

На правах рукописи



НАЗАРОВ Фаридун Абдулхамидович

**СПЕКАТЕЛЬНО-ЩЕЛОЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА
БОРОСИЛИКАТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА**

05.17.01 – технология неорганических веществ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Душанбе – 2017

Работа выполнена в лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и отходов» Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан

Научные руководители: Назаров Шамс Бароталиевич – доктор

химических наук, заведующий лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и отходов» Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан.

Курбонов Амиршо Сохибназарович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и отходов» Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан.

**Официальные
оппоненты:**

Назаров Холмурод Марипович- доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Филиала Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ.

Ятимов Парвиз Мадаминович- кандидат химических наук, заведующего кафедрой общей химии химического факультета Курган-Тюбинского государственного университета.

Ведущая организация: Кафедра «Общая и неорганическая химия»
Таджикский технический университет
им. акад. М.С. Осими

Защита диссертации состоится «14» марта 2017 г. в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6Д. КАО-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 « _____ » _____ 2017 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н. доцент**



Обидов З.Р.

**Автор выражает искреннюю благодарность
научному консультанту работы – академику
Академии наук Республики Таджикистан
У.М. Мирсаидову за ценные советы и внимание,
проявленное к настоящей работе.**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Разработка и освоение технологии переработки минерального сырья имеет важное значение для промышленности независимого Таджикистана.

Переработка минерального сырья важна в нынешних условиях, так как она связана с решением проблем создания новых безотходных и импортозамещающих продуктов.

В настоящее время все борсодержащие продукты в республику завозятся из других стран. Хотя по запасам борного сырья Таджикистан занимает одно из ведущих мест в мире.

Поэтому рассмотрение физико-химических основ переработки боросиликатных руд месторождения Ак-Архара Таджикистана является актуальной задачей.

Борные соединения применяются в стекольном производстве, при изготовлении глазурей, эмалей, стекловолокна и других стеклоподобных материалов, отбеливающих и моющих средств. Их также широко используют для придания огнеустойчивости строительным материалам, различным видам бумаги и, в частности, материалам и тканям на основе целлюлозы. Кроме того, бор играет важную роль в жизни растений, являясь необходимым микроудобрением для подкормки растений.

Поэтому учитывая важность борсодержащих продуктов для страны, представляется целесообразным рассмотреть комплексное использование борных продуктов в одном технологическом цикле.

Ранее сотрудниками Института химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан было изучено разложение борсодержащего сырья минеральными кислотами и хлорированием. Спекательный способ переработки боросиликатных руд практически не изучен.

Поэтому разработка эффективных способов переработки боросиликатных руд спекательным методом имеет определённое значение.

Цель настоящей работы заключается в исследовании процессов, протекающих при разложении борсодержащей руды методом спекания с NaOH, поиске наиболее рациональных параметров протекания процесса разложения, исследовании кинетических параметров протекающих процессов и разработке технологических основ переработки руды.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решены следующие задачи:

- анализ борсодержащего сырья Ак-Архарского месторождения Таджикистана - химического и минералогического составов;
- исследование физико-химических свойств боросиликатных руд до обжига и после обжига;
- анализ влияния процесса обжига на процесс спекания боросиликатной руд;
- исследование кинетических параметров процесса разложения обожжённого и необожжённого борного сырья методом спекания с

NaOH;

- разработка принципиальной технологической схемы по переработке борсодержащей руды с применением гидроксида натрия.

Научная новизна работы: Исследована переработка борсодержащего сырья методом спекания с NaOH. Для процесса спекательно-щелочного разложения борсодержащего сырья выявлены механизмы протекания химических реакций, которые подтверждены результатами физико-химических методов анализа. Для переработки боросиликатного сырья разработана принципиальная технологическая схема с использованием спекательно-щелочного метода.

Практическая значимость работы.

Результаты исследования могут быть использованы при получении различных продуктов из боратных и боросиликатных руд, также при разработке технологии переработки борсодержащего сырья.

На защиту выносятся:

- результаты химических, физико-химических и минералогических исследований боросиликатного сырья, а также продуктов его разложения с помощью NaOH;
- результаты разложения исходной и обожжённой исходной боросиликатной руды спекательным методом;
- результаты разложения борного концентрата и обожжённого концентрата спеканием с NaOH;
- найденные наиболее рациональные условия процесса разложения боросиликатной руды (соотношение реагентов, продолжительность процесса и температура);
- результаты изучения кинетических процессов, протекающих при спекательном разложении боросиликатного сырья;
- результаты разработки принципиальной технологической схемы по переработке спекательным методом минерального сырья.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на: Республиканской научно-практической конференции - XII Нумановские чтения «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан» (Душанбе, 2015); Республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан» (Душанбе, 2016); VII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (Душанбе, Таджикский технический университет, 2016); II Международной научно-практической конференции «Роль молодых ученых в развитии науки, инновации и технологий» (Душанбе, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 15 работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК при президента Республики Таджикистан, а также в материалах 8 международных и республиканских конференций, получен 1 патент Республики Таджикистан на изобретение.

Вклад автора заключается в подборе и анализе научной литературы по теме диссертации, постановке задачи исследования, определении путей и методов их решения, получении и обработке большинства экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов экспериментов, формулировке основных выводов и положений диссертации.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из четырех глав, введения, заключения и выводов, представляет собой рукопись, изложенную на 104 страницах компьютерного набора, включает 13 таблиц, 41 рисунок, а также список литературы из 92 библиографических названий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе рассматриваются имеющиеся в литературе данные о щелочном и спекательном способах переработки бор- и алюмосодержащего сырья. На основании этого намечены направления собственных исследований.

Вторая глава посвящена изучению химического и минералогического составов боросиликатных руд и их концентратов с помощью РФА и химических методов анализа, проведён стехиометрический расчёт образования солей алюминия, железа и бора, а также дан термодинамический анализ процессов, протекающих при спекании боросиликатных руд с гидроксидом натрия.

В третьей главе изложены результаты исследования спекательно-щелочного способа переработки исходной и предварительно обожжённой боросиликатной руды месторождения Ак-Архар и её концентрата без предварительного обжига и после обжига. Изучена кинетика процесса спекания боросиликатных руд с гидроксидом натрия.

В четвертой главе приведены результаты исследований по разработке принципиальной технологической схемы получения борных продуктов из боросиликатных руд месторождения Ак-Архар спекательным способом с NaOH.

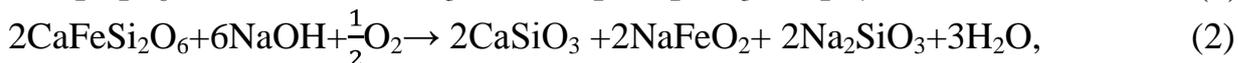
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Термодинамические характеристики реакций, протекающих при спекании боросиликатных руд с гидроксидом натрия

Боросиликатные руды месторождения Ак-Архара Таджикистана, которые являются объектами наших исследований, имеют сложный состав. Установлено, что основными рудообразующими минералами боросиликатных руд месторождения Ак-Архар являются: данбурит ($\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), датолит ($2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), пироксены

(CaO·FeO·2SiO₂), гранат (3CaO·Fe₂O₃·3SiO₂), кальцит (CaCO₃), в меньшей мере присутствует гидроборатит (CaO·MgO·3B₂O₃·6H₂O) или CaMgB₆O₁₁·6H₂O. Пустая порода представлена гипсом CaSO₄·nH₂O, глинистыми минералами (гидрослюда (Na)Al₂·(AlSi₃)·O₁₀[(OH)₂·H₂O]), монтмориллонитом ((OH)₄Si₈Al₄O₂₀·nH₂O) и кварцем SiO₂.

При переработке боросиликатных руд месторождения Ак-Архар щелочью вероятно протекание процессов разложения минералов, входящих в состав боросиликатных руд, которые выражаются следующими уравнениями:



На основе изменения энтальпии и энтропии реакций (1)-(6) были рассчитаны изменения энергии Гиббса в интервале температур 473-1223 К. Как видно из данных таблицы 1, судя по значениям энергии Гиббса, при стандартных условиях термодинамическую вероятность самопроизвольного протекания имеют реакции (1)-(3) и (5). Вероятности протекания процессов (1) и (5) способствуют энтальпийный и энтропийный факторы. Для реакции (2) доминирующим является энтальпийный фактор при отрицательном влиянии энтропийного фактора. Для реакции (3) с повышением температуры возрастает положительное влияние энтропийного фактора на вероятности протекания процесса.

Значения энергии Гиббса процессов (4) и (6) указывают на термодинамическую невозможность протекания их при стандартных условиях. Повышение температуры способствует протеканию этих процессов, но для (6) в большей степени, в силу большего значения энтропийного фактора.

Таблица 1 - Термодинамические характеристики рассматриваемых реакций

№ реакции	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·град	ΔG^0_{298} , кДж/моль
1	-135,02	69,05	-155,597
2	-395,38	-47,92	-383,1
3	-5,67	49,93	-20,5193
4	69,93	19,81	64,02662
5	-181,94	103,59	-212,81
6	83,17	159,85	35,5347

В таблице 2 приведены результаты влияния температуры на значения энергии Гиббса рассматриваемых процессов. Как видно из таблицы 2 и

рисунка 1, повышение температуры способствует протеканию всех рассматриваемых процессов, за исключением реакции (2). Для реакции (6) начало самопроизвольного протекания наступает при температуре $T=573$ К. Значение этой температуры определено по формуле $\Delta G_p^0 = \Delta H_p^0 - T\Delta S_p^0 = 0$.

