

На правах рукописи



ХУДОЁРОВ ДОНИЁР НОРМАХМАДОВИЧ

**ЩЕЛОЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БОРСОДЕРЖАЩИХ
РУД ТАДЖИКИСТАНА**

02.00.01 - неорганическая химия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Душанбе – 2016

Работа выполнена в лаборатории Комплексной переработки сырья и отходов Института химии им. В.И.Никитина Академии наук Республики Таджикистан.

- Научный руководитель:** **Маматов Эргаш Джумаевич**, кандидат технических наук, зав. лабораторией комплексной переработки минерального сырья и отходов Института химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан.
- Научный консультант:** **Мирсаидов Ульмас Мирсаидович**, академик АН Республики Таджикистан
- Официальные оппоненты:** **Юнусов Музафар Мамаджонович** доктор химических наук, профессор кафедры экологии Горно-металлургического Института Таджикистан.
Бобоев Худжаназар Эшимович кандидат химических наук, зам. директора по науке Государственного учреждения «Научно-исследовательский институт металлургии» Государственного унитарного предприятия «Таджикская алюминиевая компания».
- Ведущая организация:** Таджикский педагогический университет имени С. Айни, кафедра общей и неорганической химии.

Защита состоится «__» _____ 2016 года в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 047.003.02 при Институте химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/2.

e-mail: gulchera@list.ru

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

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

**Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор химических наук,
Профессор**



Абулхаев В.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: Соединения бора (бораты) широко применяются в различных отраслях промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Разнообразное применение соединений бора связано с особыми свойствами боркислородной группы, поведением боратных ионов в водной среде, способностью образовывать устойчивые комплексные соединения и рядом других свойств.

В литературе описаны различные способы переработки борсодержащего сырья, такие как щелочные, кислотные, спекательные и экстракционные.

Ранее сотрудниками Института химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан было изучено кислотное и хлорное разложение борсодержащего сырья. Однако щелочной метод разложения борных руд для месторождения Ак-Архар Таджикистана не изучен.

В этой связи разработка эффективных способов переработки боросиликатных руд щелочным методом является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является изучение процессов разложения борсодержащей руды щелочью (NaOH), нахождение оптимальных условий получения соединений бора, изучение кинетики процессов и разработка технологических основ переработки руды.

Основными задачами исследования являются:

- определение химического и минералогического составов борсодержащего сырья Ак-Архарского месторождения Таджикистана;
- изучение физико-химических свойств боросиликатных руд до и после обжига методами химического, РФА и ДТА анализов;
- исследования процесса выщелачивания боросиликатного сырья и установления оптимальных параметров процесса разложения сырья;
- исследования механизм процесса щелочного разложения не обожжённой и обожжённой боросиликатной руды;
- разработка принципиальной технологической схемы переработки борсодержащего сырья гидроксидом натрия.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлены механизмы химических реакций процесса щелочного разложения борсодержащей руды, результаты которых обоснованы физико-химическими методами анализа;
- выявлены физико-химические механизмы влияния концентрации щелочи и времени на процессы щелочного разложения исходной и обожжённой борсодержащей руды месторождения Ак-Архар Республики Таджикистан;
- разработана принципиальная технологическая схема переработки боросиликатных руд щелочным способом для производства буре, боратов аммония и щелочных металлов.

Практическая значимость работы.

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

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты химических, минералогических, и физико-химических исследований боросиликатных руд и продуктов их разложения гидроксидом натрия;
- результаты выщелачивания боросиликатного сырья и установлении оптимальных процессов разложения;
- результаты исследований кинетики процессов щелочного разложения боросиликатных руд;
- разработка принципиальной технологической схеме разложения борного сырья гидроксида натрия.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, а также в материалах 3 международных и республиканских конференций.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: V Международной научно-практической конференции «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ» (Душанбе, 2011); республиканской научно-практической конференции: «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений» (Душанбе, 2011); семинарах «2011 год - Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана» (Душанбе, 2011).

Вклад автора заключается в постановке задачи исследования, подборе и анализе научной литературы по теме диссертации, определении путей и методов решения поставленных задач, а также в обработке большинства полученных экспериментальных данных, анализе и их обобщении, формулировке основных выводов и положений диссертации.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из 5 глав, введения, литературного обзора, *методики эксперимента* и химического анализа, разложения боросиликатных руд щёлочью и представляет собой рукопись, изложенную на 106 страницах компьютерного набора, включает 10 таблиц, 41 рисунок, а также список литературы из 111 библиографических названий.

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

В первой главе рассматриваются имеющиеся в литературе данные физико-химических характеристик исходной боросиликатной руды и её концентрата. Методы кислотного и хлорного разложения боросиликатных

руд, а также экстракционные и спекательные методы переработки борного сырья.

Вторая глава посвящена методикам экспериментов, изучению химического и минералогического составов боросиликатных руд и их концентратов, проведён стехиометрический расчёт образования солей алюминия, железа и бора, а также рассчитаны энтальпия, энтропия и энергия Гиббса реакций разложения исходной боросиликатной руды и её концентрата с раствором гидроксида натрия.

В третьей главе изложены результаты щелочного разложения исходной боросиликатной руды месторождения Ак-Архар без обжига и с обжигом. Изучена кинетика процессов разложения боросиликатных руд щелочным методом.

В четвертой главе изложены результаты щелочного разложения концентрата и обожжённого концентрата боросиликатных руд. Установлено количество извлекаемых борного продукта и других элементов в зависимости от концентрации гидроксида натрия, температуры и времени обработки боросиликатной руды.

В пятой главе приведены результаты исследований по разработке принципиальной технологической схемы получения борных продуктов из боросиликатных руд месторождения Ак-Архар щелочным способом.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Методика эксперимента и химический анализ

В настоящем разделе рассматриваются химический и минералогический составы исходной и обожжённой боросиликатной руды месторождения Ак-Архар Таджикистана.

Химический и минералогический составы необожжённой боросиликатной руды и её концентрата определялись методами химического, рентгенофазового, объемного анализов и пламенной фотометрией.

Основными компонентами борсодержащих руд Ак-Архарского месторождения являются SiO_2 , CaO и B_2O_3 . Содержание остальных компонентов в составе борсодержащих руд не превышает $\approx 4\%$. Для щелочного разложения борсодержащих руд $NaOH$ дозировали из расчёта образования солей алюминия, железа и бора. В работе изучен ДТА боросиликатных руд месторождения Ак-Архар и приводится стехиометрический расчёт $NaOH$, расходуемый при переработке борсодержащих руд.

В работе проведён расчет термодинамических величин (ΔH , ΔS и ΔG) реакций щелочного разложения борсодержащей руды и её концентрата.

Согласно уравнению $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, влияние температуры на ΔG определяется знаком и величиной ΔS . Увеличение $\Delta G > 0$ свидетельствует о

невозможности осуществления процесса и если $\Delta G = 0$, система находится в равновесии. Для установления возможности протекания реакций оксидов, входящих в состав борсодержащих руд и его концентрата, рассчитаны стандартные термодинамические величины, которые приведены в таблице 1.

