарданд. Дар давоми 50 дақиқа ин минералҳо пурра таҷзия мешаванд. Данбурит, амфибол, биотит, пироксенҳо, минералҳои гилин ва дигарҳо пай дар пай дар муддати 60 дақиқа ва зиёдтар аз он таҷзия мегарданд.

Аз ҷиҳати назариявӣ минералҳои микроклин (ортоклаз) ва албит дар кислотаҳо амалан ҳалнашавандаанд. Вайроншавӣ ва таҷзияи сохтори ин минералҳо ва дар маҳлул ҷудошавии компонентҳои таркибии онҳо ба табдилоти байни минералии онҳо дар раванди ғудозиш ва таъсири ғудозиш бо Na_2SO_4 , вобаста мебошад, ки ба туфайли он минералҳои ашё ба шаклҳои оби нав ва дар кислота ҳалнашаванда табдил меёбанд.

Таъсири андозаи зарраҳои ашёи данбуритӣ ва нефелинҳои сиенитӣ ба дараҷаи ҷудошавии компонентҳои таркибии онҳо дар ҳудуди аз 0,1 то 1,0 мм омӯхта шудааст (расми 5г).

Омилҳои бетағйир дар аснои таҳқиқот ҳарорати ғудозиш - 950°C , давомнокии ғудозиш - 40 дақиқа, таносуби массавии ашё нисбат ба сулфати натрий 2:3.5 ташкил медиҳанд. Дар ҳудуди ба 0,1-0,2 мм баробар будани диаметри зарраҳо таҷзияи максималии ашё ва ҷудошавии компонентҳои

гудохта аз 96 то 99 ташкил медиҳад. Ҳамин тавр, андозаи оптималии зарраҳоро 0,1-0,7 мм шуморидан мумкин аст.

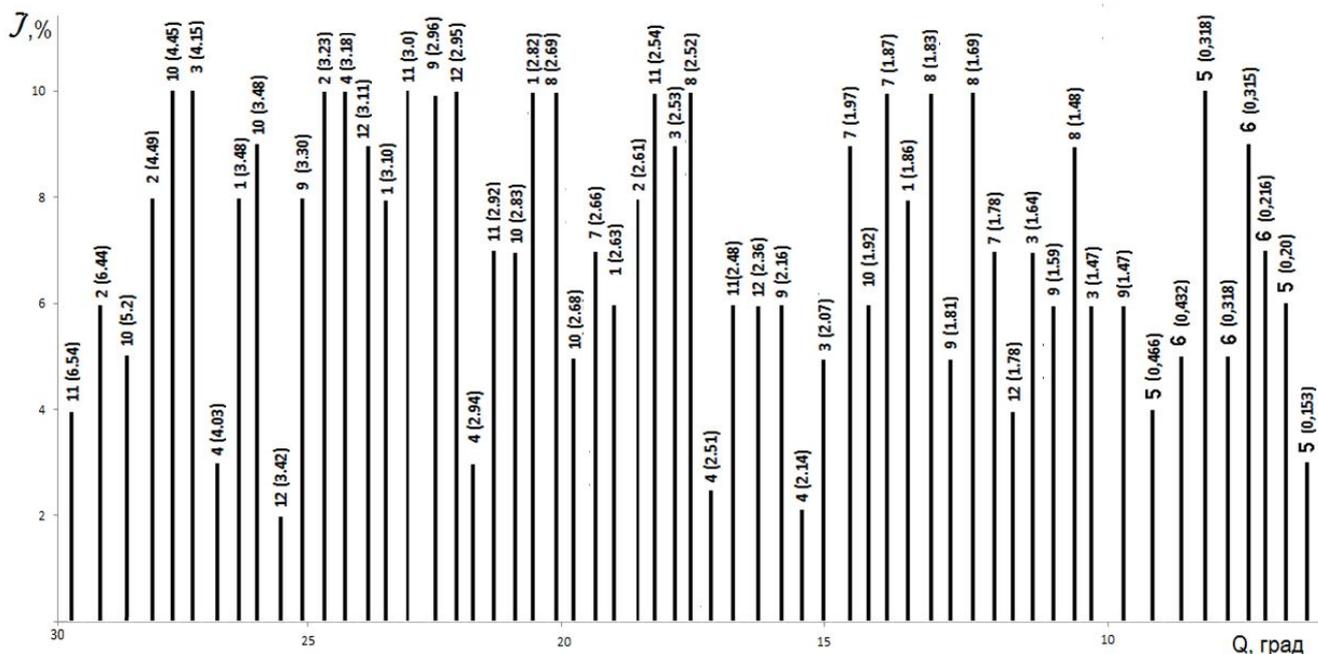


Расми 5 – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии оксидҳои бор, алюминий, оҳан ва калтсий аз ҳарорати гудозиш (а); таносуби массавии маъдан нисбат ба сулфати натрий (б); давомнокии гудозиш (в) андозаи зарраҳои маъдани ибтидоӣ

Барои муқаррар намудани таркиби химиявӣ ва минералогии гудохтаи ба дастамада гудозиши омехтаи ашёи бор ва алюминийдошта бо сулфати натрий дар шароитҳои оптималӣ: ҳарорати гудозиш - 950°C; таносуби массавии ашёи боросиликатӣ: ашёи нефелинӣ нисбат ба Na₂SO₄-1:1:2; давомнокии раванд - 50 дақиқа; андозаи зарраҳои мавод 0,16 мм ва аз он

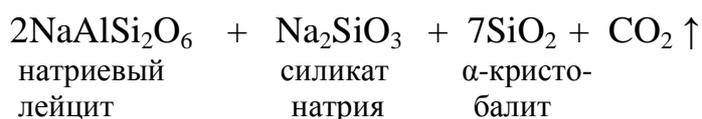
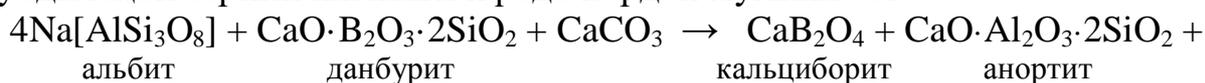
хурдтар гузаронида шуд. Гудохтаи бадастомада аз таҳлили рентгенофазавай гузаронида шуд. Рентгенограммаи гудохта дар расми 6 оварда шудааст.

Штрих-диаграммаи гудохтаи аз коркарди якҷояи нефелинҳои сиенитӣ, ашён бордошта ва сульфати натрий, ки бо методи гудозиш ҳосил шудааст, дар расми 6 тасвир гардидааст. Чи тавре аз штрих-диаграмма бармеояд, пай дар пай хатти ба минералҳои зерин хос ба мушоҳида мерасад: 1-мета-тенардит - (Na_2SO_4 – 3,48; 3,10; 2,82; 2,63; 1,86); 2-гаюин ($3\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]\cdot\text{CaSO}_4$ – 6,44; 4,49; 3,23; 2,61); 3- α -кристобалит (SiO_2 – 4,15; 2,53; 2,07; 1,64; 1,46); 4 - анортит ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ – 4,03; 3,18; 2,94; 2,51; 2,14); 5 - силикат натрия (Na_2SiO_3 – 0,47; 0,32; 0,2; 0,15); 6 - силикат калия (K_2SiO_3 – 0,43; 0,37; 0,315; 0,216); 7 - калтсиборит (CaB_2O_4 – 2,66; 1,97; 1,87; 1,78); 8 - гематит (Fe_2O_3 – 2,69; 2,52; 1,83; 1,69; 1,48); 9 - волластонит (CaSiO_3 – 3,30; 2,96; 2,16; 1,70; 1,53); 10 - диборат магния (MgB_2O_4 – 5,2; 4,45; 3,48; 2,83; 2,68; 1,92); 11-эгириин ($\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ – 6,54; 3,0; 2,92; 2,54; 2,48); 12 - лейтсит ($\text{KAl}[\text{Si}_2\text{O}_8]$ – 3,42; 3,11; 2,95; 2,36; 1,78; 1,66).