Таблица 2 - Значения энергии Гиббса (ΔG^0 , кДж/моль) при различных температурах

№ реакции	ΔG^0_{473}	ΔG^0_{573}	ΔG^0_{673}	ΔG^0_{773}	ΔG^0_{873}	ΔG^0_{973}	ΔG^0_{1073}	ΔG^0_{1173}	ΔG^0_{1223}
1	-167,681	-174,586	-181,491	-188,396	-195,301	-202,206	-209,111	-216,016	-219,468
2	-374,714	-369,922	-365,130	-360,338	-355,546	-350,754	-345,962	-341,170	-338,774
3	-29,240	-34,223	-39,206	-44,189	-49,172	-54,155	-59,138	-64,121	-66,612
4	60,560	58,579	56,598	54,617	52,636	50,655	48,674	46,693	45,702
5	-230,938	-241,297	-251,656	-262,015	-272,374	-282,733	-293,092	-303,451	-308,631
6	7,561	-8,424	-24,409	-40,394	-56,379	-72,364	-88,349	-104,334	-112,327

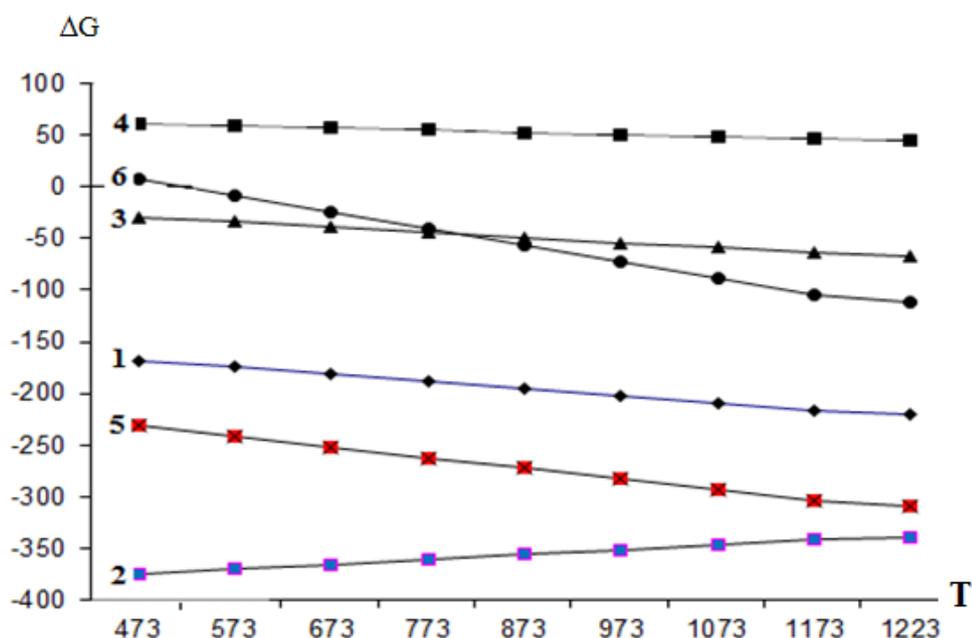


Рисунок 1 - Зависимости ΔG от температуры: 1 - данбурит, 2 - пироксены, 3 - датолит, 4 - гранат, 5 - гидрослюда, 6 – кальцит.

2. Переработка исходной боросиликатной руды методом спекания с NaOH

Результаты исследования влияния различных физико-химических факторов на степень извлечения полезных компонентов из состава исходной боросиликатной руды спеканием с NaOH приведены на рисунке 2.

Изучено влияние температуры на процесс спекания в интервале температур 200-1000°C (рисунок 2а). Установлено, что борное сырьё начинает вскрываться уже при температуре 200-250°C. Процесс спекания проводили при массовом соотношении NaOH к сырью - 2:1 в течение 60 мин. С ростом температуры степень извлечения компонентов возрастает и при 800°C составляет (в %): B_2O_3 – 67.8; Al_2O_3 - 63.5.

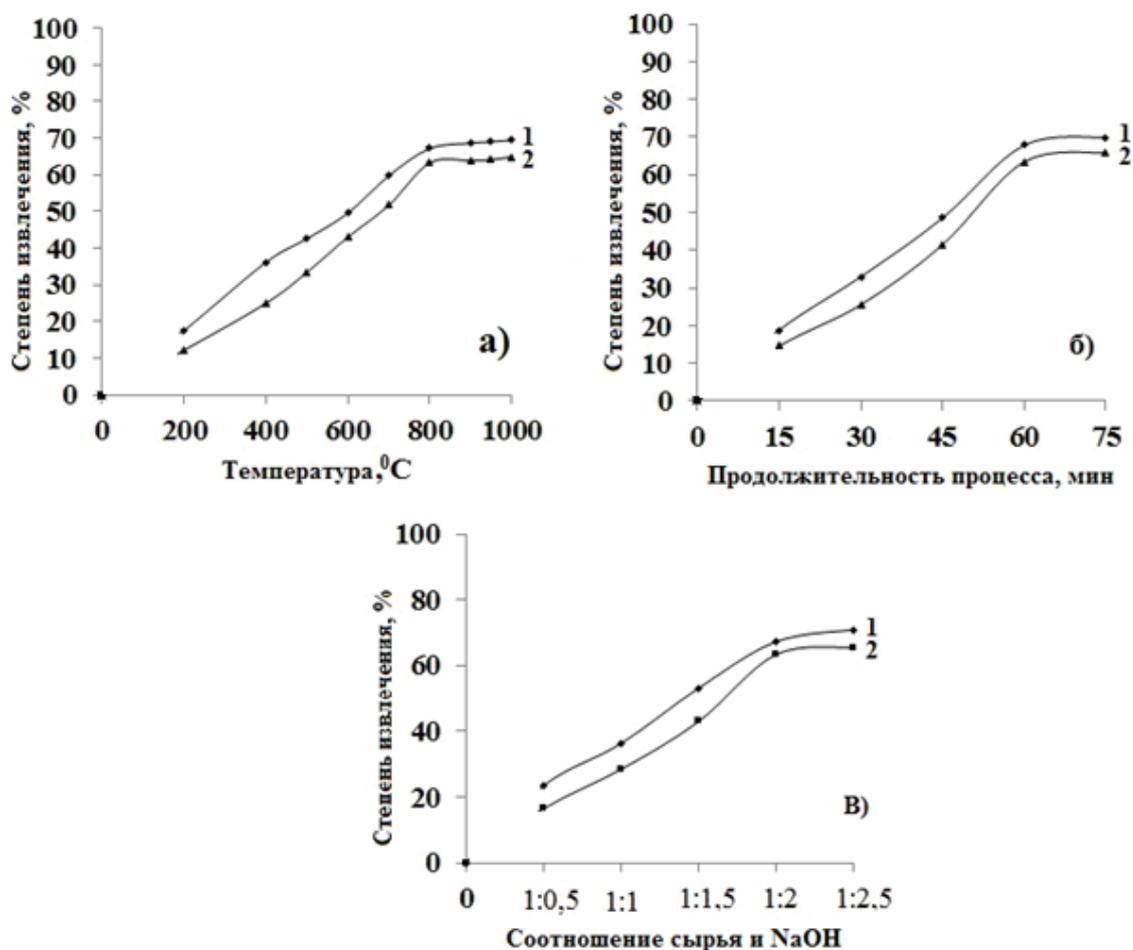


Рисунок 2 - Зависимости степени извлечения оксидов В₂O₃ (1) и Al₂O₃ (2) из состава исходной боросиликатной руды от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) соотношения сырья и NaOH.

Зависимость степени извлечения компонентов при разложении исходной боросиликатной руды от продолжительности процесса при 800°C и массовом соотношении NaOH к сырью - 2:1 показало, что уже при продолжительности процесса 15 мин с момента спекания смеси боросиликатной руды и NaOH вскрываемость сырья достигает (в %): В₂O₃ – 20.1; Al₂O₃ – 15.2 (рисунок 2б). Установлено, что при увеличении времени процесса спекания до 60 мин степень извлечения компонентов увеличивается и достигает максимального значения (в %): В₂O₃ – 68.05; Al₂O₃ – 63.5. Дальнейшее увеличение длительности процесса не привело к увеличению степени разложения оксидов.

Результаты исследования влияния массового соотношения NaOH к сырью показывают, что изменение массового соотношения от 0.5 до 2.5 существенно изменяет степень вскрытия руды. Выявлено, что оптимальным соотношением вводимых в реакцию массу компонентов является 2:1, при этом степень извлечения компонентов из состава боросиликатной руды достигает (в %): В₂O₃ – 67.2; Al₂O₃ - 63.3 (рисунок 2в).

Исходя из полученных результатов спекания боросиликатной руды с гидроксидом натрия, можно рекомендовать следующие оптимальные параметры разложения: температура спекания - 800°C, продолжительность процесса спекания – 60 мин, соотношение NaOH : сырьё - 2:1. Извлечение полезных компонентов при этих параметрах составляет (в %): B_2O_3 – 68.1; Al_2O_3 – 63.5.

3. Разложение обожжённой боросиликатной руды

Для достижения более эффективных условий разложения боросиликатной руды при совместном спекании с гидроксидом натрия, нами также был изучен процесс разложения обожжённого исходного боросиликатного сырья, результаты которого представлены на рисунке 3.

Термическую обработку исходной боросиликатной руды проводили при температуре 900-1050°C в течение 50-60 мин. При термической обработке исходной боросиликатной руды происходит ряд изменений и процесс разложения протекает быстрее с высоким выходом полезных компонентов.