Показано, что для приведенных реакций щелочного разложения оксидов, входящих в состав боросиликатных руд и их концентратов, значение ΔH_{298}^0 является отрицательным. Следовательно, есть возможность протекания этих реакций при указанных условиях.

2. Разложение исходного борсодержащего сырья едким натрием

Для установления оптимальных условий процесса разложения боросиликатных руд и их концентратов в настоящем разделе изучено разложение боросиликатных руд месторождения Ак-Архар в зависимости от концентрации едкого натрия, продолжительности процесса и температуры.

Пробу борсодержащих руд измельчали и выщелачивали. Разложение проводили в термостатированном реакторе с мешалкой. Пульпу фильтровали и промывали водой. В растворе определяли содержание бора, железа и алюминия по известной методике.

Результаты исследования разложения борсодержащих руд с едким натрием приведены на рисунке 1.

Влияние температуры. Установлено, что реакция борсодержащих руд с едким натрием является экзотермической. Изучено влияние температуры от 30 до 90°C (рис. 1а) на ход реакции. Показано, что оксиды, входящие в состав борсодержащих руд, начинают вскрываться уже при температуре 30-45°C, составляя (в %): B_2O_3 – 8,5; Fe_2O_3 – 12,75 и Al_2O_3 – 5,45. Для изучения влияния температуры на ход реакции руду обрабатывали стехиометрическим количеством 25% едкого натрия в течение 120 мин. Выявлено, что с ростом температуры степень извлечения компонентов возрастает и при 90°C составляет (в %): B_2O_3 – 18,25; Fe_2O_3 – 27,35 и Al_2O_3 – 14,25. На рисунке 1а приведены кривые зависимости степени извлечения оксидов от температуры.

Влияние длительности процесса. Зависимость степени извлечения компонентов при вскрытии борсодержащих руд от продолжительности процесса изучали при температуре 90°C и 25% едкого натрия в интервале времени от 15 до 120 мин (рис. 1б). Результаты исследования показали, что уже в течение 15 мин с момента взаимодействия едкого натрия с борсодержащей рудой степень вскрываемости оксидов достигает (%): B_2O_3 – 10,2; Fe_2O_3 – 15,5 и Al_2O_3 – 8,7. Установлено, что при увеличении продолжительности щелочной обработки борсодержащих руд от 30 до 120 мин степень извлечения всех компонентов увеличивается и достигает максимального значения (в %): B_2O_3 – 22,5; Fe_2O_3 – 28,75 и Al_2O_3 – 15,75.

При дальнейшем увеличении длительности процесса щелочного разложения степень извлечения оксидов не изменяется.

Таблица 1

Термодинамический анализ возможности протекания химических реакций щелочного ($NaOH$) разложения оксидов, входящих в состав борсодержащих руд и их концентратов

Протекание реакций	ΔH_{298}^0		ΔS_{298}^0		ΔG_{298}^0	
	ккал/моль·К	кДж/моль·К	ккал/моль·К	Дж/моль·К	ккал/моль·К	Дж/моль·К
$Fe_2O_3 + 2NaOH = 2NaFeO_2 + H_2O$	-7,1	-29,7	7,2	29,9	-2129,6	-8892,5
$Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O = 2Na[Al(OH)_4]$	-3,1	-13,1	5,3	22,0	-929,6	-6542,9
$B_2O_3 + 2NaOH = 2NaBO_2 + H_2O$	-291,1	-1216,9	16,6	69,3	-5229,0	-21874,3
$P_2O_5 + 6NaOH = 2Na_3PO_4 + 3H_2O$	-224,5	-938,5	17,6	73,5	-5469,3	-22835,5
$SiO_2 + 2NaOH = Na_2SiO_3 + H_2O$	-0,3	-11,0	2,5	10,3	-738,7	-3080,4

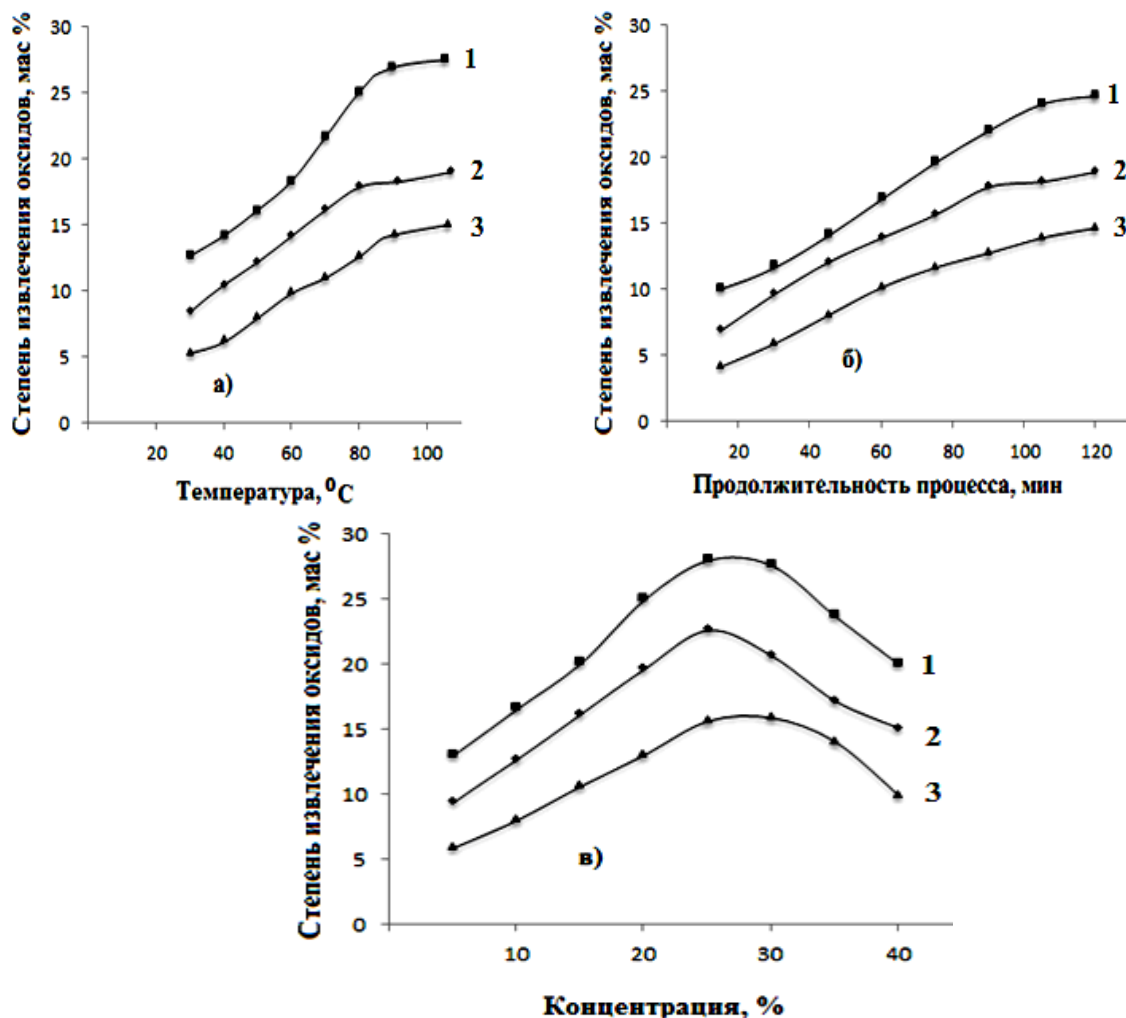


Рисунок 1. Зависимость степени извлечения оксидов Fe_2O_3 , Al_2O_3 и V_2O_5 из состава исходной борсодержащей руды от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) концентрации $NaOH$ (размер частиц < 0.1 мм; температура – $90^\circ C$; продолжительность процесса – 120 мин; C_{NaOH} – 25мас%). 1 – Fe_2O_3 ; 2 – V_2O_5 ; 3 – Al_2O_3 .

