

Satbayev University

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УДК 622.765

На правах рукописи

Несіпбай Аружан Қуатқызы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

«Разработка технологии предварительного
химического обогащения
низкокачественных гиббсит-каолининовых
бокситов»

Направление подготовки

7M07223 – Metallurgy and enrichment
of useful minerals

Научный руководитель:

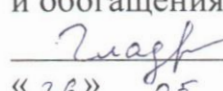
доктор PhD, ассистент-профессор
кафедры МиОПИ

 Дюсенова С.Б.

«25» 05 2022 г.

Рецензент:

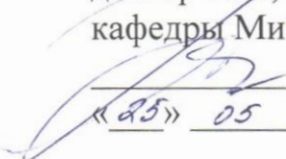
к.т.н., ведущий научный сотрудник,
АО «Институт металлургии
и обогащения»

 С.В. Гладышев

«26» 05 2022 г.

Нормоконтроль:

доктор PhD, ассистент-профессор
кафедры МиОПИ

 Дюсенова С.Б.

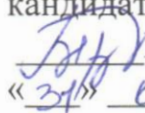
«25» 05 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук

 М.Б. Барменшинова

«31» 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

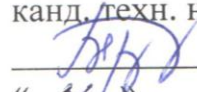
Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

7M07223 - «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой МиОПИ

канд. техн. наук

 М.Б. Барменшинова

« 31 » 05 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Несіпбай Аружан Қуатқызы

Тема: Разработка технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов.

Утверждена приказом ректора университета № 2026-М от «03» ноября 2020 г.

Срок сдачи законченной диссертации « 30 » мая 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Разработка технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов.

Изучение темы предварительной химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов. Оработка методики предварительной химической активации бокситов.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) технологию предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов;

б) характеристику получаемых продуктов химической активации;

в) методику использования химической активации для повышения кремневого модуля бокситов;

г) подбор оптимальной температуры для проведения предварительной химической активации боксита и предварительной активации перед гравитационным обогащением бокситов.

Демонстрационный графический материал представить не менее чем на 10 слайдах с результатами исследований.

Рекомендуемая основная литература:

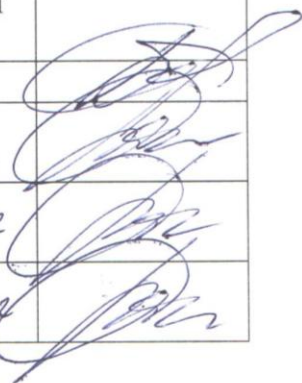
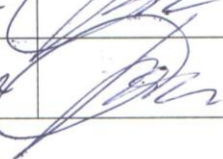
1. Лапин А.А., Сусс А.Г. и др. Переработка высококремнистых бокситов по технологии содово-известкового выщелачивания с регенерацией щелочи из красного шлама //Сборник докладов XII международной конференции «Алюминий Сибири». Разд.2. Производство глинозема. - 2006. - С. 162 -171.
2. Тастанов Е.А. Разработка физико-химических основ и совершенствование технологических процессов переработки низкокачественных бокситов: дис. докт. техн. наук. – Алматы: ИМиО, 2003. – 86 с.
3. Патент № 2326817 РФ. Способ переработки глиноземсодержащего сырья на глинозем/ Анашкин В.С., Баева Н.Е., Жаров А.Ф., Зусман М.В., Пересторонина М.А., Пустынных Е.В., Скорняков В.И., Смоляницкий Б.И., Черноскутов В.С., Фомин Э.С. опубл. 20.06.2008. Бюл. №17. - 7 с.
4. Ибрагимов А.Т., Будон С.В. Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана. – Павлодар: ТОО «Дом печати», - 2010. – 299 с.
5. Дубовиков О.А. Яскеляйнен Э.Э. Переработка низкокачественного бокситового сырья способом термохимия-Байер // Записки Горного института. - 2016. Т.221. - С.668-674. DOI 10.18454/PMI.2016.5.668.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитический обзор	10.01.2021	
Основные методы анализа и исследований	05.03.2022	
Экспериментальная часть	17.05.2022	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую
диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования раздела	Консультант, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитический обзор	доктор PhD, Дюсенова С.Б.	15.02.2021	
Основные методы анализа и исследований		10.03.2022	
Экспериментальная часть		17.05.2022	
Нормоконтроль	доктор PhD, Дюсенова С.Б.	25.05.2022	

Научный руководитель



С.Б. Дюсенова

Задание принял к исполнению обучающийся



А.К. Несипбай

Дата

« 03 » 11 2022 г.

АНДАТПА

Жұмыста Қазақстан алюминийі АҚ ұсынған Красногорск бокситінің өкілдік сынамасындағы зерттеулер келтірілген. Зерттеу барысында талдаудың физика-химиялық әдістері қолданылды: рентгенофлуорисцентті, химиялық, ХС-талдау, термиялық және электронды микроскоп. Бокситтердің химиялық активтену механизмін зерттеу бойынша зерттеулер жүргізілді. Красногорск кен орнының гиббсит-каолинит бокситінің сынамасын химиялық активтендіру $120 \text{ г/дм}^3 \text{ NaHCO}_3$ бар ерітіндіде Ж:Т = 10,0 қатынасында және $90 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$ температурада активтендіру ұзақтығы 60 минут термостатталған қондырғыны пайдалана отырып жүргізілді. Боксит сынамаларының химиялық және фазалық құрамының өзгеруінің химиялық активтену температурасына тәуелділігі анықталды. Ерітінді құрамының процестің бірдей ұзақтығына тәуелділігі анықталды, ол сұйық, қатты және газ тәрізді фазаның компоненттерінің өзара әрекеттесуі нәтижесінде алынған автоклавта жабық жүйенің әртүрлі тұрақты күйлерін көрсетті.

Төмен сапалы гиббсит-каолинитті бокситтердің гравитациялық байыту зерттеулері жүргізілді. Бөлінген ірі түйіршікті гиббситтік фракцияның кремний модулін арттыру үшін боксит 90 және $120 \text{ }^\circ\text{C}$ температурада химиялық белсендіруден кейін гравитациялық байытуға ұшырады. Бокситтің гравитациялық байытуы кезінде бөлінген ірі түйіршікті гиббситтік фракцияның кремний модулі алдын ала химиялық белсендіру ұзақтығының ұлғаюымен жоғарылайтыны анықталды, алайда, ұсақ түйіршікті каолиниттік фракциямен Al_2O_3 жоғалуы артады.

АННОТАЦИЯ

В работе приведены исследования на представительной пробе Красногорского боксита, представленной АО Алуминий Казахстана. При проведении исследований были использованы физико-химические методы анализа: рентгенофлуоресцентный, химический, ИКС-анализ, термический и электронно – микроскопический. Проведены исследования по изучению механизма химической активации бокситов. Химическую активацию пробы гиббсит - каолинитового боксита Красногорского месторождения проводили в растворе, содержащем 120 г/дм³ NaHCO₃ при отношении Ж:Т = 10,0 и температурах 90 – 200 0С с использованием термостатированной установки при продолжительности активации 60 минут. Определена зависимость изменения химического и фазового состава проб боксита от температуры химической активации. Определена зависимость состава раствора при одинаковой продолжительности процесса, которая показала разные фиксированные состояния замкнутой в автоклаве системы, полученные в результате взаимодействия компонентов жидкой, твердой и газообразной фазы.

Проведены исследования гравитационного обогащения низкокачественных гиббсит-каолинитовых бокситов. Для увеличения кремниевого модуля выделенной крупнозернистой гиббситовой фракции боксит подвергали гравитационному обогащению после химической активации при температурах 90 и 120 ° С. Установлено, что при гравитационном обогащении боксита модуль кремния выделенной крупнозернистой гиббситовой фракции увеличивается с увеличением длительности предварительной химической активации, однако при мелкозернистой каолинитовой фракции увеличивается потеря Al₂O₃.

ABSTRACT

The paper presents studies on a representative sample of Krasnogorsk bauxite, presented by JSC Aluminum of Kazakhstan. During the research, physicochemical methods of analysis were used: X-ray fluorescence, chemical, X-analysis, thermal and electron microscopy. Studies have been conducted to study the mechanism of chemical activation of bauxite. Chemical activation of the gibbsite - kaolinite bauxite sample of the Krasnogorsk deposit was carried out in a solution containing 120 g/dm³ NaHCO₃ at a ratio of: T = 10.0 and temperatures of 90 – 200 °C using a thermostatic installation with an activation duration of 60 minutes. The dependence of the change in the chemical and phase composition of bauxite samples on the temperature of chemical activation is determined. The dependence of the composition of the solution for the same duration of the process was determined, which showed different fixed states of the system closed in the autoclave, obtained as a result of the interaction of the components of the liquid, solid and gaseous phases.

Gravitational enrichment of low-quality gibbsite-kaolinite bauxites has been studied. To increase the silicon modulus of the isolated coarse-grained gibbsite fraction, bauxite was subjected to gravitational enrichment after chemical activation at temperatures of 90 and 120 °C. It was found that during gravitational enrichment of bauxite, the silicon modulus of the isolated coarse-grained gibbsite fraction increases with increasing duration of preliminary chemical activation, however, with fine-grained kaolinite fraction, the loss of Al₂O₃ increases.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1 Аналитический обзор литературы	13
1.1 Общие сведения о бокситах	13
1.2 Минерально-сырьевая база	16
1.3 Технологии переработки бокситов	17
1.4 Выводы по 1 главе	21
2 Методика исследований	23
3 Экспериментальная часть	24
3.1 Объект исследований и физико-химические анализы	28
3.2 Предварительное химическое обогащение	31
3.3 Гравитационное обогащение	41
3.4 Выводы по 3 главе	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы. Используемые в настоящее время на Павлодарском алюминиевом заводе АО «Алюминий Казахстана» в производстве по последовательно-комбинированному способу Байер-спекание бокситы Красногорского месторождения, отличаются низким кремниевым модулем и повышенным содержанием вредных компонентов: сидерита, шамозита, гематита, пирита, органических и прочих примесей, причем качество их ухудшается, что приводит к резкому ухудшению состава растворов, промпродуктов и снижению технико-экономических показателей [1]. Это обстоятельство является основанием для выполнения комплекса теоретических и технологических исследований для разработки эффективной технологии.

Известен способ кондиционирования низкокачественных бокситов, совмещающий отмывку глинистых составляющих и гидрощелочную декарбонизацию, который позволяет одновременно повысить кремниевый модуль и снизить содержание карбонатов в бокситах. Основными недостатками данной технологии являются: низкая степень отмывки за счет использования щелочной промывной воды; увеличение материального потока [2].

Переработка низкокачественных бокситов возможна методом отдельного выщелачивания глинистой и каменистой фракций бокситов. Однако разделение фракций боксита в щелочной среде не обеспечивает необходимую степень выделения глинистой части [3].

Таким образом, рассмотренные выше методы переработки низкокачественных бокситов имеют ряд недостатков, делающих затруднительным или невозможным их применение в условиях производства АО «Алюминий Казахстана». Требуется создание новых решений для обеспечения эффективной переработки низкокачественного гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения с получением высококачественного глинозема.

Для вовлечения в сферу переработки большинства бокситов месторождений Казахстана нами предлагается технология переработки низкокачественных гиббсит – каолинитовых бокситов с предварительным двухстадиальным обогащением, включающая проведение предварительной химической активации [4].

Обоснования необходимости проведения НИР. Целью проведения исследований была разработка технологии кондиционирования гиббсит-каолинитовых бокситов Красногорского месторождения с проведением предварительной химической активации.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. Все проведенные научно-исследовательские работы были выполнены в соответствии с ТУ.

Актуальность работы. Бокситы Красногорского месторождения отличаются низким кремниевым модулем. Для предварительного повышения кремниевого модуля боксита нами было предложена предварительная химическая активация гиббсит-каолинитовых бокситов при разной продолжительности времени и температурах. Всем известным методам переработки низкокачественных бокситов имеют ряд недостатков, делающих затруднительным или невозможным их применение в условиях производства АО «Алюминий Казахстана». Для вовлечения в сферу переработки большинства бокситов месторождений Казахстана нами предлагается технология переработки низкокачественных гиббсит – каолинитовых бокситов с предварительным двухстадиальным обогащением, включающая проведение предварительной химической активации.

Научная новизна заключается в том, что впервые были проведены опыты по предварительной активации бокситов при разных условиях и продолжительности. Было определено, что при активации был изменен фазовый состав бокситов.

Цели и задачи работы. Целью проекта является изучить процесс предварительной активации, проведенной при разных температурах и продолжительности. Задачей данной работы является, улучшить обогатимость бокситов с помощью двухстадиальной химической активации. Так же, повышение кремниевого модуля низкокачественных гиббсит-каолинитовых бокситов. Изучение гравитационное обогащение бокситов, составить ситовые характеристики боксита сначала без предварительной активации далее с предварительной активацией.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Общие сведения о бокситах

Определение терминов боксит, глинозем и алюминий. Термин боксит предложен Бертье для осадочных пород с высоким содержанием глинозема, которые встречались в окрестностях Ле-Бо в Альпинах (Буш-дю-Рон) во Франции. Либрих впервые применил этот термин к покровным латеритным продуктам выветривания, обогащенным гиббентом, залегающим на базальтах в Фогельсберге, Германия. Поэтому термин боксит используется для обозначения продуктов выветривания, богатых глиноземом и бедных щелочами, щелочными землями и кремнеземом.

Термин бокситовая руда применяется для определения бокситов, которые имеют промышленное значение в настоящее время или будут иметь в ближайшем будущем.

Термин глинозем относится к чистой Al_2O_3 , которая содержит 52,9% Al и 47,1% O.

Историю названия алюминий Гинзберг раскрывает следующим образом. Уже Геродот называл квасцы (alaun), или алунит $KAl(OH)_6(SO_4)_2$, глиноземом (alumen). В 1754 г. Марграф указал, что глина и алунит (alaun) содержат одни и те же катионы. Лавуазье в 1782 г. предположил, что глинозем представляет собой окисел металла с таким сильным сродством к кислороду, что он не может быть восстановлен до металлического состояния с помощью углерода или какого-либо другого восстановителя. Де-Морво (De Morveau, 1786) назвал этот гипотетический металл «alumine» (в английском языке alumina). В 1808 г. Дэви, пытавшийся получить этот металл путем электролиза, назвал его алюминием (aluminium). В 1824 г. Эрстед получил алюминий «безводного» Al_2Cl_3 с помощью калиевой амальгамы. Велер, продолживший опыты Эрстеда [177], в 1821 г. выделил этот новый металл в виде тонкой фольги.

Распространение бокситовых месторождений. В истории развития Земли бокситы были приурочены к тем районам, где тропическое выветривание обуславливало накопление гидроокислов и гидратированных окислов алюминия. Бокситы можно классифицировать тремя способами:

по генетическим признакам:

- 1) бокситы на изверженных и метаморфических породах;
- 2) бокситы на осадочных образованиях:
 - а) на карбонатных породах;
 - б) на обломочных отложениях;
- по геологическому возрасту:
 - 1) палеозойские бокситы;
 - 2) мезозойские бокситы;
 - 3) кайнозойские бокситы;

по минеральному составу:

- 1) гиббентовые бокситы;

- 2) бёмитовые бокситы;
- 3) диаспоровые бокситы.

Фасциально различают два типа бокситовых месторождений:

1) Склоновый тип (гиббситовый), который встречается в виде линзовидных тел на склонах. В них нет типичного вертикального профиля. Гиббсит - главный минерал алюминия.

2) Тип плато (гиббсит-бёмитовый), который представляет собой фациальный аналог платолатеритов, развитый вдоль склонов долин с хорошими условиями дренажа и четко дифференцированным профилем.

Склоновый тип. Крупные и практически важные месторождения этого типа не встречаются. Из-за своего морфологического облика бокситовые залежи склонового типа могут сохраниться только в том случае, если они были быстро перекрыты осадками. Такие бокситы, широко распространенные на породах фундамента, известны только в третичных, плейстоценовых и современных отложениях. Однако они представляют интерес в отношении преобразований и парагенетических ассоциаций бокситов.