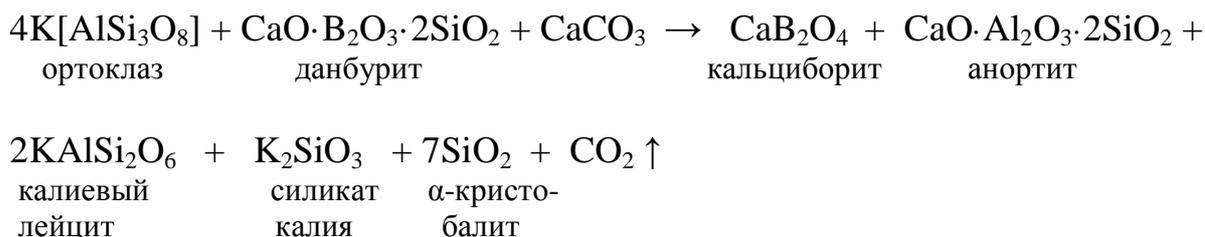
Расми 6 – Штрих-диаграммаи гудохта, ки аз коркарди борсиликатҳои Ак-Архар ва нефелинҳои сиенитӣ Турпи бо сульфати натрий ҳосилшуда (1 - мета-тенардит; 2 - гаюин; 3 - α -кристобалит; 4 - анортит; 5 - силикат натрия; SiO_3); 6 - силикат калия; 7 - кальциборит; 8 - гематит; 9 - волластонит; 10 - диборат магния; 11 - эгириин; 12 – лейтсит

Дар асоси ошкор сохтани тавсифоти рентгении минералҳои таркиби гудохта раванди таҷзияи минерали албитро ҳангоми бо Na_2SO_4 гудохтан бо муодилаҳои зерини химиявӣ ифода кардан мумкин аст:

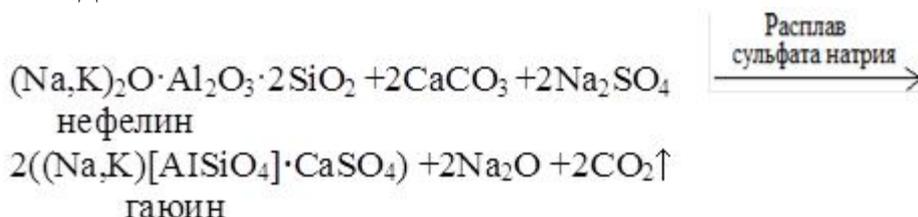


Аз ин мебарояд, ки минерали дар кислота ҳалнашавандаи албит дар аснои гудохтан ба анортит табдил меёбад, ки он дар кислотаҳои минералӣ ҳалшаванда мебошад.

Ҳамин тариқ, минерали ортоклаз (микроклин) дар гудохтаи сулфати натрий бо минералҳои данбурит ва калтсит вайрон мешавад:



Минерали нефелин ҳангоми гудозиш дар гудохтаи сулфати натрий қисман бо он ва минералҳои калсийдоштаи маъдан (CaO бандшуда ва CaCO_3) таъсири мутақобил мекунад. Масалан он бо карбонати калтсий таъсир намуда, ба пайваस्ताи дигар, чунончи ба гаюин мувофиқи реаксияи зерин табдил меёбад:



Минералҳои дигари таркиби маъдани ибтидоӣ, чунончи минерали оҳандори биотит ҳангоми гудозиш ҳамчунин вайрон гардида, оҳани таркиби он ба шакли минерали гематит табдил меёбад ва минералҳои аз таркиби кремнезем чудагардидаи албит, микроклин, ортоклаз, нефелин, биотит ба кристобалит - α - SiO_2 мубаддал мегардад. Минерали калтсит дар аснои гудозиш аз рӯи реаксияи зерин таҷзия мешавад: $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ ва калтсийи озодшуда дар ҳосилшавии минерали анортит ва дигарҳо иштирок мекунад.

Коркарди обӣ ва кислотагши гудохтаи ашӯи алюминий ва боросиликатӣ

Баъди бо сулфати натрий гудохтани маъдан сохтори минералҳо тағйир меёбад. Сулфати натрий ҳамчун реагент сохтори қолабии минералҳои алюминий ва бордоштаро вайрон месозад. Маъданҳои нефелинӣ ва бордошта бо сулфати натрий дар ҳарорати 650 - 900°C муддати 20 - 50 дақиқа гудохта шуд, сипас коркарди обии он амалӣ гардид. Мақсад аз коркарди обӣ барои итифодаи такрорӣ боз гардонидани сулфати натрий иборат буд.

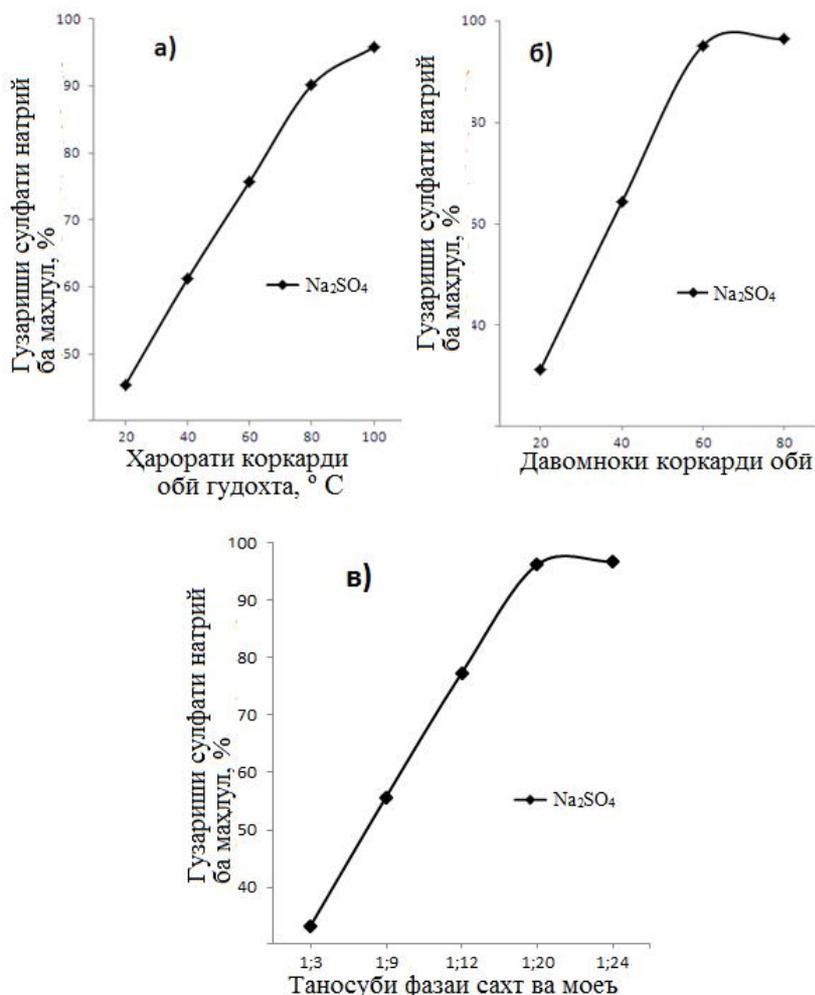
Коркарди обии гудохтаи чудошавии максималии сулфати натрийро то 94-96% таъмин месозад, яъне қисми зиёди сулфати натрий сарф намегардад ва онро ба тарҳи технологӣ дар зинаи коркарди обии гудохта баргардондан мумкин аст. Дар раванди бо сулфати натрий - Na_2SO_4 гудохтани маъдан танҳо 4-6% сульфатаи натрий талаф меёбад. Мавҷудияти минерали гаюин сабаби дар гудохтаи талафёбии Na_2SO_4 -ро равшан месозад. Чунон ҳисобидан мумкин аст, ки ин микдори сулфати натрий барои