Влияние концентрации едкого натрия. Далее исследовалось влияние зависимости степени разложения оксидов от концентрации едкого натрия. Опыты проводились при концентрациях едкого натрия от 5 до 40 мас%, результаты исследований приведены на рисунке 1в. Проведенные исследования показывают, что увеличение концентрации от 5 до 40% существенно изменяет степень вскрытия руды и извлечение составляет (в %): V_2O_5 – 10,25-23,75; Fe_2O_3 – 16,85-28,25 и Al_2O_3 – 9,35-20,6. Выявлено, что оптимальной концентрацией едкого натрия, вводимого в реакционную массу, является 20-25 %.

На основании выполненных исследований определены следующие оптимальные условия процесса щелочной обработки борсодержащих руд: температура щелочного разложения – $90^\circ C$; длительность процесса – 120 мин; концентрация едкого натрия – 25%; размер частиц исходной руды – 0.1-0.3 мм.

3. Щелочное разложение обожжённых борсодержащих руд

Эксперименты проводили с предварительно обожжёнными образцами боросиликатной руды при температуре 950-980°C. Процесс разложения обожженной руды изучали в зависимости от концентрации NaOH , температуры и длительности обработки руды. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 2.

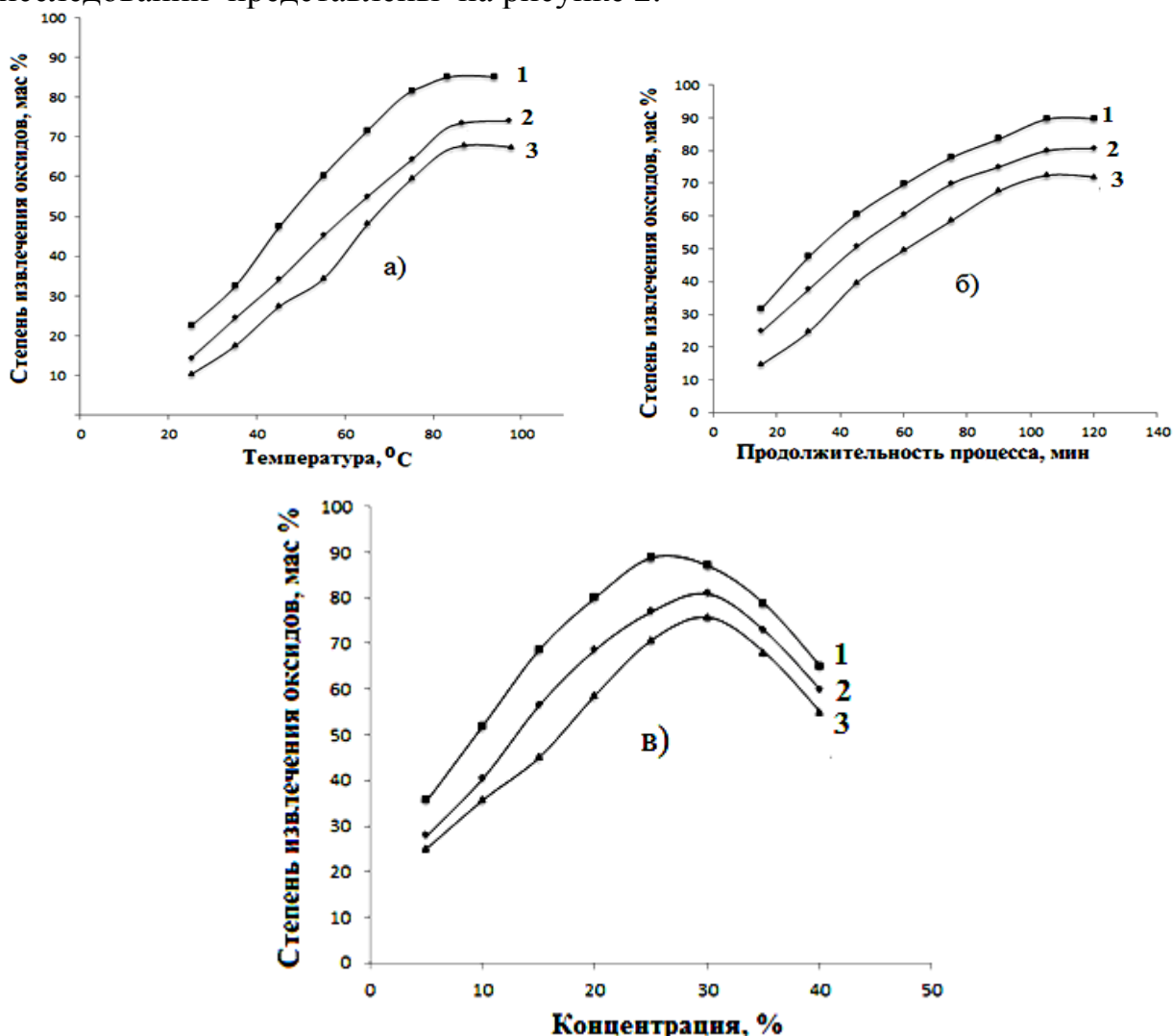


Рисунок 2. Зависимость степени извлечения оксидов Fe_2O_3 , Al_2O_3 и B_2O_3 из состава исходной обожжённой борсодержащей руды от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) концентрации NaOH (размер частиц < 0.1 мм; температура – 90°C; продолжительность процесса – 120 мин; C_{NaOH} – 25мас%). 1 – Fe_2O_3 ; 2 – B_2O_3 ; 3 – Al_2O_3 .

Влияние температуры. Изучено влияние температуры на ход реакции от 30 до 90°C. Установлено, что борсодержащая руда начинает вскрываться уже при 40°C. Руду обрабатывали 25% едким натрием в течение 120 мин. С ростом температуры степень извлечения компонентов постепенно возрастает и в интервале 30-90°C составляет (в мас%): B_2O_3 – 25,75-80,85, Fe_2O_3 – 30,45-90,55 и Al_2O_3 – 20,5-75,5.

Как видно из рисунка 2а, степень извлечения оксидов B_2O_3 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 с повышением температуры до $90^\circ C$ достигает максимального значения, составляя (в мас%): B_2O_3 – 80,25, Fe_2O_3 – 90,5 и Al_2O_3 – 75,25.

