

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

На правах рукописи



Патеюк Сергей Андреевич

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФЛОТАЦИОННОГО
РЕАГЕНТА-СОБИРАТЕЛЯ – ОЛЕИЛСАРКОЗИНАТА НАТРИЯ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА БОРНОЙ КИСЛОТЫ

Специальность 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Хатькова Алиса Николаевна

Чита – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ современного состояния и проблем переработки борных руд	11
1.1 Современное состояние практики обогащения борсодержащих руд.....	11
1.2 Экологические аспекты переработки борсодержащих руд.....	19
1.3 Борогипс – перспективное сырьё для получения дополнительной продукции	23
1.4 Анализ технологий переработки кремнийсодержащего сырья	26
Выводы по главе 1.....	32
2 Объекты, методы и методики исследований. Исследование физико-химических характеристик борсодержащих продуктов для выбора технологии переработки.....	34
2.1 Объект исследования	34
2.2 Методы и методики исследования состава, технологических свойств, обогатимости борогипса и продуктов его переработки	34
2.2.1 Методы исследований	36
2.2.2 Методики исследований.....	40
2.3 Результаты исследования состава, технологических свойств и обогатимости борогипса.....	43
2.4 Экспериментальное исследование обогатимости борогипса. Выбор эффективных реагентов для флотации борогипса	47
Выводы по главе 2.....	51
3 Исследование и разработка нового технологического решения переработки борогипса.....	53
3.1 Исследование влияния основных факторов обогащения борогипса на комплексность использования минерального сырья	53
3.2 Разработка уравнений множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате	60
3.3 Сравнительная характеристика показателей схем флотации	

борогипса	72
3.4 Определение состава и свойств продуктов флотационного обогачения с применением олеилсаркозината натрия. Изучение механизма взаимодействия олеилсаркозината натрия с минералами борогипса	75
Выводы по главе 3.....	83
4 Эколого-экономическое обоснование эффективности нового технологического решения.....	87
4.1 Комплексность переработки датолитовых руд Дальнегорского месторождения	87
4.2 Экологическая оценка внедрения нового технологического решения ...	90
4.3 Сравнительная оценка технико-экономических показателей нового технологического решения с альтернативными вариантами	93
Выводы по главе 4.....	113
Заключение.....	115
Список литературы.....	118
Приложение А Графики зависимостей извлечения и содержания диоксида кремния от различных факторов флотации.....	142
Приложение Б Акт об использовании результатов диссертационной работы.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Одним из перспективных видов комплексного сырья являются борные руды. Большая часть промышленных запасов борных руд находится в семи странах мира (Россия, США, Аргентина, Турция, Перу, Чили, Италия) [1], что объясняет как дефицит, так и высокую стоимость борной продукции.

В отвалах горноперерабатывающих предприятий России накоплено более 100 млн т отходов [2] в виде борогипса, фосфогипса, фторгипса (в среднем до 15 млн т в год), что влечёт за собой отчуждение значительных площадей земельных угодий. Транспортирование, устройство и хранение отходов обуславливают огромные затраты (более 30 %) капитальных вложений на основное производство и его эксплуатацию. Отходы содержат вредные примеси от 1,0 до 2,5 % (серная, фосфорная, борная кислоты и их соединения) и наносят вред окружающей среде [3].

Снизить себестоимость готовой борсодержащей продукции можно за счёт полного извлечения сопутствующих компонентов, получения и реализации дополнительных продуктов обогащения [4–10].

Проблемой комплексного и рационального использования отходов производства борной кислоты с получением различных продуктов занимались в Институте химии ДВО РАН (П. С. Гордиенко, Г. Ф. Крысенко, С. Б. Ярусова), ФГАОУ ВО ДВФУ (В. С. Семлев, Н. Б. Кондриков, В. А. Реутов), ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина» (М. А. Афанасьева, Ф. Л. Капустин, Н. А. Митюшов) [10–20].

Единственным источником борного сырья в России являются датолитовые руды Дальнегорского месторождения (Приморский край), являющиеся сырьевой базой ООО «Горно-химическая компания «БОР»» («ГХК «БОР»»). В Дальнегорском регионе сконцентрировано более 5 млрд т отходов. Обогащительная фабрика (ООО «Дальнегорский ГОК») входит в состав «ГХК «БОР» и выпускает датолитовый концентрат с содержанием 18,5 % B_2O_5 . После

выщелачивания концентрата получается борная кислота и до 350 тыс. т/год отходов – борогипс.

Промышленные запасы Дальнегорского месторождения составляют 160 млн т руды, общий объем неиспользуемого минерального ресурса – борогипса составляет более 25 млн т.

Таким образом, разработка технологии переработки отходов производства борной кислоты (борогипса) с целью комплексного использования минерального сырья **является актуальной научной задачей [21].**

Цель работы – научное обоснование применения флотационного реагента-собиранителя – олеилсаркозината натрия для повышения технологических показателей переработки отходов производства борной кислоты и комплексности использования минерального сырья.

Задачи исследований:

1. Изучение минерального, химического, гранулометрического состава отходов производства борной кислоты.
2. Выбор метода флотации (прямая, обратная), реагентного режима для получения кремниевого концентрата из отходов производства борной кислоты.
3. Подбор рациональных режимных параметров флотационного разделения минералов борогипса методом многофакторного планирования технологических экспериментов.
4. Выявление экспериментальным путем закономерностей влияния отдельных технологических факторов флотационного обогащения на показатели извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате.
5. Разработка эмпирических уравнений множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате при обогащении борогипса.
6. Эколого-экономическое обоснование нового технологического решения.

Объект исследования – отходы производства борной кислоты (борогипс), получаемые при переработке датолитовых руд Дальнегорского месторождения.

Предмет исследования – режимные параметры процесса флотации отходов производства борной кислоты (борогипса).

Идея работы. Эффективное разделение минералов диоксида кремния, гипса и ангидрита достигается применением реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия и нахождением рациональных режимных параметров обратной флотации борогипса, обеспечивающих повышение комплексности использования минерального сырья.

Методология и методы исследований – информационный анализ, патентный поиск; современные физико-химические методы анализа: ИК-спектроскопия, фотометрия, гравиметрия, атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой, рентгенографический количественный фазовый анализ, растровая электронная микроскопия, седиментационный анализ; метод планирования эксперимента; флотационные исследования на лабораторной установке, полупромышленные испытания; методы математической статистики; эколого-экономический анализ.

Научная новизна работы:

1. Впервые доказана эффективность использования олеилсаркозината натрия в качестве реагента-собирателя, обладающего смачивающими и пенообразующими свойствами в зависимости от особенностей минерального состава и структуры борогипса.

2. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность обогащения борогипса (температура пульпы, рН, расход реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия, время агитации и время флотации) и повышение комплексности использования минерального сырья.

3. Экспериментально получены уравнения множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате при обратной флотации борогипса с реагентом-собирателем (олеилсаркозинатом натрия).

4. Предложена гипотеза механизма взаимодействия молекул олеилсаркозината натрия, имеющих неподеленную электронную пару у атома

азота и валентные электроны атома кислорода карбоксильной группы, с минералами борогипса, заключающегося в адсорбции реагента-собираателя на поверхности частиц гипса и ангидрита, содержащих положительно заряженные ионы кальция.

Научная новизна работы подтверждена патентом РФ № 2723787 «Способ переработки гипсосодержащих отходов производства борной кислоты» [22].

Практическая значимость работы.

Установлена возможность применения олеилсаркозината натрия для повышения эффективности флотационного обогащения отходов производства борной кислоты, что позволяет увеличить извлечение диоксида кремния в концентрат, используемый для производства «белой сажи» широкого спектра применения, на 30,46 % (с 33,57 до 64,03 %) по сравнению с аналогом, предложенным действующим предприятием ООО «Дальнегорский ГОК», и дополнительно извлечь в пенный продукт гипс, востребованный в различных областях промышленности.

Разработана технологическая схема переработки техногенных отходов производства борной кислоты – борогипса, позволяющая повысить комплексность использования минерального сырья.

Ожидаемый экономический эффект от реализации предложенного технологического решения переработки техногенных отходов производства борной кислоты составит 55,36 млн руб. в год. Сократятся затраты на размещение отходов производства на 1,77 млн руб. в год, уменьшатся площади нарушенных земель на 22 % (с 950 до 744 га), улучшится экологическая обстановка в регионе. Предотвращенный эколого-экономический эффект от сокращения площади нарушаемых земель составит 220,4 тыс. руб.

Положения, выносимые на защиту:

1. Дополнительное получение кремниевого концентрата и гипсового продукта достигается применением реагента-собираателя – олеилсаркозината натрия при флотации борогипса в патентно-защищенном режиме (агитация минералов с реагентом-собираателем – 3 мин, флотация – 8 мин, расход

олеилсаркозината натрия – 1 кг/т борогипса, температура пульпы – 30 °С, рН – 7,5).

2. Предложены уравнения множественной регрессии зависимости извлечения и содержания диоксида кремния от технологических факторов флотационного обогащения (температуры пульпы, рН, расхода реагента-собиранителя – олеилсаркозината натрия, времени агитации, времени флотации), полученные экспериментальным путем в лабораторных условиях, корректность которых подтверждена результатами полупромышленных испытаний.

3. Методами аналитических исследований подтверждена правомерность выдвинутой гипотезы механизма взаимодействия молекул олеилсаркозината натрия, имеющих неподеленную электронную пару у атома азота и валентные электроны атома кислорода карбоксильной группы, с минералами борогипса, заключающегося в адсорбции реагента-собиранителя на поверхности частиц гипса и ангидрита, содержащих положительно заряженные ионы кальция.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, представленных в работе, подтверждается использованием современных физико-химических методов исследований по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского», г. Москва), представительностью проб массой 1,6 тонны, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применением методов математической статистики для обработки данных при доверительной надежности не менее 95 %.

Реализация результатов работы. Реагент-собиранитель – олеилсаркозинат натрия рекомендован к опытно-промышленным испытаниям на обогатительной фабрике ООО «Дальнегорский ГОК» при технологическом переделе борогипса.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья» при проведении лабораторных занятий по курсу учебной дисциплины «Флотационные

методы обогащения» специальности 21.05.04 «Горное дело» (специализация «Обогащение полезных ископаемых»).

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на региональных, всероссийских и международных научно-практических и научно-технических конференциях: «XLIII научно-практическая конференция молодых исследователей ЗабГУ» (г. Чита, 2016); Международное совещание «Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья» (Плаксинские чтения – 2017) (г. Красноярск); XVII Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов» (г. Чита, 2017); I Всероссийская научная конференция «Наука в России: перспективные исследования и разработки» (г. Новосибирск, 2018); XLV Научно-практическая конференция молодых исследователей ЗабГУ (г. Чита, 2018); Международный симпозиум «Новые классы флотационных реагентов и современные методы оценки их адсорбции на микро- и наночастицах минералов» («Плаксинские чтения – 2018») в рамках XXIX Международного конгресса по обогащению полезных ископаемых (г. Москва, 2018); XVIII Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов» (г. Чита, 2018); Международное совещание «Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке» (Плаксинские чтения – 2019) (г. Иркутск, 2019); 14-й Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM 2019) (г. Белгород, 2019); Международное совещание «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2021) (г. Владикавказ, 2021).

Публикации по работе. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 3 статьи в научных журналах из списка ВАК РФ и 1 статья, входящая в международную библиографическую базу данных Scopus, получен 1 патент РФ.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; проведении аналитического обзора научно-технической литературы о борных рудах, отходах производства борной кислоты и методах их переработки; выполнении исследований вещественного состава борогипса и продуктов обогащения; проведении флотационных исследований отходов производства борной кислоты; анализе и обобщении полученных результатов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 2 приложений. Содержит 147 страниц машинного текста, включающего 29 рисунков, 44 таблицы, библиографический список из 147 наименований.

1 Анализ современного состояния и проблем переработки борных руд

1.1 Современное состояние практики обогащения борсодержащих руд

Борные руды являются перспективным источником для комплексного использования сырья. Большая часть промышленных запасов борных руд находится в семи странах мира (Россия, США, Аргентина, Турция, Перу, Чили, Италия).

Для получения бора в мире используют многие типы руд. Для горнодобывающей промышленности практическое значение представляют руды, содержащие борные минералы как растворяющиеся в воде, так и разлагающиеся кислотами [23].

Борные руды подразделяются на богатые, потребляемые в химическом производстве без предварительного обогащения, и бедные, требующие обогащения для повышения массовой доли бора и стабилизации вещественного состава [24].

Подавляющее большинство борных руд подвергают обогащению. В настоящее время известен ряд методов обогащения: сортировка, обогащение в тяжелых суспензиях, флотация и другие [25]. Они основаны на различии в физических и физико-химических свойствах минералов. Применение того или иного метода обогащения зависит от размера вкрапленности ценного компонента в пустую породу.

Технологии переработки борных руд, как правило, включают обогащение добытой крупнодроблённой руды, обогащение измельченной исходной руды, химическую обработку полученных концентратов или самой руды [26]. Выбор технологии переработки также определяется свойствами сырья и назначением получаемых продуктов. Практически все бораты легко растворяются в кислотах, поэтому не возникает сложностей при их химической переработке [27, 28].

Технология обогащения бура-тинкал-кернитовых руд, добываемых из месторождения Крамер (США), производится сухими методами, включающими

дробление, магнитную сепарацию, грохочение, воздушную классификацию, обогащение на концентрационных столах, электростатическую сепарацию. Руду подвергают предварительному механическому обогащению с целью удаления примеси глинистых сланцев (рисунок 1.1), при этом содержание примесей пустой породы снижается с 25 до 3 %. Часть руды подвергают прокаливанию, при котором удаляется кристаллизационная вода и, соответственно, повышается содержание полезного компонента [29–38].