Примерами бокситовых залежей склонового типа могут служить бокситы на основных и средних вулканических породах (Гавайи, плейстоцен-позднечетвертичный возраст), на кислых метаморфических породах (Берег Слоновой Кости, поздне третичный - позднечетвертичный возраст) и на чарнокитах в южной Индии. [21]

1.2 Минерально-сырьевая база

Мировое производство глинозема базируется в основном на переработке высококачественных бокситов по способу Байера [1-3]. Данный способ предполагает вовлечение в переработку бокситов с кремниевым модулем выше 7.

В Республике Казахстан отсутствуют месторождения бокситов, пригодные для непосредственной переработки по способу Байера.

Геологоразведочными работами на территории Казахстана выявлены различные виды алюминиевого сырья - бокситы, нефелиновые сиениты, алуниты и железоалюминиевые руды. Промышленное применение находят только бокситы. Их месторождения и рудопроявления группируются в нескольких бокситорудных районах: Западно-Торгайский, Восточно-Торгайский, Центрально-Торгайский, Мугоджарский, Целиноградский, Экибастузский и Причимкентский, отличающихся по геолого-морфологическим особенностям и масштабам оруденения. Промышленные месторождения известны в первых трех районах [4].

Месторождения Восточно-Торгайского района - Аркалыкское, Северное, Нижнеашутское, Верхнеашутское, Уштобинское, Актасское и др., составляющие Амангельдинскую группу разрабатываются с 1961 г. Они отличаются от месторождений западного района приуроченностью к

эрозионно-карстовым понижениям в карбонатном ложе фамена, бокситоносные отложения которых простираются за пределы выполняющих понижений на терригенные отложения франа, контактирующих с фаменскими (надконтактовый геолого-морфологический тип).

Для амангельдинских бокситов характерны высокое содержание глинозема (среднее по группе 46,5%), низкое - двуокиси углерода (0,2%) и невысокое - окислов железа (13,2%).

За время эксплуатации месторождений Амангельдинской группы полностью погашены утвержденные ГКЗ СССР запасы и в настоящее время на государственном балансе по Верхнеашутскому, Уштобинскому, Актасскому месторождениям числятся 17,6 млн т бокситов, достаточные для работы действующих рудников на срок до 15 лет.

Центральный бокситорудный район уступает вышеописанным по масштабам промышленной бокситоносности. Здесь на учете баланса состоят запасы бокситов Кушмурунского, Западно-Убаганского и Приозерного месторождений. В районе выявлены крупные прогнозные ресурсы, которые сконцентрированы в пределах рудного поля Кокतालской группы месторождений. Их масштабы превышают 200 млн т. Качество прогнозных ресурсов сравнительно высокое, кремневый модуль до 6 единиц при низком среднем содержании Al_2O_3 (40-42%).

Негативным фактором отработки месторождений Кокतालской группы являются сложные горнотехнические условия залегания, связанные с мощностью вскрышных пород (свыше 150 м) и наличие в покровном рыхлом комплексе трех водоносных горизонтов.

Центрально-Тургайский бокситорудный район.

Район расположен на востоке Костанайской области, в осевой части Торгайского прогиба и приурочен к относительному поднятию, известному под названием Костанайского вала (таблица 1). В геолого-структурном плане он находится в пределах Кушмурунского грабена, выполненного юрскими угленосными осадками и вулканитами туринской серии триаса. Подстилают их терригенно-карбонатные породы нижнего карбона, составляющие совместно с отложениями юры и триаса и корами выветривания бокситоносную формацию и скальное основание района, на котором залегает рыхлый комплекс мел-палеоген-четвертичного возраста. Мощность покрова достигает 150 м, при минимальной 20-30 м.

В Западно-Торгайском районе бокситовые месторождения приурочены к карстовым депрессиям котловинно-полевого и воронкового типов, развитых в известняках нижнего карбона на контакте с одновозрастными вулканогенно-осадочными и эффузивными породами. Рудные тела с крупными запасами бокситов и высоким качеством связаны с первым типом, группируясь в Центральной (Краснооктябрьской) бокситоносной зоне. В ней расположены крупные по запасам месторождения - Краснооктябрьское, Белинское, Восточно-Аятское, средние - Таунсорское, Карабайтальское, Покровское, Аятское и др. и мелкие - Восточно-Козыревское,

Джамбаскульское, Клубное. В этом районе сосредоточено 85,2% балансовых запасов республики.

Добыча бокситов в ЗТБР ведется с 1968 г. рудниками Краснооктябрьского бокситового рудоуправления. Отработаны Верхнетобольское, Озерки, Новоильиновское и другие месторождения Козыревской группы.

На Павлодарском алюминиевом заводе - единственном производителе глинозема в Республике Казахстан используются главным образом низкокачественные бокситы Краснооктябрьского месторождения, расположенного в Камышинском районе Костанайской области, в 160 км юго-западнее г. Костаная [4].

Краснооктябрьское месторождение в настоящее время располагает запасами около 80 млн. тонн боксита. Мощность покровных отложений 42 м, количество вскрыши 10 м³ на 1 тонну боксита. Добыча ведется на Аятском и Красногорском бокситовых рудниках.

На начало 2021 года общие запасы боксита Аятского рудника составляли 29,194 млн. тонн, а Красногорского – 47,094 млн. тонн.

Общий объем добычи бокситов в мире составил 86,7 млн. тонн. Основная добыча бокситов производится в странах Океании (33%), Латинской Америки (26%), Азии 26%, Африки (8,7%). К числу крупнейших компаний по добыче бокситов в мире по данным на 2008 г., относятся: RIO TINTO (Канада) - 30,9 млн. тонн, ALCOA (США) - 25,3 млн. тонн, UK RUSAI (Россия) - 17,8 млн. тонн, AIU MINIA (США) - 15,4 млн. тонн, BHB Billiton (Великобритания) - 15,2 млн. тонн. В рейтинге, составленном BROOK HUNT по компаниям, осуществляющим добычу бокситов, АО «Алюминий Казахстана» занимает двенадцатое место с оценкой объемов добычи бокситов 4,3 млн. тонн (2008г.).

Геологические запасы бокситов в мире оцениваются в 90 млрд. тонн. Общий объем разведанных ресурсов по бокситам в мире составляет около 8 млрд. тонн. Существуют оценки по разведанным запасам бокситов на рудниках различных стран, принадлежащих интегрированным компаниям. Наибольшие запасы разведанных ресурсов по бокситам находятся у компаний: RIO TINTO (Канада) - 4,234 млрд. тонн, VAIE - 2,739 млрд. тонн, UK RUS A1 (Россия) - 2,209 млрд. тонн, ALCOA (США) - 1,867 млрд. тонн. В рейтинге, составленном BROOK HUNT по разведанным ресурсам бокситов, АО «Алюминий Казахстана» (ENRC) занимает девятое место с оценкой 161 млн. тонн, что составляет около 2% от всех разведанных запасов бокситов в мире.

Мощности по производству глинозема действуют в 29 странах мира. Суммарный объем производства глинозема металлургических сортов на заводах мира составил 80,756 млн. тонн.

Большинство из этого числа заводов располагает собственной сырьевой базой. Однако имеется достаточно большое количество (- 30%)

глиноземных заводов, работающих в режиме "открытого рудника", т.е. полностью или частично на привозном сырье.

Главные регионы по производству глинозема, как по числу предприятий, так и по суммарной мощности, расположены в непосредственном примыкании к месторождениям бокситов или вблизи от них. В число таких географических региональных конгломератов входят группы австралийских, индийских, ямайских заводов, заводы в США, российских (5 предприятий), китайских и глиноземное предприятие в Казахстане.

В первую пятерку мировых производителей глинозема входят Австралия, США, Китай, Бразилия и Ямайка, на долю которых суммарно приходится - 60% от общего мирового производства глинозема.

Среди глиноземных заводов СНГ по реализованной мощности глиноземный завод АО "Алюминий Казахстана" находится на 1-м месте.

Несмотря на многочисленность стран - владельцев и большое количество глиноземных заводов в мире число фирм-разработчиков реализованных проектов весьма ограничено.

В перечне основных фирм, чьи технологии реализованы на конкретных заводах, числятся всего 8 наименований, в частности: AIKAN, AICOA, KAISER, REYNOLDS METAIS, PECHINEY, ВАМИ, AIUTERV - FKI, AIUISUISSE.

Технические решения американских фирм AICOA, KAISER, AIKAN и REYN OLDS METAIS положены в основу производства на глиноземных заводах Северной и Южной Америки. Американская технология используется на 88% мощности австралийских глиноземных заводов. Французская фирма PECHINEY реализует свои технические решения в Индии, Китае, Гвинее и в Югославии.

Особое место в мире занимал институт ВАМИ, который единственный владел практическим опытом разработки, проектирования, строительства и успешного внедрения технологий переработки на глинозем низкосортного алюминий содержащего сырья.

Количество фирм-гигантов, чьи технические решения широко внедрены в мировом производстве глинозема, невелико. Их, соответственно выявленному рейтингу, всего лишь пять: AICOA, KAISER, AIKAN, ВАМИ и PECHINEY. Определенный потенциал в разработке, проектировании и строительстве глиноземных заводов имеет европейская фирма AIUISUISSE.[23]

1.3 Технологии переработки бокситов

Переработка Красногорских и Аятских бокситов на глинозем на Павлодарском алюминиевом заводе осуществляется по последовательному способу Байер – спекания.

Данный способ основан на переработке боксита по способу Байера и спекании красного шлама с известняком и содой, диоксид кремния связывают в метасиликат кальция $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ при температуре $1100-1200^\circ\text{C}$ [5]. Процесс спекания требует больших затрат топлива и электрической энергии, осуществляется при значительных трудовых и эксплуатационных расходах, сопровождается вредным экологическим воздействием на окружающую среду (выбросы пыли, щелочные и газовые возгоны продуктов топлива и перерабатываемого сырья). Себестоимость 1 тонны глинозема при использовании этого способа высока [6].

Действующее в Республике Казахстан по данной технологии производство глинозема становится все менее рентабельным и конкурентоспособным и требует серьезной модернизации. За последние годы в Казахстане выполнен большой объем научных исследований по созданию основ гидрощелочных способов переработки алюмосиликатного сырья, изучены условия образования силикатов кальция не содержащих алюминий и щелочь. Разработан гидрохимический метод переработки низкокачественных бокситов, основанный на высокотемпературном выщелачивании сырья щелочно-алюминатным раствором, содержащим $400 - 450 \text{ г/дм}^3 \text{ Na}_2\text{O}$ в присутствии извести [7]. Этот способ (Пономарева-Сажина) не был внедрен в промышленность в связи с отсутствием коррозиестойчивой аппаратуры высокого давления, зарастанием греющего оборудования и высоким потреблением тепловой энергии, превышающем $10,0 \text{ Гкал}$ на 1 тонну глинозема.

Используемые в настоящее время на Павлодарском алюминиевом заводе АО «Алюминий Казахстана» в производстве по последовательно-комбинированному способу Байер-спекание бокситы Красногорского месторождения, отличаются низким кремниевым модулем и повышенным содержанием вредных компонентов: сидерита, шамозита, гематита, пирита, органических и прочих примесей, причем качество их постоянно снижается, что приводит к резкому ухудшению состава растворов, промпродуктов и снижению технико-экономических показателей [8]. Это обстоятельство является основанием для выполнения комплекса теоретических и технологических исследований для разработки эффективной технологии.

Глинозем во всем мире получают щелочным методом. Это обусловлено, простотой аппаратного оформления способа, не требующего специальных марок сталей и прочих дефицитных материалов.

Промышленные щелочные способы производства глинозема из бокситов в зависимости от качества перерабатываемого сырья подразделяются на:

- гидрохимический (способ Байера);
- спекания;
- комбинированный (сочетание способа Байера и спекания в параллельном и последовательном вариантах).

Кремниевый модуль – это массовое отношение Al_2O_3 к SiO_2 боксита. Классический способ Байера пригоден только для высококачественных бокситов с кремниевым модулем больше 7. Бокситы с кремниевым модулем меньше семи целесообразно перерабатывать способом спекания или комбинированным способом. Казахстанские низкокачественные высококремнистые бокситы, имеющие кремниевый модуль 4 единицы и ниже, не могут напрямую перерабатываться по способу Байера. Кроме низкого кремниевого модуля бокситы Красногорского месторождения отличаются повышенным содержанием вредных примесей [8].

Способ спекания – более универсальный и может применяться к любому высококремнистому алюминиевому сырью. Основным недостатком данной технологии является высокая себестоимость получаемого глинозема, связанная с высоким расходом энергоресурсов, материалоемкостью оборудования, потерями щелочи и глинозема с отвальным шламом.

Бокситы различных месторождений существенно отличаются по качественному составу и количественному содержанию компонентов, поэтому для них применяются различные методы или способы переработки [9-11].

Известны способы переработки высокосидеритизированных бокситов, включающие их обжиг, охлаждение, магнитную сепарацию, выщелачивание и переработку красного шлама.

Основным достоинством данных схем является хорошее разделение составляющих боксита. Недостатками являются трудоемкие процессы дробления, грохочения, магнитной сепарации, флотации и дополнительные затраты капиталовложений на строительство флотационных, магнитогравитационных и других установок, что приводит к значительному увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

Существует метод гидрометаллургической каустификации сидеритизированных бокситов [6, 7]. Сущность данного метода заключается в том, что боксит подвергается содово - известковому выщелачиванию с применением кальцинированной соды и известняка в автоклавах. Однако использование данного способа приводит к значительным потерям глинозема за счет образования трехкальциевого гидроалюмината.

Одним из технологичных вариантов переработки сидеритизированного боксита является термическая каустификация. Сущность способа заключается в обжиге боксита при температуре ~ 900 $^{\circ}C$ в трубчатой вращающейся печи с дозировкой соды в необходимом количестве. В работе [7] предложен метод термического кондиционирования для хлоридсодержащих бокситов, позволяющий наряду с хлоридами удалять карбонаты путем обжига. Данный метод обжига носит избирательный характер, поскольку удаляются только карбонатные составляющие.

В работах [7, 12] показано, что способ спекания с применением кальций- и корундсодержащих добавок позволяет перерабатывать высокожелезистые бокситы. Однако утилизация корундсодержащих отходов

и использование вращающихся печей спекания свидетельствуют о не перспективности предлагаемого способа.

В работе [6] предложена технологическая схема, совмещающая отмывку глинистых составляющих и гидрощелочную декарбонизацию, которая позволяет одновременно повысить кремниевый модуль и снизить содержание карбонатов в бокситах. Основными недостатками данной технологической схемы являются: низкая степень отмывки за счет использования щелочной промывной воды; увеличение материального потока.

Переработка низкокачественных бокситов возможна методом отдельного выщелачивания глинистой и каменистой фракций бокситов. Однако разделение фракций боксита в щелочной среде не обеспечивает необходимую степень выделения глинистой части [13].

Таким образом, рассмотренные выше методы переработки низкокачественных бокситов имеют ряд недостатков, делающих затруднительным или невозможным их применение в условиях производства АО «Алюминий Казахстана». Требуется создание новых решений для обеспечения эффективной переработки низкокачественного гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения с получением высококачественного глинозема.

Оптимальным решением для вовлечения в сферу переработки большинства бокситов месторождений Казахстана является предлагаемая нами технология переработки низкокачественных гиббсит – каолинитовых бокситов с предварительным двухстадиальным обогащением, включающая инновационные технические решения, позволяющие удалить вредные примеси, трансформировать фазовый состав, удалить кремний при последующей щелочной обработке и получить материал, пригодный для производства глинозема наиболее простым и эффективным способом Байера[14].

Производство глинозема по способу Кузнецова – Жуковского.