Влияние длительности процесса. В данной серии опытов неизменными факторами оставались продолжительность процесса, температура $90^\circ C$ и концентрация щелочи 25%. Влияние продолжительности процесса на ход реакции изучали в промежутке времени от 15 до 120 мин. Результаты проведённых опытов показали, что уже после 15 мин с момента взаимодействия с $NaOH$ извлечение оксидов из обожжённой борсодержащей руды возрастает и составляет (в %): B_2O_3 – 30,45; Fe_2O_3 – 40,25 и Al_2O_3 – 17,85 (рис. 2б). При увеличении времени щелочной обработки сырья от 30 до 120 мин степень извлечения всех компонентов увеличивается и достигает максимального значения (в мас%): B_2O_3 - 81,75, Fe_2O_3 - 91,85 и Al_2O_3 - 75,25.

Дальнейшее увеличение длительности процесса до 140 мин не привело к увеличению степени разложения оксидов.

Влияние концентрации едкого натрия. Результаты исследования показали, что концентрация едкого натрия оказывает большое влияние на разложение борсодержащих руд (рис. 2в). Исследования проводили при изменении концентрации едкого натрия от 5 до 40 мас%. Сначала провели стехиометрический расчет образования солей из оксидов по реакциям их образования. С ростом концентрации едкого натрия от 5 до 25% степень извлечения оксидов возрастает, а при увеличении концентрации едкого натрия до 30-40% - снижается (рис. 2в).

Таким образом, оптимальными условиями извлечения оксидов из обожжённого борного сырья при разложении едким натрием являются: температура процесса - $90^\circ C$, продолжительность процесса – 120 мин и концентрация $NaOH$ - 25%.

4. Кинетика разложения обожжённого концентрата борсодержащих руд с едким натрием

Экспериментальные данные кинетики извлечения оксида бора из состава обожжённого концентрата борсодержащих руд при разложении гидроксидом натрия получены в интервале температур $30-90^\circ C$ и продолжительности процесса от 15 до 120 минут. Результаты данных представлены на рисунке 3. Характер кинетических кривых (рис.3) разложения обожжённого концентрата борсодержащих руд месторождения Ак-Архар едким натрием при извлечении в раствор оксида бора указывает на то, что разложение происходит очень быстро, и в течение 120 мин при температуре $90^\circ C$ достигается 94.9% извлечение. При температуре $80^\circ C$ за это же время достигается 75.2% извлечение.

Кинетические кривые процесса разложения показывают, что с увеличением продолжительности процесса извлечение оксида бора

постепенно возрастает, достигая при 120 мин максимального значения 97,8%. Кинетические кривые зависимости сначала имеют прямолинейный характер, а выше 60°C - параболический.

Следует отметить, что наиболее приемлемой для извлечения оксида бора является температура 80-90°C, при которой достигается максимальное извлечение оксида бора.

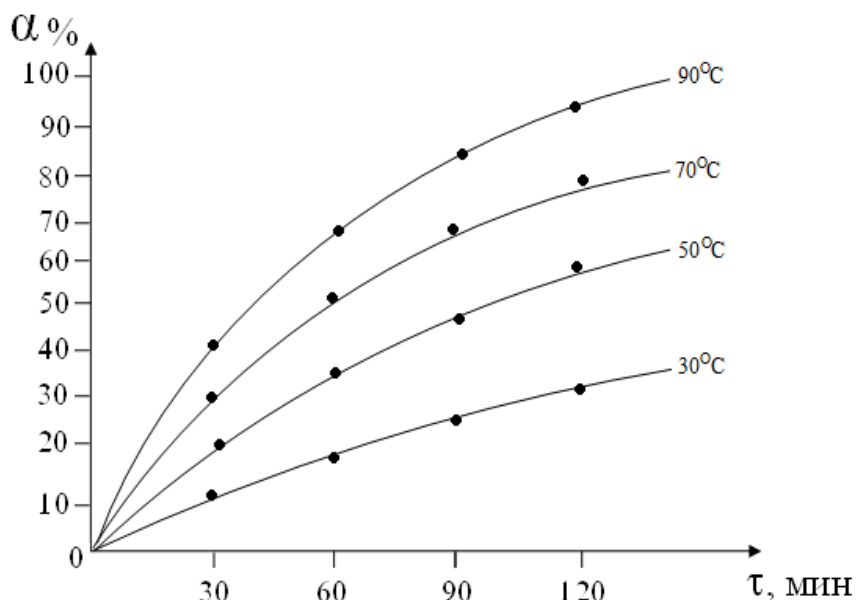


Рисунок 3. Зависимость степени извлечения оксида бора от продолжительности обработки обожжённого концентрата борсодержащих руд с раствором NaOH.

Кинетические кривые хорошо описываются уравнением первого порядка:

$$d\alpha / d\tau = K(1 - \alpha),$$

где: α – степень извлечения оксида бора;

τ – время в минутах;

K – константа скорости реакции разложения обожжённого концентрата борсодержащей руды с раствором NaOH.

На графике зависимости $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени (рис. 4) полученные прямые имеют отрицательный наклон, равный $K/2,303$. При этом кажущуюся энергию активации (E) и предэкспоненциальный множитель K_0 определяли из уравнения Аррениуса:

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

или

$$\text{Lg}K = \text{Lg}K_0 - \frac{E}{2,303 RT},$$

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

T – абсолютная температура, К.

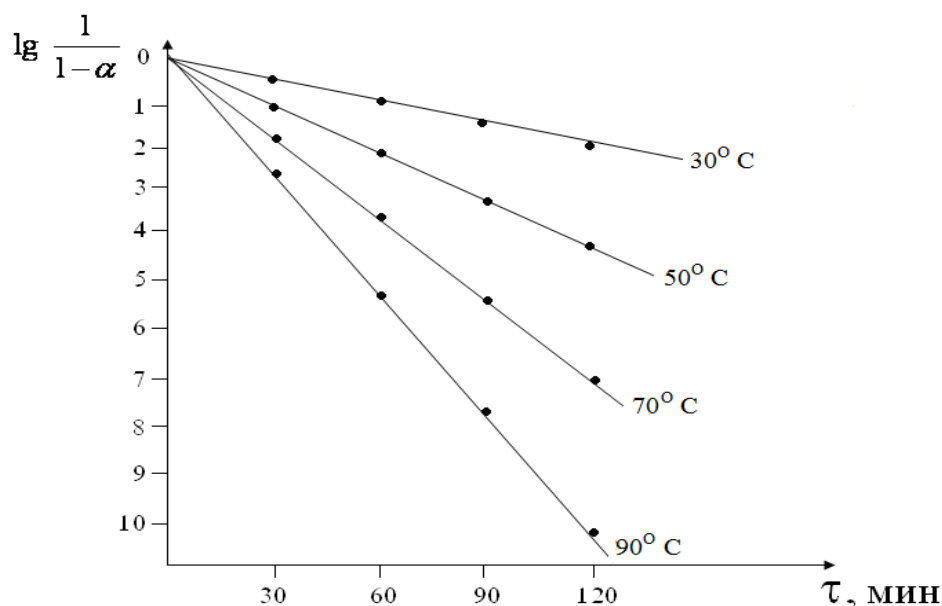


Рисунок 4. Зависимость $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени при щелочном разложении обожжённого концентрата борсодержащей руды.