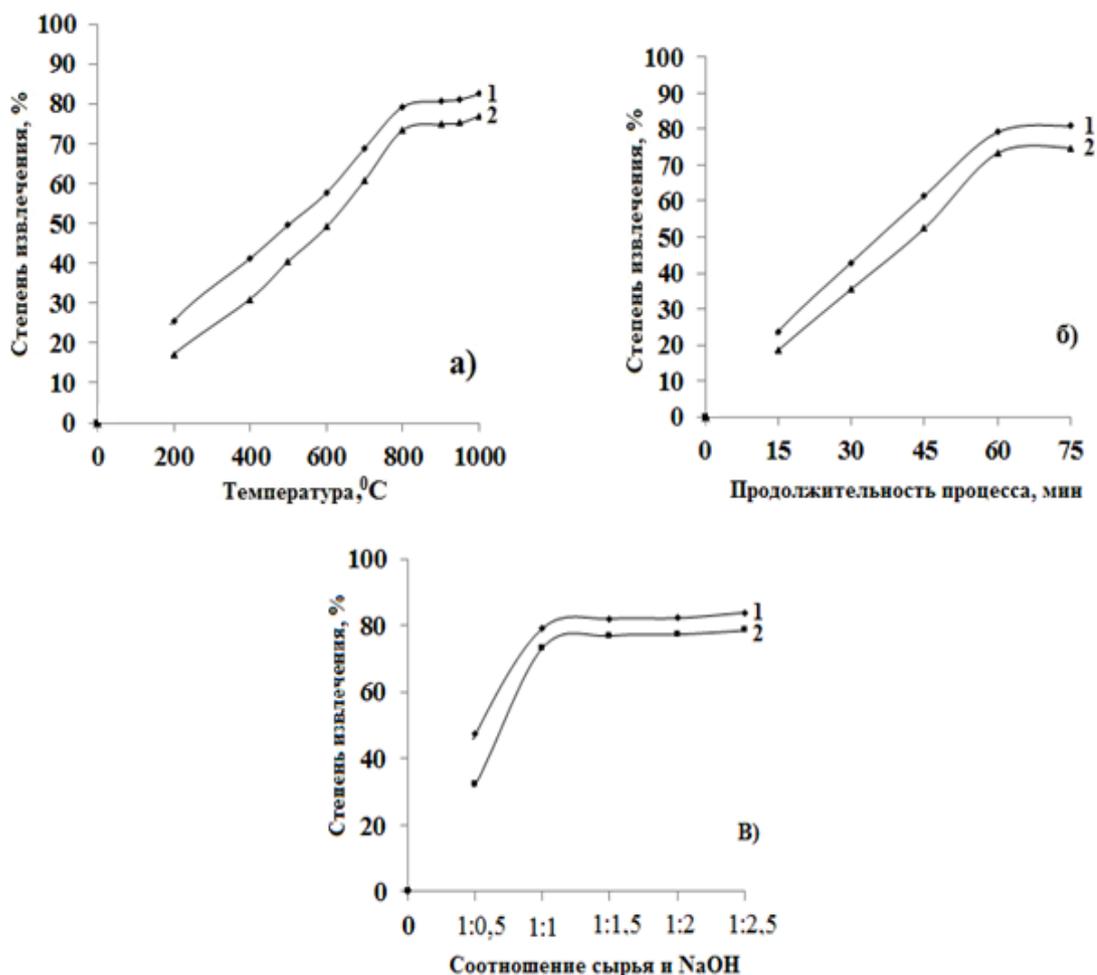


Рисунок 3 - Зависимости степени извлечения оксидов B_2O_3 (1) и Al_2O_3 (2) из состава обожжённой исходной боросиликатной руды от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) соотношения сырья и NaOH.

Из рисунка 3а видно, что степень извлечения компонентов значительно изменяется в интервале температур 200-1000°C. Максимальная степень извлечения компонентов наблюдается при температуре 800-850°C, где степень извлечения B_2O_3 и Al_2O_3 достигает (в %): 79.23 и 77.62, соответственно.

Влияние продолжительности процесса спекания показано на рисунке 3б, где неизменными факторами являются температура спекания 800°C и соотношение $NaOH$: сырьё = 1:1. Как видно из рисунка 3б, через 15 мин от начала процесса извлечение компонентов достигает более 20%. При продолжительности процесса спекания 60 мин степень извлечения B_2O_3 и Al_2O_3 составляет (в %): 81.2 и 78.8, соответственно.

На рисунке 3в приведены результаты исследования зависимости степени извлечения компонентов от массового соотношения $NaOH$: боросиликатная руда. Наиболее эффективное разложение боросиликатного сырья достигается при массовом соотношении $NaOH$: сырьё = 1:1. При таком соотношении в оптимальных условиях степень извлечения компонентов составляет: B_2O_3 – 80.1%; Al_2O_3 – 78.5%.

Исходя из полученных результатов, наиболее оптимальными параметрами спекания обожжённых боросиликатных руд являются: температура спекания - 800-850°C, продолжительность процесса спекания - 60 мин и массовое соотношение руды к $NaOH$, равное 1:1. При таких условиях степень извлечения составляет: B_2O_3 – 79.58%, Al_2O_3 – 78.43%.

4. Спекательный способ переработки концентрата борсодержащей руды в присутствии гидроксида натрия

Химический состав концентрата боросиликатной руды месторождения Ак-Архар представлен в таблице 2.1 диссертации.

Для исследования был выбран $NaOH$ марки «хч» и изучено спекание концентрата борсодержащей руды при различных параметрах технологического процесса, среди которых были выбраны основные параметры: температура и продолжительность разложения, массовое соотношение руды и $NaOH$.

Борный концентрат измельчали до размера частиц 0.1 мм. Измельченную пробу и $NaOH$ смешивали, исходя из содержания в концентрате оксидов бора, железа, алюминия и кремния с учетом превращения их в бораты, ферриты, алюминаты и силикаты натрия, с массовым соотношением 1:2 и спекали в муфельной печи. Полученный спёк растворяли в горячей воде и фильтровали, в растворе определяли содержание бора и алюминия по известной методике. Результаты исследования влияния различных факторов на степень извлечения компонентов при спекании с $NaOH$ приведены на рисунке 4.

Исследовано влияние температуры на ход реакции до 950°C. Установлено, что концентрат борсодержащих руд начинает вскрываться уже при температуре 200°C. Руду спекали с $NaOH$ в течение 1 часа. Из рисунка 4а видно, в что интервале температур 200-950°C степень извлечения оксидов

постепенно возрастает до максимальных значений: V_2O_3 – 88.7%; Al_2O_3 – 78.5%. Повышение температуры более $950^\circ C$ не привело к существенным изменениям степени извлечения оксидов. Наиболее эффективным выявлен интервал температур в пределах $900-950^\circ C$, в котором отмечена максимальная степень извлечения полезных компонентов.

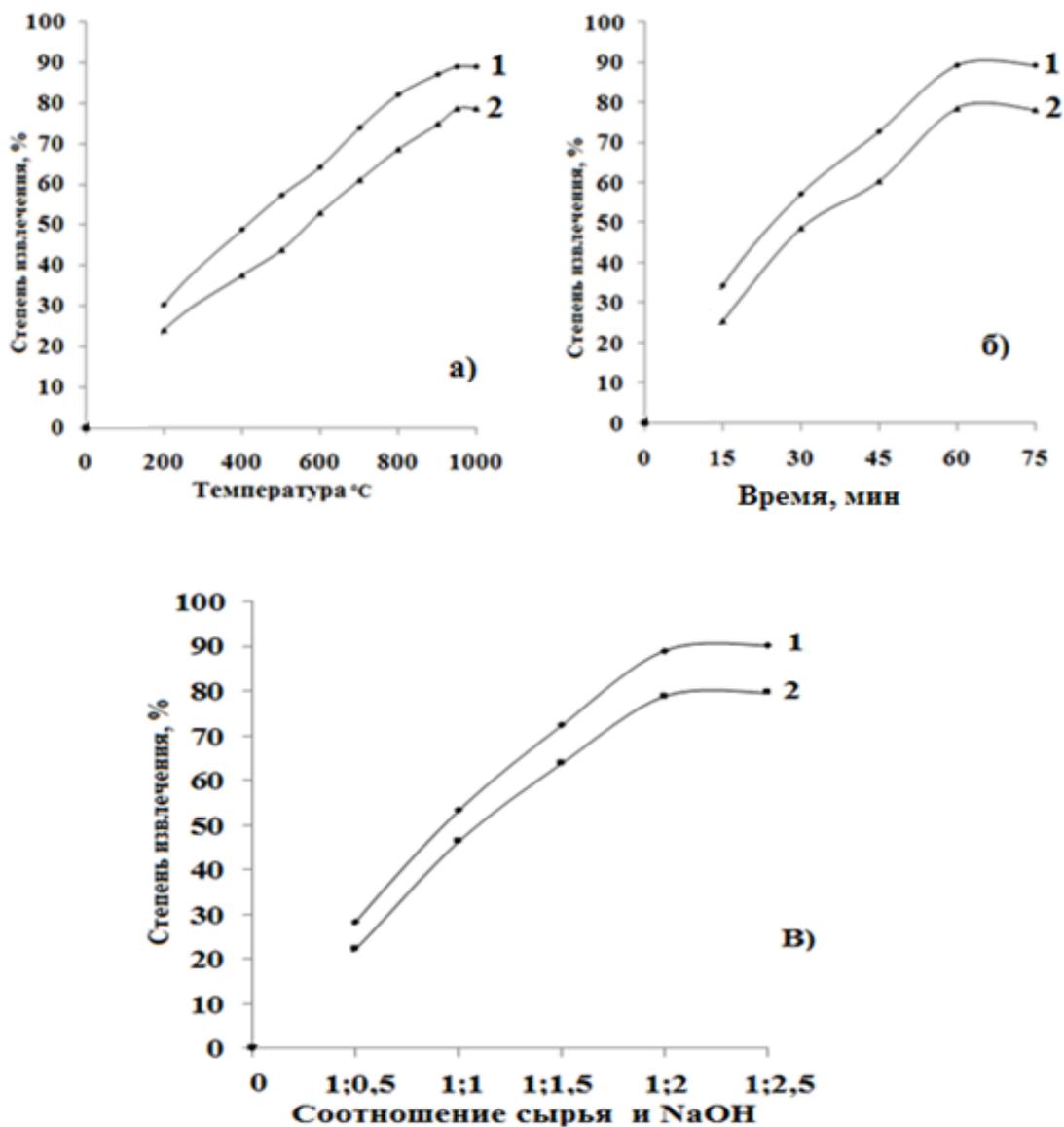


Рисунок 4 - Зависимости степени извлечения оксидов из состава концентрата борсодержащих руд от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) соотношения руды и NaOH (1 - V_2O_3 , 2 - Al_2O_3).

Зависимость степени извлечения V_2O_3 и Al_2O_3 от длительности процесса щелочного спекания была изучена в интервале времени 15-75 минут (рисунок 4б). Из рисунка 4б видно, что при оптимальной температуре ($950^\circ C$) с увеличением длительности процесса переработки до 60 мин степень извлечения оксидов из концентрата борсодержащих руд составляет: V_2O_3 – 89.9%; Al_2O_3 – 79.8%.

Важным фактором, влияющим на разложение борной руды при совместном спекании с NaOH, является массовое соотношение NaOH к сырью (рисунок 4в). Из рисунка 4в видно, что при температуре 950°C и массовом соотношении NaOH к сырью, равном 1:1, степень извлечения компонентов из сырья составляет 42-54%. При массовом соотношении NaOH к сырью, равном 2:1, степень извлечения Al_2O_3 и B_2O_3 достигает 88% и выше.

Исходя из проведенных опытов и полученных результатов, оптимальными условиями процесса разложения концентрата боросиликатной руды с NaOH можно рекомендовать следующие параметры: температура спекания - 950°C, продолжительность процесса спекания – 60 мин, соотношение NaOH : сырьё = 2:1.