ҳосилшавии минерали гаюин сарф мешавад, ки ба таркиби он ионҳои сулфат тибқи реаксияи зерин дохил мешаванд:



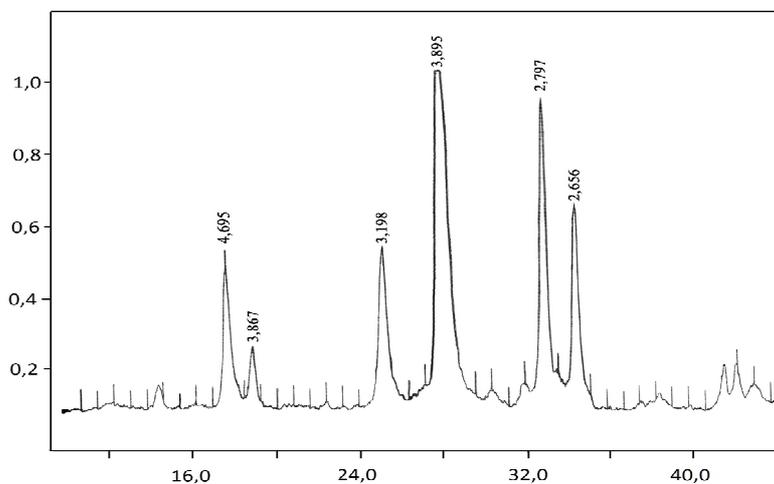
дар навбати худ Na_2O озодшуда бо дигар компонентҳои гудохта пайваст гардида, пайвастҳои нави силикатӣ ба вуҷуд меорад.

Барои тасдиқи он ки масаи асосии сулфати натрийи таркиби гудохта ба фазаи обӣ мегузарад, лойбаи аз коркарди обии гудохта ба дастмадаро филтр намуда, фазаи сахт аз фазаи моеъ ҷудо карда шуд ва маҳлул бо боқӣ мондани таҳшин бухор карда шуд. Таҳшин дар печи муфелӣ $450\text{-}550^\circ\text{C}$ хушконида, тавсифи рентгенотрии он ба даст оварда шуд.



Расми 7 – Вобастагии дараҷаи гузариши сулфати натрий ба фазаи моеъ ҳангоми коркарди обии гудохта вобаста аз омилҳои гуногуни физикӣ-химиявӣ: а) ҳарорати коркарди обии гудохта; б) давомнокии раванди коркарди обӣ; в) таносуби массавии фазаҳои сахт ва моеи лойба

Компоненти асосии фазаи моеъ метатенардит – намаки беоби сулфати натрий (расми 8) буда, фазаи сахт (боқимонда)-ро силикатҳои алюминий, бор ва оҳандоштаи металлҳои ишқорӣ ва ишқорзаминӣ, инчунин боратҳои калсий ва магнийи дар об ҳалнашаванда ва кремнеземи дар таркиби гудохтаи ибтидоӣ мавҷудбуда, ташкил медиҳанд.



Расми 8 – Рентгенограммаи сулфати натрий, ки баъди буғрони филтратаи маҳлули аз коркарди обии гудохта ҳосилшуда ба даст омадааст

Бо таъсири кислотаи нитрат таҷзияшавии гудохтаи аз коркарди якҷояи нефелинҳои сиенитӣ кони Турпи, маъдани боросиликатҳои Ак-Архар ва сулфати натрий ҳосилшуда

Таъсири омилҳои гуногуни физикӣ-химивӣ ба дараҷаи ҷудошавии компонентҳо омӯхта шуд. Натиҷаи таҷрибаҳо дар расми 9 нишон дода шудааст. Маълум шуд, ки шароити оптималии таъсири омилҳои физикӣ-химиявӣ ба раванди таҷзияи гудохта ва ҷудошавии миқдори максималии металлҳои ишқорӣ, дар асоси бо кислотаи нитрат таҷзия кардани гудохта чунин аст: консентратсияи кислотаи нитрат - 15-20%; ҳарорати таҷзияи кислотагӣ - 90-100°C; давомнокии таҷзияи кислотагӣ - 60-70 дақиқа ва миқдори кислота - 120-130% аз миқдори стехиометрии барои ҳосил кардани намакҳои нитратии натрий, калий, калтсий, алюминий, оҳан, магний ва дигарҳо мебошад. Дар ин ҳолат бор дар шакли H_2VO_3 ҷудо гардида, дараҷаи ҷудошавии он ба 97-98% мерасад.