На рисунке 5 приведена зависимость логарифма константы скорости извлечения ($-\text{Lg}K$) от величины обратной абсолютной температуры $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3}$.

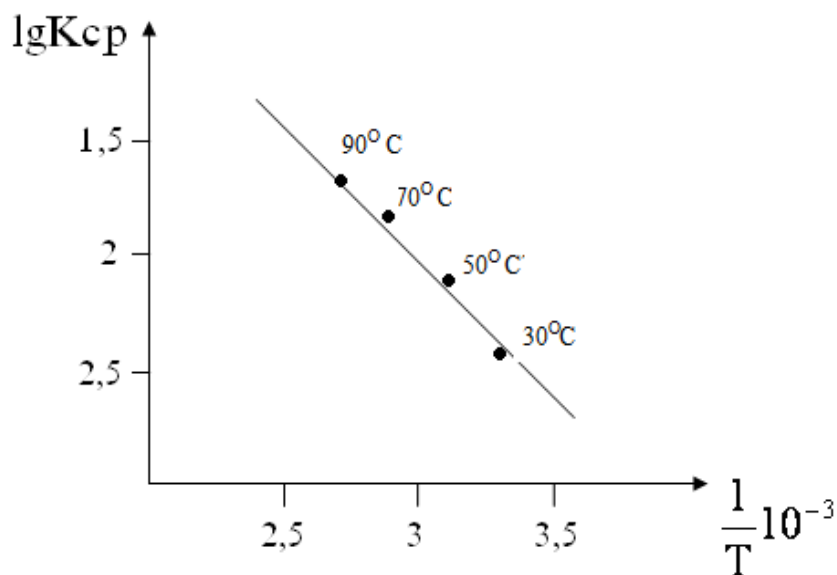


Рисунок 5. Зависимость $\text{Lg}K$ от обратной абсолютной температуры при щелочном разложении обожжённого концентрата борсодержащей руды.

Как видно из рисунка 5, точки удовлетворительно укладываются на прямую линию Аррениуса, по наклону которой вычислена кажущаяся энергия активации, равная 24,62 кДж/моль, численное значение которой свидетельствует о протекании данного процесса в диффузионной области

Таким образом, на основе проведенных опытов исследована кинетика щелочного разложения обожжённого концентрата борсодержащих руд и рассчитана энергии активации образования бората натрия.

5. Разработка принципиальной технологической схемы переработки борного сырья щелочным способом

На рисунке 6 представлена принципиальная технологическая схема переработки борного сырья щелочным способом. Предлагается до начала щелочного разложения борную руду обжигать при температуре 900-950°C в течение 60 мин. После термической обработки руду измельчали до размера частиц 0,1-0,3 мм и выщелачивали 20% NaOH.



Рисунок 6. Принципиальная технологическая схема переработки борного сырья щелочным способом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрен вопрос переработки боросиликатных руд Таджикистана щелочным методом. Был выбран гидроксид натрия различных концентраций и изучены процессы выщелачивания борного сырья в широком интервале параметров технологического процесса: температура, концентрация щёлочи, продолжительность процесса и размер частиц.

Проведённые исследования по разработке физико-химических основ и технологии щелочного разложения борного сырья позволили найти

оптимальные условия выделения полезных компонентов и выбрать наиболее подходящие параметры для выщелачивания.

Изучено влияние концентрации $NaOH$, длительности процесса и температуры на процесс выщелачивания, что играет важную роль в нахождении оптимальных технологических параметров.

Во многих процессах разложения боросиликатных руд скорость выщелачивания описывается уравнением первого порядка. Рассчитана энергия активации с применением уравнения Аррениуса. Показано, что разложение протекает в кинетической или диффузионной областях.

В таблице 2 приведены результаты разложения боросиликатных руд кислотами и щёлочью при оптимальных параметрах. Как видно из таблицы 2, максимальное извлечение оксида бора (93,9%) наблюдается при извлечении азотной кислотой и при следующих рациональных условиях: концентрация кислоты – 15%; продолжительность процесса – 60 мин и температура процесса - 95 °С. Борная руда была предварительно термически обработана при 950 °С. При щелочной обработке максимальное извлечение борного продукта для концентрата борной руды составляет 94,8 мас%.

Таким образом, выявлены рациональные условия выщелачивания боросиликатных руд до и после предварительного обжига щёлочью. Найдены оптимальные параметры процесса: температура процесса - 95 °С, концентрация кислоты – 20%; продолжительность процесса (τ) – 60 мин. При этих оптимальных параметрах извлечение полезных компонентов из обожжённых боросиликатных руд составило (в %): B – 94,8; Fe – 96,5 и Al – 83,6.

Кинетика щелочного разложения свидетельствует о протекании процесса в диффузионной и смешанной областях, в зависимости от качества руды.

Для концентрата боросиликатных руд с содержанием $B_2O_3=17,4\%$ при щелочном разложении найдены следующие оптимальные параметры: t – 85-90 °С, τ – 120 мин, C_{NaOH} - 18-20%. Извлечение оксида бора из обожжённого концентрата составляет 94,8%.

В таблице 2 и на рисунках 7-9 систематизированы полученные экспериментальные данные по разложению боросиликатных руд минеральными кислотами - HCl , H_2SO_4 , HNO_3 и щёлочью $NaOH$.

Как видно из таблицы 2, наиболее подходящей кислотой является HNO_3 . При оптимальных параметрах разложения: температуре 95 °С, продолжительности процесса 60 мин извлечение B_2O_3 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 2

Разложение боросиликатных руд кислотами и NaOH при оптимальных параметрах

Кислоты	Боросиликатная руда (мас%)											
	исходная боросиликатная руда			обоженная боросиликатная руда			концентрат боросиликатного сырья			обоженный концентрат боросиликатного сырья		
	B_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	B_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	B_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	B_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3
HCl , оптимальные параметры разложения: $t = 80-90^\circ C$, $\tau = 60$ 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
H_2SO_4 , оптимальные параметры разложения: $T = 90-95^\circ C$, $\tau = 60$ мин, $C_{H_2SO_4} = 30-40\%$	6,5	23,6	17,6	34,1	56,8	41,9	35,1	73,6	-	85,2	94,6	-
HNO_3 , оптимальные параметры разложения: $t = 95^\circ C$, $\tau = 60$ мин, $C_{HNO_3} = 15\%$	17,7	49,1	20,8	75,4	86,7	68,9	28,5	59,6	34,2	93,9	98,2	84,1
NaOH, оптимальные параметры разложения: $t=95^\circ C$, $\tau=120$ мин, $C_{NaOH}=20\%$	19,7	28,7	16,0	81,1	82,2	75,9	30,2	48,9	28,5	94,8	96,5	83,6