Из месторождения Крамер добывают около 90 % борного сырья США, остальные 10 % извлекаются из межкристальной рапы оз. Сёрлс.

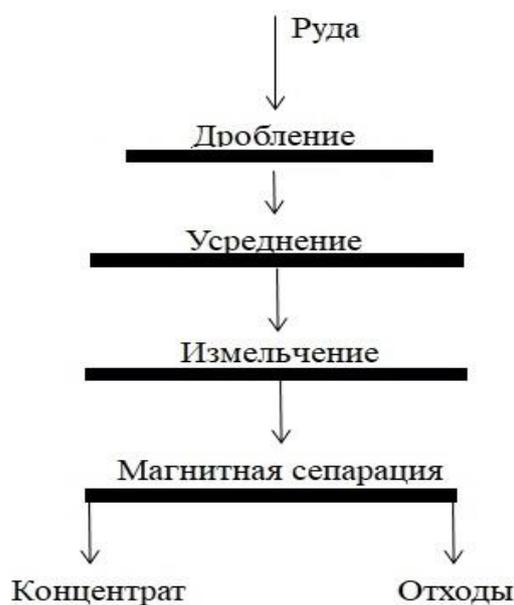


Рисунок 1.1 – Упрощенная схема обогащения руд месторождения Крамер

Таким же образом обогащают натриевые бораты месторождения Кырка (Турция) [39]. Обогащение колеманитовых руд основано на известном свойстве колеманита – рассыпаться в тонкий порошок при удалении кристаллизационной воды. Руду прокаливают и простым просеиванием отделяют от пустой породы. Турецкие колеманитовые руды не обогащают аналогично американским рудам.

Богатые колеманитовые руды с содержанием около 30 % B_2O_3 , добываемые в Турции, подвергают промывке и сортировке с получением концентрата, содержащего 43–45 % B_2O_3 [40–48].

На Индерском месторождении (Казахстан) [49] обрабатываются рудные тела, расположенные ниже уровня грунтовых вод, на глубине 8–18 м. Руда

данного месторождения содержит улуксит, ашарит, гидроборацит, а также небольшое количество пандермита, колеманита, индерита, иньоита, курнаковита, индерборита. Примесями являются гипс, глина и небольшие количества карбонатов [50].

По технологическим свойствам более качественными типами борных руд СНГ следует считать боратовые руды элювиальных месторождений, затем, в порядке снижения качества, руды суанитового, курчатовит-сахайтового, датолитового, данбуритового типов скарновых месторождений, далее – руды галогенных месторождений (боросолевые) и людвигитового типа в скарнах [28].

Богатые боратовые руды элювиальных месторождений обычно подвергаются непосредственно химической переработке без предварительного обогащения. Это обусловлено низкой эффективностью механического обогащения, поскольку оно требует отделения боратов от гипса, глины и солей, главным образом, хлоридов, а также большим разнообразием боратовых минералов и близостью физико-химических свойств рудных и ассоциирующих с ними минералов, а также вмещающих пород. Без обогащения перерабатываются элювиальные боратовые руды Индерского месторождения в Казахстане, содержащие более 11,5 % B_2O_3 .

Проблемой отходов борного производства за рубежом занимаются многие ученые. Основные исследования направлены на улучшение геотехнических свойств остающихся глин. Так разработан способ извлечения лития из борных глин месторождения Бигадиш в Турции (А. Büyükburç, G. Köksal). Также в Турции исследовано влияние добавок глины, полученной из борных отходов, на геотехнические свойства высокопластичных глин (Z. N. Kurt Albayrak, E. Turan). Реализовано четырехступенчатое выщелачивание с последующей кристаллизацией для извлечения бора из глинистых отходов, образовавшихся на предприятии по производству производных буры, расположенном в районе Кырка провинции Эскишехир (E. E. Çelebi, M. S. Öncel).

Зарубежные ученые отмечают присутствие соединений бора в сточных водах и занимаются проблемами его утилизации. Разработан метод очистки

загрязненной речной воды от бора с помощью искусственно выращенных водно-болотных угодий монокультуры *Carex divisa* (Cyperaceae) (G. Işık, Ç. Saz, O. C. Türker) [51–62].

Особенность отечественной сырьевой базы – относительно низкое содержание борного ангидрида в разведанных источниках сырья, что объясняется отсутствием месторождений вулканогенно-осадочного типа. Это, в свою очередь, обуславливает ряд проблем, связанных с извлечением борного ангидрида, которые требуют своего разрешения [63]. Для их решения следует, прежде всего, активизировать поиски месторождений легко перерабатываемых руд, аналогичных зарубежным месторождениям. Это позволит сократить до минимума затраты на разработку технологии их обогащения и производства борных соединений. Необходимость освоения имеющихся новых месторождений потребует проведения большого объема исследований для разработки высокоэффективных технологических процессов обогащения и переработки руд. Имеющиеся в нашей стране научно-технический потенциал и промышленный опыт добычи, обогащения и переработки различных видов борсодержащего сырья обеспечивают возможность успешного решения проблем производства борных соединений на базе отечественных разработок [64].

Обогащение бедных руд элювиальных месторождений, содержащих широкую гамму боратов, преимущественно магниевых и кальциевых, может быть осуществлено в соответствии с научными разработками и опытными работами по комбинированной технологической схеме, включающей нейтронно-абсорбционную сепарацию, гравитационные методы и флотацию [65, 66]. В случае повышенного содержания глини производятся предварительная промывка руды. Обогащением по этой технологии из элювиальных боратовых руд, содержащих B_2O_3 от 3 до 12 %, возможно получение концентратов с массовой долей B_2O_3 20–33 % (зависит от типа боратового минерала) при извлечении борного ангидрида около 70 %.

Многие типы руд, как правило, боросиликатные, хорошо обогащаются в тяжелых суспензиях благодаря достаточному отличию по плотности основных

рудных минералов – датолита и данбурита ($\rho = 2,8-3,0 \text{ г/см}^3$) от породообразующих минералов, представленных кварцем, кальцитом, гранатами, диопсидом и геденбергитом. Поскольку борные минералы концентрируются в промежуточной фракции, процесс тяжелосреднего обогащения ведется при двух граничных плотностях суспензии: $2,65-2,70 \text{ г/см}^3$ и $3,0-3,1 \text{ г/см}^3$. Для кондиционных руд суммарный выход легкой и тяжелой фракций составляет 25–40 % при содержании в них 2,5–3 % B_2O_3 . Обычно верхний предел крупности руды для тяжелых суспензий не превышает 50 мм, поскольку при большей крупности руда недостаточно раскрывается. Нижний предел крупности тяжелосреднего обогащения составляет 1–5 мм, что является существенным преимуществом в сравнении с радиометрическим обогащением. Однако благодаря высокой разделительной контрастности бора и пустой породы радиометрические методы сепарации характеризуются более высокими технологическими показателями. Для радиометрического обогащения используются нейтронно-абсорбционный, а в перспективе – рентгенолюминесцентный и лазеролуминесцентный способы радиометрического разделения [67–70]. С их использованием обогащаются крупнокусковые фракции борной руды крупностью 200–25 (10) мм.

Боросолевые руды галогенных месторождений, кроме борных минералов, содержат хлориды калия, натрия, магния, а также сульфаты магния, кальция и другие компоненты. Содержание B_2O_3 в рудах низкое и составляет обычно 1,5–2 %. Борные минералы представлены главным образом высококачественными боратами, такими как преображенскит, калиборит, гидроборатит и некоторыми другими. Благодаря этому после обогащения руды борные концентраты содержат не ниже 30 % B_2O_3 , при извлечении – свыше 90 %. Обогащение производится отмывкой растворимых соединений водой с концентрацией боратов в твердой фазе. Из жидкой фазы рудной пульпы может десорбироваться бром и кристаллизоваться хлористый калий, что позволяет комплексно использовать этот чрезвычайно бедный по содержанию бора вид сырья [71].

При обычных условиях из боросиликатов является растворимым в кислотах только датолит [72]. Данбурит можно растворять в кислотах только после прокаливания при температуре 1000 °С.

Эффективность процессов крупнокускового обогащения зависит от степени раскрытия руды при обогащаемой крупности, ее контрастности, гранулометрического состава, соответствия между интенсивностью разделительного признака и содержанием бора в кусках.

Тонковкрапленные борные руды перерабатываются методами глубокого обогащения [73], которые обеспечивают получение кондиционных концентратов для химического передела. Сложность и непостоянство состава борных руд, близость физико-химических свойств разделяемых минералов обуславливают необходимость применения различных физических и физико-химических методов.

Для боросиликатных руд проблемы обогащения сводятся преимущественно к подбору режимов отделения датолита и данбурита от граната, пироксена, кальцита, кварца и других породообразующих минералов. Для этих целей в настоящее время наиболее широко применяется метод флотации. Схема флотации включает две перечистки черного концентрата и контрольную флотацию хвостов [68].

Проблема вовлечения в переработку боросиликатных руд с повышенным содержанием граната и удаление его и пироксена из рядовых руд решается путем применения электромагнитной сепарации перед флотацией. При обогащении руд с содержанием B_2O_3 около 10 % и Fe_2O_3 не более 10 % получается датолитовый концентрат с содержанием B_2O_3 более 16 %, при извлечении борного ангидрида – 82–84 %.

Скарново-датолитовые руды Дальнегорского месторождения являются основным источником борного минерального сырья для России. Хотя по минеральному составу в них выделено несколько природных типов и разновидностей датолитовых руд, по технологическим свойствам и обогатимости руды относятся к одному технологическому типу и подвергаются обогащению

практически по единой схеме. Поэтому одной из обязательных операций подготовки к обогащению такого неоднородного сырья является усреднение руд, поступающих на обогатительную фабрику. Руда Дальневосточного месторождения, в зависимости от преобладания минералов пустой породы, подразделяется на разновидности: датолит-гранатовая, датолит-геденбергитовая, датолит-кальцитовая, датолит-волластонитовая, датолит-гранат-кальцитовая [63].

Датолитовая руда, перерабатываемая на Дальнегорском ГОКе, по качеству должна отвечать следующим требованиям [74]:

- массовая доля борного ангидрида (B_2O_3) – 9–10 %;
- массовая доля оксидов железа в пересчете на Fe_2O_3 – не более 4,0 %;
- содержание делювиальных руд – не более 10,0 %;
- крупность кусков датолитовой руды, поступающей на обогатительные фабрики – не более 700,0 мм.

Из-за того, что при переработке руд, отличающихся невысоким ожелезнением, из технологической схемы исключены операции предварительного обогащения – магнитная и нейтронно-абсорбционная сепарации, примесь Fe_2O_3 в датолитовой руде ограничена (не более 4,0 %). При отработке сильно ожелезненных участков месторождения по полной комбинированной схеме допустимый предел примеси Fe_2O_3 может быть увеличен до 10 %.

ООО «Дальнегорский ГОК» является предприятием с полным технологическим циклом производства, включающим добычу, обогащение и химическую переработку борсодержащего и карбонатного сырья. Борные продукты получают из датолитовой руды Дальнегорского месторождения. В технологическом процессе используется известняк, добываемый на Мономаховском месторождении. На рисунке 1.2 представлена блок-схема переработки датолитовых руд Дальнегорского месторождения.

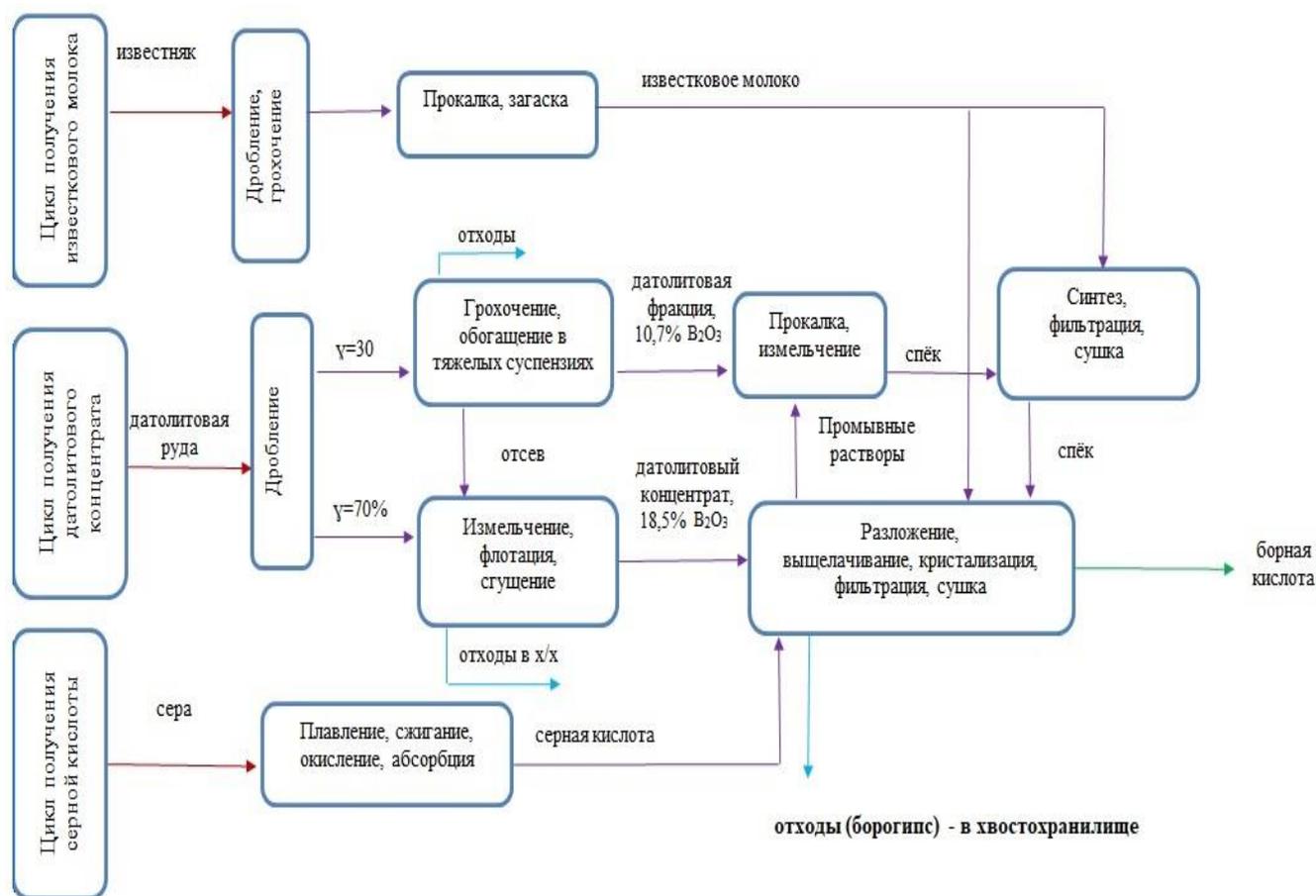


Рисунок 1.2 – Блок-схема переработки датолитовых руд Дальнегорского борного месторождения

Руду добывают открытым методом, а затем усредняют на шихтоскладе.