Отсутствие высококачественных бокситов настоятельно требовало изыскания путей переработки некондиционных видов сырья. Первые работы по переработке бокситов, не пригодных для производства глинозема по способу Байера, были начаты А.Н.Кузнецовым в 90-х гг. прошлого века на базе железобокситовых и глиноземных железных руд. Была исследована возможность плавки подобной руды с восстановителем и шлакообразующими карбонатами щелочно-земельных металлов. В результате плавки (в домнах или электропечах) получали чугун и шлак, содержащий кремнезем в виде двукальциевого силиката, а оксид алюминия в виде алюминатов бария.

В процессе исследований технология претерпела ряд изменений, и в 1915 г. А.Н. Кузнецовым и В.А. Жуковским был предложен электротермический способ, заключающийся в высокотемпературной восстановительной плавке бокситовой руды с известняком. Получающийся

шлак, содержит алюминат кальция, а оксиды железа, кремния и некоторых других металлов, присутствующих в руде, восстанавливаются коксом до металлического состояния и образуют сплав ферросилиций, широко используемый черной металлургией в качестве раскислителя стали. Шлак обрабатывается гидрометаллургически для выделения из него очищенного гидроксида алюминия и получения глинозема. Этот вариант был положен в основу при проектировании второго отечественного алюминиевого завода в Запорожье, который был введен в эксплуатацию в 1933 г. и работал по этому способу до 1941 г.

Получаем этим способом глинозем отличается несколько повышенным содержанием SiO_2 (0,10-0,12 %). Однако содержание диоксида кремния может быть существенно снижено более равномерной загрузкой шлака в выщелачиватели, очисткой раствора путем ионнообменных процессов, обработкой раствора после выщелачивания цинком с образованием сульфида цинка или уменьшением количества органических соединений в процессе, так как доказано, что содержание SiO_2 в глиноземе связано с содержанием в алюминатном растворе органики. В данном случае источником органики является кокс, поэтому его дозировка должна быть минимально необходимая [22].

1.4 Выводы по 1 главе

Проведенный анализ литературного обзора позволил сделать следующие выводы:

Переработка Красногорских и Аятских бокситов на глинозем на Павлодарском алюминиевом заводе осуществляется по последовательному способу Байер – спекания. Процесс спекания требует больших затрат топлива и электрической энергии, осуществляется при значительных трудовых и эксплуатационных расходах, сопровождается вредным экологическим воздействием на окружающую среду (выбросы пыли, щелочные и газовые возгоны продуктов топлива и перерабатываемого сырья).

В Республике Казахстан отсутствуют месторождения бокситов, пригодные для непосредственной переработки по способу Байера.

Действующее в Республике Казахстан по данной технологии производство глинозема становится все менее рентабельным и конкурентоспособным и требует серьезной модернизации. За последние годы в Казахстане выполнен большой объем научных исследований по созданию основ гидрощелочных способов переработки алюмосиликатного сырья, изучены условия образования силикатов кальция не содержащих алюминий и щелочь.

Разработан гидрохимический метод переработки низкокачественных бокситов, основанный на высокотемпературном выщелачивании сырья

щелочно-алюминатным раствором, содержащим 400 - 450 г/дм³ Na₂O_к в присутствии извести.

Классический способ Байера пригоден только для высококачественных бокситов с кремниевым модулем больше 7. Бокситы с кремниевым модулем меньше семи целесообразно перерабатывать способом спекания или комбинированным способом. Казахстанские низкокачественные высококремнистые бокситы, имеющие кремниевый модуль 4 единицы и ниже, не могут напрямую перерабатываться по способу Байера. Кроме низкого кремниевого модуля бокситы Красногорского месторождения отличаются повышенным содержанием вредных примесей.

Требуется создание новых решений для обеспечения эффективной переработки низкокачественного гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения с получением высококачественного глинозема.

Оптимальным решением для вовлечения в сферу переработки большинства бокситов месторождений Казахстана является предлагаемая нами технология переработки низкокачественных гиббсит – каолинитовых бокситов с предварительным двухстадиальным обогащением, включающая инновационные технические решения, позволяющие удалить вредные примеси, трансформировать фазовый состав, удалить кремний при последующей щелочной обработке и получить материал, пригодный для производства глинозема наиболее простым и эффективным способом Байера.

2 Методика исследований

Работу проводили на представительной пробе Красногорского боксита, представленной АО Алюминий Казахстана состава, масс. %: Al_2O_3 42,0; SiO_2 11,5; Fe_2O_3 19,5; CaO 1,08; Na_2O 0,22; MgO 0,18; K_2O 0,03; TiO_2 2,05; SO_3 0,24; Cl – 0,04; п.п 23,16; μSi 3,65.

Для исследований были использованы физико-химические методы анализа: рентгенофлуорисцентный, химический, ИКС-анализ, термический и электронно – микроскопический.

Рентгенофлуоресцентный анализ осуществляли на спектрометре с волновой дисперсией Venus 200 PANalytical B.V. (PANalytical B.V., Голландия).

Химический анализ образцов выполнен на оптическом эмиссионном спектрометре с индуктивно – связанной плазмой Optima 2000 DV (США, PerkinElmer).

Рентгеновские экспериментальные данные получены на аппарате BRUKERD8 ADVANCE на медном излучении при ускоряющем напряжении 36 кВт, токе 25 мА.

ИКС-анализ получен на ИК-Фурье спектрометре «Avatar 370» в спектральном диапазоне 4000-400 см^{-1} от препаратов, приготовленных из 200 мг KBr и 2 мг пробы. Приставка для эксперимента: Avatar Diffuse Reflectance.

Термический анализ выполняли с использованием прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter.

Микрофотографии были сделаны на растровом низковакуумном электронном микроскопе с термоэмиссионным катодом (LaB6)JSM-6610LV фирмы “JEOL”.

Химическую активацию боксита проводили в растворе, содержащем 120 г/дм³ NaHCO_3 при отношении Ж:Т=10,0 и температурах 90 – 2000 с использованием термостатированной установки с 6 вращающимися через голову автоклавами, рабочим объемом 250 см³. Продолжительность активации составляла 60 минут. Необходимое содержание в растворе гидрокарбоната натрия 120 г/дм³ выбрано с учетом его предела растворимости.

3 Экспериментальная часть

3.1 Объект исследований и физико-химические анализы

Исходным сырьем для проведения исследований служила представительная проба гиббсит – каолинитового боксита Красногорского боксита состава, масс. %: Al_2O_3 42,0; SiO_2 11,5; Fe_2O_3 19,5; CaO 1,08; Na_2O 0,22; MgO 0,18; K_2O 0,03; TiO_2 2,05; SO_3 0,24; Cl – 0,04; п.п 23,16; μSi 3,65.

Физико-химическими методами проведено исследование вещественного состава пробы гиббсит-каолинитовых бокситов Красногорского месторождения. Методами рентгенофазового, ИК спектрического и термического анализов определен его фазовый состав.

Рентгенофазовый состав гиббсит – каолинитового боксита представлен в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Фазовый состав гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения

Наименование	Формула	%
Гиббсит	$\text{Al}(\text{OH})_3$	54,95
Каолинит-1А	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	10,02
Сидерит	FeCO_3	6,09
Гидроалюмосиликат	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	5,17
Кварц	SiO_2	5,10
Силикат кальция	Ca_5Si_3	5,07
Гематит	Fe_2O_3	4,89
Оксид титана	TiO_2	4,88
Оксид ферротитана	Fe_2TiO_5	3,83

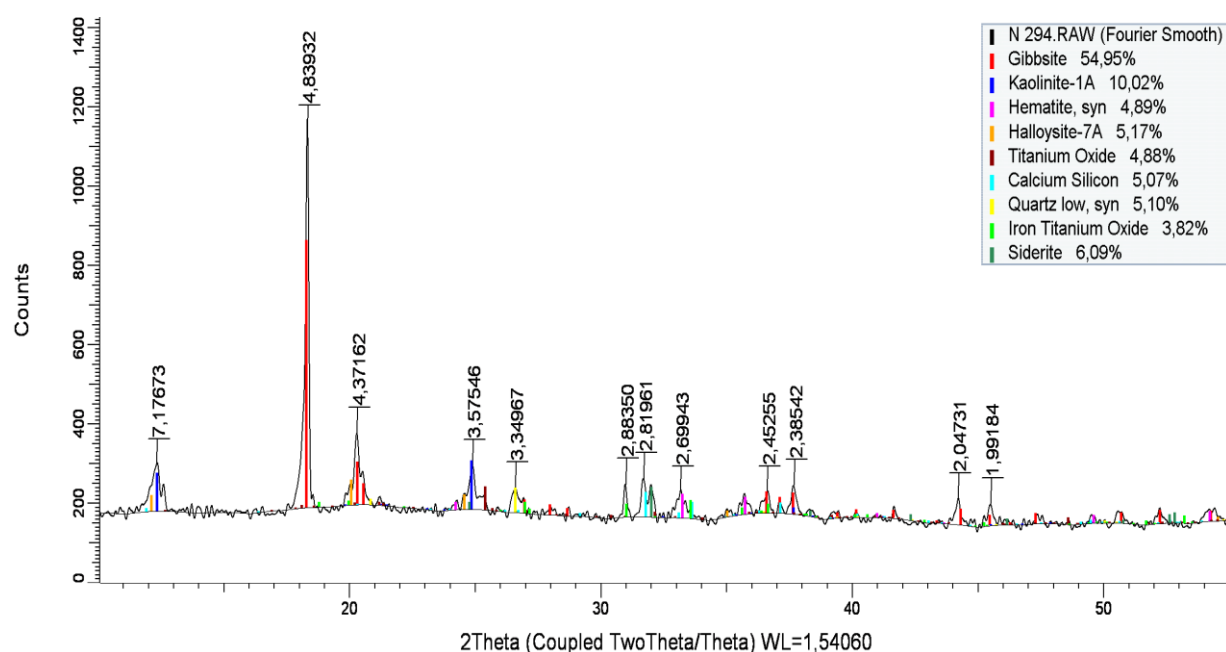


Рисунок 1 – Рентгенограмма боксита Красногорского месторождения

Инфракрасный спектр пробы боксита представлен на рисунке 2.

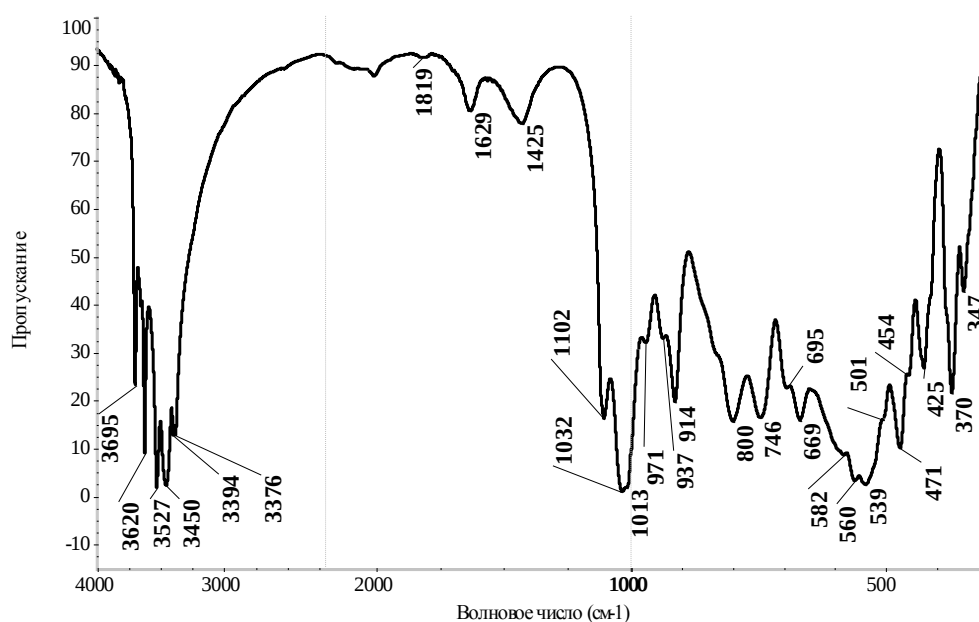


Рисунок 2 - Инфракрасный спектр боксита Красногорского месторождения

Инфракрасная спектроскопия определила присутствие следующих фаз: гиббсит $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$; каолинит $\text{Al}_4[(\text{OH})_8 | \text{Si}_4\text{O}_{10}]$; гетит $\alpha\text{-FeOOH}$; сидерит FeCO_3 [7]. Присутствуют: гематит Fe_2O_3 [8]; анатаз TiO_2 [9]; диаспор $\alpha\text{-AlOOH}$ [7].

Исследование пробы боксита термическим методом анализа (рисунок 3) показало: на кривой ДТА интенсивные эндотермические эффекты с максимальным развитием при $334,5^\circ\text{C}$, 557°C ; на кривой dДТА дополнительные экзотермические эффекты с пиками при $897,8^\circ\text{C}$ и $989,9^\circ\text{C}$; на кривой ДТГ зафиксированы минимумы при $287,9^\circ\text{C}$, $319,4^\circ\text{C}$, $532,8^\circ\text{C}$.

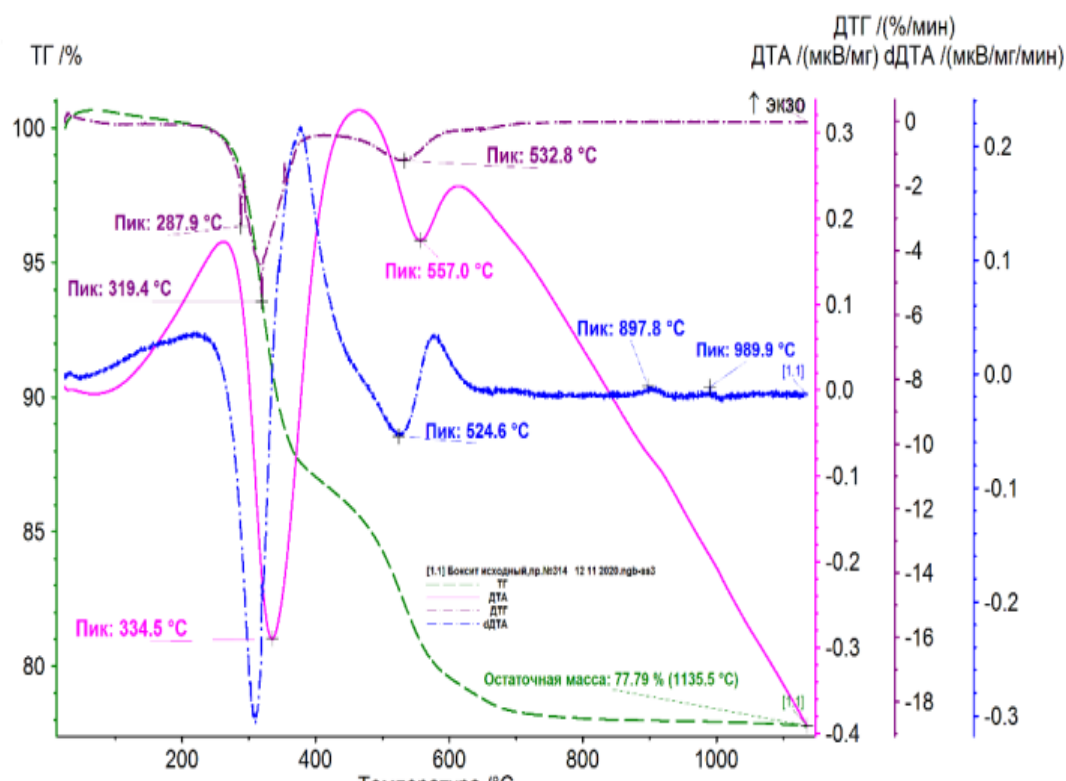


Рисунок 3 - Термограмма исходной пробы гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения

Глубокий эндотермический эффект с максимальным развитием при 334,5 °C, в области развития которого проявились два минимума на кривой ДТГ (287,9 °C, 319,4 °C), отражает дегидратацию гиббсита и гидроксида железа. Сочетание эндотермического эффекта с экстремумом при 557 °C на кривой ДТА и слабого экзотермического эффекта с пиком при 989,9 °C на кривой dДТА м.б. проявлением каолинита. В наложение, сочетание этого же эндотермического эффекта с экзотермическим эффектом с пиком при 897,8 °C на кривой dДТА может отражать наличие крупнокристаллического сидерита.