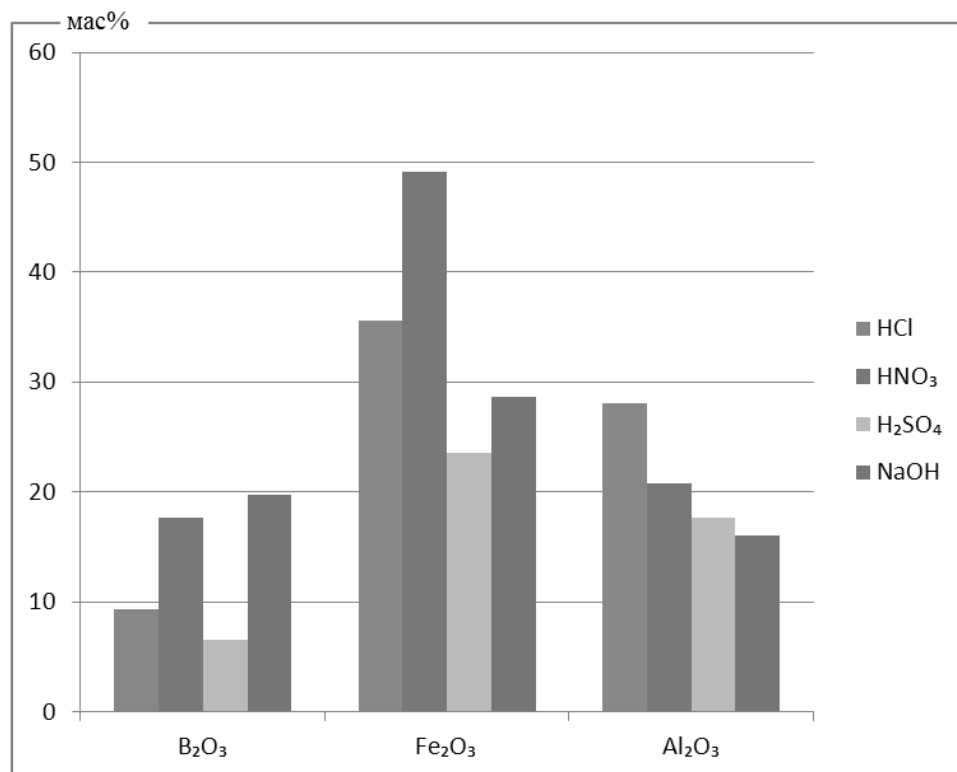


Рисунок 7. Извлечение полезных компонентов из исходной боросиликатной руды.

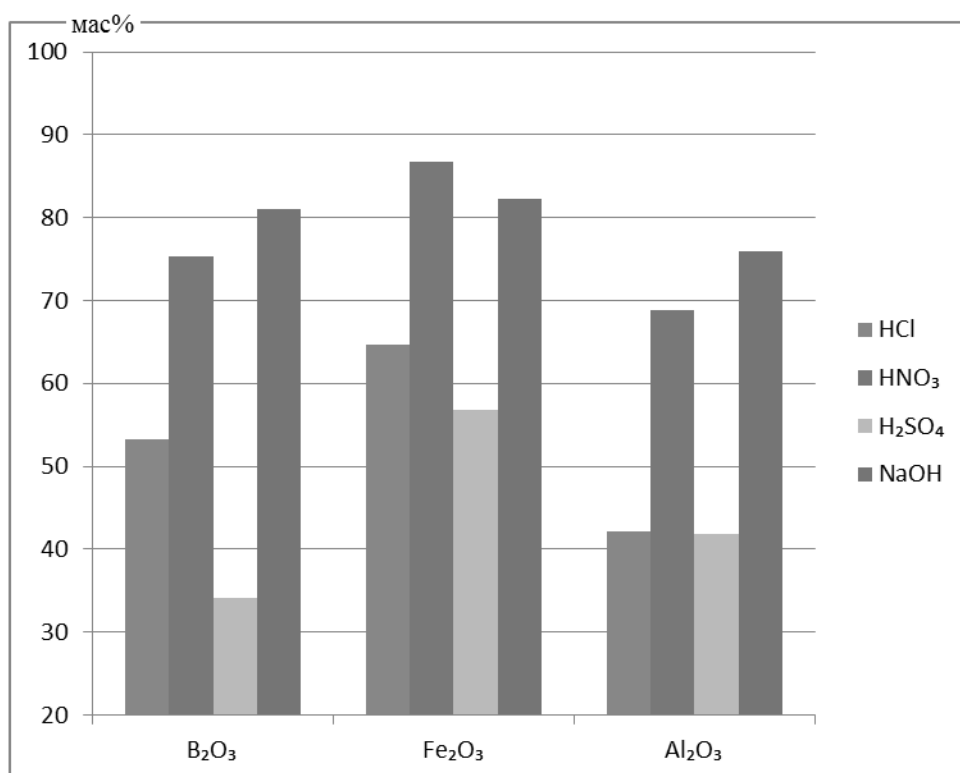


Рисунок 8. Извлечение полезных компонентов из обожжённой боросиликатной руды.