Технологический передел включает следующие три цикла.

1. Цикл получения датолитового концентрата. Исходная руда дробится до крупности 40 мм. Небольшое количество руды (около 10 % от общего количества) грохотят. После грохочения руду фракции (плюс 10 минус 35 мм) направляют на прокатку. Остальную часть руды и отсев отправляют на доизмельчение. Руду измельчают в одну стадию в шаровой мельнице до крупности минус 0,15 мм (содержание класса минус 0,074 мм составляет 50–65 %). Измельченную руду направляют на флотацию. Флотация состоит из основной, контрольной и 2-х перечистных операций. Флотацию проводят при температуре 24–32 °С и среде 9,8–10,4 рН. Флотационными реагентами являются: технические нефтекислоты – реагент-собиратель, углекислый натрий – регулятор среды; жидкое стекло и триполифосфат натрия – реагенты-депрессоры пустой породы. Хвосты флотации

направляются в хвостохранилище. Концентрат флотации сгущают до 50 % твердого вещества и перекачивают в цех на химическую переработку.

2. Цикл получения известкового молока. Известняк Мономаховского месторождения дробится в три стадии до крупности минус 40 мм, затем отправляют на грохочение по классу 10 мм. Фракцию (минус 40 плюс 10 мм) обжигают во вращающейся печи, затем загашивают водой в барабанном гасителе. Готовое известковое молоко перекачивают в цех производства борной кислоты.

3. Цикл получения серной кислоты. Серную кислоту получают из привозной комовой серы по короткой схеме, методом двойного контактирования и двойной абсорбции. Получаемую серную кислоту используют для производства борной кислоты, а небольшое количество идет на обогатительную фабрику в качестве реагента.

Борную кислоту получают методом сернокислотного выщелачивания, образующиеся при этом шламы борогипса направляют в хвостохранилище.

Таким образом, анализ современного состояния практики обогащения борсодержащих руд как в России, так и за рубежом показал, что на действующих предприятиях применяются как основные методы обогащения, так и комбинированные технологии в сочетании с химическим растворением в кислотах. Однако горноперерабатывающие предприятия ограничиваются получением товарных концентратов, а технологические отходы транспортируются и хранятся в отвалах, усложняя эксплуатацию предприятия.

1.2 Экологические аспекты переработки борсодержащих руд

Российская Федерация является промышленно развитой страной и добывает большие объемы минерального сырья, что, в свою очередь, ведет к накоплению большого количества отходов, соответственно, – ухудшению экологической ситуации.

Рациональное и комплексное использование недр – это полное извлечение всех ценных компонентов с помощью рационального сочетания различных аппаратов и методов.

Только треть всего добываемого сырья используется в производстве, другая часть накапливается в виде отходов, что не отвечает принципам рационального и комплексного использования сырья. Данная проблема требует незамедлительных решений.

В настоящее время Правительство РФ обратило пристальное внимание на экологическую ситуацию в стране: реализуются федеральные программы «Чистая вода» и «Чистый воздух». Тем не менее, в сравнении с другими промышленно развитыми странами, Россия отстает как по объемам промышленного производства, так и по сокращению объемов отходов.

Основная цель государственной программы «Отходы» состоит в обеспечении одного из условий экологически безопасного развития страны: стабилизации, а в дальнейшем – сокращении загрязнения окружающей среды отходами и экономии природных ресурсов за счет максимально возможного вторичного вовлечения отходов в хозяйственный оборот.

В соответствии с действующим в России законодательством, предприятия, нарушающие санитарные и экологические нормы, не имеют права на существование и должны быть реконструированы или закрыты, то есть все современные предприятия должны быть малоотходными и безотходными.

Использование вторичного сырья для производства различных продуктов является оптимальным решением описанных выше проблем, так как это позволяет предотвратить загрязнение водоемов, почв, атмосферы.

На рисунке 1.3 показана схема образования промышленных отходов и возможные пути их утилизации.

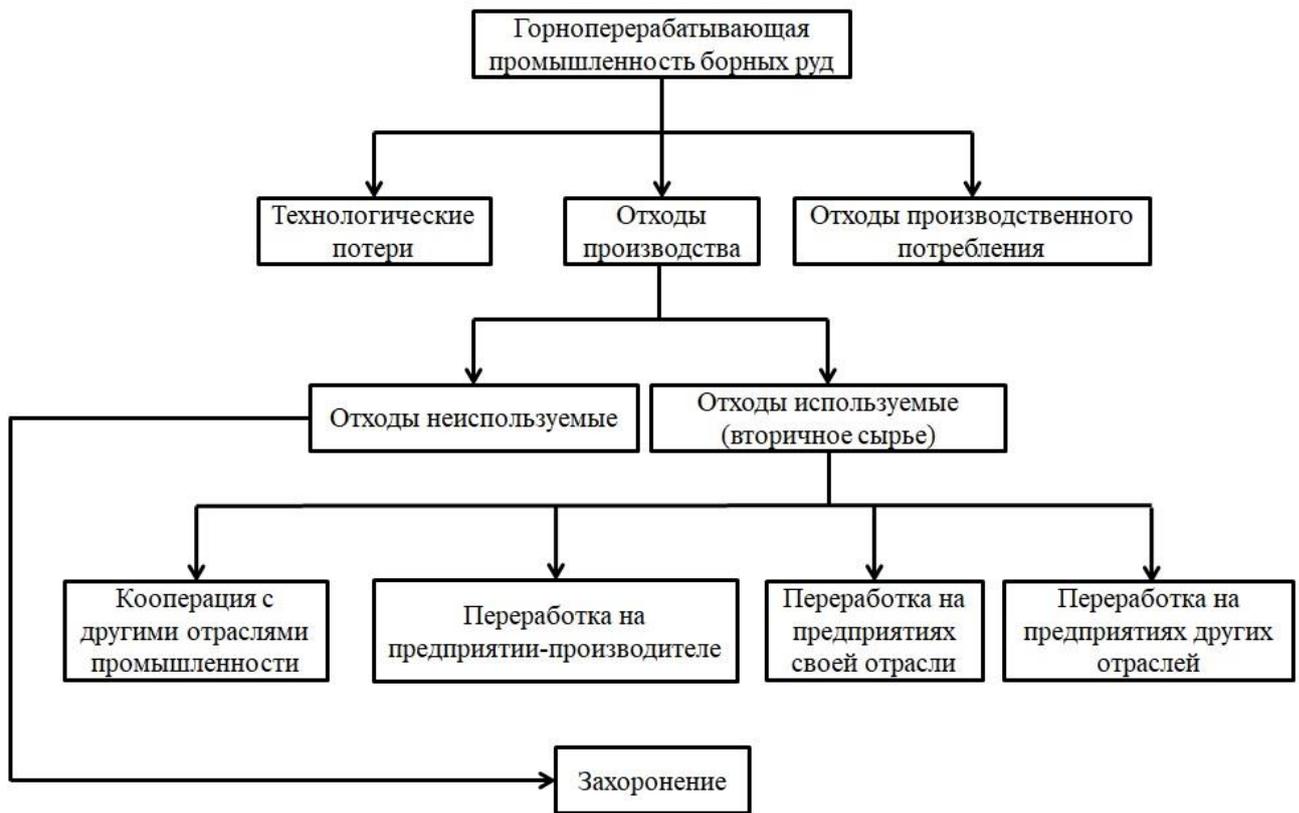


Рисунок 1.3 – Схема образования техногенных отходов и возможные пути их утилизации

Комплексная переработка сырья в разы сокращает денежные вложения, необходимые для производства продукции. Такие комплексные ресурсосберегающие технологии используются в основном в строительной индустрии [75].

Бор, как химический элемент, относится к высокотоксичным, а по биологичности – к жизненно необходимым.

У животных и человека избыток бора вызывает борный энтерит, пневмонию, нефрит, отек мозга, а недостаток ухудшает обмен веществ. Не до конца изучено влияние бора на опухолеобразование в живых организмах [76]. Пороговые концентрации бора для нормальной функциональной деятельности организмов составляют: нижний предел – 3–6 частей на миллион, верхний – 30. Норма содержания бора в крови составляет около $0,8 \text{ мг/дм}^3$. Смертельной дозой для ребенка может оказаться 3 г борной кислоты, для взрослого – 15–20 г.

Бор токсичен при концентрации его в водных организмах – 1 мг/дм^3 . Однако в океанической воде содержание бора составляет $4,5\text{--}4,7 \text{ мг/дм}^3$, что не

вредит жизнедеятельности морских организмов. Из сельскохозяйственных культур наиболее чувствительны к бору яблони, вишни, груши, персики, сливы, цитрусовые. Они выдерживают концентрацию бора при поливе не более 1 мг/дм^3 . Наиболее устойчивые – капуста, морковь, сахарная свекла, лук, салат – $2\text{--}4 \text{ мг/дм}^3$.

Для бора нормируются предельно допустимые концентрации (ПДК). Максимально разовая концентрация в воздухе населенных мест: для B^{3+} – $6,0 \text{ мг/м}^3$, для B_2O_3 – $5,0 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная для H_3BO_3 – $0,02 \text{ мг/м}^3$.

Для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения ПДК – $0,3 \text{ мг/дм}^3$ [77].

Чистота воды по бору регламентируется следующими нормами: $0,017 \text{ мг/дм}^3$ – для сточных вод, поступающих в водоемы рыбохозяйственного пользования, $0,5 \text{ мг/дм}^3$ – для вод, поступающих в санитарно-бытовые водоемы, $1,0 \text{ мг/дм}^3$ – для вод, поступающих на сооружения биологической очистки.

В соответствии с санитарными нормами проектирования промышленных предприятий производство борных соединений относят к производству минеральных солей, т. е. к III классу опасности, предусматривающему санитарно-защитную зону размером 300 м.

Окружающая среда загрязняется бором из-за добычи и переработки борного сырья [78], возможны выделения паров и пыли из-за нарушения герметичности оборудования. Это особенно опасно при сернокислотном производстве.

Складирование твердых отходов занимает большие земельные площади, что способствует загрязнению бором водоемов и воздушной среды. В твердых отходах содержится водорастворимый борный ангидрид, что ведет к попаданию бора в поверхностные и грунтовые воды. Для снижения загрязнения окружающей среды необходимо использовать получаемые твердые борсодержащие отходы для производства различных продуктов (шлаковаты, мела, цемента и других материалов). Также обязательно использование системы замкнутого водооборота.

Загрязнение воздушного бассейна происходит в процессе пыления хранящихся отходов, а также сушки и упаковки товарных продуктов, сушки

боратовой руды. Исключение или уменьшение загрязнения атмосферного воздуха достигается усовершенствованием защитных устройств технологических операций. Боратовое сырье, кислоты, сода и другое требуют хранения в хорошо закрытых емкостях, снабженных специальными устройствами для быстрого их освобождения. Вся аппаратура, арматура и трубопроводы должны соответствовать специальным требованиям.

1.3 Борогипс – перспективное сырьё для получения дополнительной продукции

Запасы разрабатываемых месторождений горнодобывающих предприятий ограничены, и спустя время использование техногенных месторождений станет приоритетным (а порой и единственным) источником минерального сырья [79].

При добыче и обогащении борсодержащих руд, переработке концентратов образуется большое количество отходов, использование которых значительно улучшает экологическую обстановку территорий, повышает эффективность переработки руды и конкурентоспособность борной продукции.

Модификации сернокислого кальция, содержащиеся в разнообразных отходах химической промышленности, являются практически неисчерпаемым источником для производства гипсовых и ангидритовых вяжущих изделий [80–93]. Так, в виде борогипса, фосфогипса, фторогипса на различных предприятиях из процессов производства удаляются огромные количества таких отходов (до 15 млн т в год) и отправляются в отвалы, в которых накоплено более 100 млн т [94].

При производстве борной кислоты образуется борогипс, фторогипс – при производстве фтористых соединений, а фосфогипс – при получении различных удобрений из фосфоритовых и апатитовых пород [95, 96].

Общее содержание двухводного (гипса), полуводного (бассанита) и безводного (ангидрита) сульфата кальция в таких отходах колеблется в пределах 70–98 % по массе. В исходной породе содержится аморфный диоксид кремния и

другие вещества. Нежелательные примеси частично включены в кристаллический каркас сульфатов кальция, поэтому их промывка водой и нейтрализация затруднены. Из основного производства гипсосодержащие отходы выделяются в виде водных высокодисперсных частиц [97].