5. Разложение обожжённого концентрата боросиликатных руд

Также был изучен процесс разложения обожжённого концентрата боросиликатной руды при совместном спекании с гидроксидом натрия, результаты которого представлены на рисунке 5.

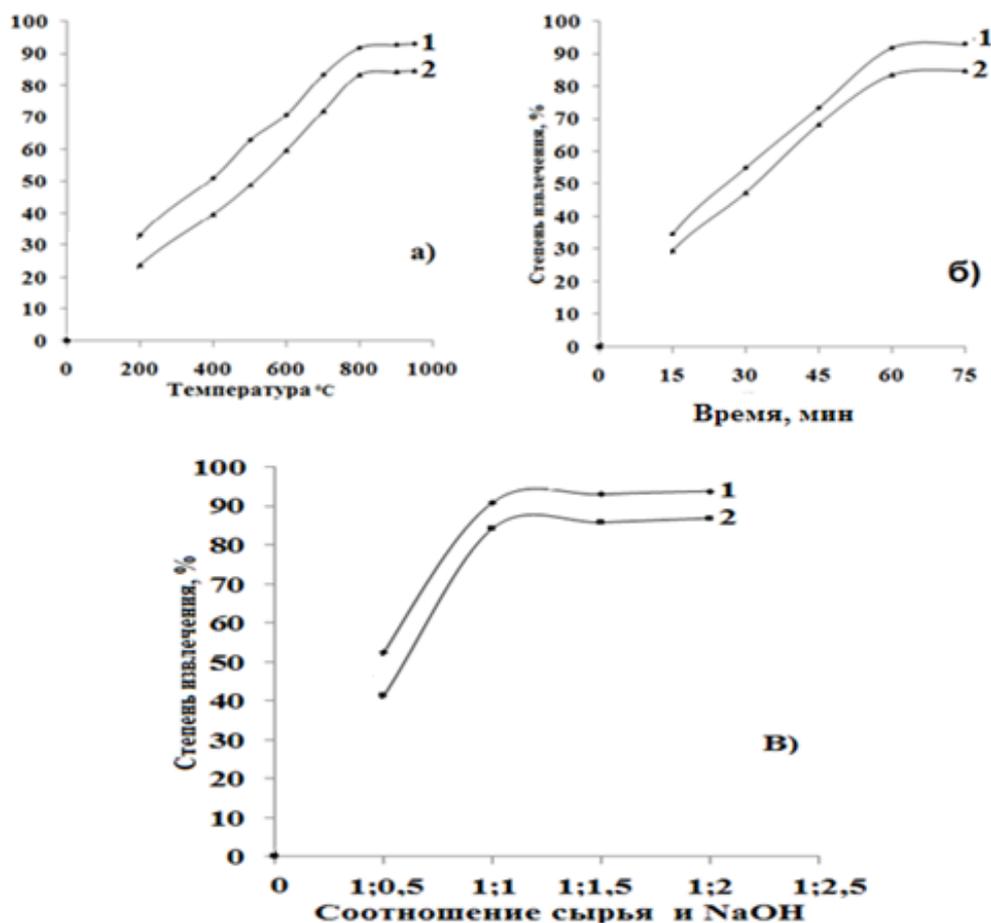


Рисунок 5 - Зависимости степени извлечения оксидов из обожжённого концентрата борного сырья от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) соотношения руды и NaOH (1- B_2O_3 , 2 - Al_2O_3).

Как видно из рисунка 5, при спекании обожжённого концентрата борной руды с гидроксидом натрия, NaOH расходуется в два раза меньше, чем при разложении необожжённой руды. При 750-800°C и массовом соотношении NaOH к сырью, равном 1:1, степень извлечения компонентов достигает максимальных значений.

Влияние температуры спекания изучено в интервале температур от 200 до 1000°C. Как видно из рисунка 5а, процесс разложения боросиликатных руд начинается при температуре выше 200°C и при 750-800°C и массовом соотношении NaOH к сырью, равном 1:1, степень извлечения компонентов из обожжённого концентрата достигает максимальных значений: B_2O_3 – 93.06%, Al_2O_3 – 84.89%.

Влияние продолжительности процесса спекания показано на рисунке 5б, из которого видно, что продолжительность процесса спекания до 60 мин при 750-800°C и массовом соотношении NaOH : сырьё = 1:1 обеспечивает практически полное извлечение компонентов из состава сырья. Степень извлечения B_2O_3 и Al_2O_3 , соответственно, достигает (в%): 92.85 и 84.89.

На рисунке 5в приведены результаты влияния массового соотношения сырья и NaOH на степень разложения боросиликатной руды при спекании.

При температуре 800°C и массовом соотношении NaOH : сырьё = 1:1 степень извлечения компонентов сырья превышает 90%.

Таким образом, для эффективного разложения обожжённых боросиликатных руд при спекании с NaOH можно рекомендовать следующие параметры: температура спекания 750-800°C, продолжительность процесса спекания 60 мин, массовое соотношение руды к NaOH равно 1:1. При таких условиях в раствор переходит 91.58% B_2O_3 и 85.23% Al_2O_3 .

6. Кинетика процесса спекания обожжённой исходной боросиликатной руды в присутствии NaOH

Экспериментальные данные кинетики извлечения оксида бора из состава обожженной боросиликатной руды при спекании с гидроксидом натрия получены в интервале температур 400-800°C при продолжительности процесса от 15 до 75 минут (рисунок 6а). Характер кинетических кривых разложения обожженной боросиликатной руды при извлечении в раствор оксида бора указывает на то, что разложение боросиликатной руды происходит очень быстро, и в течение 60 мин при температуре 800°C извлечение составляет 79,2%.

Константы скорости разложения обожженной боросиликатной руды рассчитывали, используя кинетическое уравнение первого порядка.

На рисунке 6б приведены зависимости $\lg 1/(1-\alpha)$ от времени. Полученные экспериментальные точки при различных температурах удовлетворительно укладываются на прямой и имеют отрицательный наклон.

Кажущуюся энергию активации (E) и предэкспоненциальный множитель K_0 определили графическим методом с использованием уравнения Аррениуса.

На рисунке бв приведена зависимость логарифма константы скорости при спекательном способе разложения обожженной боросиликатной руды от величины обратной абсолютной температуры. Для определения энергии активации строили график зависимости $\lg K_{cp}$ от $(1/T \cdot 10^3)$, при этом получается прямая линия.

Как видно из рисунка бв, точки удовлетворительно укладываются на прямую линию, по наклону которой вычислена величина кажущейся энергии активации, равная 14.39 кДж/моль. Численное значение энергии активации свидетельствует о протекании процесса в кинетической области.

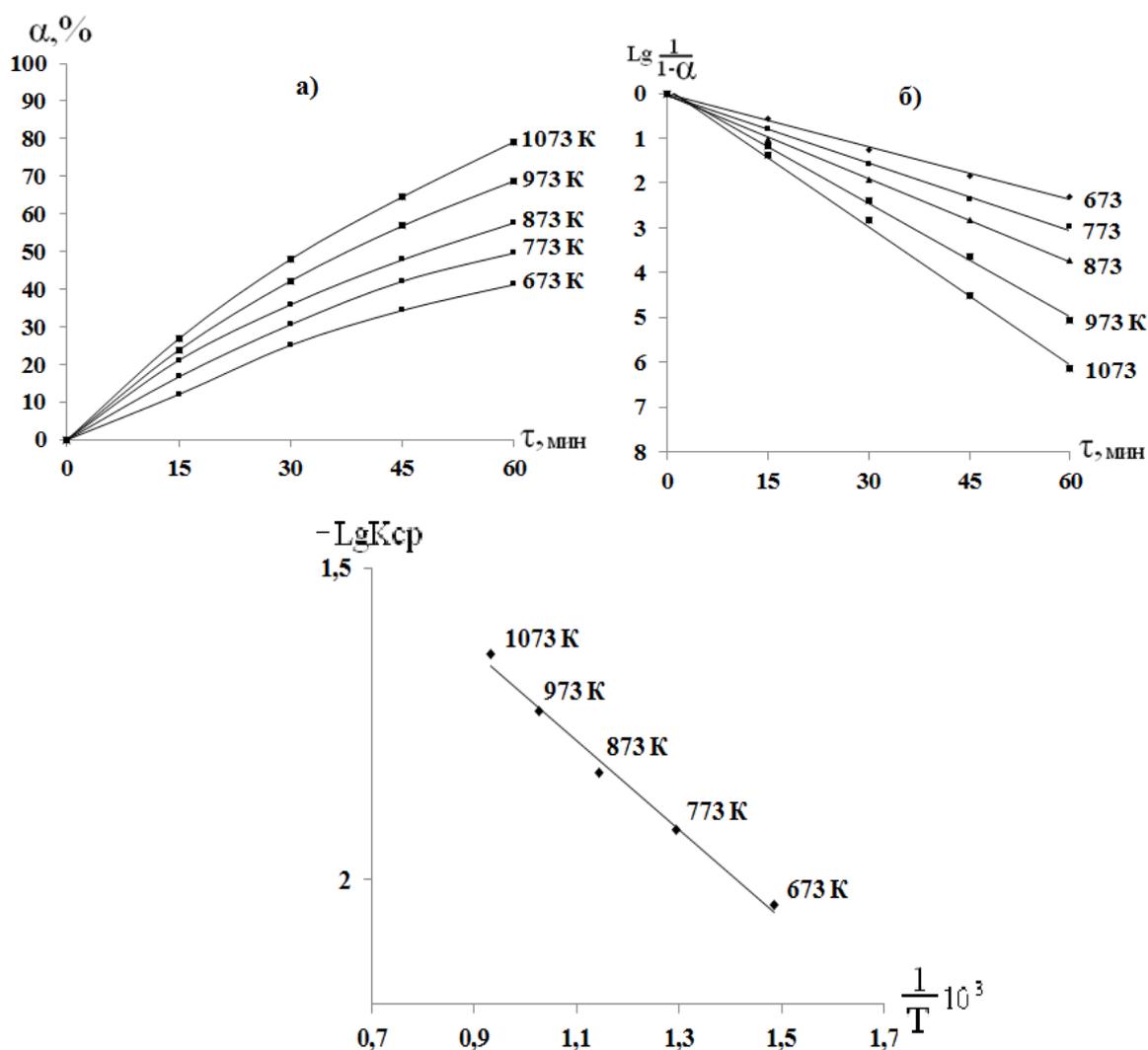


Рисунок 6 - Зависимость степени извлечения B_2O_3 от: продолжительности процесса разложения (а), зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимости $\lg K_{cp}$ от обратной абсолютной температуры $1/T \cdot 10^3$ (в) при извлечении B_2O_3 в раствор в результате спекания обожжённой исходной боросиликатной руды с NaOH.