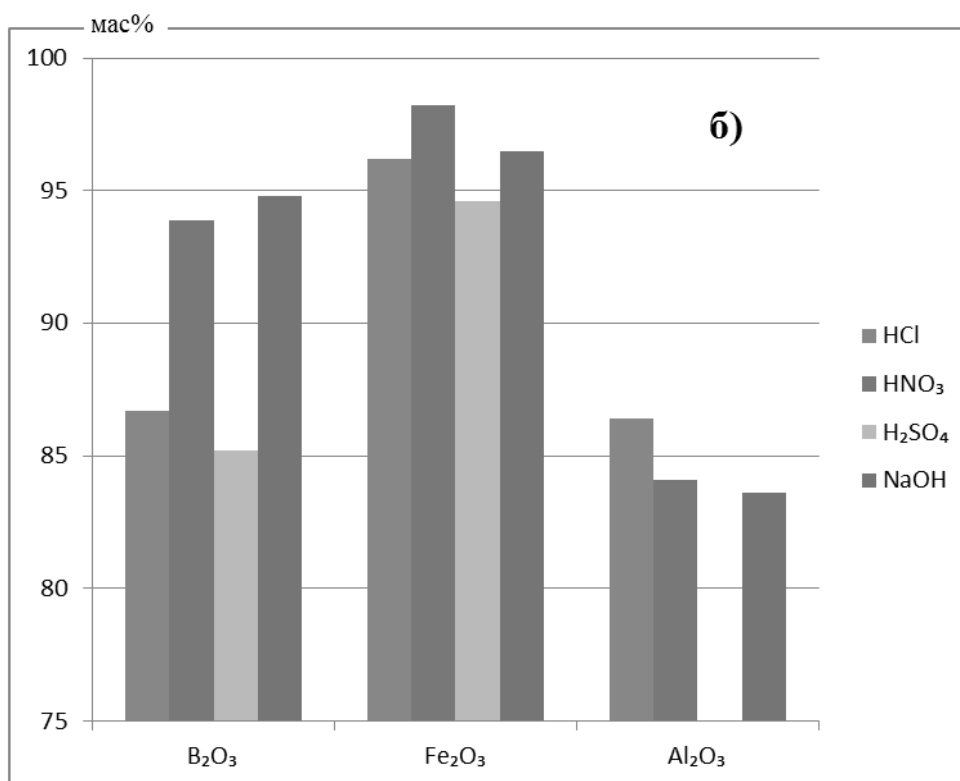
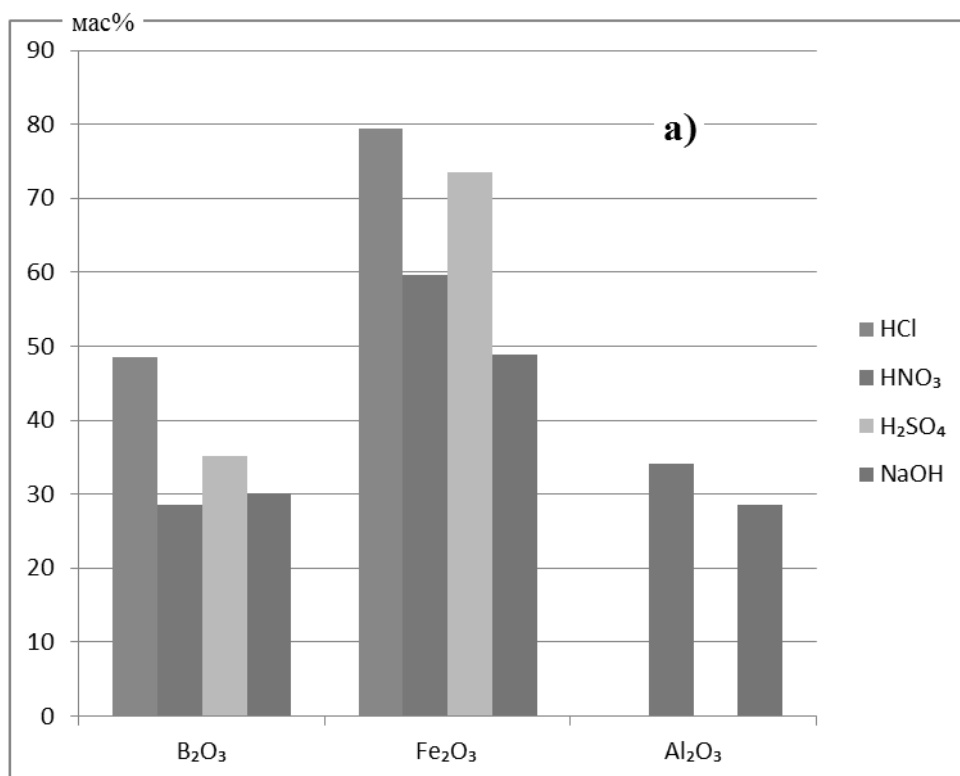


Рисунок 9. Извлечение полезных компонентов из концентрата боросиликатной руды: а) исходный концентрат; б) обожжённый концентрат.

Как видно из рисунков 7-9, при непосредственном использовании боросиликатного сырья без обжига степень извлечения борного продукта в зависимости от температуры, составляет всего 29,45 мас %.

Наиболее лучшие результаты получены при использовании обожжённого концентрата боросиликатного сырья.

Как видно из рисунка 10, при рассмотрении степени извлечения борного продукта при щелочном выщелачивании чётко видно, что наиболее подходящей рудой для извлечения является обожжённый концентрат боросиликатных руд при температуре 90-100 °С.

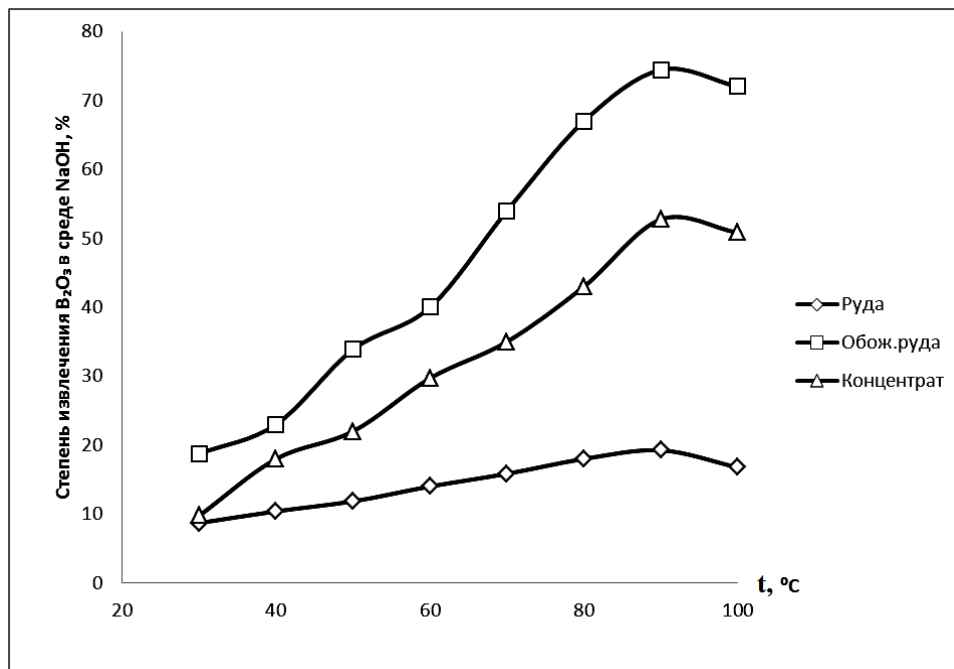


Рисунок 10. Извлечение борного продукта при щелочном выщелачивании в зависимости от температуры.

На рисунке 11 приведены результаты сравнительной оценки щелочного и кислотного извлечения борного продукта в зависимости от температуры процесса. Из рисунка 11 видно, что степень извлечения борного продукта при продолжительности процесса 60 мин для обожжённого концентрата боросиликатного сырья является максимальной и достигает (мас%): для HCl - 86,7; для H_2SO_4 - 85,2; для HNO_3 - 93,9 и для $NaOH$ - 94,8.

Здесь также наблюдается низкая степень извлечения B_2O_3 , когда используется исходная руда без предварительной обработки.

Изученная кинетика щелочного разложения боросиликатных руд даёт возможность исследовать механизм процесса разложения и выдвигает новые задачи для детального изучения технологического процесса. Каждый этап технологического процесса, начиная от процесса измельчения руды и заканчивая процессом сушки выделенных продуктов, требует постановки новых научно-технических работ. Особый подход требуется для выбора технологической аппаратуры, в зависимости от применяемой кислоты и щёлочи. Также необходим особый подход при выборе аппаратуры для процесса фильтрации.