С технико-экономической точки зрения вяжущие гипсовые концентраты являются наиболее эффективными из-за небольших требуемых вложений для их производства [98]. Также запасы исходного гипсосодержащего техногенного сырья, образующиеся на предприятиях химической промышленности, практически неиссякаемы.

Гипсовые вяжущие материалы – это порошковидные высокодисперсные вещества, получаемые термообработкой сульфата кальция двуводного при температуре 105–200 °С [99].

Несмотря на большое число разнообразных вяжущих материалов, в стройиндустрии применяются не все. Строительные вяжущие материалы делятся на две группы:

- 1) минеральные (неорганические) – известь, гипс, портландцемент;
- 2) органические («черные») – продукты переработки каменного угля и нефти.

Неорганические вяжущие материалы получают путем измельчения исходных продуктов и термообработкой. При этом протекание различных физико-химических процессов обуславливает производство продуктов с требуемыми свойствами.

Использование вяжущих материалов с заполнителями обусловлено их относительно высокой стоимостью, а также тем, что некоторые вяжущие материалы склонны к набуханию, усадке при изменении температуры и влажности, а также при твердении. Для каждой конструкции или изделия расход вяжущего материала определяется индивидуально в зависимости от требуемых свойств.

Вяжущие материалы являются основой современной стройиндустрии, без которых не обходится ни одно строительство. Они применяются при изготовлении бетонов, кладочных растворов, штукатурки.

При строительстве жилых зданий на 1 м² жилой площади в среднем расходуется до 250–350 кг различных вяжущих веществ (гипса, цемента, извести). На строительство только жилых домов ежегодно тратится до 40 млн т вяжущих материалов, в свою очередь, потребность в данной отрасли значительно выше.

Также строительные неорганические вяжущие материалы делятся на три группы:

1) воздушные – инертны в воздушной среде, однако теряют прочность при постоянном контакте с жидкими средами (магнезиальные и гипсовые вяжущие материалы, воздушная известь);

2) гидравлические – инертны как в воздушной, так и в водной средах (романцемент, глиноземистый цемент, гидравлическая известь, белый портландцемент, известково-пуццолановые цементы, известково-кварцевое вяжущее, известково-белитовый (нефелиновый) и известково-шлаковый цемент, шлакощелочное вяжущее);

3) кислотостойкие, характерны тем, что после начального твердения могут сопротивляться агрессивному воздействию минеральных и органических кислот (кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент) [100].

При переработке даптолитовых руд Дальнегорского месторождения методом серноокислотного разложения образуются отходы, имеющие в своем составе до 70 % гипса и ангидрита, до 20–30 % аморфного диоксида кремния.

Переработка этого вида сырья является альтернативным методом получения гипса и кремнийсодержащих продуктов.

Борогипс может являться сырьем для производства «белой сажи» [101]. «Белая сажа» – это осажденный тонкодисперсный диоксид кремния. Спектр ее применения достаточно широк, в основном она используется в качестве усиливающего наполнителя полимерных и синтетических материалов в

резинотехнической, шинной, легкой, химической и во многих других областях промышленности. Имеет общую формулу: $m\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$.

В России известны технологии производства «белой сажи» из шламов борогипса, но их промышленная реализация затруднена ввиду высокой стоимости, обусловленной низким содержанием диоксида кремния в борогипсе.

Решить эту проблему можно за счет увеличения концентрации диоксида кремния более дешевыми методами.

1.4 Анализ технологий переработки кремнийсодержащего сырья

Для анализа современного состояния проблемы переработки отходов производства борной кислоты изучены литературные данные и проведен патентный поиск. В настоящее время существует достаточное количество известных способов переработки кремнийсодержащих продуктов, однако большинство из них имеет ряд недостатков и применимы лишь к конкретному сырью.

Например, способ обогащения высококачественного кварцевого сырья [102] включает следующие операции: дробление, измельчение, обогащение на магнитных сепараторах, двустадийная флотация, термо- и УЗ-обработка. Основным недостатком данной технологии являются высокие требования к исходному сырью, что не позволяет использовать этого способа на большинстве кварцсодержащих месторождениях.

Другим способом переработки кремнийсодержащего сырья [103] является способ, который включает в себя следующие операции: предварительное дробление, декрипитация и термодробление в жидкой среде, магнитная сепарация и флотация, ультразвуковая обработка, фильтрация и сушка, прокаливание при температуре 550–700 °С, обработка плавиковой и соляной кислотами при низкой температуре, ультразвуковая обработка и флотация камерного продукта в кислой

среде. Недостатком данной технологии является сложность и многостадийность процессов.

За рубежом проблема переработки кремнийсодержащих продуктов также изучалась. Известен усовершенствованный катионный процесс пенной флотации [104] для разделения кремнистых частиц пустой породы из оксидных частиц минерального железа, в котором кремнийсодержащие частицы удаляются флотацией, а минеральные частицы железа остаются в суспензии в нижней части флотационной камеры. Данное изобретение относится к усовершенствованию процесса катионной пенной флотации путем введения небольшого количества соли металла группы II в качестве модификатора. Восстановленные железные концентраты, полученные данным способом, являются более высококачественными и содержат меньшее количество кремнийсодержащих материалов.

Известны методы для удаления минеральных примесей из кремнийсодержащих материалов с помощью пенной флотации. Показано [105] использование специальных поверхностно-активных веществ для флотации железа и глины из песка, описана [106] флотация тяжелых минералов из кремнистых материалов с использованием специальных поверхностно-активных веществ.

Существует способ [107] очистки руды карбоната кальция путем удаления силикатных примесей из руды обратной флотацией. Процесс достигает высокого выхода продукта за счет низкой растворимости карбоната кальция в кислоте и за счет использования новых собирателей. Эти новые собиратели – азоторганические соединения, включающие гидроксипропиловые четвертичные соединения аммония, несимметричные диалкил диметил четвертичные соединения аммония и диалкиловые гексагидропиримидиновые соединения.

Алкоксилированные алкиламины и алкоксилированные алкил гуанидины являются отличными собирателями при использовании минеральной пенной флотации [108] для удаления различных минеральных примесей, например, кварца, пирита, хлорита, слюдистых минералов из шламов углекислого кальция.

Также известны различные способы получения гипсовых вяжущих материалов из шламовых отходов производства красителей, отходов десульфуризации газов тепловых электростанций, фторогипса [109].

Существует способ получения гипсового вяжущего, включающий репульпацию гипсосодержащего отхода, его очистку и сгущение, перекристаллизацию гипса в автоклаве в полугидрат сульфата кальция, его сушку и измельчение. Очистку гипсосодержащего отхода – цитрогипса проводят безреагентной флотацией, в сгущенную пульпу добавляют смесь сульфата меди и сульфата натрия в количестве 1,2–1,5 кг/м³, а сушку полугидрата сульфата кальция осуществляют в автоклаве одновременно с перекристаллизацией.

Осуществление очистки цитрогипса операцией безреагентной флотации, то есть без применения флотореагентов, стало возможно благодаря специфике цитрогипса как сырья, а именно присутствию в нем кислотных остатков. Эта операция снижает содержание вредных примесей в цитрогипсе. Повышение эффективности перекристаллизации гипса при автоклавировании получается за счет укрупнения кристаллов, что, в свою очередь, приводит к увеличению прочности и достигается путем добавления в сгущенную пульпу смеси сульфата меди (CuSO₄) и сульфата натрия (Na₂SO₄) в количестве 1,2–1,5 кг/м³. Упрощение способа достигают за счет совмещения операций сушки полугидрата сульфата кальция и его перекристаллизации. Эта операция сокращает технологический процесс. Таким образом, предлагаемая совокупность существенных признаков позволяет практически реализовать способ получения гипсового вяжущего на промышленном уровне и получить гипсовое вяжущее из отхода производства лимонной кислоты с высокими прочностными характеристиками (предел прочности образцов на изгиб 4,7–5,4 МПа, предел прочности на сжатие 11,4–12,5 МПа), что позволяет использовать его наряду с вяжущими, полученными из природного гипсосодержащего сырья.

За счет использования свойств кислотных остатков лимонной кислоты использование данного метода возможно только для переработки отходов лимонной кислоты [110].

С помощью автоклавной обработки и сопутствующих операций возможно получение гипсовых вяжущих материалов из отходов химической полировки стекол – фосфогипса [111].

Но все эти способы очень узконаправленны и могут быть применены лишь к конкретному сырью.

Способы получения вяжущих материалов из борогипса изложены в ряде научных работ [17, 112–115]. Например, отходы производства борной кислоты (борогипс), содержащие дигидрат сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (до 70 масс. %) и аморфный кремнезем $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (до 30 масс. %), или, в пересчете на окислы CaO и SiO_2 , в соотношении 0,81:1, смешивают с раствором щелочи, преимущественно KOH либо NaOH . Исходные компоненты берут в стехиометрическом соотношении, необходимом для осуществления реакции образования гидросиликата кальция. Процесс проводят при соотношении твердой и жидкой фаз $T:Ж=1:(7-10)$, регулируя концентрацию щелочи (KOH , NaOH) таким образом, чтобы концентрация в растворе сульфата щелочного металла (K_2SO_4 либо Na_2SO_4), образующегося в качестве побочного продукта, не превышала его предельной растворимости.

Поскольку эффективность синтеза, осуществляемого при комнатной температуре, невысока, для активизации процесса и увеличения выхода целевой продукции процесс проводят в автоклаве при температуре 110–120 °С и давлении 1,5–2,0 атм, при этом выход гидросиликата кальция, как основного целевого продукта, достигает 95 %. Время обработки 1–3 часа.

Условия проведения реакции в значительной мере влияют также на структуру и свойства получаемых продуктов, модификация которых определяет их назначение и возможную область применения.

Образующийся в результате автоклавного синтеза гидросиликат кальция отделяют фильтрованием, промывают водой, нагретой до 60–70 °С, фильтруют и сушат при температуре 80–85 °С в течение нескольких часов.

В зависимости от состава используемого гидроксида, из фильтрата, в качестве побочного продукта, выделяют сульфат калия, который может найти

применение в качестве удобрения, в металлургии и стекольном производстве, либо сульфат натрия, применяемый в производстве синтетических моющих средств, при получении целлюлозы, в текстильной, кожевенной, стекольной промышленности и в цветной металлургии.

Щелочная обработка борогипса в автоклаве при 110–120 °С позволяет получить продукт, который обладает выраженной сорбционной активностью по отношению к ионам тяжелых металлов и может найти применение в качестве сорбента.

Высушенный гидросиликат кальция прокаливают при 850–1000 °С в течение 1–2 ч с получением волластонита. Выход волластонита как целевого продукта в этом случае составляет 85–95 %.

При прокаливании полученного гидросиликата кальция при температуре 1150–1200 °С в течение 1–2 ч, с последующим измельчением, получают тонкодисперсный порошок на основе волластонита и псевдоволластонита (высокотемпературной модификации волластонита), который может быть использован в качестве добавки в бетон, способствующей увеличению предела прочности бетона при его сжатии и изгибе.

Недостатками данного метода являются высокие температура и давление, необходимые для синтеза.

Из существующих технологий переработки борогипса наибольший интерес представляет технология, включающая в себя следующие операции: репульпацию гипсосодержащего отхода, его очистку, перекристаллизацию гипса в автоклаве в полугидрат сульфата кальция, его сушку и измельчение. Осуществляют извлечение дигидрата сульфата кальция флотацией в пенный продукт с применением флотационных реагентов, в качестве которых используют смесь натриевых солей жирных кислот – олеата натрия, стеарата натрия, пальмитата натрия, при их весовом соотношении, соответственно равном 2:1,5:0,5, добавленных в количестве 0,1–0,3 кг/т шламов борогипса, и жидкое натриевое стекло, добавленное в количестве 0,02–0,05 кг/т шламов борогипса.

Обезвоживание дигидрата сульфата кальция проводят после обработки серной кислотой и гидроксидом кальция в интервале рН 2–7.

Недостатками данного метода являются необходимость нагревания, доведения рН, длительное время флотации для получения качественного продукта, что, в свою очередь, приводит к увеличению затрат на производство.

Из вышеизложенного следует, что флотация является наиболее оптимальным (простым и эффективным) методом переработки борогипса.

В составе борогипса присутствует гипс, который легко подвергается флотации [116, 117]. На обогатительной фабрике ООО «Дальнегорский ГОК» используется флотация для обогащения датолитовых руд и, соответственно, имеется все необходимое оборудование для флотационного обогащения, в том числе флотационные машины, которые в настоящее время не используются в технологическом процессе. Флотация позволит обеспечить практически безотходную технологию переработки борогипса, так как пенный продукт после обезвоживания можно использовать для производства гипсовых вяжущих материалов, а камерный – для производства «белой сажи».

Для дальнейшего передела кремниевого концентрата, полученного методом флотации, в «белую сажу», соответствующую техническим условиям по ГОСТ 18307-78 [118], необходимо обеспечить содержание диоксида кремния от 50 до 65 % [119], при выходе продукта 15 % и выше. При этом гипсовый продукт должен соответствовать техническим условиям ГОСТ 4013-82 [120].

Получение «белой сажи» из отходов позволит организовать ООО «Дальнегорский ГОК» новые рабочие места, расширить номенклатуру поставляемых на рынок товаров, получаемых при переработке датолитового сырья.

Выводы по главе 1

Информационный анализ обзора современного состояния практики обогащения борсодержащих руд и их отходов, патентный поиск современных способов переработки гипс- и кремнийсодержащего минерального сырья позволили сделать следующие выводы.