7. Кинетика процесса спекания обожжённого боросиликатного концентрата с NaOH

Кинетика процесса спекания обожжённого боросиликатного концентрата с NaOH изучалась в интервале температур 400-850°C при продолжительности процесса от 15 до 60 минут.

На основе полученных результатов построили кинетические кривые (рисунок 7а). С увеличением температуры и продолжительности процесса спекания степень извлечения оксида бора из состава обожжённого боросиликатного концентрата значительно возрастает. Кинетические кривые до 700°C имеют практически прямолинейный характер, а при 850°C – сначала прямолинейный, а затем параболический. Максимальное извлечение B_2O_3 наблюдается при продолжительности спекания 60 мин. Кинетические кривые хорошо описываются уравнением первого порядка.

На графике зависимости $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени (рисунок 7б) полученные прямые имеют отрицательный наклон, равный $\frac{K}{2,303}$. Величину кажущейся энергии активации (E) и предэкспоненциальный множитель (K_0) определяли графическим методом с использованием уравнения Аррениуса.

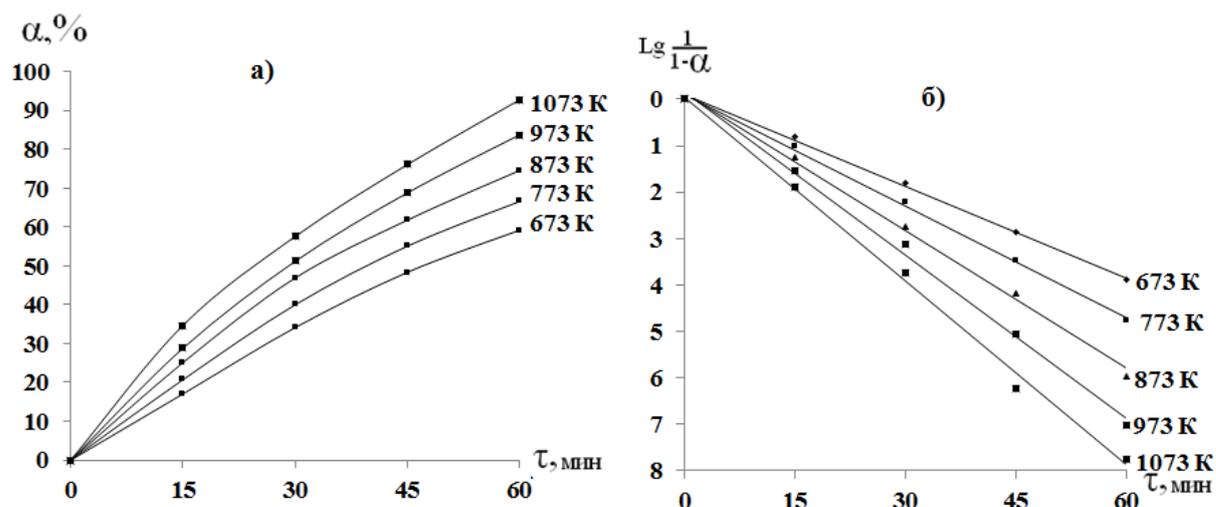


Рисунок 7 - Зависимость степени разложения оксида бора от времени (а) и $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени (б) при спекательном способе разложения обожженного боросиликатного концентрата с NaOH.

Для нахождения энергии активации и более точного определения области протекания процесса спекания построили график зависимости логарифма средних значений констант скоростей реакции от обратной абсолютной температуры, он дает прямую линию. По тангенсу угла наклона рассчитали значение энергии активации процесса (рисунок 8).

Как видно из рисунка 8, точки удовлетворительно укладываются на прямую линию, по наклону которой вычислена величина кажущейся энергии активации, равная 14,11 кДж/моль. Численное значение энергии активации и

зависимость скорости реакции от температуры и продолжительности процесса при спекательном способе разложения обожжённого боросиликатного концентрата свидетельствуют о его протекании в диффузионной области.

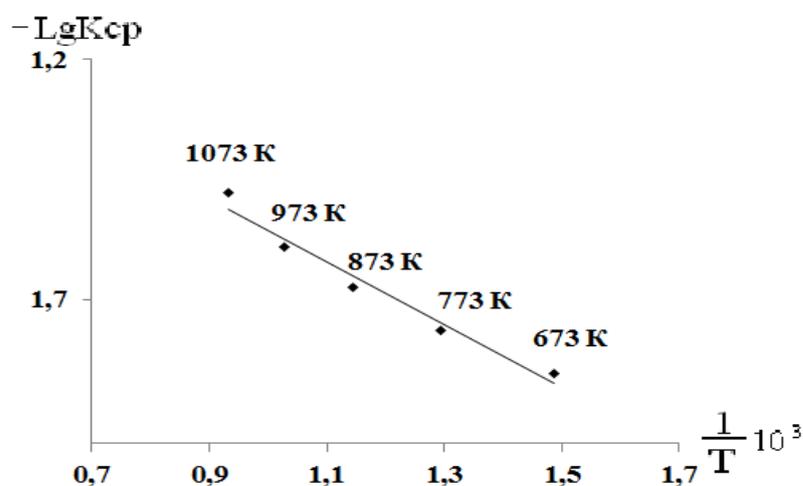


Рисунок 8 - Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры при спекательном способе разложения обожженного концентрата боросиликатной руды с NaOH.

8. Разработка принципиальной технологической схемы переработки борного сырья спекательным способом с NaOH

На основании полученных результатов спекания боросиликатных руд с NaOH и водного выщелачивания спека предложена принципиальная технологическая схема (рисунок 9).

Смесь предварительно обожжённой борсодержащей руды и NaOH в соотношении 1:1 загружается на ленточный транспортёр и направляется в реактор для спекания. После процесса спекания при температуре 750-800°C, который продолжается 60 мин, смесь направляется для измельчения до размера частиц 0,1 мм.

Затем полученный спек обрабатывают водой для разделения образовавшихся продуктов.

Водную обработку спека проводят при температуре 80°C, при этом полезные компоненты переходят в раствор, в осадке остаётся большое количество кремнезёма, который облегчает переработку раствора путём кристаллизации и разделения с получением NaBO_2 и NaAl_2O_3 .

Необходимо отметить, что при водной обработке размер частиц спека составлял 0,1 мм, соотношение жидкой и твёрдой фаз - (3:1)-(4:1). Пульпа, полученная при этом, была перекачана на нучт-фильтр, где происходило разделение жидкой и твердой фаз. В жидкую фазу переходили бор- и алюмосодержащие компоненты. Степень извлечения полученных компонентов зависит от соблюдения оптимальных параметров процесса спекания.

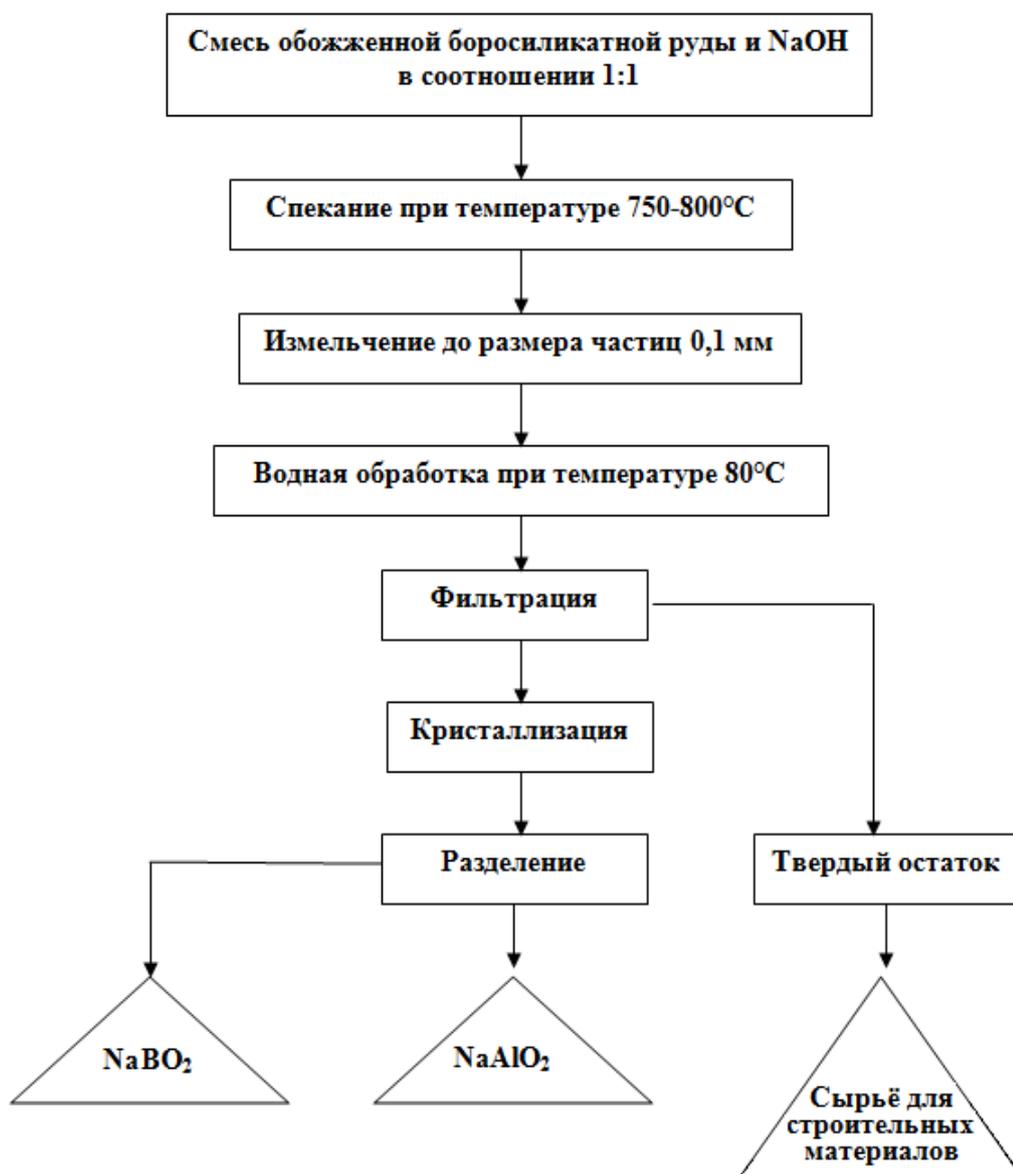


Рисунок 9 – Принципиальная технологическая схема переработки борного сырья спекательным способом с NaOH.