Таким образом определено, что фазовый состав пробы боксита представлен: % гиббситом, каолинитом, сидеритом, гидроалюмосиликатом, кварцем, силикатом кальция, гематитом, оксидом титана, оксидом ферротитана.

Микрофотография и электронно-микроскопический анализ боксита приведен на рисунке 4.

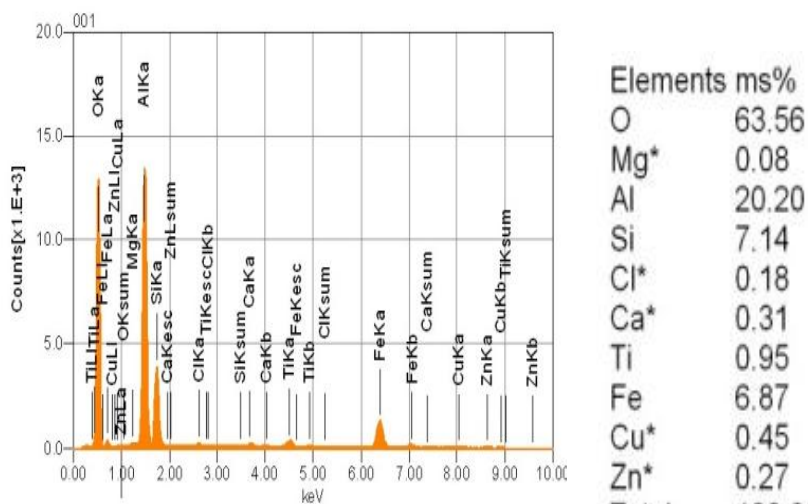
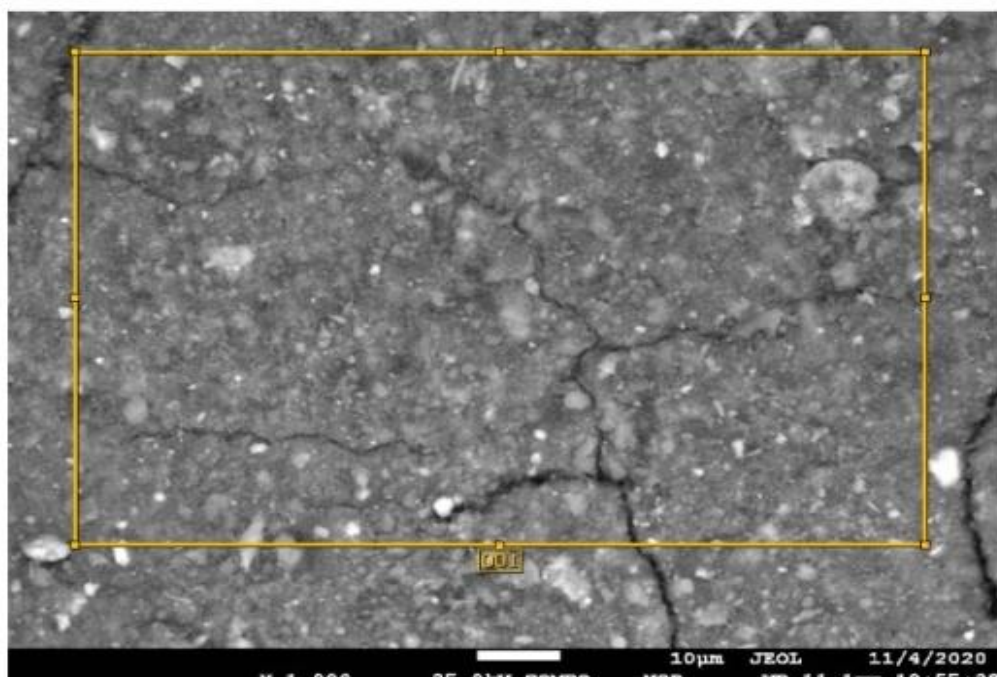


Рисунок 4 - Микрофотография и электронно-микроскопический анализ гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения

Обогащение низкокачественного гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения возможно проводить методом гравитационного обогащения при отделении легкой глинистой фракции от тяжелой песковой.

Проведены исследования зависимости химической активации боксита от температуры и продолжительности, которые влияют на степень изменения исходного фазового состава и на раскрытие минеральной структуры, от которых зависит эффективность проведения дальнейших технологических операций обогащения.

3.2 Предварительное химическое обогащение

Исследования влияния температуры химической активации на фазовый состав боксита проводили при продолжительности 60 минут.

Химический состав боксита в зависимости от температуры активации представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав боксита в зависимости от температуры активации

°C	Содержание, %										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	Cl ⁻	п.п.
Исх.	42,0	11,5	19,5	1,08	0,22	0,18	0,24	0,03	2,05	0,04	23,16
90 ⁰	42,4	11,4	19,7	1,1	0,7	0,18	0,17	0,03	2,25	0,02	22,05
120 ⁰	42,0	11,3	19,9	1,1	1,06	0,19	0,18	0,02	2,3	0,02	21,93
150 ⁰	42,2	11,3	19,7	1,2	1,18	0,17	0,18	0,03	2,2	0,016	21,824
180 ⁰	42,6	11,4	19,9	1,1	1,5	0,19	0,19	0,05	2,1	0,017	20,953
200 ⁰	42,8	11,5	19,9	1,2	6,4	0,18	0,16	0,05	2,2	0,03	15,58

В результате химической активации получено, что содержание элементов в пробах, кроме оксида натрия, осталось на прежнем уровне. При температуре активации 200 °C получили густую пульпу.

Фазовый состав боксита в зависимости от температуры химической активации представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Фазовый состав боксита в зависимости от температуры химической активации

°C	Наименование								
	Гибсит Al(OH) ₃	Каолинит-1A Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Сидерит FeCO ₃	Кварц SiO ₂	Силикат кальция Ca ₅ Si ₃	Гематит Fe ₂ O ₃	Оксид титана Ti ₆ O ₁₁	Оксид ферро титана Fe ₂ TiO ₅	Кальцит CaCO ₃
Исх.	54,95	15,19	6,09	5,11	5,07	4,89	4,88	3,82	-
90 ⁰	55,59	12,11	11,52	4,8	-	5,09	4,69	3,67	2,53
120 ⁰	56,45	12,43	9,77	4,91	-	5,89	4,59	3,70	2,26
150 ⁰	55,7	12,44	7,69	5,4	-	6,23	4,57	3,80	4,37
180 ⁰	52,38	10,79	6,82	7,63	-	6,99	4,51	3,76	3,21
200 ⁰	55,34	10,86	7,29	8,04	-	7,22	4,64	3,41	3,20

Таким образом, в зависимости от температуры химической активации в фазовом составе боксита произошли изменения исчезла фаза силиката кальция с образованием кальцита, с увеличением температуры активации уменьшается содержание каолинита и сидерита, увеличивается содержание кварца и гематита.

Определена зависимость вещественного состава боксита от продолжительности химической активации проводили при температурах 120 и 200 °С.

Химический состав боксита в зависимости от продолжительности активации при температуре 120⁰С представлен в таблице 4.

Таблица 4 - Химический состав боксита в зависимости от продолжительности активации при температуре 120 °С

Мин.	Содержание, %										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	Cl ⁻	п.п.
20	42,2	11,2	20,3	1,3	0,413	0,13	0,19	0,07	2,5	0,02	21,677
40	42,25	11,1	20,3	1,14	0,45	0,18	0,16	0,06	2,4	0,02	21,94
60	42,24	11,3	19,8	1,1	1,16	0,19	0,18	0,02	2,6	0,02	21,39
90	42,4	11,3	19,6	1,1	1,3	0,16	0,17	0,04	2,2	0,02	21,71
120	42,4	11,1	20,0	1,17	1,43	0,18	0,17	0,03	2,5	0,02	21,0
180	38,8	10,9	18,6	1,06	4,35	0,2	0,04	0,04	2,2	0,02	23,79
240	36,3	10,6	17,1	0,9	6,8	0,16	0,19	0,06	2,06	0,04	25,79

При продолжительности активации 180 минут и более получили густую пульпу.

Фазовый состав боксита в зависимости от продолжительности химической активации при температуре 120 °С представлен в таблице 5.

Таблица – 5 - Фазовый состав боксита в зависимости от продолжительности химической активации при температуре 120 °С

Продол жительн ость, мин.	Наименование								
	Гибсит Al(OH) ₃	Каолинит-1А Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Сидерит FeCO ₃	Кварц SiO ₂	Гематит Fe ₂ O ₃	Оксид титана Ti ₆ O ₁₁	Оксид ферро титана Fe ₂ TiO ₅	Кальцит CaCO ₃	Даусонит NaAlCO ₃ (OH) ₂
20	51,43	11,67	4,89	5,28	10,02	6,99	6,32	3,4	-
40	51,42	11,98	4,58	5,18	10,25	7,0	6,2	3,39	-
60	51,45	10,94	4,77	5,61	10,23	7,09	6,25	3,66	-
90	51,91	10,22	5,00	5,94	10,1	6,94	6,6	3,29	-
120	50,69	10,37	6,56	6,02	9,81	6,99	6,54	3,02	-

180	45,62	9,06	6,02	6,55	9,35	7,11	6,23	4,4	5,66
240	43,76	9,3	-	6,05	8,09	7,1	6,71	4,5	14,49

Таким образом, в результате химической активации при температуре 120 °С определено: фаза гиббсита остается на одном уровне до продолжительности 120 минут, далее ее количество уменьшается и появляется новая алюминийсодержащая фаза даусонит.

Химический состав боксита в зависимости от продолжительности активации при температуре 200°С представлен в таблице 8.

Таблица 8 - Химический состав боксита в зависимости от продолжительности активации при температуре 200°С

Мин.	Содержание, %										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	Cl ⁻	п.п
20	44,1	11,0	20,1	1,14	0,2	0,18	0,17	0,04	2,6	0,02	20,45
40	44,38	11,1	19,4	1,1	0,9	0,18	0,17	0,05	2,53	0,02	20,17
60	44,83	10,9	19,9	1,2	6,4	0,18	0,16	0,05	2,5	0,02	13,86
90	44,8	10,7	11,08	0,6	23,1	0,12	0,2	0,01	1,64	0,01	7,74

При продолжительности активации 60 минут получили густую пульпу. При продолжительности 90 минут получили твердую фазу, которая заполнила весь объем автоклава, раствор отсутствовал (рисунок 5).



Рисунок 5 - Твердая фаза активации боксита, полученный при 200 °С и продолжительности 90 минут

Увеличение конечного веса боксита после активации 60 минут и более привело к снижению процентного содержания элементов, в то же время содержание оксида натрия резко увеличилось, что указывает на образование новой фазы – даусонита. Фазовый состав боксита в зависимости от

продолжительности химической активации при температуре 200 °С представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Фазовый состав боксита в зависимости от продолжительности химической активации при температуре 200 °С

Мин.	Наименование								
	Гибсит $\text{Al}(\text{OH})_3$	Каолинит-1А $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Сидерит FeCO_3	Кварц SiO_2	Гематит Fe_2O_3	Оксид титана Ti_6O_{11}	Оксид ферро титана Fe_2TiO_5	Кальцит CaCO_3	Даусонит $\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$
20	54,59	9,58	8,8	4,05	5,45	2,69	8,49	6,35	-
40	54,38	8,85	8,86	4,36	6,28	2,83	8,19	6,25	-
60	50,34	9,8	-	4,8	6,22	2,4	8,41	3,26	14,77
90	15,3	6,34	-	3,2	5,45	1,2	2,8	2,82	62,89

3.3 Гравитационное обогащение

Для повышения эффективности гравитационного обогащения боксита использована предварительная химическая активация в растворе гидрокарбоната натрия [отчет промежуток 2020].

Результаты гравитационного обогащения боксита с выделением песковой фракции после химической активации при температурах 90 и 120 °С в зависимости от продолжительности приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 - Гравитационное обогащение боксита после химической активации при температуре 90 °С

Продолжительность активации, мин	Выход песковой фракции, %	μ_{Si}	Выход мелкой фракции, %	μ_{Si}	Выход Al_2O_3 во фракции, %	
					песковая	мелкая
20	67,4	4,2	32,6	2,17	69,0	31,0
40	66,6	4,25	33,4	2,14	65,9	34,1
90	66,0	4,3	34,0	2,09	65,4	34,6
120	65,0	4,35	36,6	2,05	64,3	35,7
180	62,8	4,5	37,2	2,0	63,65	36,35
240	55,2	5,3	44,8	2,0	54,6	45,4

Таблица 8 - Гравитационное обогащение боксита после химической активации при температуре 120 °С

Продолжительность активации, мин	Выход песковой фракции, %	μ_{Si}	Выход мелкой фракции, %	μ_{Si}	Выход Al_2O_3 во фракции, %	
					песковая	мелкая
20	70,5	4,25	29,5	2,08	70,48	29,52
40	66,5	4,4	33,5	2,11	66,9	33,1
90	59,8	4,6	40,2	2,17	58,6	41,4
120	43,7	5,0	56,3	2,2	44,6	55,4

Из полученных результатов следует, что с увеличением продолжительности предварительной активации:

- увеличивается количество отделяемой при гравитационном обогащении мелкой фракции;
- кремниевый модуль выделяемой крупно – кристаллической, песковой фракции повышается;
- увеличиваются потери Al_2O_3 с мелкой, каолинитовой фракцией боксита.

В результате гравитационного обогащения боксита после предварительной химической активации выделена крупно – кристаллическая песковая фракция с кремниевым модулем $\mu_{Si} = 4,2 - 5,3$, что на 7,7 – 35,9 % выше чем кремниевый модуль песковой фракции выделенной без активации.

Зависимость выхода крупно – кристаллической, песковой фракции боксита от продолжительности предварительной активации при температурах 90 °С и 120 °С представлена на рисунке 6.

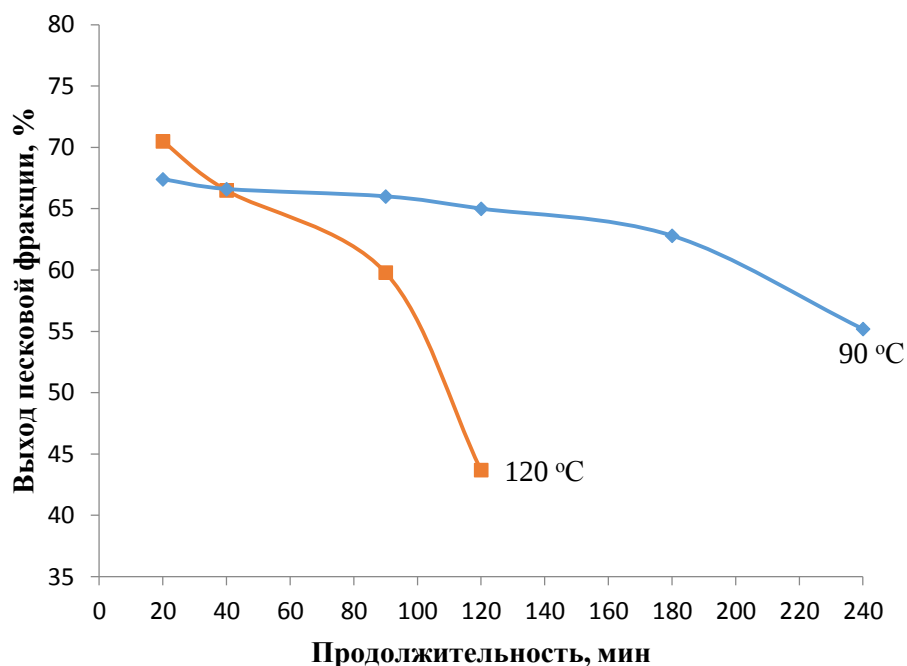


Рисунок 6 – Зависимость выхода крупно – кристаллической, песковой фракции боксита от продолжительности предварительной активации при температурах 90 °C и 120 °C

Зависимость кремниевого модуля выделяемой крупно – кристаллической, песковой фракции боксита от продолжительности предварительной активации при температурах 90 °C и 120 °C представлена на рисунке 7.