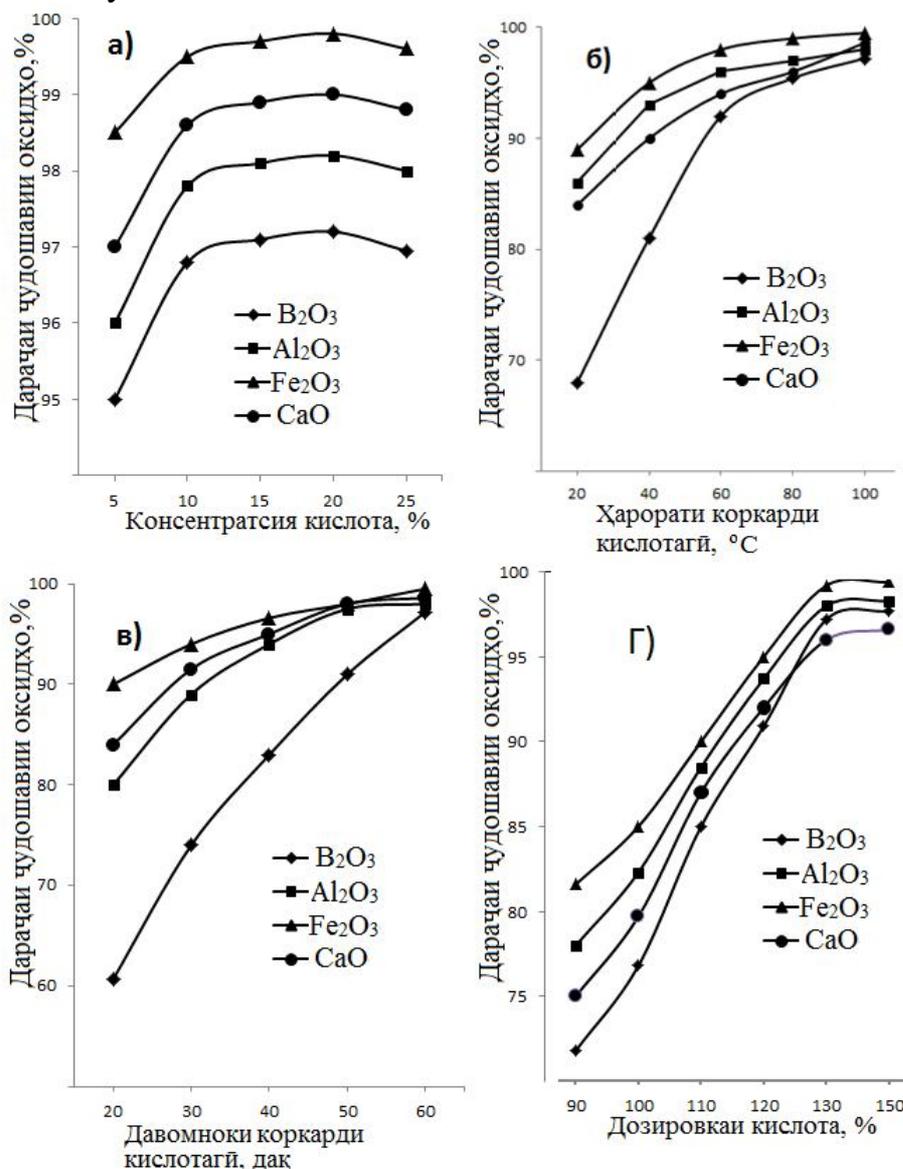
Ҳамин тариқ, гудохтаи аз коркарди нефелинҳои сиенитӣ ва ашёи боросиликатӣ ба дастомада бо таъсири кислотаи нитрат ба осонӣ таҷзия гардида, коркарди комплекси ашёро таъмин менамояд. Дар идомаи раванд боқимондаи саҳти аз коркарди обӣ ҳосилшуда бо мақсади ҷудо намудани компонентҳои таркиби он бо кислотаи нитрат коркард гардид.

Маҳсулоти аз таъсири кислотаи нитрат таҷзияшуда баъди хушконидашуда дар муҳити вакуумӣ таҳлили рентгенофазавӣ карда шуд. Таҳлили натиҷаҳо тавассути таҳлили рентгенофазавии омӯхта шуд.

Ҳамин тариқ, ошкор сохтани маҳсулоти таҷзияи кислотагии боқимондаи саҳти силикати баъди коркарди обӣ ҳосилшуда аз ҳосилшавии намакҳои кислотаи нитратии металлҳои ба таркиби маъдани ибтидоӣ дохилбуда шаҳодат медиҳад.

Шаклҳои минералогии калий, натрий, калтсий ва магний ба минералҳои селитраи калийгӣ - KNO_3 (3,77, 3,03, 2,66, 2,19, 1,96), селитраи натрийгӣ - NaNO_3 (3,03, 2,31, 1,89, 1,65, 1,46, 1,17), нитрокалтсит -

Ca(NO₃)₂·4H₂O (5,2, 3,13, 2,81, 2,32, 2,03), нитромагnezит - Mg(NO₃)₂·6H₂O (5,84, 4,43, 4,15, 3,29) мувофиқ меоянд. Дар омехтаи намакҳо бор дар шакли минерали сассолин - Н₃В₃О₃ бо тавсифоти дифраксионии зерин: 5,94, 4,23, 3,18, 2,65, 1,58 мавҷуд мебошад.



Расми 9 – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии компонентҳои таркиби гудохта хангоми бо кислотаи нитрат коркард кардани он аз: а) консентратсии кислотаи нитрат; б) ҳарорати таҷзияи кислотагӣ; в) давомнокии коркард; г) миқдори кислота

Кинетикаи гудозиши маъданҳои алюминий - ва бордошта бо сулфати натрий. Кинетикаи раванди якҷояи гудозиши маъдани нефелинҳои сиенитӣ Турпи ва маъдани бордоштаи кони Ак-Архари Тоҷикистон бо сулфати натрий дар ҳарорати аз 650 то 950°С омӯхта шуд, барои ин зарраҳои маводи ибтидоии андозаашон 0,16 мм ва он хурдтар истифода бурда шуд. Дар ин маврид таносуби массавии нефелинҳои сиенитӣ, данбурит ва Na₂SO₄ 1:1:3.5-ро ташкил дод. Пеш аз гудоختан реагентҳои ибтидоӣ дар косачаи платинагӣ то ҳосилшавии массаи якҷинса хеле хуб омехта карда

шуданд. Гудозиш дар печи муфелии СШОЛ-116.12-МЗ-У4.2, ки термопараи хромел-ккопелӣ амалӣ карда шуд. Таҷрибаҳо дар ҳар як қимати давомнокии гудозиш (дақиқа): ; 10; 20; 30; 40 и 50 гузаронида шуданд.

Баъди анҷомёбии раванди гудозиш ашё бо Na_2SO_4 , гудохтаи ба дастомада бо об ва кислотаи нитрат дар шароитҳои оптималӣ коркард шуд. Дар маҳлулҳои кислотагӣ бо усулҳои титриметрӣ ва фотометрияи шӯълагӣ миқдори дар маҳлул ҷудошудаи бор муайян карда шуд. Қачхатаҳои кинетикии ҳосилшуда дар расми 11 оварда шудаанд, ки дар он дар ҳамаи қиматҳои ҳарорат бо афзоиши давомнокии гудозиш аз 5 то 50 дақиқа ба таври монотонӣ тағйирёбии дараҷаи ҷудошавии V_2O_5 ва Al_2O_3 ба мушоҳида мерасад. Ҷудошавии максималии V_2O_5 ва Al_2O_3 дар қимати 950°C баробари ҳарорати гудозиш ва давомнокии 40 дақиқа ва аз он баландтар ба амал меояд, ки дар ин маврид дараҷаи ҷудошавии V_2O_5 дар ҳудуди 95,4-97,8% ва дараҷаи ҷудошавии Al_2O_3 дар ҳудуди 96,5-98,7% қарор мегирад.