9. Сравнительная оценка разложения боросиликатных руд гидроксидом натрия и другими реагентами

В настоящем подразделе дана оценка процесса разложения исходного боросиликатного сырья и его концентрата гидроксидом натрия и минеральными кислотами до и после обжига.

В таблице 3 и на рисунках 10-13 систематизированы полученные экспериментальные данные по разложению боросиликатных руд минеральными кислотами - HCl , H_2SO_4 , HNO_3 и щёлочью $NaOH$.

Как видно из таблицы 3, наиболее подходящей кислотой является азотная кислота. При оптимальных параметрах разложения: температуре $95^\circ C$, продолжительности процесса 60 мин извлечение оксида бора в случае обожжённого концентрата боросиликатной руды составляет более 90%.

Обобщая данные по разложению боросиликатных руд, необходимо

отметить, что для переработки наиболее подходящим сырьём является обожжённый концентрат боросиликатной руды.

Таблица 3 - Разложение боросиликатных руд минеральными кислотами и NaOH при оптимальных параметрах

Кислоты и щелочь	Боросиликатная руда, мас%											
	исходная боросиликатная руда			обоженная боросиликатная руда			концентрат боросиликатного сырья			обоженный концентрат боросиликатного сырья		
	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
HCl , оптимальные параметры разложения: t=80-90°C, τ=60 мин, C _{HCl} =20%	9.28	35.6	28.1	53.2	64.7	42.2	48.6	79.4	-	86.7	96.2	86.4
HNO₃ , оптимальные параметры разложения: t=95°C, τ=60 мин, C _{HNO₃} =15%	17.7	49.1	20.8	75.4	86.7	68.9	28.5	59.6	34.2	93.9	98.2	84.1
H₂SO₄ , оптимальные параметры разложения: t=90-95°C, τ=60 мин, C _{H₂so₄} =20%	6.5	23.6	17.6	34.1	56.8	41.9	35.1	73.6	-	85.2	94.6	-
NaOH , спекание, оптимальные параметры: t=800°C, τ=60 мин, соотношение реагентов 1:1	67.2	-	63.3	79.2	-	73.4	88.7	-	79.8	92.8	-	85.2

Как видно из рисунков 10 и 12, при непосредственном использовании боросиликатного сырья без обжига степень извлечения борного продукта в зависимости от температуры, составляет всего 6,5-79,2 мас%.

Лучшие результаты получены при использовании обожжённого концентрата боросиликатного сырья (рисунки 11 и 13).

Результаты разложения обожженной исходной руды и обожженного концентрата руды показывают, что при разложении концентрата боросиликатной руды достигается более полное извлечение полезных

компонентов. Поэтому представляется целесообразным работать с предварительно обожжённым концентратом боросиликатной руды.

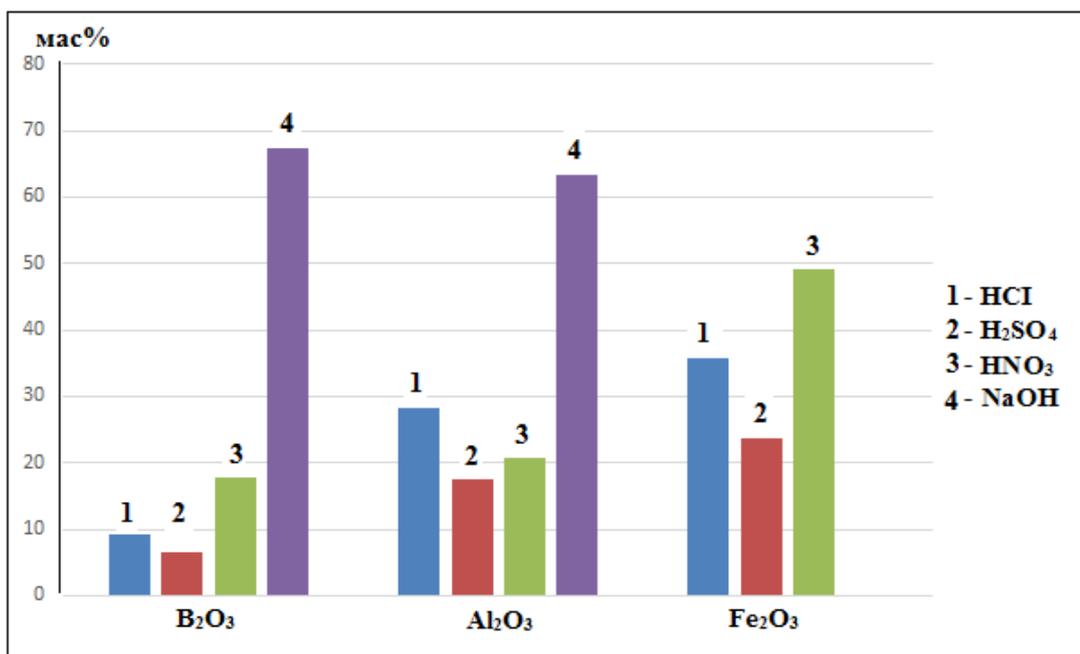


Рисунок 10 - Извлечение полезных компонентов из исходной боросиликатной руды.

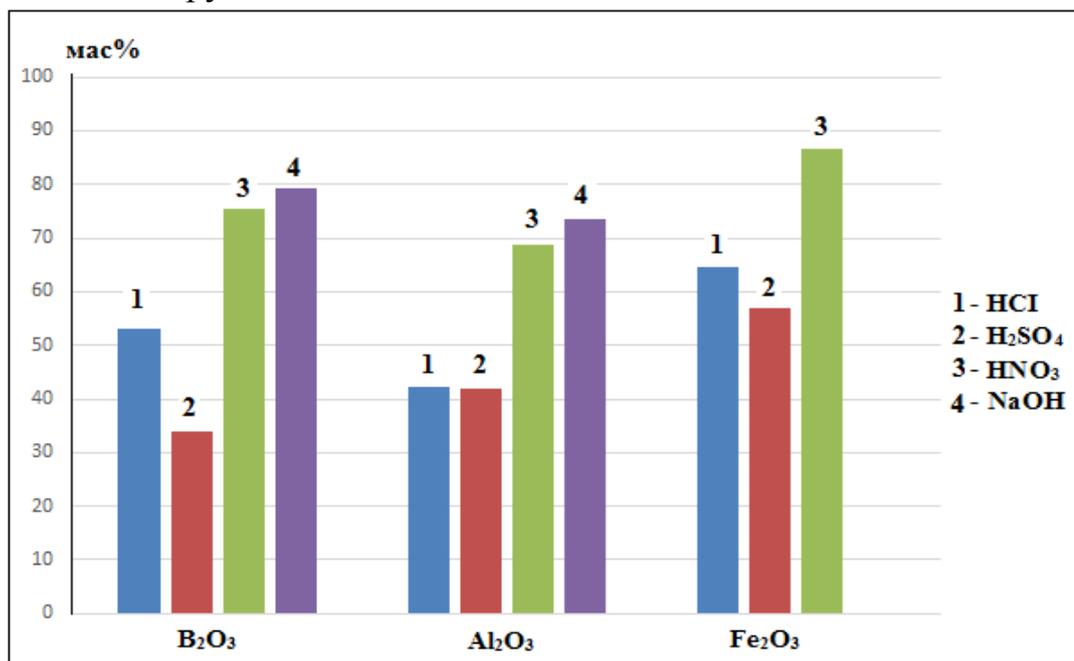


Рисунок 11 - Извлечение полезных компонентов из обожжённой боросиликатной руды.

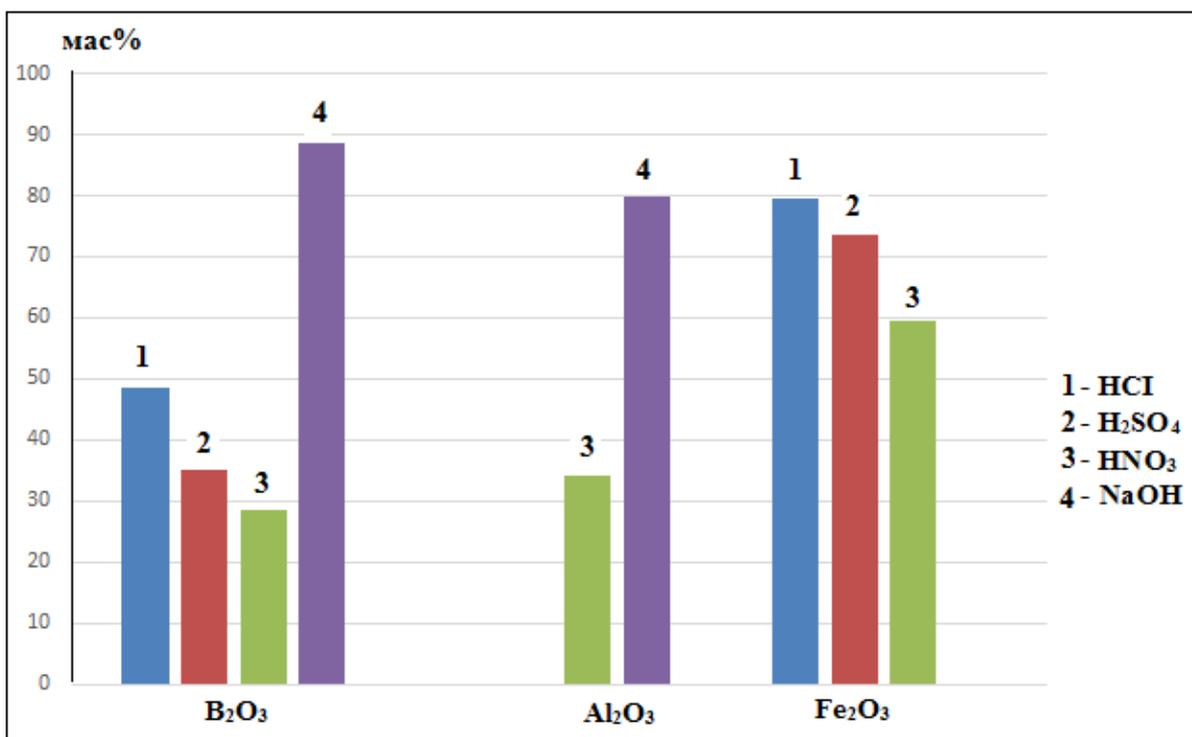


Рисунок 12 - Извлечение полезных компонентов из концентрата боросиликатной руды.