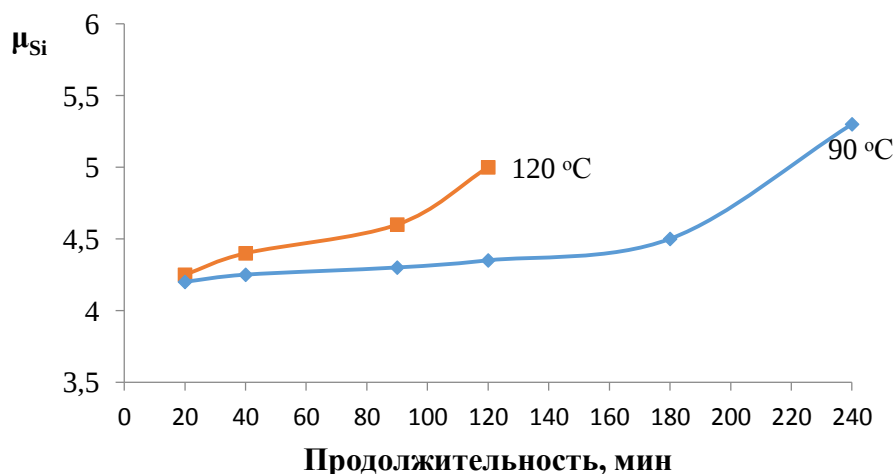


Рисунок 7 – Зависимость кремниевого модуля выделяемой крупно – кристаллической, песковой фракции боксита от продолжительности предварительной активации при температурах 90 °C и 120 °C

Зависимость выхода Al_2O_3 в крупно – кристаллическую, песковую фракцию боксита от продолжительности предварительной активации при температурах 90 °С и 120 °С представлена на рисунке 8.

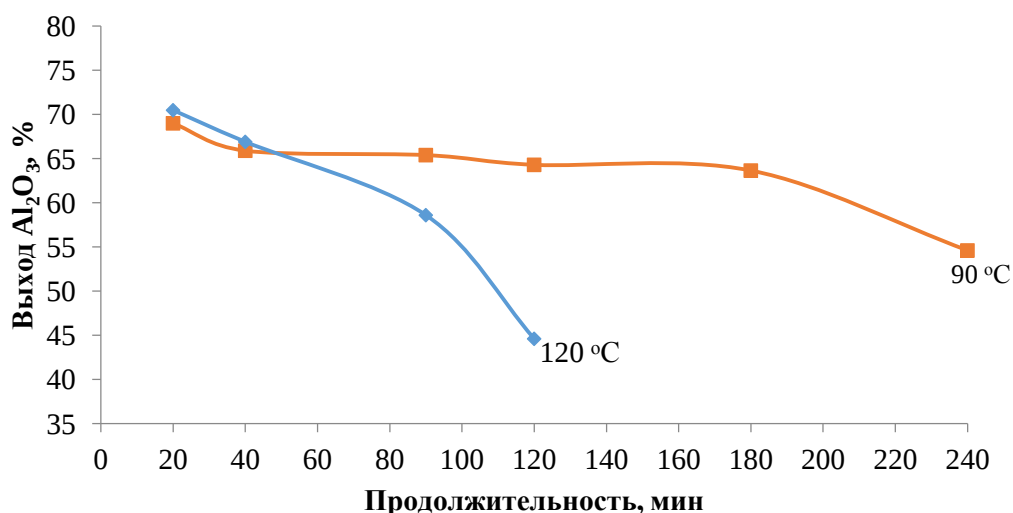


Рисунок 8 –Зависимость выхода Al_2O_3 в крупно – кристаллическую, песковую фракцию боксита от продолжительности предварительной активации при температурах 90 °С и 120 °С

Для проведения дальнейших исследований наработаны 10 кг концентрата гравитационного обогащения – песковой фракции боксита после предварительной химической активации при температуре 120 °С и продолжительности 40 минут. Выход песковой фракции составил 66,0 %.

Химический состав песковой фракции масс. %: Al_2O_3 42,0; SiO_2 9,65; Fe_2O_3 19,9; CaO 1,1; Na_2O 1,06; MgO 0,19; SO_3 0,18; K_2O 0,02; TiO_2 2,3; Cl^- 0,02; п.п 23,58; μSi 4,35.

Химический состав мелкой фракции масс. %: Al_2O_3 38,8; SiO_2 19,6; Fe_2O_3 16,96; CaO 1,45; Na_2O 0,187; MgO 0,26; K_2O 0,06; TiO_2 3,2; SO_3 0,11; Cl^- 0,01; п.п 19,363; μSi 1,98.

Микрофотография и электронно-микроскопический анализ крупно – кристаллической, песковой боксита после химической активации при температуре 120 °С и продолжительности 40 минут приведен на рисунке 9.

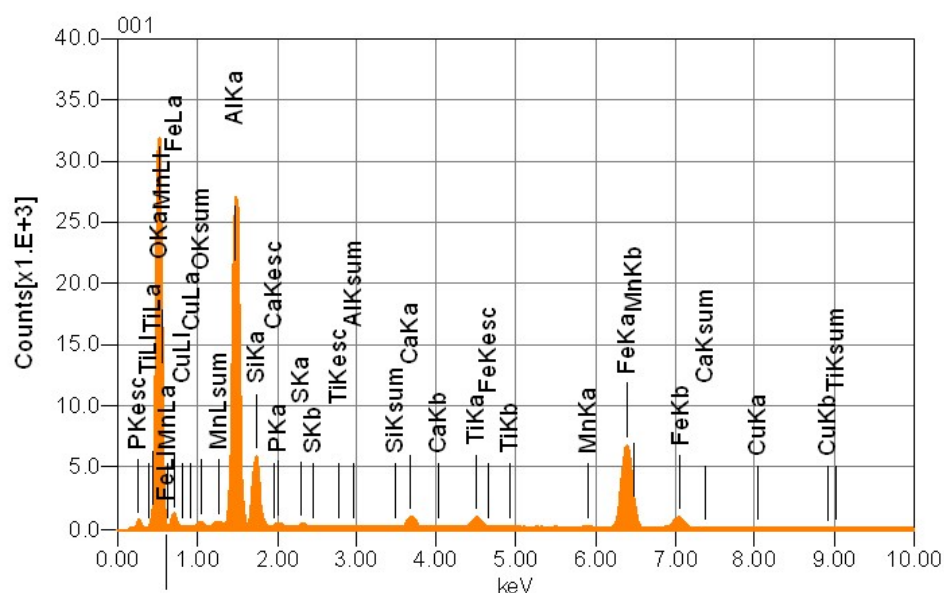
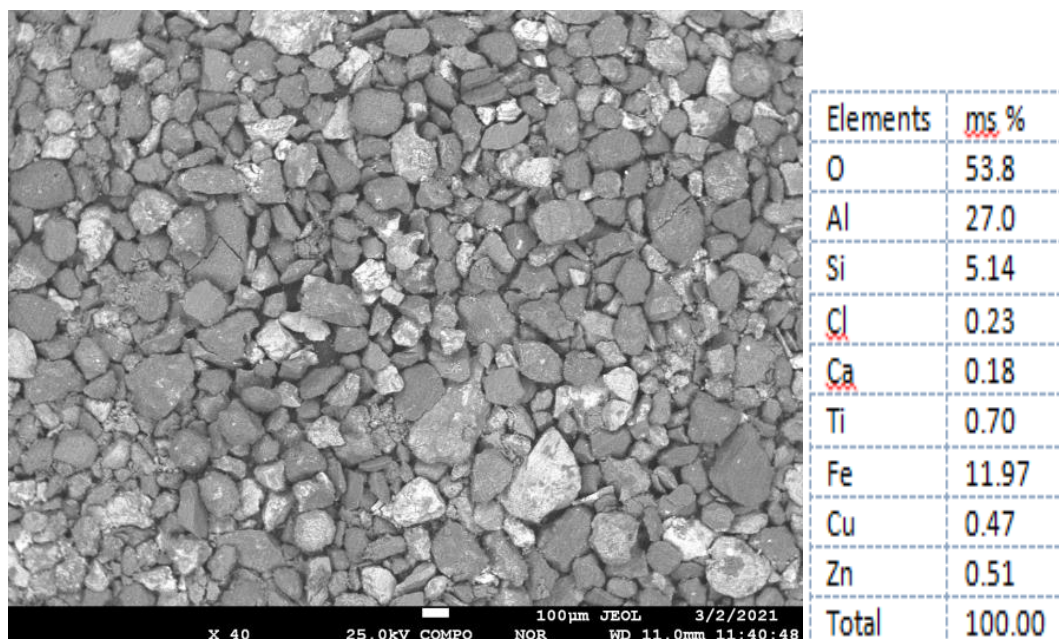


Рисунок 9 - Микрофотография и электронно-микроскопический анализ крупнозернистой фракции боксита после химической активации при температуре 120 °С и продолжительности 40 минут

Проведен ситовой анализ полученного концентрата песковой фракции таблица 9.

Таблица 9 – Ситовой анализ концентрата песковой фракции боксита

Наименование	Выход, %
+0,25	1,1
-0,25+0,1	59,5
-0,1+0,05	35,9
-0,05	3,5
ИТОГО	100

Химический состав концентрата песковой фракции боксита представлен в таблице 10.

Таблица 10– Химический состав концентрата песковой фракции боксита

Класс крупности	Содержание, %							
	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	SO ₃	K ₂ O
+0,25	0,96	43,7	7,24	22,9	1,95	2,6	0,49	0,01
-0,25+0,1	0,305	41,53	7,82	23,0	1,39	2,74	0,22	0,03
-0,1+0,05	0,3	39,6	8,82	24,89	1,48	2,72	0,24	0,02
-0,05	0,33	38,0	9,17	33,28	1,63	3,16	4,42	0,025

Рентгенофазовый состав концентрата песковой фракции боксита представлен в таблице 11 и на рисунке 10.

Таблица 11 – Фазовый состав концентрата песковой фракции боксита

Наименование	Формула	%
Гиббсит	Al(OH) ₃	43
Гематит	Fe ₂ O ₃	10,6
Сидерит	FeCO ₃	7,7
Доломит	CaMg(CO ₃) ₂	10,9
Оксид титана	TiO ₂	7,5
Каолинит-1А	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	6,2
Кальцит	CaCO ₃	5,2
Кварц	SiO ₂	5,1
Ферро сульфид оксида натрия	Na ₂ OFe ₂ S ₂	3,8

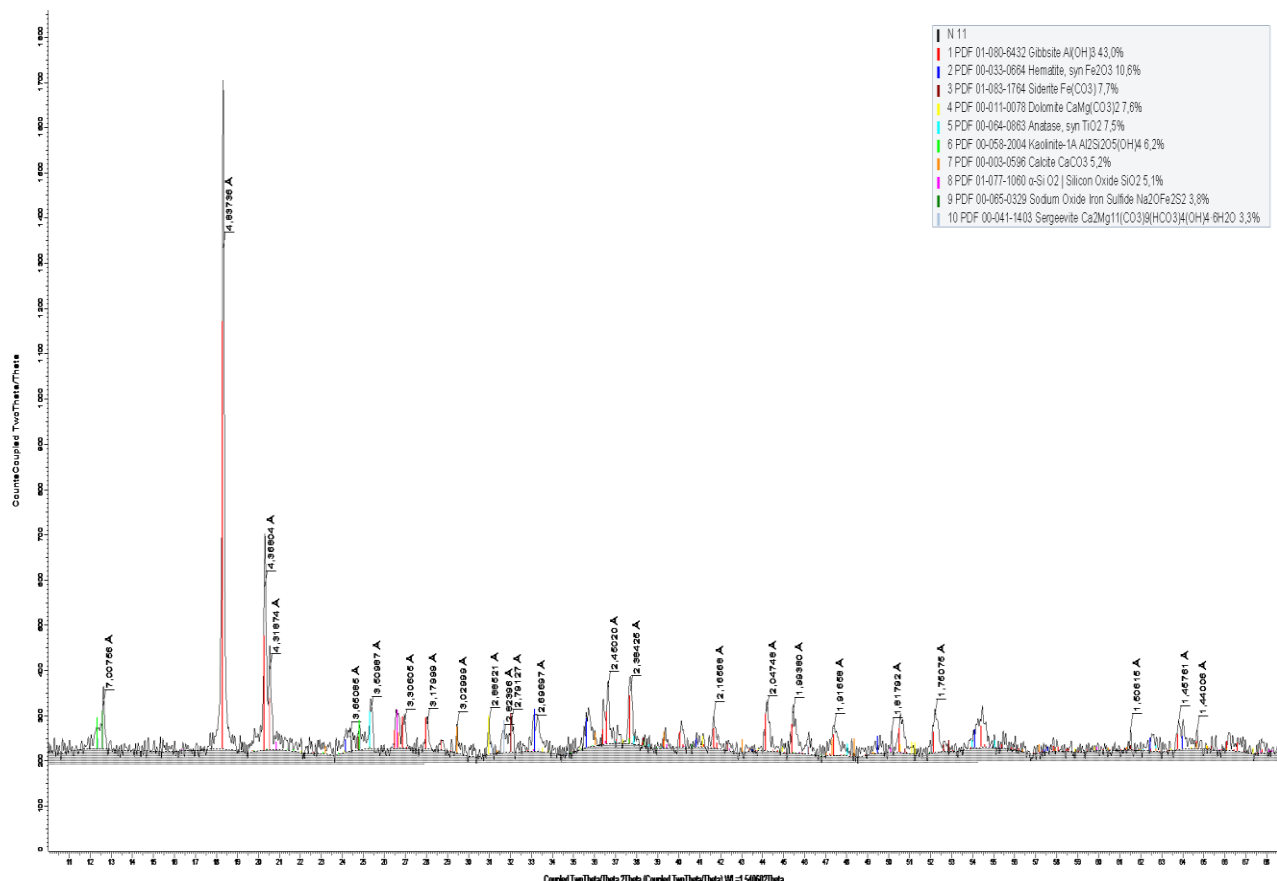


Рисунок 10 – Рентгенограмма концентрата песковой фракции боксита

Рентгенофазовый состав концентрата мелкой фракции боксита представлен в таблице 15 и на рисунке 11.