В Российской Федерации единственным источником борного сырья являются относительно бедные датолитовые руды Дальнегорского месторождения. Борсодержащие руды требуют предварительного обогащения с последующим получением датолитового концентрата и переработкой по сложной технологии методом сернокислотного разложения для производства борной кислоты. Выбор технологии переработки борного сырья зависит от его типа.

Отходом производства борной кислоты является борогипс, который на предприятии получают в большом количестве и отправляют в отвалы (до 350 тыс. т/год). Общий объем борогипса составляет более 25 млн т.

Бор является токсичным элементом, поэтому необходимо более тщательно подходить к вопросу безопасной добычи и переработки борных руд. Комплексное использование борных руд позволит снизить риски загрязнения окружающей среды.

В России предложенные в настоящее время технологии по переработке борогипса не реализованы в промышленных масштабах, так как являются достаточно дорогостоящими. В связи с этим требуются новые подходы в технологических решениях.

Анализ современного состояния проблем переработки гипсовых отходов позволил установить, что существующие технологии имеют ряд следующих недостатков: повышенный расход дополнительных реагентов для создания агрессивных сред; высокотемпературный нагрев; узкая направленность; ограниченность сырьевой базы.

Анализ мировой практики переработки кремнийсодержащих материалов показал, что наиболее экономически выгодными и наименее ресурсоемкими являются методы удаления вмещающих минеральных частиц методом флотации.

На основе анализа современного состояния и проблем переработки отходов производства борной кислоты сформированы следующие основные задачи исследования:

1. Изучение минерального, химического, гранулометрического состава накопленных отходов производства борной кислоты.

2. Выбор метода флотации (прямая, обратная), реагентного режима для получения кремниевого концентрата из отходов производства борной кислоты.

3. Подбор рациональных режимных параметров флотационного разделения минералов борогипса методом многофакторного планирования технологических экспериментов.

4. Выявление экспериментальным путем закономерностей влияния отдельных технологических факторов флотационного обогащения на показатели извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате.

5. Разработка эмпирических уравнений множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате при обогащении борогипса.

6. Эколого-экономическое обоснование нового технологического решения.

2 Объекты, методы и методики исследований. Исследование физико-химических характеристик борсодержащих продуктов для выбора технологии переработки

2.1 Объект исследования

Объект исследования – борогипс (отходы производства борной кислоты), полученный при переработке датолитовых руд Дальнегорского месторождения с последующим сернокислотным выщелачиванием датолитового концентрата. Проба борогипса отобрана с хвостохранилища обогатительной фабрики ООО «Дальнегорский ГОК», массой 1,6 т. Перед проведением испытаний проба подготавливалась известными классическими методами.

2.2 Методы и методики исследования состава, технологических свойств, обогатимости борогипса и продуктов его переработки

Для изучения технологических свойств борогипса и научного обоснования применения флотационного реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия для повышения технологических показателей переработки отходов производства борной кислоты и повышения комплексности использования минерального сырья разработан алгоритм исследований (методики и методы) технологических свойств и обогатимости борогипса и продуктов его переработки, представленный на рисунке 2.1. Алгоритм включает последовательное проведение экспериментальных исследований на основе современного аналитического инструментария по сертифицированным методикам в аккредитованных лабораториях. Изучен минеральный, химический, гранулометрический составы отходов производства борной кислоты и продуктов его переработки.

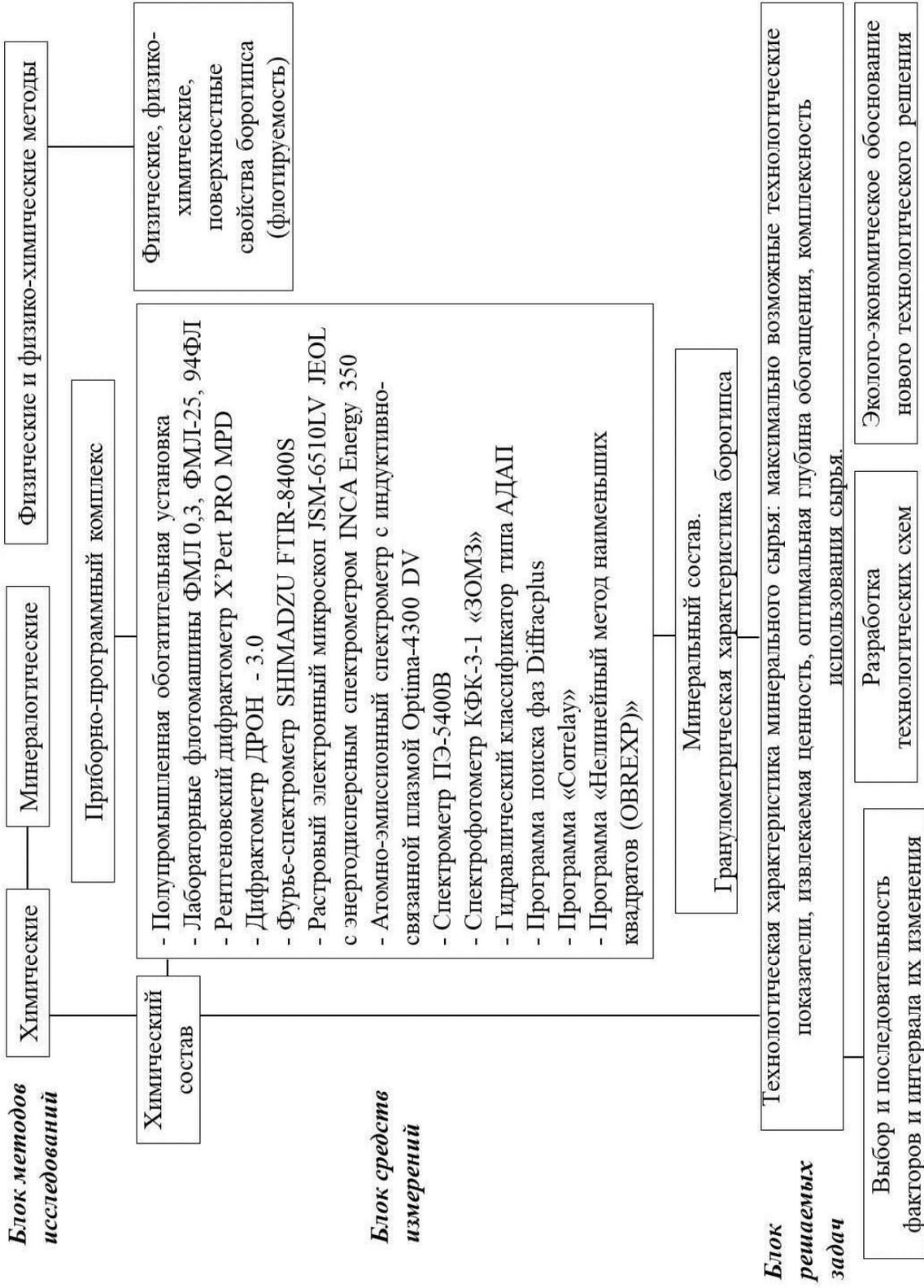


Рисунок 2.1 – Алгоритм исследований (методики и методы) состава, технологических свойств и обогатимости борогипса и продуктов его переработки

2.2.1 Методы исследований

Изучение химического состава борогипса определяли на базе аналитического сертификационного испытательного центра ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС») следующими методами:

– атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой на приборе «Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Optima-4300 DV» (“Perkin Elmer”, США). Данный метод позволил определить большой спектр химических элементов в пробе, основываясь на эмиссии элементарных частиц при их атомизации и ионизации при высоких температурах (6000–10000 °С);

– гравиметрический на приборе «Весы ВР-221S» («Сартогосм», Россия) и фотометрический на приборе «Спектрометр ПЭ-5400В» («ПромЭкоЛаб», Россия). Данные методы позволили определить концентрацию элементов, которые невозможно определить с помощью атомно-эмиссионного анализа.

Концентрацию диоксида кремния определяли с помощью фотометрии [121] на спектрофотометре КФК-3-1 «ЗОМЗ» («ЗОМЗ», Россия). Данный метод позволяет достаточно оперативно и без больших затрат определить концентрацию диоксида кремния, основываясь на разнице оптических плотностей растворов с разной концентрацией.

Минеральный состав проб определяли на базе аналитического сертификационного испытательного центра ФГБУ «ВИМС» следующими методами:

– рентгенофазовый анализ. Образцы истирали в агатовой ступке со спиртом и исследовали методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН – 3.0 (излучение – $\text{CuK}\alpha$, Ni – фильтр, $V = 25$ кВ, $I = 20$ мА, в диапазоне $5 - 65^\circ 2\theta$, шаг сканирования – 0.05°). Фазовый состав проб расшифрован с помощью

программы поиска фаз (Diffracplus, PDF-2, 2007 г). Данный метод позволил качественно определить кристаллические фазы в пробе;

– рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) с использованием метода внутреннего стандарта на приборе «Рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO MPD» (PANalytical, Нидерланды). Условия съемки: монохроматизированное $\text{CuK}\alpha$ -излучение (графитовый монохроматор на дифрагированном излучении), режим работы рентгеновской трубки: $V = 50 \text{ kV}$, $I = 40 \text{ mA}$, режим записи рентгенограмм непрерывный, шаг $0,02$ град 2θ , время набора импульсов $1,0 \text{ с}$. Данный метод позволил количественно определить концентрацию кристаллических фаз в пробе.

Для определения структурных изменений использована инфракрасная спектроскопия (ИКС). ИК-спектры регистрировали инфракрасным Фурье-спектрометром SHIMADZU FTIR-8400S в области $4000\text{--}400 \text{ см}^{-1}$ на таблетках с KBr.

Морфологию исследуемых проб изучили на аналитическом комплексе на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-6510LV JEOL (Япония) с системой микроанализа – энергодисперсным рентгеновским спектрометром модели INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания) при увеличении в 500 и 1000 раз. Пробоподготовку для анализа осуществляли путем нанесения образца в виде порошка на двусторонний электропроводящий углеродный скотч с последующим напылением на основу платиновой пленки.

Для определения гранулометрического состава образцов применялись ситовый и седиментационный (дисперсионный) методы анализа. Дисперсионный анализ проводился в гидравлическом классификаторе типа АДАП. Материал разделяется потоком воды со скоростью $80 \text{ см}^3/\text{мин}$ на разные камеры, размер частиц определялся по номограмме.

Лабораторные исследования процесса флотации проводили на машине флотационной «ФМЛ 0,3» («Механобртехника», Россия) с автоматическим регулированием количества подаваемого воздуха, числа оборотов импеллера и скорости съема пены. Лабораторные исследования процесса флотации

осуществлялись на флотационной камере объемом 1 л, коэффициент загрузки камеры флотомашин 80 %, частота вращения импеллера – 2500 об/мин. Щелочную среду создавали раствором едкого натра, а кислую – соляной кислотой.

При разработке экспериментальных исследований методами флотационного обогащения руководствовались следующими документами:

1. Паспорта химических реагентов.
2. Технический паспорт и руководство по эксплуатации флотационных машин ФМ-3, ФМЛ-25, 94 ФЛ, контактного чана КЧ-01.

Описание флотационного исследования на лабораторной установке:

- в загруженную на 60–70 % водой от объема флотационную камеру с включенным импеллером поэтапно загружались навеска борогипса, реагент-собиратель (олеилсаркозинат натрия), реагенты-регуляторы рН среды;
- флотационные реагенты агитировались с минералами определенное время после подачи каждого из них;
- регулировали рН с помощью рН-метра стационарного рН-211;
- подавали воздух во флотационную камеру;
- снимали пену в подготовленные сосуды до прекращения ее выделения;
- при необходимости проведения перечистой флотации, после снятия пенного продукта, перекрывали доступ воздуха в камеру, дозировали дополнительные реагенты, агитировали с минералами;
- подавали воздух в камеру и в последовательности, описанной выше, осуществляли перечистную флотацию.
- полученные продукты отстаивали, после чего их удаляли осветленную воду, а влажный осадок высушивали в сушильном шкафу.

Полупромышленные испытания флотационного обогащения представительной пробы борогипса проводились на полупромышленной установке горного факультета ФГБОУ ВО «ЗабГУ» (рисунок 2.2). Данная установка обеспечивает непрерывный технологический процесс обогащения.



Рисунок 2.2 – Полупромышленная установка ФГБОУ «ЗабГУ» вид 1

Отделение измельчения представлено установкой 103А-УС, состоящей из двух мельниц МШР 420×445, работающих в замкнутом цикле со спиральными классификаторами 56 ~ Кр (0,150 мм).

Во флотационном отделении происходит контакт с реагентами в контактном чане КЧ-0,1 и флотационное обогащение, включающее основную и перечистную флотации (4 флотомашины ФМЛ-25), перечистные флотации (10-камерная флотомашина 94 ФЛ с трехлитровыми камерами).

Обезвоживание концентратов осуществляется по типовой схеме, включающей в себя операции сгущения (сгуститель У-0,5), фильтрования (ленточный вакуум-фильтр Л 0.1-0.2/0.5) и сушки (барабанная сушилка Д-0,21 м и Д-1.0 м).

2.2.2 Методики исследований

При фотометрическом определении массовой концентрации диоксида кремния оптическую плотность исследуемых растворов измеряли относительно деионизированной воды. Массовую долю диоксида кремния рассчитывали, исходя из оптической плотности раствора анализируемой пробы и раствора пробы стандартного образца с известным содержанием диоксида кремния, построив градуировочную кривую. При высоких содержаниях диоксида кремния от 40 до 90 % использовали дифференциальный фотоколориметрический метод, когда оптическая плотность анализируемого раствора измеряется по отношению к полученной оптической плотности раствора стандартного образца.