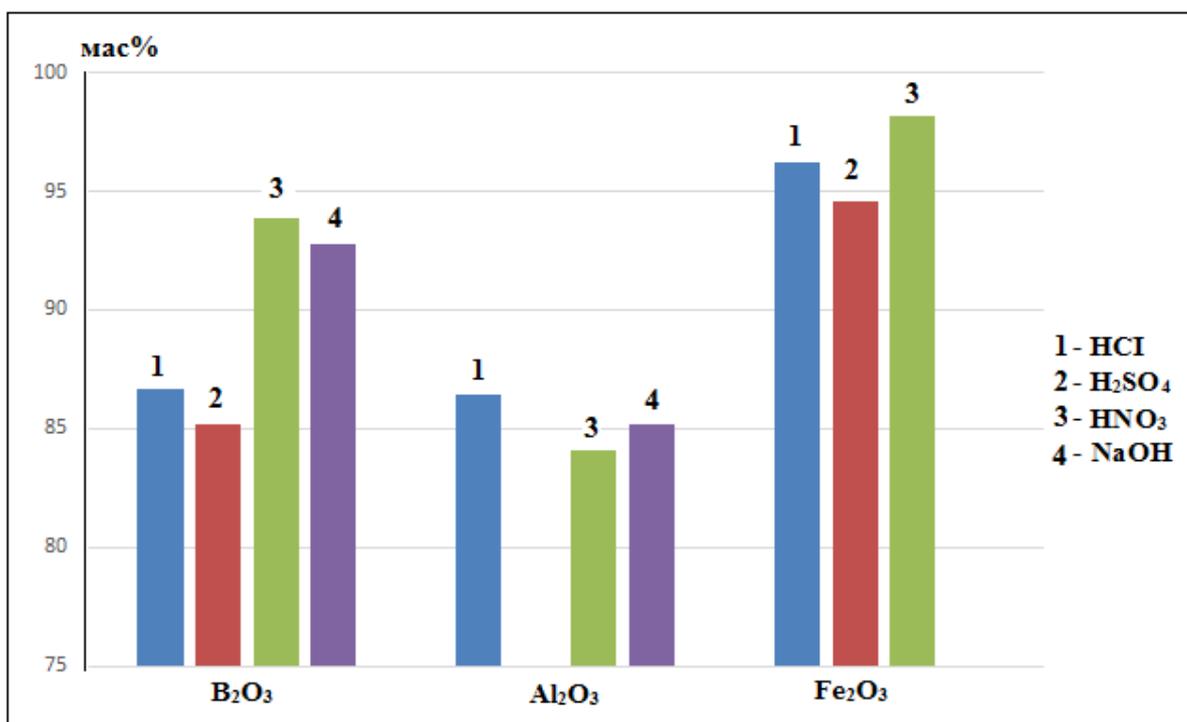


Рисунок 13 - Извлечение полезных компонентов из обожжённого концентрата боросиликатной руды.

ВЫВОДЫ

1. Различными методами анализа (ДТА, химическим и рентгенофазовым) для боросиликатного сырья месторождения Ак-Архар Таджикистана определены химический и минералогический составы. Изучено разложение исходной и обожжённой боросиликатной руды и их концентратов с использованием гидроксида натрия.
2. Найдены оптимальные параметры разложения боросиликатных руд с использованием NaOH, составившие:
для исходной руды: температура - 950°C, длительность обработки NaOH - 1 час, соотношение NaOH : сырьё - 2:1. Извлечение оксида бора при этих параметрах составило 68.1%;
для обожжённой руды: температура спекания - 800-850°C, продолжительность процесса спекания - 1 час и массовое соотношение руды к NaOH - 1:1. При таких условиях степень извлечения B₂O₃ равна 79.58%;
для концентрата руды: температура - 950°C, длительность обработки NaOH – 1 час, соотношение NaOH : сырьё - 2:1, при этих условиях степень извлечения B₂O₃ достигает более 88%;
для обожжённого концентрата: температура - 750-800°C, длительность обработки NaOH – 1 час, массовое соотношение руды к NaOH 1:1. При таких условиях в раствор переходит 91.58% B₂O₃
3. Исследована кинетика процессов разложения исходной и предварительно обожженной боросиликатной руды спеканием с гидроксидом натрия, рассчитаны значения энергии активации процессов, составившие, соответственно, 16,78 и 14,39 кДж/моль, которые показывают, что процессы протекают в диффузионной и кинетической областях, соответственно.
4. Исследована кинетика процессов разложения концентрата и обожженного концентрата боросиликатной руды спеканием с гидроксидом натрия, рассчитаны значения энергии активации процессов, составившие, соответственно, 15,10 и 14,11 кДж/моль, которые показывают, что процессы протекают в диффузионной области.
5. Разработана принципиальная технологическая схема по переработке боросиликатной руды месторождения Ак-Архар спекательно-щелочным методом, включающая следующие этапы: обжиг сырья при температуре от 900 до 950°C, спекание со щёлочью, выщелачивание водой при 80°C, фильтрация полученной пульпы, кристаллизация полученных при разложении продуктов, их разделение и высушивание.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при президента Республики Таджикистан

1. Курбонов, А.С. Оценка процесса разложения обожжённого боросиликатного концентрата минеральными кислотами и уксусной кислотой / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, З.Т. Якубов, Т.П. Рачаби, У.М. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. -2014. -№2 (159). -С 43-46.
2. Курбонов, А.С. Кинетика уксуснокислотного разложения обожжённого данбуритового концентрата / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, З.Т. Якубов, А.М. Баротов, У.М. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. -2014. -№4(157). –С.829-833.
3. Курбонов, А.С. Разложение концентрата боросиликатной руды методом спекания с хлоридом кальция / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, А.М. Баротов, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2016. –Т. 59. -№1-2. –С. 53-54.
4. Курбонов, А.С. Спекательный способ переработки концентрата борсодержащей руды Таджикистана в присутствии едкого натрия / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, Д.О. Давлатов, Дж.Х. Джураев, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. -2017. –Т.60. -№5-6. –С.242-246.
5. Курбонов, А.С. Сравнительная оценка разложения боросиликатных руд кислотами и щелочью / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, Ж.А. Мисратов, Г.У. Бахридинова, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. -2016. -№4(165). –С.71-75.
6. **Назаров, Ф.А.** Кинетика процесса спекания обожжённого боросиликатного концентрата с NaOH / Ф.А. Назаров, А.С. Курбонов, З.Т. Якубов, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. -2017. –Т.60. -№9. –С.443-446.
7. **Назаров, Ф.А.** Переработка боросиликатной руды методом спекания / Ф.А. Назаров, А.С. Курбонов, А.М. Баротов, Ш.Б. Назаров, Ж.А. Мисратов, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. –Т.60. -№7-8. –С.329-332.
8. Курбонов, А.С. Термодинамический анализ процессов, протекающих при спекании боросиликатных руд со щелочью / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. -2018. –С.
9. **Назаров, Ф.А.** Кинетика процесса спекания обожжённой исходной боросиликатной руды в присутствии NaOH / Ф.А. Назаров, А.С. Курбонов, З.Т. Якубов, Ш.Б. Назаров, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. -2018. –С.

Публикации в материалах конференций и патенты на изобретение

10. Курбонов, А.С. Разложение борного концентрата месторождения Ак-Архара Таджикистана минеральными кислотами. / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, З.Т. Якубов, Э.Д. Маматов, У.Х. Усмонова, У.М. Мирсаидов // Материалы республиканской научно-практической конференции: XII Нумановские чтения «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан». – Душанбе, 2015. –С.51-53.
11. Курбонов, А.С. Разложения боросиликатных руд минеральными кислотами / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, Э.Д. Маматов, У.Х. Усмонова, У.М. Мирсаидов // Там же. -С.53-55.
12. Худоёров, Д.Н. Принципиальная технологическая схема переработки борсодержащего сырья щелочным способом // Д.Н. Худоёров, У.М. Мирсаидов, А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, М.М. Тагоев, Э.Д. Маматов // Материалы II республиканской научно-теоретической конференции совета молодых ученых и исследователей. – Душанбе, 2016. –С.249-251.
13. Курбонов, А.С. Разложение борного концентрата методом спекания с NaOH / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, Г.У. Бахридинова, Д.О. Давлатов, У.М. Мирсаидов // Сборник материалов республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в РТ». – Душанбе, 2016. –С.120-121.
14. Курбонов, А.С. Хлорное и кислотное разложение боросиликатных руд Таджикистана / А.С. Курбонов, **Ф.А. Назаров**, З.Т. Якубов, П.М. Ятимов, У.М. Мирсаидов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования». -Душанбе, 2016. –С.23-25.
15. **Назаров, Ф.А.** Оценка разложения боросиликатных руд различными кислотами / Ф.А. Назаров, З.Т. Якубов, А.С. Курбонов, Д.Н. Худоёров, Ж.А. Мисратов // Материалы II Международной научно-практической конференции «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий». - Душанбе, 2016. –С.72-73.

Изобретения по теме диссертации

16. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 848, МПК C01B 35/12. Способ переработки боросиликатного сырья / Ф.А. Назаров; Заявитель и потентообладатель: У.М. Мирсаидов, А.С. Курбонов, А.М. Баротов, Д.О. Давлатов / №1601069; заявл. 03.10.2016; опубл. 02.10.2017, бюл. 131, 2017. -2 с.

Шарҳи мухтасар
ба рисолаи диссертатсионии Назаров Фаридун Абдулхамидович
дар мавзӯи “Коркарди маъданҳои бор-силикатии Тоҷикистон бо усули
гудохтан дар ишқор” барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои
химия аз рӯи ихтисоси 05.17.01-технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ

Мақсади таҳқиқот ин омӯзиши равандҳои таҷзияи маъданҳои боро-силикатии бо усули гудозиш бо NaOH, пайдо намудани шароити оптималии раванди таҷзия, омӯзиши кинетикаи равандҳо, тарҳрезӣ ва азхудкунии технологияи коркарди маъдан ба ҳисоб меравад.