Таблица 12 – Фазовый состав мелкой фракции боксита

Наименование	Формула	%
Гиббсит	$\text{Al}(\text{OH})_3$	47,5
Гематит	Fe_2O_3	18,2
Каолинит-1А	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	13,6
Оксид титана	TiO_2	7,7
Ферро сульфид оксида натрия	$\text{Na}_2\text{OFe}_2\text{S}_2$	6,9
Кварц	SiO_2	6

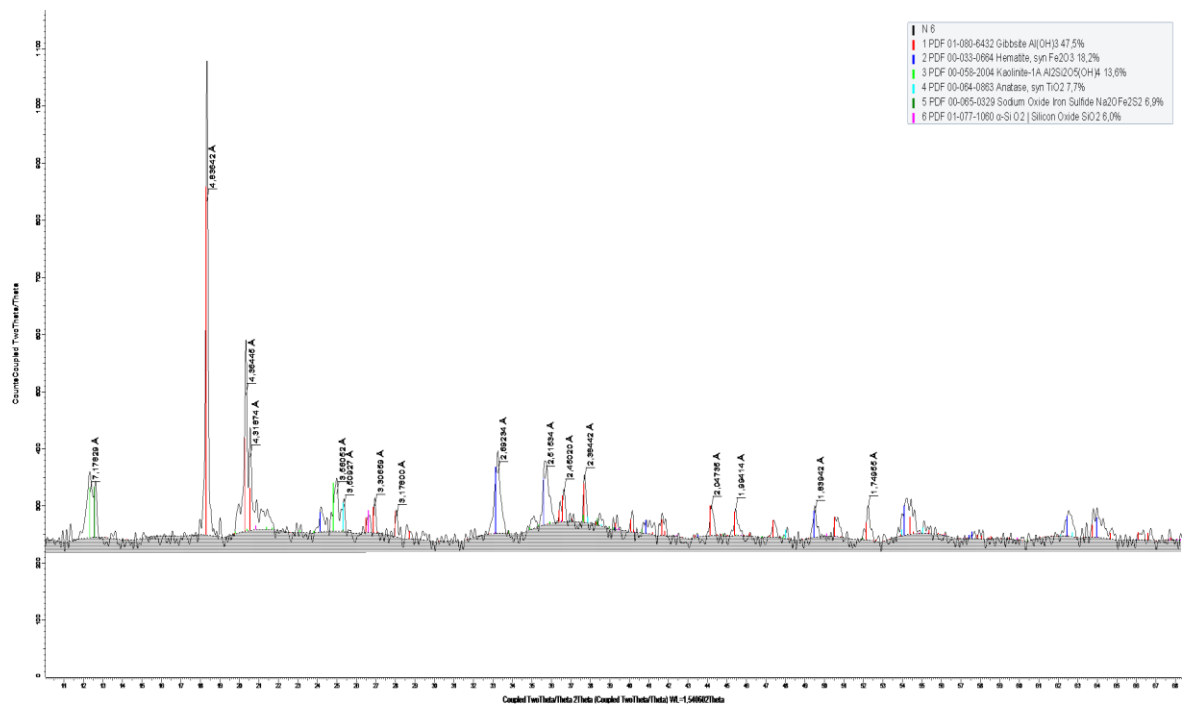


Рисунок 11 – Рентгенограмма мелкой фракции боксита

Термический анализ концентрата песковой фракции боксита приведен на рисунке 12.

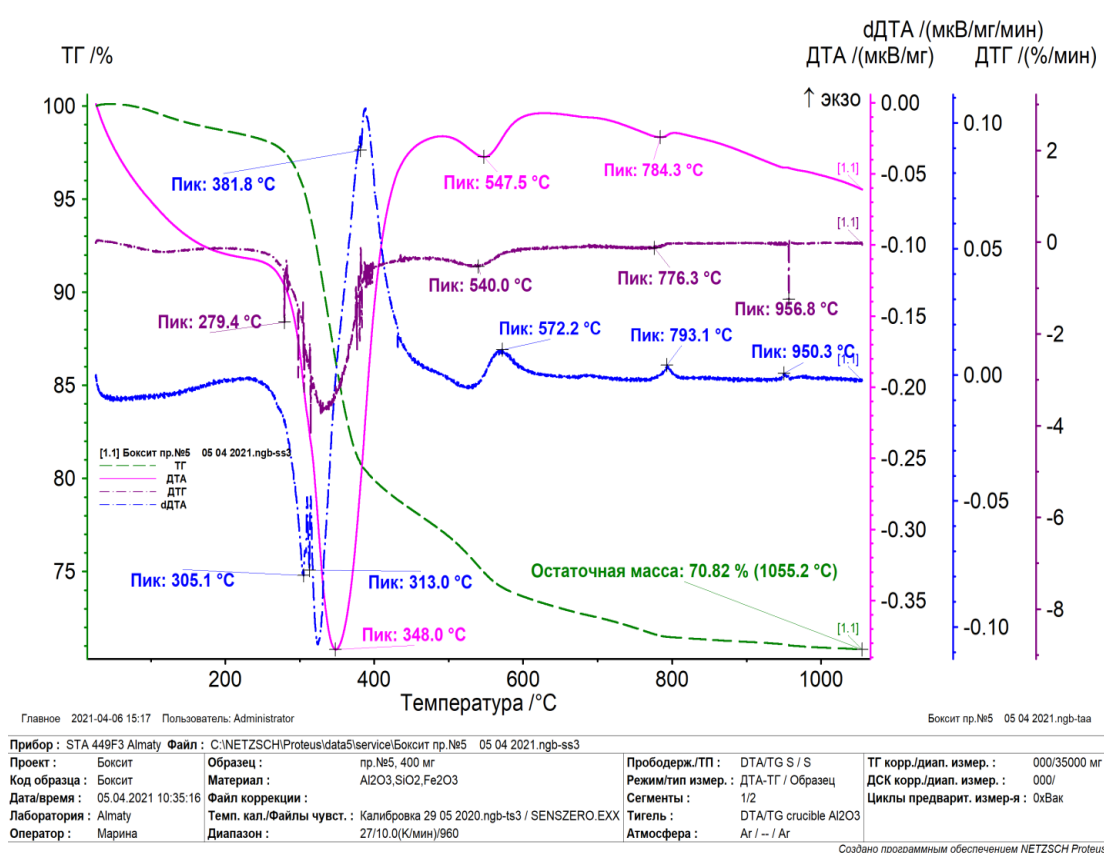


Рисунок 12 - Термограмма концентрата песковой фракции боксита

На кривой ДТА проявился интенсивный эндотермический эффект с максимальным развитием при 348°C . Развит он на фоне также интенсивного снижения массы навески, что видно из хода кривой ТГ. Также зафиксирован менее интенсивный эндотермический эффект с максимальным развитием при $547,5^{\circ}\text{C}$, следующий эндотермический эффект с экстремумом при $784,3^{\circ}\text{C}$ отличается еще меньшей интенсивностью. На кривой dДТА можно отметить дополнительные эндотермические эффекты с экстремумами при $305,1^{\circ}\text{C}$, 313°C , $381,8^{\circ}\text{C}$. Присутствуют и экзотермические эффекты с пиками при $572,2^{\circ}\text{C}$, $793,1^{\circ}\text{C}$ и 950°C . Последние два эффекта отличаются низкой интенсивностью. На кривой ДТГ можно отметить минимумы при $279,4^{\circ}\text{C}$, 540°C , $776,3^{\circ}\text{C}$, $956,8^{\circ}\text{C}$.

Основной фазой является гиббсит. Он проявился эндотермическими эффектами с экстремумами при 348°C , $547,5^{\circ}\text{C}$. Эндотермические эффекты на кривой dДТА с экстремумами при $305,1^{\circ}\text{C}$, 313°C могут свидетельствовать о наличии гиббсита мелкокристаллического и среднекристаллического соответственно. Сочетание эндотермического эффекта с экстремумом при $381,8^{\circ}\text{C}$ и экзотермического эффекта с пиком при $572,2^{\circ}\text{C}$ на кривой dДТА может быть проявлением лепидокрокита $\gamma\text{-FeOOH}$. В наложение, сочетание эндотермического эффекта с экстремумом при 313°C и экзотермических эффектов с пиками при $572,2^{\circ}\text{C}$, 950°C на кривой dДТА может быть проявлением алюмогетита $\text{FeO}(\text{OH})\text{Al}_2\text{O}_3$. Сочетание эндотермического эффекта с экстремумом при $305,1^{\circ}\text{C}$ на кривой dДТА, эндотермического эффекта с экстремумом при $547,5^{\circ}\text{C}$ на кривой ДТА и слабого экзотермического эффекта с пиком при 950°C на кривой dДТА можно интерпретировать как проявление галлуазита гидратированного. Если рассматривать отдельно экзотермический эффект с пиком при $572,2^{\circ}\text{C}$, то можно предположить наличие примеси пирита или органики. Не исключено наличие хлорита. Его присутствие отражают эндотермические эффекты с экстремумами при $547,5^{\circ}\text{C}$, $784,3^{\circ}\text{C}$ на кривой ДТА и экзотермический эффект с пиком при $793,1^{\circ}\text{C}$ на кривой dДТА. Минимум при $956,8^{\circ}\text{C}$ на кривой ДТГ м.б. отражением наличия примеси кальцита.

В области температур $900 - 1000^{\circ}\text{C}$, после дегидратации глинистого минерала каолиновой группы, могут идти процессы кристаллизации муллита, кроме муллита кристаллизуется ещё и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Минимум при $956,8^{\circ}\text{C}$ на кривой ДТГ может быть отражением разложения примеси кальцита.

Микрофотография и электронно-микроскопический анализ отделенной мелкозернистой фракции представлен на рисунке 13.

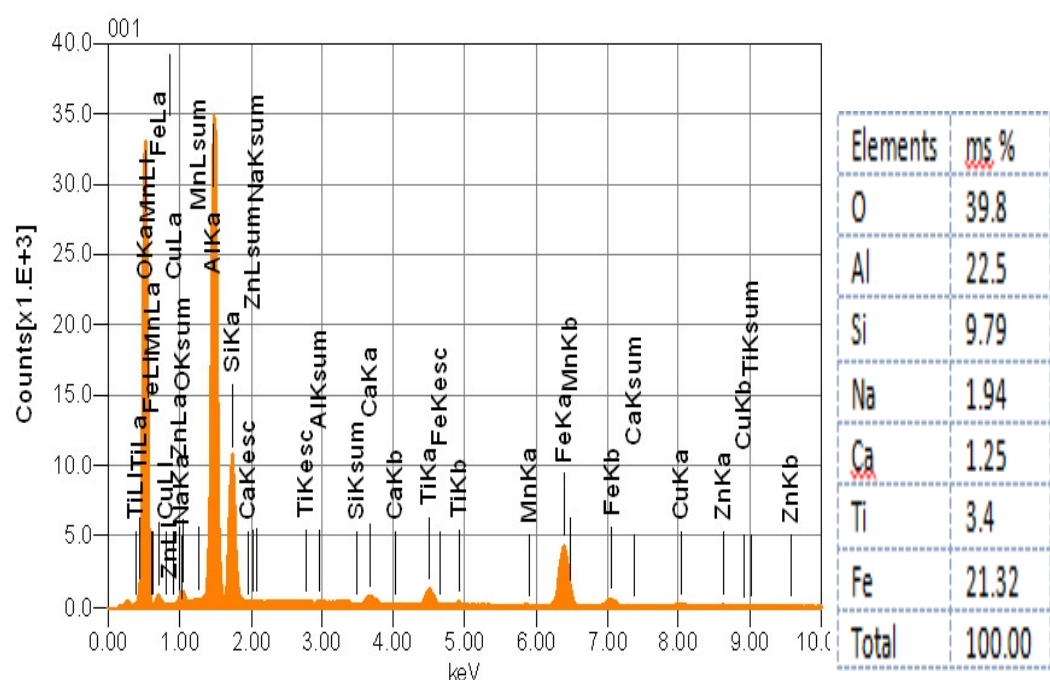
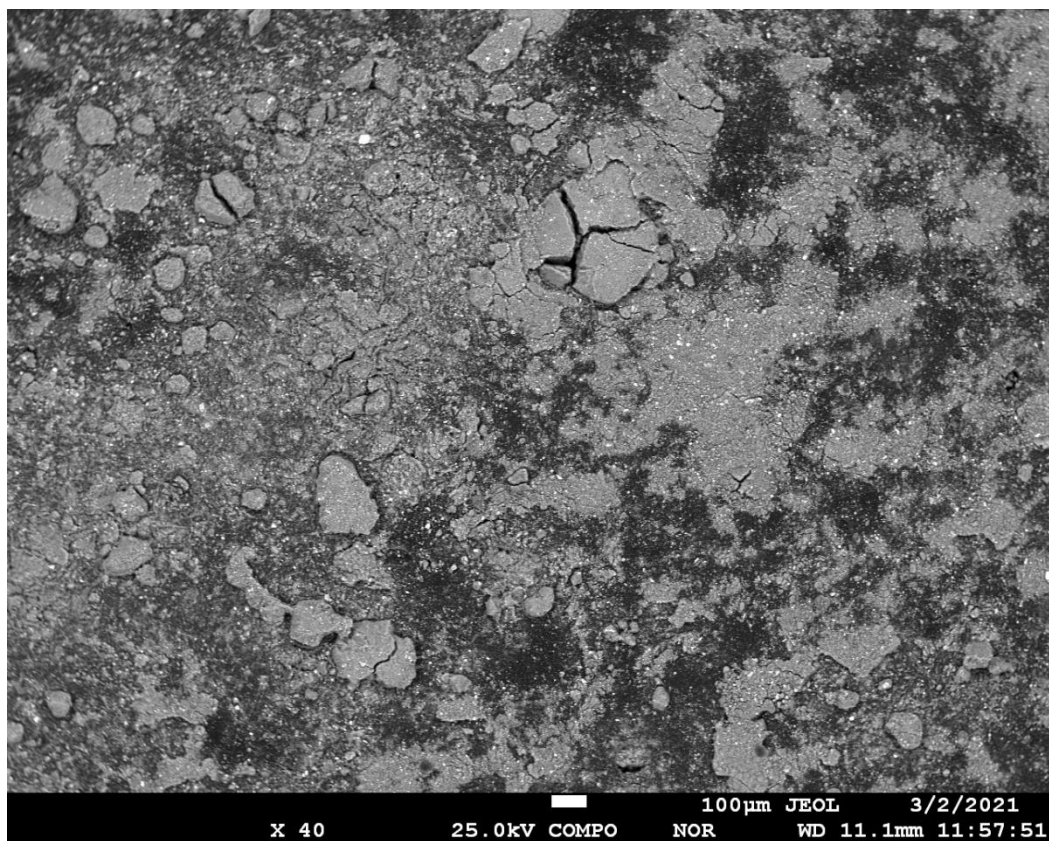


Рисунок 13 - Микрофотография и электронно-микроскопический анализ мелкозернистой фракции боксита после химической активации при температуре 120 °С и продолжительности 40 минут

3.4 Выводы по 3 главе

Обогащение низкокачественного гиббсит – каолинитового боксита Красногорского месторождения возможно проводить методом гравитационного обогащения при отделении легкой глинистой фракции от тяжелой песковой.

Для этого были проведены опыты по предварительной химической активации бокситов.

Фазовый состав пробы боксита представлен: % гиббситом, каолинитом, сидеритом, гидроалюмосиликатом, кварцем, силикатом кальция, гематитом, оксидом титана, оксидом ферротитана.

Проведены исследования зависимости химической активации боксита от температуры и продолжительности, которые влияют на степень изменения исходного фазового состава и на раскрытие минеральной структуры, от которых зависит эффективность проведения дальнейших технологических операций обогащения.

Для повышения эффективности гравитационного обогащения боксита использована предварительная химическая активация в растворе гидрокарбоната натрия.

Для проведения дальнейших исследований наработаны 10 кг концентрата гравитационного обогащения – песковой фракции боксита после предварительной химической активации при температуре 120 оС и продолжительности 40 минут. Выход песковой фракции составил 66,0 %.

Увеличением продолжительности предварительной активации:

- увеличивается количество отделяемой при гравитационном обогащении мелкой фракции;
- кремниевый модуль выделяемой крупно – кристаллической, песковой фракции повышается;
- увеличиваются потери Al_2O_3 с мелкой, каолинитовой фракцией боксита.

В результате гравитационного обогащения боксита после предварительной химической активации выделена крупно – кристаллическая песковая фракция с кремниевым модулем $\mu Si = 4,2 - 5,3$, что на 7,7 – 35,9 % выше чем кремниевый модуль песковой фракции выделенной без активации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан гидрохимический метод переработки низкокачественных бокситов, основанный на высокотемпературном выщелачивании сырья щелочно-алюминатным раствором, содержащим 400 - 450 г/дм³ Na₂O_ку в присутствии извести.

2. Проведены исследования зависимости химической активации боксита от температуры и продолжительности, которые влияют на степень изменения исходного фазового состава и на раскрытие минеральной структуры, от которых зависит эффективность проведения дальнейших технологических операций обогащения.

3. Для проведения дальнейших исследований наработаны 10 кг концентрата гравитационного обогащения – песковой фракции боксита после предварительной химической активации при температуре 120 °С и продолжительности 40 минут. Выход песковой фракции составил 66,0 %.

4. В результате химической активации получено, что содержание элементов в пробах, кроме оксида натрия, осталось на прежнем уровне. При температуре активации 200 0С получили густую пульпу.