Массовую долю двуокиси кремния (X) в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{C_{с.о.} \times D_{пробы}}{D_{с.о.}} \quad (2.1)$$

Если навески стандартного образца или пробы отличаются от 0,1 г, расчётная формула принимает следующий вид

$$X = \frac{C_{с.о.} \times D_{пробы} \times m_{с.о.}}{D_{с.о.} \times m_{пробы}} \quad (2.2)$$

где $C_{с.о.}$ – содержание двуокиси кремния в стандартном образце, проведённом через весь ход анализа, %;

$D_{пробы}$ – значение оптической плотности фотометрируемого раствора пробы;

$m_{с.о.}$ – масса навески стандартного образца, г;

$D_{с.о.}$ – значение оптической плотности фотометрируемого раствора стандартного образца;

$m_{пробы}$ – масса навески анализируемой пробы, г.

Эффективные условия проведения процесса флотации определяли с помощью методики рационального планирования многофакторного эксперимента.

С помощью данной методики можно изучать большое количество факторов, влияющих на процесс флотации, при использовании уравнения М. М.

Протождьяконова. Значимость частных и обобщенных зависимостей оценивается через статистические критерии.

Значение факторов X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 сводятся в матрицу пятифакторного эксперимента (каждый фактор имеет по пять разных уровней) (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Уровни изучаемых факторов флотации

Фактор	Уровни				
	1	2	3	4	5
X_1 – фактор 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
X_2 – фактор 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}
X_3 – фактор 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}
X_4 – фактор 4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}
X_5 – фактор 5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}

Далее осуществляется выборка на уровни значений частных функций Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 от факторов X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 соответственно, также определяются средние функциональные значения частных функций (таблица 2.2) [122].

Таблица 2.2 – Экспериментальные значения частных функций

	1	2	3	4	5	Среднее значение
Y_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{1cp}
Y_2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	Y_{2cp}
Y_3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	Y_{3cp}
Y_4	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	Y_{45}	Y_{4cp}
Y_5	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{54}	Y_{55}	Y_{5cp}

С помощью программы для ЭВМ “Correlay”, которая разработана в ФГБОУ ВО «ЗабГУ», подобранные для описания точечных данных эмпирические формулы сводятся в таблице 2.3, а также значения каждой частной функции, рассчитанные по ним.

Таблица 2.3 – Расчетные значения частных функций

Функция	Уровни					Среднее
	1	2	3	4	5	
Функция Y_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{1cp}
Функция Y_2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	Y_{2cp}
Функция Y_3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	Y_{3cp}
Функция Y_4	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	Y_{45}	Y_{4cp}
Функция Y_5	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{54}	Y_{55}	Y_{5cp}

С помощью коэффициента нелинейной множественной корреляции функции можно разделить на значимые и незначимые.

Коэффициент нелинейной множественной корреляции рассчитывается по формуле 2.3

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \sum_1^N (Y_3 - Y_T)^2}{(N-K-1) \sum_1^N (Y_3 - Y_{CP})^2}} \quad (2.3)$$

Значимость функции рассчитывается по формуле 2.4

$$t_R = \frac{R\sqrt{N-K-1}}{1-R^2} > 2, \quad (2.4)$$

где R – коэффициент нелинейной множественной корреляции;

N – число описываемых точек;

Y_3 – экспериментальный результат;

Y_T – теоретический (расчетный) результат;

K – число действующих факторов;

Y_{cp} – среднее экспериментальное значение.

Рассчитывается коэффициент корреляции эксперимента $R_{обш.}$.

Для описания статистических многофакторных зависимостей используется формула М. М. Протодяконова

$$Y_{\Pi} = \frac{\prod_{i=1}^n Y_i}{Y_{cp}^{T-1}}, \quad (2.5)$$

где Y_{Π} – обобщенная функция;

$\prod_{i=1}^n$ – произведение всех частных функций;

Y_i – частная функция;

Y_{cp} – общее среднее всех учитываемых значений обобщенной функции в степени, на единицу меньшей числа частных функций.

2.3 Результаты исследования состава, технологических свойств и обогатимости борогипса

Результаты изучения гранулометрического состава исходного материала (борогипса) представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Гранулометрический состав борогипса

Класс крупности частиц, мм	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %
+0,071	54,93	25,64
+0,064-0,071	3,54	25,82
+0,032-0,064	8,59	25,63
+0,016-0,032	17,51	27,13
+0,008-0,016	12,62	32,13
-0,008	2,81	42,30
Исходный	100	27,19

Основная масса борогипса (54,93 %), отобранного с хвостохранилища обогатительной фабрики ООО «Дальнегорский ГОК», представлена классом плюс 0,071 мм. В ходе экспериментальных исследований установлено, что борогипс, полученный после выщелачивания датолитового концентрата, на 95 % представлен классом минус 0,071 мм. Однако при длительном хранении в хвостохранилище мелкие частицы борогипса слипаются, образуя более крупные агрегаты, которые, в свою очередь, обладают худшей флотуруемостью. При хранении в течение нескольких лет техногенных отходов возникнет необходимость последующего измельчения борогипса до оптимального содержания (95 % класс минус 0,071 мм), поэтому осуществлять переработку борогипса технологически и экономически целесообразнее сразу после сернокислотного выщелачивания. Для исследования флотационного обогащения

борогипса пробы измельчались на установке 103А-УС, состоящей из двух мельниц МШР 420×445.

На рисунке 2.3 представлен ИК-спектр борогипса.

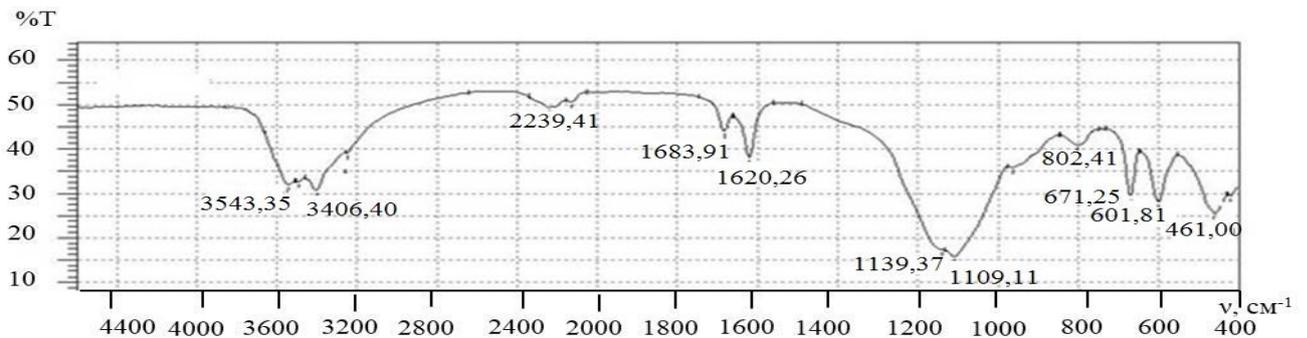


Рисунок 2.3 – ИК-спектр пробы борогипса

На ИК-спектре борогипса выявлены валентные колебания Si-O-Si групп в области 1139, 671, 601 см^{-1} , относящиеся к наличию диоксида кремния, а также колебания SO_4^{2-} групп в области 461 см^{-1} , связанные с присутствием гипса и ангидрита.

На рисунке 2.4 приведена фотография РЭМ борогипса.

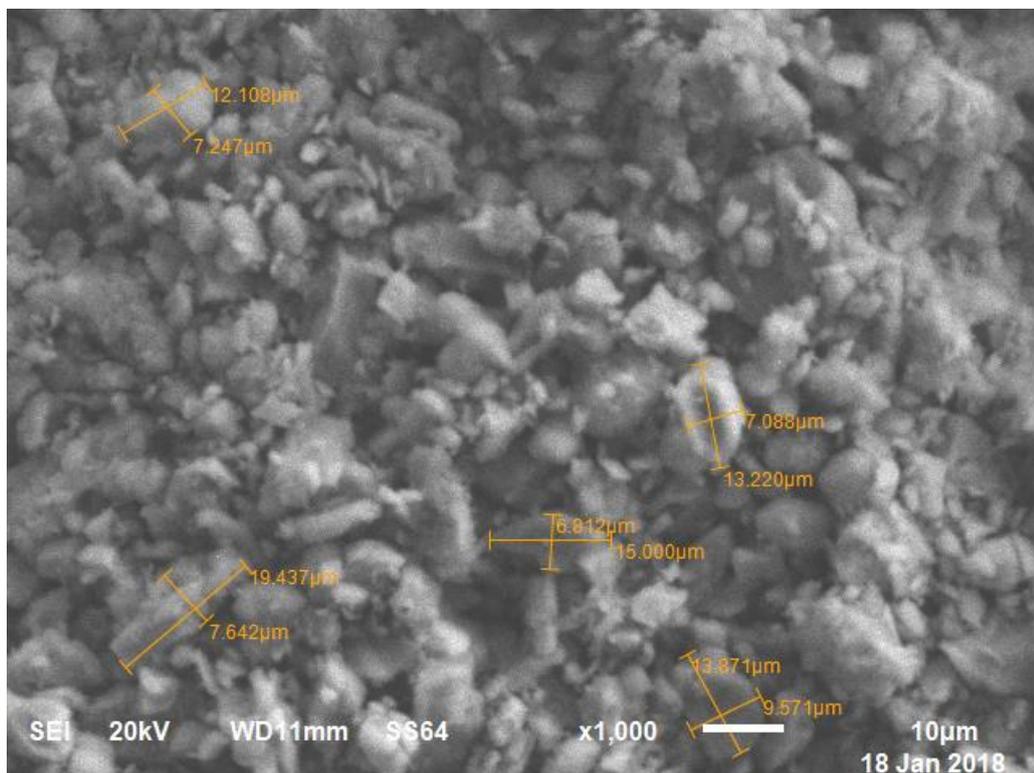


Рисунок 2.4 – Микрофотография РЭМ борогипса

Растровой электронной микроскопией установлено, что борогипс имеет сложный рельеф микроповерхности, образованный кристаллами и агрегатами, в большинстве случаев представленными тонкими классами, о чем свидетельствует диапазон значений диаметра Ферета ($d_{Fmin} = 12,108$ мкм, $d_{Fmax} = 19,437$ мкм), позволяющий также отнести исследуемую пробу борогипса, в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14688-1-2017 «Геотехнические исследования и испытания. Идентификация и классификация грунтов. Идентификация и описание», к среднепылеватому грунту [124].

Элементный состав исходной пробы борогипса по данным РЭМ приведен в таблице 2.5. Выявлено повышенное содержание кислорода, кальция, кремния, серы и водорода. На примесные элементы приходится не более 3 %, которые представлены бором (0,42 %), железом (1,23 %), алюминием (0,26 %), магнием (0,14 %), марганцем (0,12 %), натрием (0,15 %), калием (0,06 %), титаном (0,01 %).

Таблица 2.5 – Элементный состав исходной пробы борогипса по результатам РЭМ

Элементный состав, %												
Si	S	Ca	O	B	Fe	Al	Mg	Mn	Na	K	Ti	H
9,06	7,88	12,60	61,14	0,42	1,23	0,26	0,14	0,12	0,15	0,06	0,01	6,93

Анализируя результаты ИК-спектроскопии (рисунок 1) и учитывая содержание основных элементов в анализируемой пробе, а именно кальция (12,60 %), кремния (9,06 %), кислорода (61,14 %), серы (7,88 %) и водорода (6,93 %), можно сделать вывод о предпочтительных формах их связывания и нахождения в борогипсе. Для кальция это сульфатная форма ($CaSO_4$), кремний же находится в борогипсе в виде оксида (SiO_2), наличие водорода свидетельствует о присутствии в анализируемой пробе гигроскопической воды.

Результаты изучения химического состава фотометрическим, гравиметрическим, атомно-эмиссионным методами представлены в таблице 2.6, которые подтвердили данные РЭМ.

Таблица 2.6 – Химический состав борогипса

Показатель	Обозначение	Содержание, масс. доля, %
Кремний (оксид)	SiO ₂	27,19
Кальций (оксид)	CaO	25,20
Сера (оксид)	SO ₃ общ.	31,53
Бор (оксид)	B ₂ O ₃	1,06
Железо (оксид)	Fe ₂ O ₃ общ.	3,08
Алюминий (оксид)	Al ₂ O ₃	0,65
Магний (оксид)	MgO	0,28
Марганец (оксид)	MnO	0,25
Натрий (оксид)	Na ₂ O	0,23
Калий (оксид)	K ₂ O	0,090
Титан (оксид)	TiO ₂	0,040
Вода гигроскопическая	H ₂ O	10,40

Минеральный состав борогипса, установленный по результатам РФА, представлен на рисунке 2.5 и в таблице 2.7. На спектрах рентгеновских лучей исходного образца борогипса (рисунок 2.5) обнаружены дифракционные отражения, присущие гипсу (наиболее интенсивные рефлекссы 12, 21, 23 2 Θ), ангидриту (26, 32, 39,40 2 Θ) и кремнезему (27 2 Θ).