Таҳқиқот нишон доданд, ки қачхатаҳои кинетикӣ ба таври қаноатбахш бо муодилаи Ротинян ва Б.В. Дроздов, ки барои тавсифи равандҳои пухтан, ишқорнокунӣ, обшӯӣ ва сементатсия пешниҳод шудааст, мувофиқ меоянд:

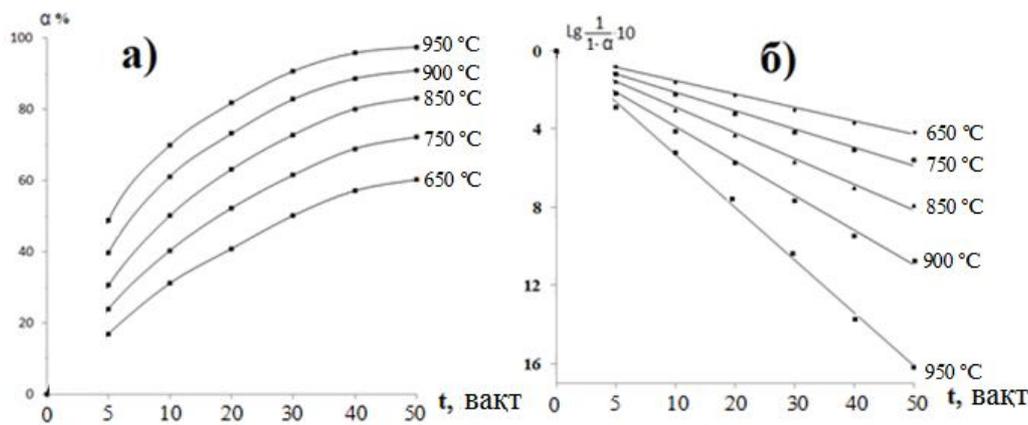
$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha} - \beta \frac{\alpha}{\tau}$$

ки дар ин ҷо: K - константаи суръати реаксия, дақиқа⁻¹; α - дараҷаи табдилот (ҷудошавии) модда, %; τ — вақти гузариши раванд, дақиқа; β - коэффитсиенти боздоштшавии реаксия.

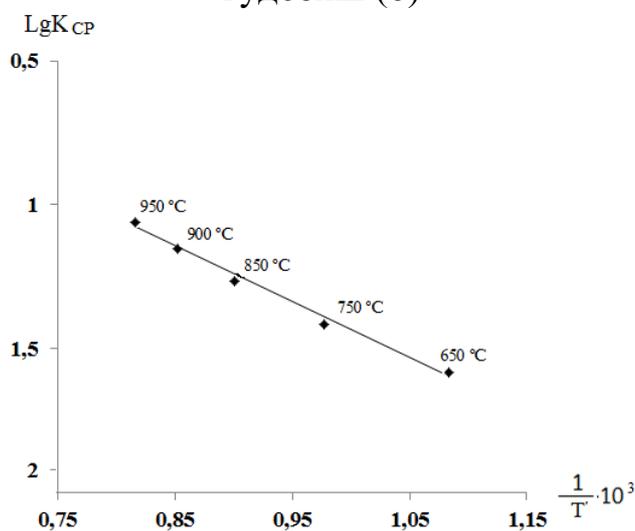
Зариби боздоштшавии реаксия ба таври графикӣ муқаррар карда мешавад. Барои ин графики вобастагии $\frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha}$ аз $\frac{\alpha}{\tau}$, сохта шуда, ҳатти рост ҳосил мегардад, ки дар ин ҳангом тангенс кунҷи моилии он ба β баробар аст. Қиматҳои ҳади коэффитсиенти боздоштшавӣ ба $\frac{1}{\alpha}$, баробар мешавад, яъне он ба $\frac{1}{\alpha}$ майл карда, вале ба ин бузургӣ баробар намешавад. Агар $\beta = \frac{\alpha}{\tau}$, бошад, пас маълум мешавад, ки $D=0$ аст ва аз ин рӯ, реаксия дар қабати сатҳии доначаҳои моддаҳои ба ҳам таъсиркунанда ба анҷом мерасад.

Дар ростхаттаи координатаҳо ҷойгиршавии натиҷаҳои эксперименталӣ $\frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha}$ аз $\frac{\alpha}{\tau}$, шартӣ қобили истифода қарор доштани муодилаи мазкур ба ҳисоб меравад.

Аз расми 12 аён аст, ки ҳамаи натиҷаҳои таҷрибавии ҳангоми гудозиши сиенитҳои нефелинӣ ва боросиликатҳо бо таъсири сульфати натрий ба дастомада ҳатти рост мебошанд.



Расми 11 – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии оксиди бор аз вақт дар ҳароратҳои гуногун (а) ва $\lg 1/1-\alpha$ аз вақт дар ҳароратҳои гуногун иривандии гудозиш (б)



Расми 12 – Вобастагии $\lg K$ аз қимати мутлақии ҳарорат ҳангоми таҷзияи маъданҳои алюминий ва бордошта

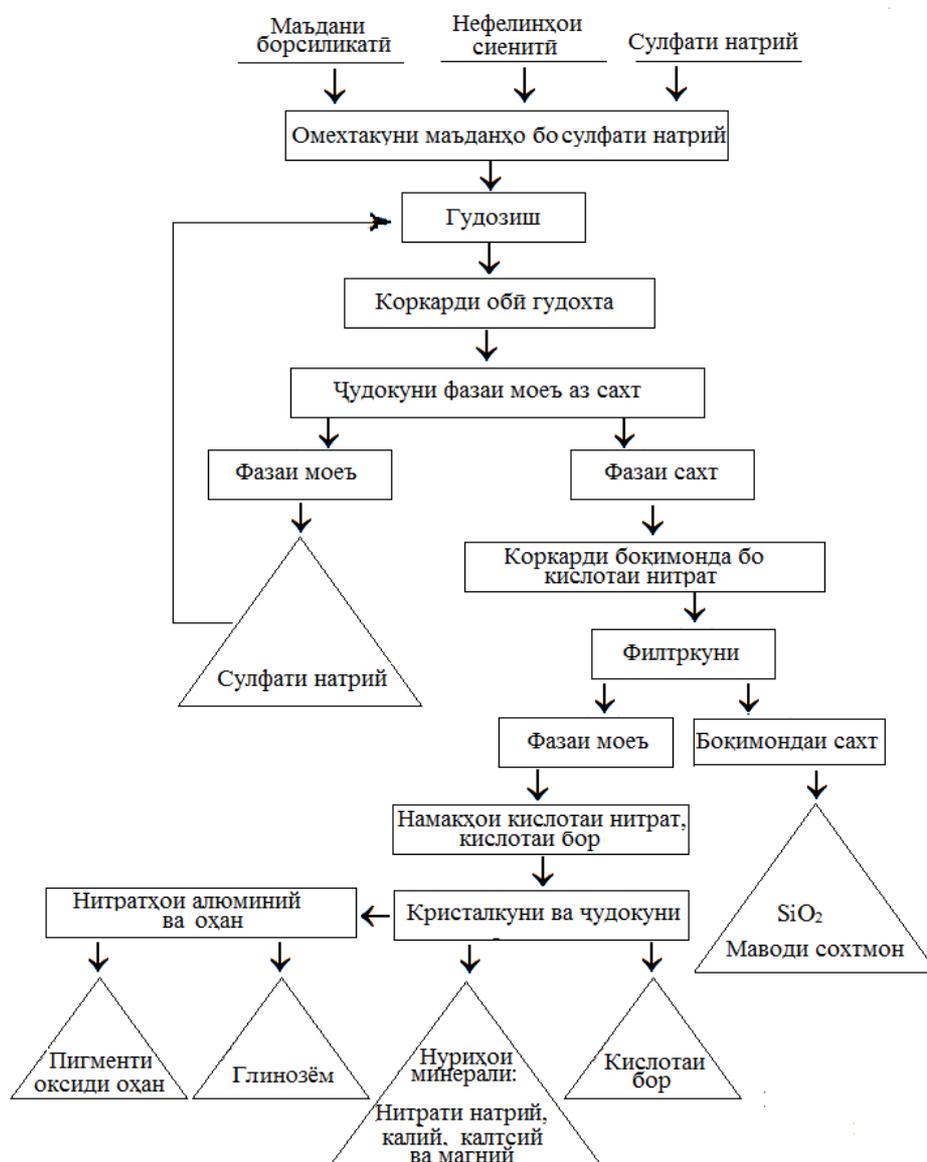
Технологияи коркарди якҷояи нефелинҳои сиенитӣ Турпи ва боросиликатҳои кони Ак-Архари Тоҷикистон бо усули гудохтан бо сулфати натрий