Увеличение конечного веса боксита после активации 60 минут и более привело к снижению процентного содержания элементов, в то же время содержание оксида натрия резко увеличилось, что указывает на образование новой фазы – даусонита.

5. Таким образом, в зависимости от температуры химической активации в фазовом составе боксита произошли изменения исчезла фаза силиката кальция с образованием кальцита, с увеличением температуры активации уменьшается содержание каолинита и сидерита, увеличивается содержание кварца и гематита.

Оценка полноты решений поставленных задач.

Все поставленные в работе задачи решены в полном объеме: исследован фазовый состав пробы боксита; исследован процесс предварительной химической активации; выполнен опыт по гравитационному обогащению проб бокситов; в результате гравитационного обогащения указана разница обогащения боксита без предварительной активации и с предварительной активации.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию полученных результатов.

Рекомендуем использовать предварительную химическую активацию для руд бокситов с низким кремниевым модулем, для повышения эффективности обогащения.

Рекомендуется оптимальная температура для проведения предварительной химической активации боксита.

Рекомендуется оптимальная температура для предварительной активации перед гравитационным обогащением бокситов.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Ожидаемая технико-экономическая эффективность внедрения результатов, проведенных исследований, достаточно высока, так как планируется данный метод активации для переработки бокситов с низким кремниевым модулем. При использовании этих методов достигается довольно высокое извлечение бокситов в гравитационном обогащении.

Обоснованные цифры по технико-экономической эффективности внедрения результатов исследований могут быть определены после использования данного метода активации в производстве.

Оценка научно-технического уровня выполненной работы. Научно-технический уровень выполненной научно-исследовательской работы сравним с лучшими достижениями в области переработки низкокачественного бокситового сырья, так как предлагаемые методы позволяют вовлекать в переработку низкокачественной бокситовой руды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Alumina Limited [Electron. resource]. 2017. - URL: <http://www.aluminalimited.com/uploads/ASX-announcement-2017-27-Half-Year-Results-presentation.pdf> (дата обращения 14.10.2020).
2. USGS. (2017). Global bauxite reserves, bauxite and alumina mineral commodity summaries. 2017. - URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bauxite/> (дата обращения 14.10.2020).
3. 2 - Bauxite: The principal aluminum ore, Editor(s): Andrew Ruys, In Woodhead Publishing Series in Biomaterials, Alumina Ceramics, Woodhead Publishing.- 2019, P. 39-47. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081024423000026>. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102442-3.00002-6>.
4. Месторождения алюминия Казахстана. Справочник. – Алматы. - 1997. –С. 94.
5. Лапин А.А., Сусс А.Г. и др. Переработка высококремнистых бокситов по технологии содово-известкового выщелачивания с регенерацией щелочи из красного шлама //Сборник докладов XII международной конференции «Алюминий Сибири». Разд.2. Производство глинозема. - 2006. - С. 162 -171.
6. Тастанов Е.А. Разработка физико-химических основ и совершенствование технологических процессов переработки низкокачественных бокситов: дис. докт. техн. наук. – Алматы: ИМиО, 2003. – 86 с.
7. Патент № 2326817 РФ. Способ переработки глиноземсодержащего сырья на глинозем/ Анашкин В.С., Баева Н.Е., Жаров А.Ф., Зусман М.В., Пересторонина М.А., Пустынных Е.В., Скорняков В.И., Смоляницкий Б.И., Черноскутов В.С., Фомин Э.С. опубл. 20.06.2008. Бюл. №17. - 7 с.
8. Ибрагимов А.Т., Будон С.В. Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана. – Павлодар: ТОО «Дом печати», - 2010. – 299 с.
9. Дубовиков О.А. Яскеляйнен Э.Э. Переработка низкокачественного бокситового сырья способом термохимия-Байер // Записки Горного института. - 2016. Т.221. - С.668-674. DOI 10.18454/PMI.2016.5.668.
10. Данчук К.Р., Белоусова Н.В. Переработка нетрадиционных видов алюминийсодержащего сырья // Химические науки. Современные исследования. -2019. №6. –С. 22.
11. Дубовиков О.А. Термохимическое кондиционирование состава низкокачественных бокситов и их переработка щелочными способами: дис. докт. техн. наук. - Санкт-Петербург. - 2012. –С. 317.
12. Патент № 2257347 РФ. Способ комплексной переработки бокситов/ Ибрагимов А. Т., Поднебесный Г.П., Сынова Л.Н., Амбарникова Г.А., Михайлова О.И. опубл. 27.07.2005. Бюл.№21. – 10 с.

13. Ни Л.П., Медведков Б.Е., Абдулвалиев Р.А. и др. Исследование по переработке Краснооктябрьских бокситов с отдельным выщелачиванием глинистой и каменной фракций //Переработка некондиционного сырья на глинозем: сб. научн. тр. ИМиО АН КазССР. – Алматы, 1987. – С. 3-8.
14. Патент №32333 РК. Способ подготовки алюмосиликатного сырья перед выщелачиванием/ Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Позмогов В.А., Имангалиева Л.М. опубл.31.08.2017, Бюл. №16.
15. Moenke H., Mineralspektren. - Acad. Verlag, Berlin. - 1962. - 394 S.
16. HR Minerals (600 spectra). Thermo Fisher Scientific Inc. for Nicolet FT-IR. 2008.
17. V.C. Farmer «The Infrared Spectra of minerals», MINERALOGICAL SOCIETY, 41 QUEEN'S GATE. London. - 1974. - 539 p.
18. Э.Н. Юрченко, Г.Н. Кустова, С.С. Бацанов «Колебательные спектры неорганических соединений», «Наука»: Новосибирск. -1981. - 145 с.
19. Л.П. Ни, О.Б. Халяпина «Физико – химические свойства сырья и продуктов глиноземного производства». –С. 44.
20. Г.В.Куколев «Химия кремния и физическая химия силикатов». -С. 232.
21. И.Валетон «Бокситы». -С.10.
22. А.Н. Наумчик, Д.А. Дубовиков «Производство глинозема из низкокачественного сырья». -С.7.
23. А.Т. Ибрагимов, С.В. Будон, «Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана». -С.5

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую диссертацию
(наименование вида работы)

Несіпбай Аружан Қуатқызы
(Ф.И.О. обучающегося)

7М07223 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых
(шифр и наименование специальности)

На тему: «Разработка технологии предварительного химического обогащения
низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов»

Магистрантом проведены исследования по разработке технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов. При проведении исследований были использованы физико-химические методы анализа: рентгенофлуоресцентный, химический, ИКС-анализ, термический и электронно – микроскопический. Проведены исследования по изучению механизма химической активации бокситов. Определена зависимость состава раствора при одинаковой продолжительности процесса, которая показала разные фиксированные состояния замкнутой в автоклаве системы, полученные в результате взаимодействия компонентов жидкой, твердой и газообразной фазы.

Также диссертантом проведены исследования гравитационного обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов. Для увеличения кремниевого модуля выделенной крупнозернистой гиббситовой фракции боксит подвергали гравитационному обогащению после химической активации при температурах 90 и 120 ° С. Установлено, что при гравитационном обогащении боксита модуль кремния выделенной крупнозернистой гиббситовой фракции увеличивается с увеличением длительности предварительной химической активации, однако при мелкозернистой каолининовой фракции увеличивается потеря Al_2O_3 .

По результатам исследований опубликованы 2 работы в материалах Международных научно-технических конференций.

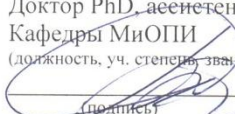
Рецензируемая магистерская диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям и заслуживает оценки 85 баллов. Магистрант Несіпбай Аружан Қуатқызы заслуживает присуждения академической степени магистра по направлению 7М07223 – «Металлургия и обогащение полезных ископаемых».

Научный руководитель

Доктор PhD, асистент-профессор

Кафедры МиОПИ

(должность, уч. степень, звание)

 С.Б. Дюсенова

«25» 05 2022 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию
(наименование вида работы)

Несіпбай Аружан Қуатқызы
(Ф.И.О. обучающегося)

7M07223 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых
(шифр и наименование специальности)

На тему: «Разработка технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов»

Выполнено:

а) графическая часть на 13 листах.

б) пояснительная записка на 56 страницах.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

Соискателем проведены исследования по разработке технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов. При проведении исследований были использованы физико-химические методы анализа: рентгенофлуоресцентный, химический, ИКС-анализ, термический и электронно – микроскопический. Проведены исследования по изучению механизма химической активации бокситов. Химическую активацию пробы гиббсит - каолининового боксита Красногорского месторождения проводили в растворе, содержащем $120 \text{ г/дм}^3 \text{ NaHCO}_3$ при отношении Ж:Т = 10,0 и температурах 90 – 200 °С с использованием термостатированной установки при продолжительности активации 60 минут. Определена зависимость изменения химического и фазового состава проб боксита от температуры химической активации. Определена зависимость состава раствора при одинаковой продолжительности процесса, которая показала разные фиксированные состояния замкнутой в автоклаве системы, полученные в результате взаимодействия компонентов жидкой, твердой и газообразной фазы.

Проведены исследования гравитационного обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов. Для увеличения кремниевого модуля выделенной крупнозернистой гиббситовой фракции боксит подвергали гравитационному обогащению после химической активации при температурах 90 и 120 °С. Установлено, что при гравитационном обогащении боксита модуль кремния выделенной крупнозернистой гиббситовой фракции увеличивается с увеличением длительности предварительной химической активации, однако при мелкозернистой каолининовой фракции увеличивается потеря Al_2O_3 .

По результатам исследований опубликованы 2 работы в материалах Международных научно-технических конференций.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В магистерской диссертации отражены результаты гравитационного обогащения боксита после предварительной химической активации с кремниевым модулем песковой фракции $\mu\text{Si} = 4.2 - 5.3$, однако сравнительные результаты опытов без активации в таблицах не приводятся. Также имеются некоторые ошибки редакционного характера. Рекомендуются добавить новые источники литературы.

Указанные замечания не снижают ценности магистерской диссертации.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Оценка работы

Рецензируемая магистерская диссертация

Данная работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям и заслуживает оценки 90 баллов. Магистрант Несіпбай Аружан Қуатқызы заслуживает присуждения академической степени магистра по направлению 7М07223 – «Металлургия и обогащение полезных ископаемых».

Рецензент

Канд.техн.наук, ведущий научный сотрудник
Лаборатории глинозема и алюминия
АО «Институт металлургии и обогащения»
(должность, уч. степень, звание)

Гладышев С.В. Гладышев
(подпись)

« 16 » 05 2022г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Несіпбай Аружан Қуатқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Разработка технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолининовых бокситов

Научный руководитель: Сениор-лектор Сымбат Дюсенова

Коэффициент Подобия 1: 15.2

Коэффициент Подобия 2: 3.7

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 25

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2022-05-24

Дата

Заведующий кафедрой

Мисон
Бярменшинов М.Б.
Бярменшинов

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Несіпбай Аружан Куаткызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Разработка технологии предварительного химического обогащения низкокачественных гиббсит-каолиновых бокситов

Научный руководитель: Сениор-лектор Сымбат Дюсенова

Коэффициент Подобия 1: 15.2

Коэффициент Подобия 2: 3.7

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 25

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

2022-05-24

Дата

Елеусиз Тажиев

проверяющий эксперт

Руководитель:

Дюсенова С. Б.



Список опубликованных работ по теме диссертаций

1. «Сатпаевские чтения – 2021». Тема: Способ обогащения гиббсит-каолинитовых бокситов перед обогащением.
2. «Перспективы развития науки и образования в условиях новой реальности». Тема: Гравитационное обогащение низкокачественных гиббсит-каолинитовых бокситов.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ЖЕЗҚАЗҒАН ҚАЛАСЫ ӘКІМДІГІ

Ө. А. БАЙҚОҢЫРОВ атындағы ЖЕЗҚАЗҒАН УНИВЕРСИТЕТІ

SATBAYEV UNIVERSITY

«Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары»

Халықаралық ХХІ Байқоңыров оқулары
материалдарының жинағы

«Перспективы развития науки и образования в условиях
новой реальности»

Сборник материалов
Международных ХХІ Байконуровских чтений

Жезқазған
2021

ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ ГИББСИТ-КАОЛИНИТОВЫХ БОКСИТОВ

Несинбай А.Қ., Дюсенова С.Б., Абдулвалиев Р.А., Имангалиева Л.М.
Satabayev University, г. Алматы, Казахстан
s.dyussenova@satabayev.university

Тамен сапалы гиббсит-каолинитті бокситтердің гравитациялық байыту зерттеулері жүргізілді. Бөлінген ірі түйіршікті гиббситтік фракцияның кремний модулін арттыру үшін боксит 90 және 120 ° C температурада химиялық белсендіруден кейін гравитациялық байытуға ұшырады. Бокситтің гравитациялық байыту кезінде бөлінген ірі түйіршікті гиббситтік фракцияның кремний модулі алдын ала химиялық белсендіру ұзақтығының ұлғаюымен жоғарылайтыны анықталды, алайда, ұсақ түйіршікті каолиниттік фракциямен Al_2O_3 жоғалуы артады.

Studies of gravity concentration of low-quality gibbsite-kaolinite bauxites have been carried out. In order to increase the silicon modulus of the separated coarse gibbsite fraction, bauxite was subjected to gravity concentration after chemical activation at temperatures of 90 and 120 ° C. It was found that during the gravity concentration of bauxite, the silicon modulus of the separated coarse-grained gibbsite fraction increases with an increase in the duration of the preliminary chemical activation, however, the loss of Al_2O_3 with a fine-grained kaolinite fraction increases.

Түйін сөздер: боксит, гравитациялық байыту, гиббсит, химиялық белсендіру

Key words: bauxite, gravity concentration, gibbsite, chemical activation

Бокситы представляют собой сложный объект кондиционирования. В первую очередь, это обусловлено наличием большого количества месторождений бокситов невысокого качества. Во-вторых, бокситообразующие минералы представлены в основном тонкодисперсными, часто аморфными или скрытокристаллическими частицами и нередко наблюдается взаимное прорастание минералов. Первые работы по кондиционированию бокситов относятся к 30-40-м годам, исследования по данному направлению остаются актуальными и на сегодняшний день [1, 2].

Среди множества методов кондиционирования особое место занимает обогащение, которое при успешном применении может позволить значительно увеличить количество бокситов, пригодных для эффективной переработки по способу Байера, при этом главным направлением обогащения является разработка методов и схем, позволяющих повысить кремниевый модуль бокситов. Кроме того, методы обогащения могут применяться для удаления таких, вредных примесей, как карбонаты, соединения серы, хрома, органических и некоторых других веществ.

В исследованиях использована представительная проба боксита Красногорского месторождения состава, мас. %: Al_2O_3 42,0; SiO_2 11,5; Fe_2O_3 19,5; CaO 1,08; Na_2O 0,22; MgO 0,18; K_2O 0,03; TiO_2 2,05; SO_2 0,24; Cl⁻ 0,04; μ_d 3,65.

Рентгенофазовый состав боксита представлен на рисунке 1.

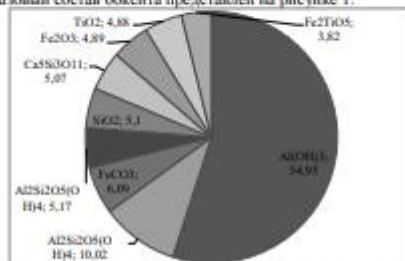


Рисунок 1 – Диаграмма боксита Красногорского месторождения

Проведены исследования по изучению механизма химической активации бокситов для повышения кремниевого модуля боксита за счет выделения мелкой фракции в работах [3, 4].

С целью улучшения показателей гравитационного обогащения боксита разработан способ предварительной химической активации в растворе гидрокарбоната натрия, который приводит к трансформации фазового состава [5].

При проведении исследований механизма химической активации учтено, что:

- основу боксита составляют гиббсит, каолинит, сидерит, гематит, кварц, силикат кальция;
- процессы химической активации происходят в автоклаве до достижения равновесия системы.