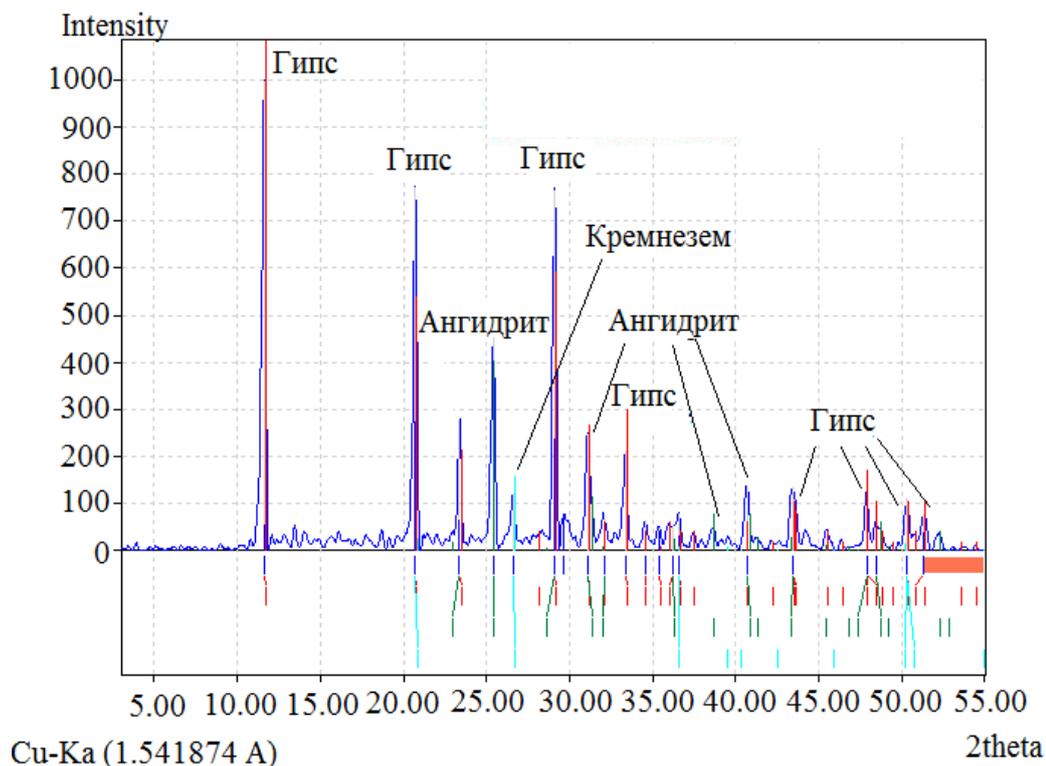


Рисунок 2.5 – Минеральный состав борогипса по результатам РФА

Таблица 2.7 – Минеральный состав борогипса

Минерал	Теоретическая формула	Массовая доля, %
Гипс	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	47
Ангидрит	CaSO_4	14
Геденбергит	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	1
Волластонит	CaSiO_3	4
Гранат	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_4$	3
Сумма кристаллических фаз		69
Аморфный диоксид кремния		27,19
Неразложившиеся минералы		3,81

Практический интерес представляет гипс, ангидрит и аморфный диоксид кремния.

2.4 Экспериментальное исследование обогатимости борогипса.

Выбор эффективных реагентов для флотации борогипса

Как отмечалось в главе 1, наиболее эффективным методом обогащения борогипса является флотация. Проведены сравнительные лабораторные исследования по выбору эффективного реагента-собирателя из девяти опробованных для флотационного выделения кремниевого концентрата из борогипса. Предложен флотореагент – олеилсаркозинат натрия, который показал хорошие результаты при флотации неметаллических флюоритовых руд [125–127]. Флотацию проводили при одинаковых условиях: камера объемом 1 л, коэффициент загрузки камеры флотомашины – 80 %, частота вращения импеллера составляла – 2500 об/мин, температура пульпы при флотации – 25 °С, рН флотации – 7,5, расход реагента-собирателя – 400 г/тонну борогипса.

Результаты флотации борогипса с реагентами-собирателями, выбранными с учетом практики работы обогатительных фабрик, перерабатывающих неметаллические руды, представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Оценка эффективности флотации борогипса с использованием различных реагентов-собирателей

Реагент-собиратель	№	Продукт	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %	Извлечение SiO ₂ , %
Олеилсаркозинат натрия	1	Пенный	63,17	14,60	35,12
	2	Камерный	36,83	46,27	64,88
		Исходный	100	26,26	100
Олеилсаркозин	1	Пенный	73,81	19,26	54,14
	2	Камерный	26,19	45,98	45,86
		Исходный	100	26,26	100
ФЛОН-1 (катионное ПАВ – ацетат первичных аминов кокосовой фракции в изопропиловом спирте)	1	Пенный	57,86	16,80	37,02
	2	Камерный	42,14	39,24	62,98
		Исходный	100	26,26	100
Жидкое мыло	1	Пенный	53,79	16,80	34,40
	2	Камерный	46,21	37,30	65,60
		Исходный	100	26,27	100
Техническая нафтенная кислота	1	Пенный	58,98	19,89	44,70
	2	Камерный	41,02	35,39	55,30
		Исходный	100	26,25	100
Олеиновая кислота	1	Пенный	64,57	20,19	49,64
	2	Камерный	35,43	37,33	50,36
		Исходный	100	26,26	100
Растительное кислое масло	1	Пенный	68,33	20,77	54,05
	2	Камерный	31,67	38,09	45,95
		Исходный	100	26,26	100
Олеин	1	Пенный	69,68	20,69	54,91
	2	Камерный	30,32	39,04	45,09
		Исходный	100	26,25	100
Линолевая кислота	1	Пенный	68,77	18,50	48,43
	2	Камерный	31,23	43,38	51,57
		Исходный	100	26,25	100

Экспериментально показано, что из всех возможных к применению для флотации борогипса реагентов-собирателей олеилсаркозинат натрия наиболее эффективен. С его использованием достигнуты максимальные значения

технологических показателей: содержание диоксида кремния в концентрате составило 46,27 %, при извлечении 64,88 % соответственно.

Олеилсаркозинат натрия (химическая формула – $C_{17}H_{33}CON(CH_3)CH_2COONa$, торговое название – перластан ON-60) – анионоактивное поверхностное вещество N-ацил-саркозинового ряда, которое по химическим свойствам и реакционной способности схоже с жирнокислотными флотационными реагентами.

Олеилсаркозинат натрия растворяется в воде, не чувствителен к жесткой воде, обладает хорошими пенообразующими и смачивающими свойствами, что является его конкурентным преимуществом, открывающим возможность получения ценных товарных продуктов: кремниевого концентрата – для производства «белой сажи» и гипсового продукта с широким спектром практического применения.

Все дальнейшие исследования проводили с олеилсаркозинатом натрия, который впервые применен для флотации борогипса. Рациональные режимные параметры и условия проведения флотации установлены с использованием методики рационального планирования многофакторного эксперимента.

При обогащении кремнийсодержащего сырья в целях повышения технологических показателей широко используют реагенты-подавители – сернистый натрий и жидкое стекло [19, 23, 96, 106]. При экспериментальных исследованиях оценена целесообразность их использования при флотации борогипса. Результаты исследований представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технологические показатели флотации борогипса с использованием различных реагентов-подавителей

Примечание	№	Продукт	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %	Извлечение SiO ₂ , %
1	2	3	4	5	6
Реагент-подавитель – сернистый натрий, 200 г/т	1	Пенный	68,79	18,21	46,07
	2	Камерный	31,21	46,99	53,93
		Исходный	100	27,19	100

1	2	3	4	5	6
Реагент-подавитель – жидкое стекло, 200 г/т	1	Пенный	67,70	15,99	39,83
	2	Камерный	32,30	50,62	60,17
		Исходный	100	27,18	100
Без реагента-подавителя	1	Пенный	67,50	14,49	35,97
	2	Камерный	32,50	53,56	64,03
		Исходный	100	27,19	100

На рисунке 2.6 представлены результаты исследований – зависимость извлечения диоксида кремния от типа реагента-подавителя.

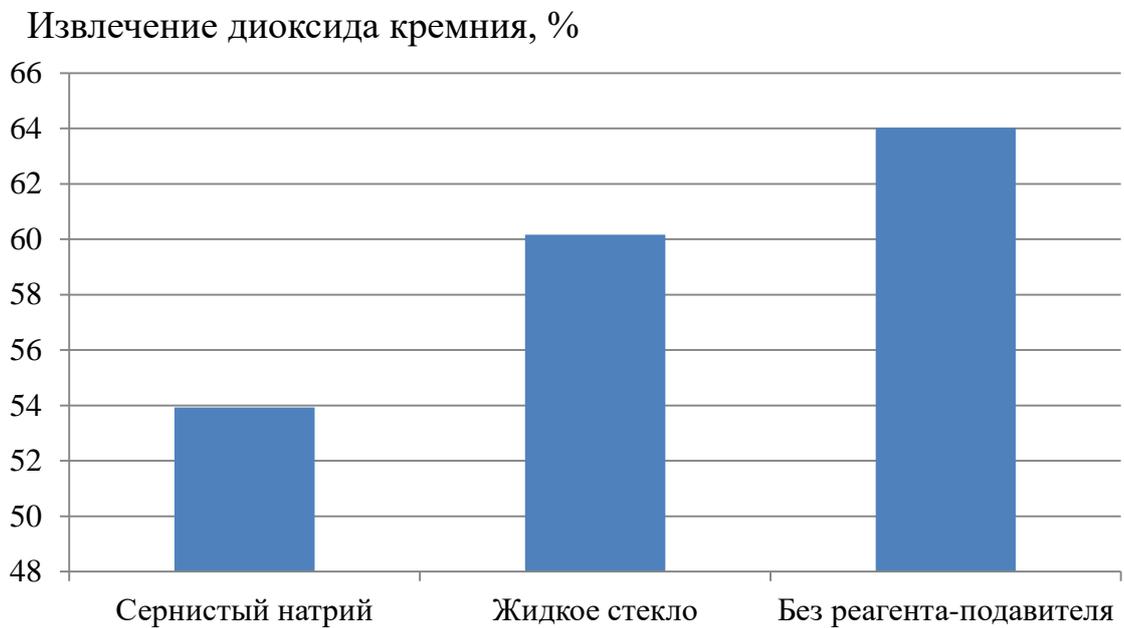


Рисунок 2.6 – Зависимость извлечения диоксида кремния от типа используемого реагента-подавителя

Получены следующие результаты исследований: 1) при применении сернистого натрия извлечение диоксида кремния составило 53,93 %, содержание диоксида кремния в концентрате – 46,99 %; 2) при применении жидкого стекла извлечение диоксида кремния – 60,17 %, содержание диоксида кремния в концентрате – 50,62 %; 3) без использования реагента-подавителя извлечение диоксида кремния – 64,03 %, содержание диоксида кремния в концентрате – 53,56 %.

Таким образом, максимальное извлечение (64,03 %) и максимальное содержание диоксида кремния в концентрате (53,56 %) достигается при флотации без применения реагента-подавителя. Это свидетельствует о том, что реагенты-подавители практически не гидрофилизуют поверхность аморфного диоксида кремния, а также могут подавить флотацию гипса. Следовательно, при флотационном обогащении борогипса нецелесообразно применять реагент-подавитель.

Выводы по главе 2

Разработана комплексная методика исследования обогатимости и факторов, влияющих на флотируемость борогипса, состоящая из трех блоков: методы исследований (химические, минералогические, физико-химические); средства измерений (современный аналитический инструментарий по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях); решаемые задачи (выбор и последовательность факторов, влияющих на процесс флотации, и интервала их измерения, разработка технологических схем, эколого-экономическое обоснование нового технологического решения).

Экономически и технологически целесообразно осуществлять переработку борогипса непосредственно сразу после выщелачивания датолитовых концентратов, когда отходы на 95 % представлены классом минус 0,071 мм. В случае длительного хранения техногенных отходов, в дальнейшем необходимо перед флотацией измельчать борогипс до 95 % класса минус 0,071 мм.

Минеральный состав борогипса представлен аморфным кремнеземом (27,19 %), гипсом (47 %) и ангидритом (14 %).

Агрегаты борогипса – частицы различной формы и размера, $d_{Fmin} = 12,108$ мкм, а $d_{Fmax} = 19,437$ мкм. Следовательно, борогипс относится к классу среднепылеватого грунта по ГОСТ Р ИСО 14688-1-2017 «Геотехнические

исследования и испытания. Идентификация и классификация грунтов. Идентификация и описание».

Дана оценка эффективности флотации с применением реагентов-собирателей (олеилсаркозинат натрия, олеилсаркозин, ФЛОН-1 (катионное ПАВ – ацетат первичных аминов кокосовой фракции в изопропиловом спирте), жидкое мыло, техническая нафтенная кислота, олеиновая кислота, растительное кислое масло, олеин, линолевая кислота), выбранных с учетом практики работы обогатительных фабрик, перерабатывающих неметаллические руды.

Экспериментально показано, что из всех возможных к применению для флотации борогипса реагентов-собирателей олеилсаркозинат натрия наиболее эффективен и обеспечивает максимальные значения как по содержанию диоксида кремния (46,27 %), так и по его извлечению (64,88 %) в кремниевый концентрат.

Проведены экспериментальные исследования влияния реагентов-подавителей сернистого натрия и жидкого стекла на технологические показатели флотации борогипса (выход, содержание, извлечение). Исследованы технологические показатели обогащения борогипса без использования реагента-подавителя.

Установлено, что использование реагента-подавителя нецелесообразно при флотации борогипса, так как он практически не гидрофилизует поверхность аморфного диоксида кремния и не позволяет значительно увеличить показатели извлечения и содержания.

3 Исследование и разработка нового технологического решения переработки борогипса

3.1 Исследование влияния основных факторов обогащения борогипса на комплексность использования минерального сырья

Альтернативные схемы флотации борогипса: базовая, разработанная ООО «Дальнегорский ГОК» и предложенные автором с применением реагента-собираателя – олеилсаркозината натрия представлены на рисунках 3.1, 3.2, 3.3.