Коркарди якҷояи нефелинҳои сиенитӣ Турпи ва боросиликатҳои кони Ак-Архари Тоҷикистон бо усули бо сулфати натрий гудохтани онҳо таҳқиқ гардида, речаҳои оптималии иривандҳои технологияи гудозиш, коркарди обӣ ва таҷзияи кислотагии боқимондаи массаи алюминию боросиликатӣ муайян карда шуданд. Давомнокии иривандии бо сулфати натрий гудохтани маъдан фосилаи аз 20 то 60 дақиқаро дар бар мегирад. Давомнокии иривандии гудозиш ба 40 дақиқа баробар буд, ки он аз таркиби маъдан таҷзияшавии минералҳоро таъмин менамояд. Дараҷаи аз таркиби гудохта ҷудошавии компонентҳо аз 96,5 то 99,9%, аз ҷумла: B_2O_3 – 97,4; Al_2O_3 – 98,6; Fe_2O_3 – 99,9; CaO – 98,8% ташкил медиҳад. Минералҳои таркиби гудохта дар таносуби фазаҳои моеъ ва (М:С) ба 1:12 баробар буда, суръати баланди таҷзияро доро буд. Дар давоми 2-4 дақиқа оғози реаксия минералҳои калтсит, нефелин ва гранат таҷзия мегарданд. Дар тӯли 10-30 дақиқии

минбаъда датолит ва гидроборатсит то 60-70% таҷзия мешаванд. Минералҳои данбурит (пухташуда), амфибол, биотит, пироксенҳо, монтмориллонит, минералҳои гилин ва дигарҳо пай дар пай дар давоми 60 дақиқа ва зиёдтар аз он таҷзия мегарданд.

Таъсири андозаи зарраҳои ашёи данбуритӣ ва нефелинӣ ба дараҷаи ҷудошавии компонентҳои он дар ҳудуди аз 0,1 то 1,0 мм омӯхта шудааст. таносуби массавии ашё ба сулфати натрий 2:3.5 ташкил медиҳад. Дар фосилаи бузургҳои омили диаметри зарраҳои аз 0,1 то 0,2 мм будан таҷзияи максималии ашё бо ҷудошавии компонентҳои он аз 96 то 99% баробар аст.

Дар асоси таҳқиқоти гузаронидашуда ва натиҷаҳои ба даст овардашуда тарҳи принсипалии технологияи зерини коркарди якҷояи комплекси сиенитҳои нефелинии Турпи ва данбуритҳои кони Ак-Архар пешниҳод карда шуд (расми 16).



Расми 16 – Тарҳи технологияи коркарди комплекси нефелинҳои сиенитӣ ва маъданҳои боросиликатӣ бо усули бо сулфати гудохтани онҳо

ХУЛОСА

Асосҳои илми натиҷаҳои таҳқиқот:

1. Бо усулҳои дифференциалӣ-термикӣ, рентгенофазавӣ ва химиявӣ таркиби минералогӣ ва химиявии конҳои нефелинҳои сиенитӣ Турпи ва боросиликати Ак-Архари Тоҷикистон муайян карда шуд [2-М].
2. Раванди коркарди якҷояи нефелинҳои сиенитӣ, маъданҳои боросиликатӣ бо усули сульфати натрий ва таҷзияи минбаъдаи обӣ ва таъсири кислотагии гудохта омӯхта шуд. Речаҳои оптималии гузаронидани ҳар як зинаи равандҳои шоҳаи технологӣ муқаррар карда шуданд [5-М]:

- *бо сулфати натрий гудоختан:* ҳарорати гудозиш $900-950^{\circ}\text{C}$, давомнокии гудозиш 40-45 дақиқа, таносуби массавии маъдани бордошта: сиенитҳои нефелинӣ: сульфати натрий - 1:1:3.5 ва андозаи зарраҳои маъдани ибтидоӣ – 0,16 мм ва аз он хурдтар.

- *коркарди обии гудохта:* ҳарорати коркард аз 95 то 100°C дар давоми 50 дақиқа - 1 соат; таносуби массавӣ М:С аз 5:1 то 10:1, тунукии хокаи гудохта $<0,315$ мм.

- *таҷзияи кислотагии боқимондаи саҳти алюмо- ва боросиликатҳои баъди коркарди обӣ ҳосилшуда:* коркарди боқимондаи саҳт дар ҳарорати $t=100^{\circ}\text{C}$ дар давоми 1 соат, кислотаи нитрати концентрасияш аз 15 то 18%, ки ба миқдори 115% аз ҳисоби стехиометрии барои пайвастиҳои кислотаи нитратии аз таркиби маъдани пешниҳодшуда ҷудошуда гирифта шудааст.

3. Усулҳои таҳлили физикӣ-химиявии азнавҳосилшавии химиявӣ, гузариши фазавии минералҳои таркиби маъдан дар ҳар зинаи коркард: - гудозиши маъдан бо сульфати натрий, - коркарди обии гудохта ва таҷзиякунии боқимондаи саҳти бор ва алюминийсиликатӣ бо кислотаи нитрат аз коркарди обӣ [3-М].

Дар ҳар як зинаи гудозиши ашёи хоми нефелинҳои сиенитӣ, боросиликатҳои бо сульфати натрий, минералҳои душворҳалшавандаи таркиби маъдан: албит, ортоклаз, данбурит, биотит ва пироксени ба лейтсити натрий ва калийгӣ, анорти, калтсиборит, гематит, волосстонит ва дигарҳо, ки дар раванди дар кислотаҳои минералӣ дар шакли намакҳои кислотаи нитрат: селитраи KNO_3 , NaNO_3 , нитрокалтсит - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, нитромагнезит - $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ осон ҳал мешаванд, тартиб дода шудааст. Дар омехта намакҳои бор дар шакли минерали сассолин H_3BO_3 мавҷуд мебошад.