Анализ литературных источников показал, что эффективным методом кондиционирования (обогащения) является, главным образом, гравитационный метод обогащения. С целью повышения кремниевый модуль выделяемой крупнозернистой гиббситовой фракции гравитационному обогащению подвергли боксит после химической активации при температурах 90 и 120 °С. Выявлено, что при 90 °С активации исчезла фаза силиката кальция с образованием кальцита, а при температуре 120 °С и продолжительности активации 180 минут и более получили густую пульпу. Увеличение конечного веса пробы боксита после активации 180 минут и более привело к снижению процентного содержания элементов, а то же время содержание оксида натрия резко увеличилось.

Результаты обогащения с выделением крупнозернистой фракции после химической активации при температурах 90 и 120 °С в зависимости от продолжительности приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1– Гравитационное обогащение боксита после химической активации при температуре 90 °С

Продолжительность активации, мин	Выход крупнозернистой фракции, %	μ_{Si} фракции	Выход мелкозернистой фракции, %	μ_{Si} фракции	Выход Al_2O_3 во фракции, %	
					крупнозернистая	мелкозернистая
20	67,4	4,2	32,6	2,17	69,0	31,0
40	66,6	4,25	33,4	2,14	65,9	34,1
90	66,0	4,3	34,0	2,09	65,4	34,6
120	65,0	4,35	36,6	2,05	64,3	35,7
180	62,8	4,5	37,2	2,0	63,65	36,35
240	55,2	5,3	44,8	2,0	54,6	45,4

Таблица 2– Гравитационное обогащение боксита после химической активации при температуре 120 °С

Продолжительность активации, мин	Выход крупнозернистой фракции, %	μ_{Si} фракции	Выход мелкозернистой фракции, %	μ_{Si} фракции	Выход Al_2O_3 во фракции, %	
					крупнозернистая	мелкозернистая
20	70,5	4,25	29,5	2,08	70,48	29,52
40	66,5	4,4	33,5	2,11	66,9	33,1
90	59,8	4,6	40,2	2,17	58,6	41,4
120	43,7	5,0	56,3	2,2	44,6	55,4

Таким образом, при гравитационном обогащении боксита кремниевый модуль выделяемой крупнозернистой гиббситовой фракции повышается с увеличением продолжительности предварительной химической активации, однако при этом увеличиваются потери Al_2O_3 с мелкозернистой каолинитовой фракцией.

1. Иванов А. И. Комплексная переработка бокситов / А. И. Иванов, Г. Н. Кожевников, Ф. Г. Ситдинов, Л. П. Иванова — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. С. 180.
2. Дубовиков О. А., Сизяков В. М. Эффективные технологии переработки низкокачественных бокситов / О. А. Дубовиков, В. М. Сизяков - СПб.: Национальный

минерально-сырьевой университет «Горный», 2012. С. 195.

3. Abdalvaliyev R. A.; Akcil A.; (2021). Change in the phase composition of low-quality bauxites as a result of chemical activation. Challenges of Science. Issue IV, 2021, pp. 20-24.

4. Abdalvaliyev R.A., Dyussenova S.B., Manapova A.L., Akcil A., Beisenbiyeva U.Zh. Modification of the phase composition of low-grade gibbsite-kaolinite bauxites. Kompleksnoe ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisatarydy Keshendi Paidalamu. - 2021. № 2 (317). pp. 94-102. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.22>

5. Пат. 33583 РК. Способ получения хромитового концентрата из бедных хромитосодержащих руд / Кеисалиев Б.К., Дюсенова С.Б., Абдулаллиев Р.А., Гладяшев С.В., Омарова С.А., Мананова А.Н., Имангалиева Л.М.; опубл. 19.04.2019. Бюл. № 16. – 4 с.

"САТПАЕВ ОҚУЛАРЫ - 2021"

СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ

ЕҢБЕКТЕРІ

I Том

ТРУДЫ

САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ

"САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2021"

Том I

PROCEEDINGS

SATPAYEV'S READINGS

"SATPAYEV READINGS - 2021"

I volume

Алматы 2021 Almaty

С.Б. Дюсенова¹, Л.М. Имангалиева², А.Н. Мананова², А.К. Несінбай¹Научный руководитель – Дюсенова С.Б., Ph.D, Старший лектор кафедры «Институт
Металлургии и промышленной инженерии»¹Satbayev University, Казахстан, г. Алматы²АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, г. Алматы

s.dyusenova@satbayev.university

СПОСОБ ПОДГОТОВКИ ГИПСИТ-КАОЛИНИТОВЫХ БОКСИТОВ ПЕРЕД
ОБОГАЩЕНИЕМ

Аннотация: В работе приведены исследования на представительной пробе Красногорского боксита, представленной АО «Алюминий Казахстана». При проведении исследований были использованы физико-химические методы анализа: рентгенофлуорисцентный, химический, ИКС-анализ, термический и электронно – микроскопический. Проведены исследования по изучению механизма химической активации бокситов. Химическую активацию пробы гипсит - каолинитового боксита Красногорского

1297

месторождения проводили в растворе, содержащем $120 \text{ г/л} \text{ NaHCO}_3$ при отношении Ж:Т = 10,0 и температурах 90 – 200 °С с использованием термостатированной установки при продолжительности активации 60 минут. Определена зависимость изменения химического и фазового состава проб боксита от температуры химической активации. Определена зависимость состава раствора при одинаковой продолжительности процесса, которая показала разные фиксированные состояния замкнутой в автоклаве системы, полученные в результате взаимодействия компонентов жидкой, твердой и газообразной фазы.

Ключевые слова: гипсит-каолиновые бокситы, химическая активация, фазовый состав.

Используемые в настоящее время на Павлодарском алюминиевом заводе АО «Алюминий Казахстана» в производстве по последовательно-комбинированному способу Байер-спекание бокситы Красногорского месторождения, отличаются низким кремниевым модулем и повышенным содержанием вредных компонентов: сидерита, шамоzitа, гематита, пирита, органических и прочих примесей, причем качество их ухудшается, что приводит к резкому ухудшению состава растворов, промпродуктов и снижению технико-экономических показателей [1, 2]. Это обстоятельство является основанием для выполнения комплекса теоретических и технологических исследований для разработки эффективной технологии.

Для вовлечения в сферу переработки большинства бокситов месторождений Казахстана является предлагаемая нами технология переработки низкокачественных гипсит – каолининовых бокситов с предварительным двухстадийным обогащением, включающая инновационные технические решения, позволит удалить вредные примеси, трансформировать фазовый состав, удалить кремний при последующей щелочной обработке и получить материал, пригодный для производства глинозема наиболее простым и эффективным способом Байера [3].

Были проведены исследования на представительной пробе Красногорского боксита, представленной АО «Алюминий Казахстана». При проведении исследований были использованы физико-химические методы анализа: рентгенофлуорисцентный, химический, ИКС-анализ, термический и электронно – микроскопический.

Проведенный химический анализ показал, что представленная проба боксита состоит из, масс. %: Al_2O_3 42,0; SiO_2 11,5; Fe_2O_3 19,5; CaO 1,08; Na_2O 0,22; MgO 0,18; K_2O 0,03; TiO_2 2,05; SO_3 0,24; Cl – 0,04; μSi 3,65.

Рентгенофазовый состав боксита представлен на рисунке 1.

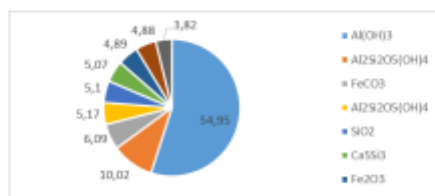


Рисунок 1 – Фазовый состав боксита Красногорского месторождения

Микрофотография и электронно-микроскопический анализ пробы Красногорского боксита представлены на рисунке 2.

1298

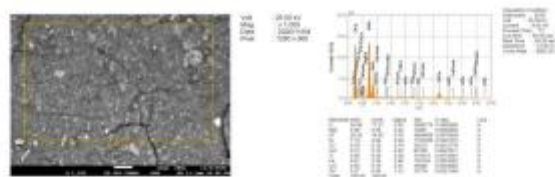


Рисунок 2 - Микрофотография и электронно-микроскопический анализ пробы Красногорского боксита

На микрофотографии видно, что минеральные образования боксита плотно запрессованы мелкой фракцией, это вызовет затруднения при дальнейшей гидрохимической переработки.

Инфракрасный спектр пробы представлен на рисунке 3.

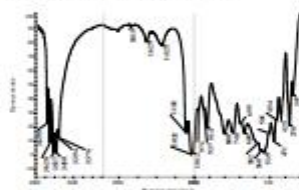


Рисунок 3 - Инфракрасный спектр боксита Красногорского месторождения

Методами рентгенофазового и ИК спектрального анализа определено, что фазовый состав пробы боксита представлен: % гиббситом, каолинитом, сидеритом, гидроалюмосиликатом, кварцем, силикатом кальция, гематитом, оксидом титана, оксидом ферротитана.

Проведены исследования по изучению механизма химической активации бокситов.

Химическую активацию пробы гиббсит-каолинитового боксита Красногорского месторождения проводили в растворе, содержащем $120 \text{ г/дм}^3 \text{ NaHCO}_3$ при отношении Ж:Т=10,0 и температурах $90 - 200^\circ \text{C}$ с использованием термостатированной установки при продолжительности активации 60 минут [4].

Химический состав проб боксита после химической активации представлен на рисунке 4.

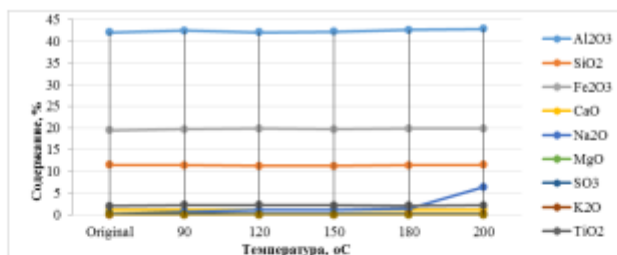


Рисунок 4 - Химический состав проб боксита в зависимости от температуры активации

В результате химической активации получено, что содержание элементов в пробах, кроме оксида натрия, осталось на прежнем уровне.

При температуре активации выше 180 °С получили густую пульпу.

Фазовый состав проб боксита в зависимости от температуры химической активации представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Фазовый состав проб боксита в зависимости от температуры химической активации

°C	Наименование								
	Таблетка Al(OH)3	Количество Al2Si2O5(OH)4	Содержит FeCO3	Масса SiO2	Содержит оксиды CaSiO3	Температура Fe2O3	Оксид натрия TiO2	Оксид ферро титана	Масса CaCO3
Исх.	54,95	15,19	6,09	5,1	5,07	4,89	4,88	3,82	-
90	51,08	12,11	11,52	4,8	-	5,09	4,69	3,67	2,53
120	56,45	10,14	9,77	4,91	-	5,89	4,59	3,70	2,26
150	54,7	10,44	6,69	5,4	-	6,23	4,57	3,80	4,37
180	53,38	10,6	6,82	7,63	-	6,99	4,51	3,76	3,21
200	55,34	10,86	5,1	8,04	-	7,22	4,64	3,41	3,20

Проведен анализ растворов химической активации который определил зависимость изменения состава растворов в зависимости от температуры при продолжительности 60 минут (рисунок 5).

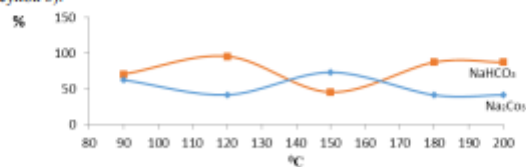


Рисунок 5 – Изменение содержания раствора в зависимости от температуры активации и продолжительности 60 минут: 1 – NaHCO₃, 2 – Na₂CO₃

Определенная зависимость состава раствора химической активации от температуры при одинаковой продолжительности процесса указывает на разные фиксированные состояния

замкнутой в автоклаве системы, полученной в результате взаимодействия компонентов жидкой, твердой и газообразной фазы.

Таким образом, определена зависимость изменения химического и фазового состава проб боксита от температуры химической активации:

- в фазовом составе исчезла фаза силиката кальция с образованием кальцита; с увеличением температуры активации уменьшается содержание каолинита и сидерита, увеличивается содержание кварца и гематита;

- определена зависимость состава раствора при одинаковой продолжительности процесса, которая показала разные фиксированные состояния замкнутой в автоклаве системы, полученные в результате взаимодействия компонентов жидкой, твердой и газообразной фазы.

Литература:

1. Ибрагимов А.Т., Будон С.В. Развитие технологий производства глинозема из бокситов Казахстана. – Павлодар: ТОО «Дом печати», - 2010. – 299 с.
2. Дубовиков О.А. Яскежяйнен Э.Э. Переработка низкокачественного бокситового сырья способом термохимии-Байер // Записки Горного института. - 2016. Т.221. - С.668-674. DOI 10.18454/PMI.2016.5.668.
3. Патент №32333 РК. Способ подготовки алюмосиликатного сырья перед выщелачиванием/ Абдулмалиев Р.А., Гладышев С.В., Позмогов В.А., Имангалиева Л.М. опубл.31.08.2017, Бюл. №16.
4. Пат. 33583 РК. Способ получения хромитового концентрата из бедных хромитсодержащих руд / Кенжаалиев Б.К., Дюсенова С.Б., Абдулмалиев Р.А., Гладышев С.В., Омарова С.А., Манапова А.И., Имангалиева Л.М.; опубл. 19.04.19, Бюл. №16. – 4 с.

S.B. Dyusenova, L.M. Imangaliyeva, A.I. Manapova, A.K. Nesipbay
The Method for Preparing Gibbsite-Kaolinite Bauxites before Beneficiation

Abstract: The paper presents studies on a sample of Krasnogorsk bauxite, presented by JSC «Aluminum of Kazakhstan». During the research, physicochemical methods of analysis were used: X-ray fluorescence, chemical, IR-analysis, thermal and electron microscopic. Research has been carried out to study the mechanism of chemical activation of bauxite. Chemical activation of the gibbsite - kaolinite bauxite sample from the Krasnogorsk deposit was carried out in a solution containing 120 g / dm³ NaHCO₃ at a ratio of W: T = 10.0 and temperatures of 90-200 ° C using a thermostatted installation with an activation duration of 60 minutes. The dependence of the change in the chemical and phase composition of bauxite samples on the temperature of chemical activation was determined. The dependence of the composition of the solution at the same duration of the process was determined, which showed different fixed states of the system closed in the autoclave, obtained as a result of the interaction of the components of the liquid, solid and gaseous phases.

Keywords: gibbsite-kaolinite bauxite, chemical activation, phases composition.

С.Б. Дюсенова, Л.М. Имангалиева, А.И. Манапова, А.К. Несипбай
Гибсит-каолинитті бокситтерді байытуға дейін дайындау әдісі

Аннотация: Жұмыста «Қазақстан алюминийі» АҚ ұсынып Красногорск бокситінің үлгісі бойынша зерттеулер ұсынылған. Зерттеу барысында физикалық және химиялық талдау әдістері қолданылды: рентгендік флуоресценция, химиялық, ИҚ-анализ, термиялық және электронды микроскопия. Бокситті химиялық активтендіру механизмі бойынша зерттеулер жүргізілді. Красногорск кен орынынан алынған гибсит - каолинитті боксит сынамасын химиялық активтендіру W: T = 10.0 қатынасында және 90-200 ° C температурада 120 г / дм³ NaHCO₃ бір ерітіндіде активтендіру 60 минут ұзақтығы бар термостатталған қондырғыны қолдану арқылы жүргізілді. Боксит сынамаларының химиялық және фазалық құрамының өзгеруін химиялық активтену температурасына тәуелділігі анықталды. Сұйық, қатты және газ тәрізді фазалардың компоненттерінің өзара әрекеттесуі нәтижесінде алынған, автоклавта тұйықталған жүйенің әр түрлі тұрақты күйлерін көрсеткен, ерітіндінің құрамының процестің бірдей ұзақтығы тәуелділігі анықталды.

Түйін сөздер: гибсит-каолинитті боксит, химиялық активация, фазалық құрам.