Равандҳои коркарди маъданҳои боро-силикатӣ бо усули гудозиш бо NaOH омӯхта шуданд. Механизмҳои имконпазири реаксияҳои химиявии раванди таҷзия бо усули дар ишқор гудохтани маъданҳои бордор муайян карда шуданд, ки натиҷаи онҳо бо усулҳои физикӣ-химиявии таҳлил асоснок карда шудаанд. Нақшаи технологияи коркарди маъданҳои боро-силикатдор бо усули дар ишқор гудохтан тарҳрезӣ карда шуд.

Дар боби якум маълумотҳои дар адабиёт мавҷуд буда, оиди коркарди маъданҳои бордор ва алюминийдор бо усулҳои ишқорӣ ва гудохтан дида баромада шуда, дар асоси он самтҳои асосии таҳқиқот муайян карда шуд.

Боби дуюм ба омӯзиши таркиби химиявӣ ва минералогии маъданҳои боросиликатӣ ва ғанигардонидашудаи он бо ёрии таҳлили рентгенофазавӣ ва усулҳои химиявии таҳлилҳо бахшида шудаанд. Натиҷаи ҳисоби стехиометрии ҳосилшавии намакҳои алюминий, оҳан ва бор, инчунин таҳлили термодинамикии равандҳо зимни гудозиши маъданҳои боросиликатӣ бо ишқор оварда шудааст.

Дар боби сеюм натиҷаҳои тадқиқот бо усули дар ишқор гудохтани маъдани табиӣ боро-силикатӣ ва маъдани ғанигардонидашудаи кони Ак-Архар пеш аз пухтан ва пас аз пухтан оварда шудааст. Кинетикаи раванди гудозиши маъдани боро-силикатӣ бо гидроксиди натрий омӯхта шуд. Шароитҳои оптималии гудозиши маъдани боро-силикатии аввала ва ниҳоии пухтан бо ишқор муайян карда шуд. Параметрҳои оптималии раванди гудозиш муайян шуданд: ҳарорати гудозиш 800-850°C, давомнокии раванд 60 дақ., таносуби вазнии NaOH ва маъдан 2:1

Раванди гудозиши маъдани ғанигардонидашудаи боро-силикатӣ низ бо иштироки ишқор муайян карда шуда ва шароитҳои муфиди таҷзияи он пайдо карда шуд: ҳарорати гудозиш 800-850°C, давомнокии раванд – 60 дақ. бо таносуби вазнии NaOH ва маъдан 1:1, инчунин шароитҳои таҷзияи маъдани ғанигардонидашудаи боро-силикатии пухташуда низ муайян карда шуд, ки баромади маҳсулотнокии раванд 92,8% - ро ташкил медиҳад.

Дар рисола натиҷаи тадқиқот оиди коркарди нақшаи технологияи ба даст овардани маҳсулотҳои бордор аз маъдани боро-силикатии кони Ак-Архар бо усули гудохтан дар ишқор, ки аз зинаҳои технологияи зерин: пухтан дар 900-950°C; гудохтан бо ишқор; ҳал намудани маҳаки ҳосилшуда дар об, ҳарорати 80°C; филтрони омехтаи ҳосилшуда, ҷудокунии ва хушконидаи иборат аст, оварда шудааст.

Аз рӯи мавзӯи рисола 7 мақола дар маҷаллаҳои тақризишуда ва 8 фишурдаи мақолаҳо дар маводҳои байналмиллалӣ, дар конферонсҳои ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ нашр шудаанд, як патенти Ҷумҳурии Тоҷикистон барои ихтироот ба даст оварда шуд.

Рисола аз муқаддима, 4 боб, хотима, хулосаҳо иборат аст; дар 104 саҳифаи ҷопи компютерӣ, 41 расмҳо ва 13 ҷадвалро дар бар мегирад. Рӯйхати адабиётҳо аз 92 номгӯи иборат аст.

Калимаҳои калидӣ: маъдани боросиликатӣ, ғанигардонидашуда, усули гудохтан, NaOH омехтакунии, энергияи фаъолашавӣ, таҳлили дифференсиалӣ-термикӣ ва рентгенофазавӣ.

Резюме

На диссертационную работу Назарова Фаридуна Абдулхамидовича на тему “Спекательно-щелочная переработка боросиликатных руд Таджикистан”, представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.17.01-технология неорганических веществ

Целью работы является изучение процессов разложения борсодержащей руды методом спекания с NaOH, нахождение оптимальных параметров процесса разложения, изучение кинетики процессов и разработка технологических основ переработки руды.

Изучены процессы переработки боросиликатных руд методом спекания с NaOH. Установлены возможные механизмы химических реакций процесса спекательно-щелочного разложения борсодержащей руды, результаты которых обоснованы физико-химическими методами анализа. Разработана принципиальная технологическая схема переработки боросиликатных руд спекательно-щелочным способом.

В первой главе рассматриваются имеющиеся в литературе данные о щелочном и спекательным способы переработки борсодержащих и алюмосодержащих сырья. На основании этого намечены направления собственных исследований.

Вторая глава посвящена изучению химического и минералогического составов боросиликатных руд и их концентратов с помощью РФА и химическую методов анализов, проведён стехиометрический расчёт образования солей алюминия, железа и бора, а также дано термодинамический анализ процессов протекающих при спекании боросиликатных руд со щелочью

В третьей главе изложены результаты исследование спекательно-щелочной способ переработки исходной боросиликатной руды месторождения Ак-Архар и его концентрата без обжига и после обжигом. Изучена кинетика процесса спекания боросиликатных руд с гидроксидом натрия. Определены оптимальные условия спекания боросиликатной руды до и после предварительного обжига со щёлочью. Найдены оптимальные параметры процесса спекания: температура спекания 800-850⁰С, продолжительность процесса – 60 мин массовом соотношения NaOH к сырья 2:1

Определены условия спекания боросиликатного концентрата со щёлочью и найдены рациональные условия процесса спекания: температура спекания 800-850⁰С, продолжительность процесса – 60 мин массовом соотношения NaOH к сырья 1:1, а также условия разложения обожжённого борного концентрата, где максимальное извлечение борного продукта составило 92,8%

В диссертации приведены результаты исследований по разработке принципиальной технологической схемы получения борных продуктов из боросиликатных руд месторождения Ак-Архар спекательном способом. Разработана принципиальная технологическая схема получения борного продукта из боросиликатной руды месторождения Ак-Архар спекательно-щелочным способом, которая состоит из следующих этапов: обжиг при 900-950⁰С, спекание со щёлочью, выщелачивание водой при 80⁰С, фильтрация пульпы, кристаллизация продукта, разделение и сушка.

По теме диссертации опубликованы 7 статьи в рецензируемых журналах и 8 публикаций в материалах международных, республиканских научно-практических конференциях, получены один патента Республики Таджикистан на изобретение.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов. Изложена на 104 страницах компьютерного набора, иллюстрирована 41 рисунками и содержит 13 таблиц. Список литературы включает 92 наименований.

Ключевые слова: боросиликатная руда, концентрат, спекательный способ, NaOH, энергия активации, дифференциально-термический и рентгенофазовый анализ.

SUMMARY

on Nazarov Faridun Abdulhamidovich's dissertation < alkaline-alkaline processing of borosilicate ores of Tajikistan>, which represented for getting science by speciality 05.17.01—technology of inorganic substances

The aim of the work is to study the processes of decomposition of boron-containing ore by sintering with NaOH, finding the optimal parameters of the decomposition process, studying the kinetics of processes and developing the technological foundations for ore processing. The processes of borosilicate ore processing were studied by sintering with NaOH. Possible mechanisms of chemical reactions of the process of sintering-alkaline decomposition of boron-containing ore are established, the results of which are substantiated by physicochemical methods of analysis. A principal technological scheme for processing borosilicate ores with a sintering-alkaline method has been developed. In the first chapter, data on alkaline and caking processes for processing boron-containing and aluminous raw materials are available in the literature. Based on this, the directions of our own research are outlined. The second chapter is devoted to the study of the chemical and mineralogical compositions of borosilicate ores and their concentrates with the help of XRD and chemical analysis methods, the stoichiometric calculation of the formation of aluminum, iron, and boron salts has been carried out, and a thermodynamic analysis of the processes of sintering borosilicate ores with alkali. The third chapter presents the results of a study of the sintering-alkaline method of processing the initial borosilicate ore of the Ak-Arkhar field and its concentrate without roasting and after roasting. The kinetics of sintering of borosilicate ores with sodium hydroxide was studied. The optimum conditions for borosilicate ore sintering before and after the preliminary calcination with alkali were determined. Optimum parameters of the sintering process are found: sintering temperature 800-850°C, duration of the process - 60 minutes mass ratio of NaOH to raw materials 2: 1. The conditions for sintering of borosilicate concentrate with alkali were determined and rational conditions of the sintering process were found: the sintering temperature is 800-850°C, the process time is 60 minutes with a mass ratio of NaOH to the raw material of 1: 1, as well as the decomposition conditions of the baked boron concentrate, where the maximum recovery of the boron product was 92, 8%. In the dissertation results of researches on development of the basic technological scheme of reception of boron products from borosilicate ores of a deposit Ak-Arkhar in a caking way are resulted. A basic technological scheme for obtaining a boron product from the borosilicate ore of the Ak-Arkhar deposit by a sintering-alkaline method is developed. It consists of the following stages: baking at 900-950 ° C, alkaline sintering, leaching with water at 80 ° C, pulp filtration, crystallization of the product, separation and drying. On the topic of the thesis 7 articles were published in peer-reviewed journals and 8 publications in the materials of international, republican scientific and practical conferences, one patent of the Republic of Tajikistan for invention was obtained. The thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, conclusions. It is stated on 104 pages of a computer set, illustrated with 41 figures and contains 13 tables. The list of references includes 92 titles.

Key words: borosilicate ore, concentrate, leaching, activation energy, differential-thermal and X-ray phase analysis.

Разрешено к печати 26.10.2017с. Подписано в печать
06.12.2017с. Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.
Гарнитура литературная. Печать офсетная.
Усл.печ.л.1,75. Тираж 100 экз. Заказ №77

ОАО “Чопхонаи Дониш”: 734063,
г.Душанбе, улица Айни 299/4