4. Раванди кинетикии гудозиши маъданҳои бор ва алюминосиликатҳо бо Na_2SO_4 омӯхта шудааст. Қимати муҳимми эҳтимолии энергияи ғаҷол ёфта шудааст, ки он ба 69,5 кҶ/мол баробар аст ва аз гузаштани раванд дар мавқеи кинетикӣ шаҳодат медиҳад. Инчунин, раванди кинетикии коркарди кислотагии боқимондаи саҳт аз коркарди обии гудохта бо таъсири кислотаи нитрат омӯхта шуда, муайян карда шуд, ки энергияи эҳтимолии раванд ба 21.10 кҶ/мол баробар аст, яъне раванд дар мавқеи диффузионӣ мегузарад [9-М].

5. Тарҳи принципалии технологии коркарди ашёи алюминий- ва борсиликатӣ тартиб дода шуда, ки он аз амалиётҳои асосии навбатӣ иборат аст: омехтакунии маъдан бо Na_2SO_4 , сӯзондан, коркарди обӣ ва кислотагӣ, чудокунии лойоба, баргашти боқимондаи Na_2SO_4 дар аввали раванди гудозиш чудошуда, коркарди кислотагии гудохта бо кислотаи нитрат, чудокунии филтратаи гилхок бо бадастории маҳсули сохтмон, кислотаи бор, нурӣ (нитратҳои калий ва калсий), ашёи хом барои ба даст овардани гилхок ва коагулянтҳо (намакҳои нитрати оҳан ва алюминий), инчунин маҳсулоти сохтмонӣ.

6. Технологии чудокунии маҳсулоти ҳангоми коркард бо ҳалкунандаи органикӣ-глитсерин ба дастомада ва муайянкуни бузургҳои гузариши раванд коркард шудааст.

Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо:

- технологияи таҳияшудаи коркарди маъданҳои нефелинҳои сиенитӣ ва борсиликатҳо ва чудокунии маҳсулоти он метавонад дар саноати коркарди ашёи хоми алюминий- ва бордошта истифода шавад.

- натиҷаҳои таҳқиқотро барои истеҳсоли маҳсулоти арзишманд аз маъданҳои бор ва алюмосиликати ба монанди кислотаи бор ва гилхок, ҳангоми коркарди технологияи комплекси маъданҳо, инчунин дар хоҷагии халқ, ҳамчун нурии минералӣ тавсия мешавад.

Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар интишороти зерин инъикос гардидааст

Мақолаҳои, ки дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и назди

Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд:

[1-М]. **Давлатов, Д.О.** Азотнокислотное разложение спека, полученного совместной переработкой нефелиновых сиенитов Турпи и боросиликатных руд Ак-Архара с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, Р. Шамсулло, Б.Ш. Назаров, А.С. Курбонов, Ш.Б. Назаров // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т.61. – № 5. – С. 470-475.

[2-М]. **Давлатов, Д.О.** Рентгенофазовый анализ спека от переработки бор - и алюмосиликатного сырья с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 3. – С. 191-197.

[3-М]. **Давлатов, Д.О.** Кислотное разложение спека от переработки бор - и алюмосиликатных руд / Д.О. Давлатов, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 4. – С. 127-132.

Мақолаҳои дар маводҳои конференсияҳо нашршуда:

[4-М]. Тагоев, М.М. Переработка боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения методом спекания / М.М. Тагоев, Э.Д. Маматов, **Д.О. Давлатов**, Д.Н. Худоёров, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Респ. науч.-практ. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 2-4.

[5-М]. **Давлатов, Д.О.** Исследование совместной комплексной переработки нефелиновых сиенитов Турпи и данбуритов Ак-Архарского месторождения методом спекания с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, М.М. Тагоев, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Респ. науч.-практ. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 45-48.

[6-М]. Назаров, Ш.Б. Применение физико-химических методов анализа для определения химических продуктов, получаемых при переработке азотнокислых растворов алюминия с карбонатом натрия / Ш.Б. Назаров, **Д.О. Давлатов**, М.М. Тагоев, У.М. Мирсаидов // Респ. конф. «Проблемы применения современных физико-химических методов для анализа и исследования веществ и материалов». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 14-18.

[7-М]. Тагоев, М.М. Пламенно-фотометрическое определение щелочных и щёлочноземельных металлов при переработке данбуритов Ак-Архарского месторождения Таджикистана / М.М. Тагоев, **Д.О. Давлатов**, Ш.Б. Назаров // Респ. конф. «Проблемы применения современных физико-химических методов для анализа и исследования веществ и материалов». Химический факультет. Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2017. – С. 34-37.

[8-М]. **Давлатов, Д.О.** Применение физико-химических методов анализа для исследования процесса вскрытия нефелиновых сиенитов Турпи и данбуритов Архарского месторождения Таджикистана / Д.О. Давлатов, М.М. Тагоев, Ш.Б. Назаров / Химический факультет, Таджикский национальный Университет, Душанбе-2017. - С.37-42.

[9-М]. **Давлатов Д.О.** Кинетика совместного спекания боро- и алюмосиликатных руд Таджикистана с сульфатом натрия / Д.О. Давлатов, Ш.Б. Назаров, Ш.Х. Савзаева, Р. Шамсулло // XV Нумановские чтения «Современное состояние достижений науки в народном хозяйстве Республики Таджикистан». Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан. – Душанбе. – 2019. – С. 20-21.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Давлатов Дилшод Облокулович дар мавзӯи
«Асосҳои физикӣ – химиявии коркарди якҷояи маъданҳои нефелинҳои
сиенитии кони Турпи ва ашёи хоми бордоштаи Ак-Архар бо усули конбиниронӣ»,
барои дарёфти дараҷаи илмии номзоди илмҳои химия аз рӯйи ихтисоси
05.17.01 – Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ

Калимаҳои калидӣ: борсиликат, алюмосиликат, ашёи хом, сульфати натрий, гудозиши якҷоя, усулҳои физикӣ-химиявӣ, коркарди кислотагӣ, коркарди обӣ, ҳисобҳои кинетикӣ, тарҳи технологӣ, таҷзиякунӣ.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда. Маводи таҳқиқот: албит, микролин, ортоклаз, данбурит, датолит ва ғайраҳо, ки дар таркиби маъдан мавҷуд аст ҳангоми гудохтан бо сульфати натрий. Таркиби маъданҳо ва таъсири онҳо дар гудохтаи сульфати натрий, байниҳам ва бо дигар минералҳои маъдан. Тавозуни моддӣ ва нақшаҳои бештар коркарди ашёи хом.

Таҳқиқоти физикию химиявии ашёи хом ва маҳсулоти коркарди онҳо дар асоси асбобҳои муосир, аз ҷумла таҳлили дифференсиалии гармидихӣ (DTA) ва усулҳои гравиметрӣ, рентген, микроскопӣ ва комплексометрии таҳлил гузаронида шуданд.

Мақсади асосии таҳқиқот аз омӯзиши равандҳои коркарди якҷояи маъданҳои алюминий ва бордошта: нефелинҳои сиенитӣ Турпи ва ашёи бордоштаи Ак-Архари Ҷумҳурии Тоҷикистон бо усули гудохтан бо сульфати натрий, муайян кардани параметрҳои нисбатан ратсионалии физикӣ-химиявӣ ва технологияи гузариши гудозиш бо таҷзияи минбаъдаи гудохтаи ба дастамада бо таъсири об ва кислотаи HNO_3 , ки дар натиҷаи онҳо аз таркиби ашёи микдори максималии маҳсули ниҳой ба даст меояд, инчунин коркарди минбаъдаи он тавассути технологияи самаранок ва бепартови коркарди маъданҳои зикргардидаи Тоҷикистон иборат мебошад.