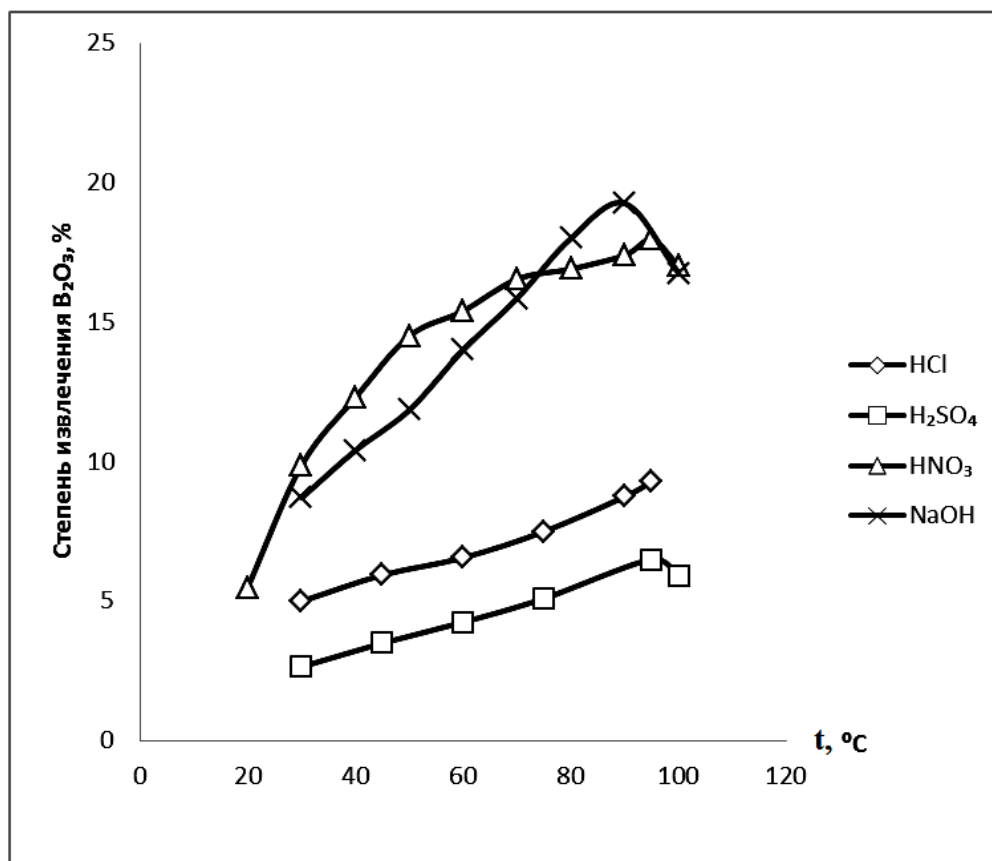


Рисунок 11. Сравнительная оценка разложения исходной руды минеральными кислотами и щёлочью от температуры.

Наряду с B_2O_3 , важное значение имеют и другие выделенные ценные продукты. Железо- и алюминийсодержащие продукты, в первую очередь, можно использовать, как смешанные коагулянты для очистки вод. Выделенные железо- и алюминийсодержащие соединения на основе HCl , H_2SO_4 , HNO_3 и $NaOH$ имеют особое значение в промышленности.

Таким образом, с применением физико-химических методов анализа установлены минералогический и химический составы боросиликатных руд Таджикистана. Найденны рациональные условия разложения боросиликатных руд щёлочью с различным содержанием борного продукта в зависимости от концентрации $NaOH$, продолжительности процесса и температуры. Определены условия разложения исходной боросиликатной руды и её концентрата щёлочью.

ВЫВОДЫ

1. Рентгенофазовым, дифференциально-термическим и химическим методами анализа установлены минералогический и химический составы боросиликатных руд Ак-Архарского месторождения Таджикистана. Исследованы физико-химические свойства исходного и обожжённого борного сырья, а также продуктов переработки щелочного разложения.

2. Определены рациональные условия разложения щелочью боросиликатной руды до и после предварительного обжига. Найдены рациональные параметры процесса: концентрация щёлочи – 20%, температура - 95°C, продолжительность процесса – 60 мин.
3. Определены условия выщелачивания боросиликатного концентрата боросиликатной руды щёлочью и найдены рациональные условия процесса: концентрация $NaOH$ – 15-20%, длительность процесса – 120 мин при температуре 95°C, а также условия разложения обожжённого борного концентрата, где максимальное извлечение борного продукта составило 94,6%.
4. Изучена кинетика щелочного разложения обожжённой боросиликатной руды. Рассчитана величина кажущейся энергии активации процесса, составляющая 29,3 кДж/моль, которая свидетельствует о протекании процесса в кинетической области.
5. Изучена кинетика разложения обожжённого боросиликатного концентрата щёлочью. Рассчитана величина кажущейся энергии активации процесса, равная 24,62 кДж/моль, которая свидетельствует о протекании процесса в диффузионной области.
6. Разработана принципиальная технологическая схема получения борного продукта из боросиликатной руды месторождения Ак-Архар щелочным способом, которая состоит из следующих этапов: обжиг при 950°C, щелочное разложение, фильтрация пульпы, кристаллизация продукта, разделение и сушка.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

1. Маматов, Э.Д. Изучение физико-химических основ щелочной обработки данбуритов / Э.Д. Маматов, Д.Н. Худоёров, А.С. Курбонов, Н.А. Ашуров // Вестник Таджикского национального университета, 2012, №1/2(88), с. 122-126.
2. Мирсаидов, У.М. Щелочное разложение данбуритового концентрата / У.М. Мирсаидов, Д.Н. Худоёров, Э.Д. Маматов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2013, т.56, №5, с. 395-398.
3. Маматов, Э.Д. Кинетика щелочной обработки обожжённого данбуритового концентрата / Э.Д. Маматов, Д.Н. Худоёров, А.С. Курбонов, М.С. Пулатов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2013, т.56, №11, с. 889-892.
4. Худоёров, Д.Н. Переработка боросиликатной руды с гидроксидом натрия / Д.Н. Худоёров, А.М. Баротов, А.С. Курбонов, Э.Д. Маматов, У.М. Мирсаидов // Изв. АН Республики Таджикистан. Отд. Физ.-мат., хим., геол. и техн. наук, 2015, №2(159), с 12-15.
5. Худоёров, Д.Н. Кинетика разложения обожжённой исходной борсодержащей руды с гидроксидом натрия / Д.Н. Худоёров, А.М.

Баротов, А.С. Курбонов, Э.Д. Маматов // Изв. АН Республики Таджикистан. Отд. Физ.-мат., хим., геол. и техн. наук, 2015, №2(159), с 55-58.

Публикации в материалах конференций

6. Маматов, Э.Д. Разложения данбуритов щелочью (NaOH) / Э.Д. Маматов, **Д.Н. Худоёров**, У.М. Мирсаидов // Материалы семинаров «2011 год - Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана», Душанбе, 2011, с.57-61.
7. **Худоёров, Д.Н.** Щелочная обработка данбурита месторождения Ак-Архар / Д.Н. Худоёров, Э.Д. Маматов // V Международная научно-практическая конференция «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ». Ч.2, Душанбе, 2011, с.140-142.
8. Маматов, Э.Д. Физико-химические основы выщелачивания концентрата щёлочью / Э.Д. Маматов, **Д.Н. Худоёров** // Материалы республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений», Душанбе, 2011, с. 130-135.

Разрешено в печать 06.01.2016. Подписано в печать
07.01.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура литературная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 04

Отпечатано в типографии ООО «Андалеб-Р».
734036, г. Душанбе, ул. Р. Набиева 218.
E-mail: andaleb.r@mail.ru