Натиҷаҳои ҳосилшуда ва навгониҳои онҳо: асосҳои илмии равандҳои технологияи якҷоя гудохтани нефелинҳои сиенитӣ ва ашёи бордошта коркард шудаанд; параметрҳои оптималии раванди якҷоя гудохтани нефелинҳои сиенитӣ ва боросиликатҳо бо таъсири сульфати натрий муайян карда шудаанд; табдилоти физикӣ-химиявии минералҳои таркиби маъданҳо ҳангоми якҷоя бо сульфати натрий гудохтани онҳо, инчунин боқимондаи саҳти алюмо- ва боросиликатҳо, ки дар зинаи бо таъсири кислотаи нитрат таҷзияшавӣ ҳосил шудаанд, муқаррар карда шудааст; тарҳи технологияи комплекси коркард таҳия гардид, ки он ба гудохтани нефелинҳои сиенитӣ ва боросиликатҳои Тоҷикистон бо таъсири сульфати натрий асос ёфтааст.

Тавсияҳои барои истифодаи амалии натиҷаҳо:

- технологияҳои таҳияшудаи коркарди алюминий ва боросиликати ва ҷудо кардани маҳсулоти бозоргирашон дар саноати коркарди маъданҳо истифода бурда мешаванд;
- натиҷаҳои таҳқиқот барои ба даст овардани як қатор маҳсулоти арзишманд аз маъданҳои бор ва алюмосиликат, аз қабилҳои кислотаи бор ва гилҳок, инчунин дар таҳияи асосҳои технологияи коркарди комплекси ашёи хом ва инчунин дар соҳаи кишоварзӣ ҳамчун нуриҳои комплексӣ тавсия дода мешаванд.

Соҳаи истифодабарӣ: саноати химиявӣ ва соҳтмонӣ, хоҷагии халқ.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Давлатова Дилшода Облокуловича на тему
«Физико- химические основы переработки нефелиновых сиенитов Турпи и борного сырья Ак-Архара комбинированным методом», представленной на соискание ученой степени кандидата химической наук по специальности
05.17.01 – Технология неорганических веществ

Ключевые слова: боросиликат, алюмосиликат, сырьё, сульфат натрия, совместное спекание, физико-химические методы, кислотная обработка, водная обработка, кинетические расчёт, технологическая схема, разложение.

Объекты и методы исследования, использованная аппаратура. Объектом исследования: альбита, микроклина, ортоклаза, данбурита, датолита и др. в расплаве сульфата натрия. Поведение минералов и их взаимодействие в расплаве сульфата натрия как между собой, так и с другими минералов руд. Материальный баланс и приемлемее схемы переработки сырья.

Физико-химические исследование сырья и продуктов их переработки проводился на основании современных приборов, включая дифференциально термического анализа (ДТА) и гравиметрического, рентгенометрического, микроскопического и комплексонометрическим методов анализов.

Целью работы: является изучение процессов совместной переработки алюминий- и борсодержащих руд: нефелиновых сиенитов Турпи и борного сырья Ак-Архар Республики Таджикистан методом спекания с сульфатом натрия, определение оптимальных физико-химических и технологических параметров протекания спекания с дальнейшим разложением полученного спека водой и HNO_3 , в результате чего происходит максимальное извлечение конечных продуктов из сырья, с дальнейшей разработкой эффективной и безотходной технологии переработки указанных руд Таджикистана.

Полученные результаты и их новизна: разработаны научные основы технологических процессов совместного спекания нефелиновых сиенитов и борного сырья; определены оптимальные параметры совместного спекания нефелиновых сиенитов и боросиликатов с сульфатом натрия; установлены физико-химические преобразования минералов руд при их совместном спекании с сульфатом натрия, а также на стадии азотнокислотного разложения алюмо- и боросиликатного твёрдого остатка; проведена разработка комплексной технологической схемы, которая основана на спекании нефелиновых сиенитов и боросиликатов Таджикистана с реагентом сульфатом натрия.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- разработанные технологии переработки алюмо- и боросиликатного сырья и разделения их товарных продуктов можно использовать в промышленности переработке руд;
- результаты исследования рекомендуются для получения ряда ценных продуктов из бор и алюмосиликатных руды, как борная кислота и глинозём также при разработке технологических основ для комплексной переработки сырья, а также в сельском хозяйстве, как комплексное удобрение.

Область применения: химическая и строительная промышленность, сельское хозяйство.

ANNOTATION

on dissertation of Davlatov Dilshod Oblokulovich on the topic “Physico-chemical bases of processing of nepheline syenites of Turpi and boron raw materials of Ak-Arkhar by the combined method”, presented for the degree of candidate of chemical sciences, specialty 05.17.01 - Technology of inorganic substances

Keywords: borosilicate, aluminosilicate, raw materials, sodium sulfate, joint sintering, physico-chemical methods, acid treatment, water treatment, kinetic calculation, technological scheme, decomposition.

Object and research methods and used equipment. The object of the study: albite, microcline, orthoclase, danburate, datolite, and others in a sodium sulfate melt. The behavior of minerals and their interaction in the melt of sodium sulfate, both among themselves and with other ore minerals. Material balance and more acceptable schemes of processing raw materials.

Physico-chemical research of raw materials and products of their processing was carried out on the basis of modern instruments, including differential thermal analysis (DTA) and gravimetric, x-ray, microscopic and complexometric methods of analysis.

The aim of the work: is to study the processes of joint processing of aluminum and boron-containing ores: nepheline syenites of Turpi and boric raw materials Ak-Arkhar of the Republic of Tajikistan by sintering with sodium sulfate, determining the optimal physico-chemical and technological parameters of sintering with further decomposition of the obtained sinter by water and HNO_3 . As a result, there is a maximum extraction of final products from raw materials, with further development of an effective and waste-free technology for processing these ores on Tajikistan.

The results obtained and their novelty: the scientific foundations of technological processes for the joint sintering of nepheline syenites and boron raw materials are developed; the optimal parameters for the joint sintering of nepheline syenites and borosilicates with sodium sulfate are determined; the physicochemical transformations of ore minerals are established when they are sintered together with sodium sulfate, and also in stages of nitric acid decomposition of aluminum and borosilicate solid residue; a comprehensive technological scheme was developed, which is based on sintering of nepheline syenites and borosilicates of Tajikistan with a reagent sodium sulfate.

Recommendations for the practical use of the results:

- developed technologies for processing aluminum and borosilicate raw materials and separation of their marketable products can be used in the ore processing industry;
- the results of the study are recommended for obtaining a number of valuable products from boron and aluminosilicate ores, such as boric acid and alumina, also in the development of technological foundations for the complex processing of raw materials, as well as in agriculture, as a complex fertilizer.

Scope: chemical and construction industry, agriculture.

Разрешено в печать 30.03.2020 г., подписано в печать 06.04.2020 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура литературная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Донишварон».
734063, г. Душанбе, ул. Амоналная, 3/1
тел.: 915-14-45-45. E-mail: donishvaron@mail.ru