На ООО «Дальнегорский ГОК» разработана базовая схема переработки борогипса с использованием в качестве флотационного реагента – жидкого мыла ТУ 9144-005-48847668-2012, а в качестве реагента-регулятора среды – соды (рисунок 3.1). Внедрение базовой схемы переработки борогипса было отложено ввиду низкого извлечения диоксида кремния в кремниевый концентрат (ϵ_{SiO_2} – 33,57 %).

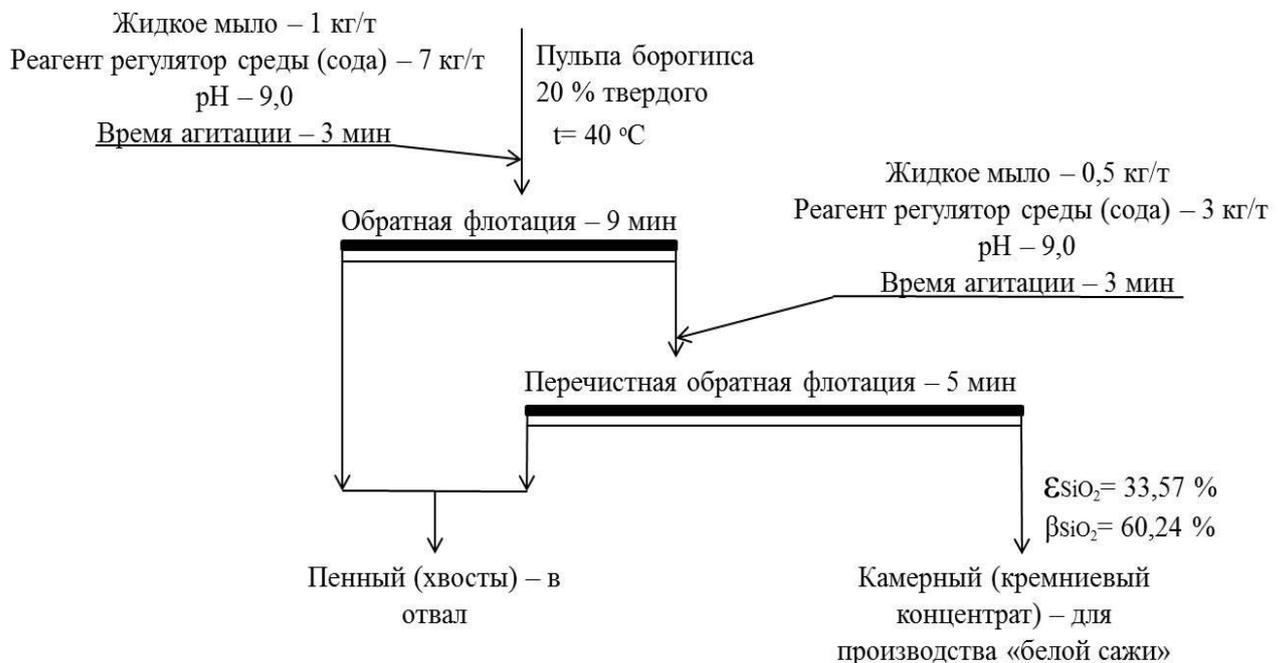


Рисунок 3.1 – Базовая схема флотации борогипса, предложенная ООО «Дальнегорский ГОК»

Применение олеилсаркозината натрия, подаваемого в основную и перечистную флотации по схеме, представленной на рисунке 3.2, позволило увеличить извлечение диоксида кремния с 33,57 до 65,15 % (таблица 3.1). Однако по содержанию диоксида кремния концентрат не соответствует требованиям (содержание диоксида кремния не менее 50 %), предъявляемым к сырью для получения «белой сажи» по ГОСТу 18307-78 «Сажа белая. Технические условия».

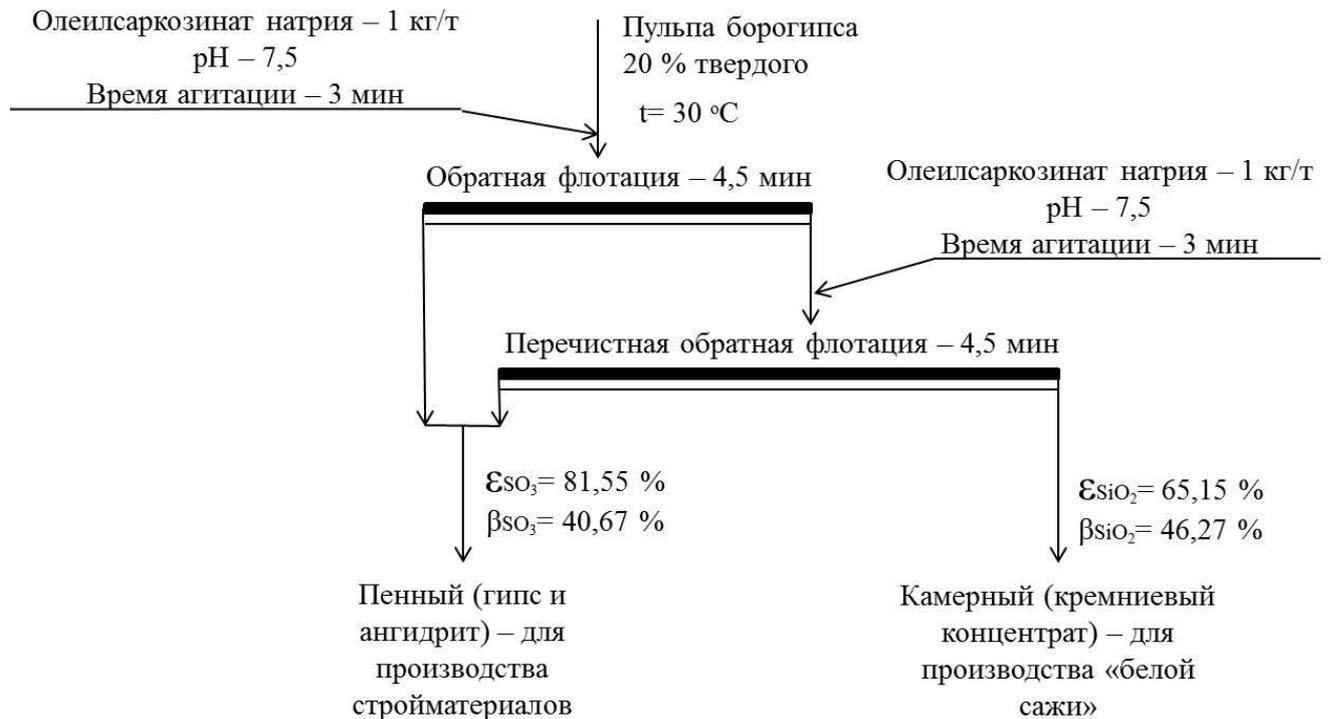


Рисунок 3.2 – Схема флотации борогипса с реагентом-собирателем – олеилсаркозинатом натрия, с двумя операциями флотации

Таблица 3.1 – Результаты флотации борогипса, проведенной по схеме с олеилсаркозинатом натрия, с двумя операциями флотации

Продукт	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %	Извлечение SiO ₂ , %
Пенный	63,17	14,43	34,85
Камерный	36,83	46,27	65,15
Исходный	100	26,16	100

Оптимальной из трех предложенных схем переработки исследуемого сырья является одностадийная технологическая схема флотации борогипса, представленная на рисунке 3.3, предусматривающая применение

олеилсаркозината натрия в качестве реагента-собирателя с расходом – 1000 г/т, установленным экспериментальным путем (таблица 3.2, рисунок 3.4), и временем флотации – 8 минут. Обогащение по данной схеме позволяет повысить на 30,46 % извлечение диоксида кремния в концентрат (с 33,57 % – по базовой схеме до 64,03 % – по предложенной автором схеме) и одновременно обеспечить выполнение требования по содержанию диоксида кремния, предъявляемого к концентрату, необходимые для переработки его в «белую сажу» по ГОСТу 18307-78.

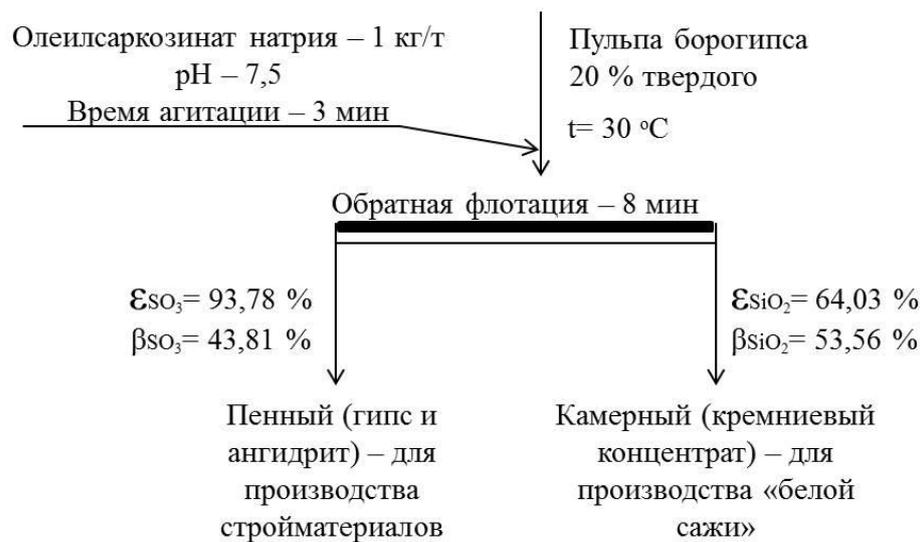


Рисунок 3.3 – Рекомендуемая схема флотации борогипса с применением реагента-собирателя – олеилсаркозинат натрия с одной операцией флотации

Таблица 3.2 – Результаты флотации борогипса по рекомендуемой схеме с применением олеилсаркозината натрия

Расход олеилсаркозината натрия	Продукт	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %	Извлечение SiO ₂ , %
900 г/т	Пенный	65,12	15,23	36,48
	Камерный	34,88	50,74	63,52
	Исходный	100	27,18	100
1000 г/т	Пенный	67,50	14,49	35,97
	Камерный	32,50	53,56	64,03
	Исходный	100	27,19	100
1100 г/т	Пенный	69,75	15,90	40,42
	Камерный	30,25	54,05	59,58
	Исходный	100	27,44	100

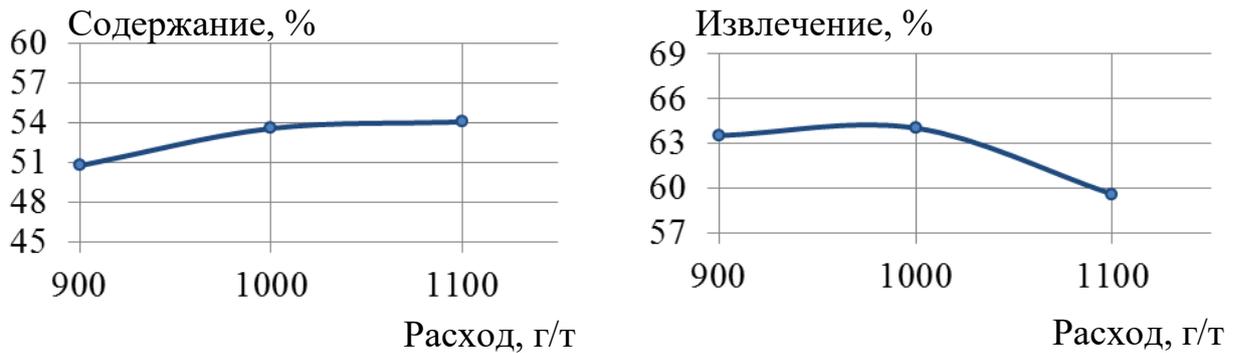


Рисунок 3.4 – Зависимость технологических показателей обогащения борогипса от расхода олеилсаркозината натрия: а) извлечение диоксида кремния в концентрат; б) содержание диоксида кремния в концентрате

Для предварительного определения влияния технологических факторов на показатели обогащения (содержание и извлечение диоксида кремния в концентрат) использована методика рационального планирования многофакторного эксперимента.

При проведении многофакторного эксперимента выбраны следующие факторы, влияющие на эффективность процесса флотации: температура пульпы, рН, расход олеилсаркозината натрия, время агитации и время флотации (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Изучаемые факторы флотации и их уровни

Фактор	Уровни				
	1	2	3	4	5
X ₁ – Температура пульпы, °С	10	15	20	25	30
X ₂ – рН флотации	5,5	6,5	7,5	8,5	9,0
X ₃ – Расход олеилсаркозината натрия, г/т борогипса	200	250	300	350	400
X ₄ – Время агитации, с	60	90	120	150	180
X ₅ – Время флотации, мин	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Диапазоны различных факторов, влияющих на процесс проведения флотации, выбирались после проведения предварительных опытов, в ходе которых выявлено, что флотация проходит эффективнее при высокотемпературном режиме, в среде, близкой к нейтральной либо слабощелочной (рН = 7,0–8,0).

1. Диапазон температуры пульпы от 10 до 30 °С выбран, исходя из того, что реагент-собиратель – олеилсаркозинат натрия эффективно флотирует минералы при повышенной температуре пульпы. Однако температурный режим более 30 °С экономически нецелесообразен из-за больших технологических затрат.

2. Диапазон рН флотации от 5,5 до 9,0 (кислая, нейтральная и щелочная среда) выбран с целью определения максимальной эффективности процесса флотации в разных средах. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что сильнокислотная среда отрицательно влияет на процесс флотации, а увеличение рН в сторону сильнощелочной среды не ведет к заметным улучшениям показателей флотации, а лишь к дополнительному расходу реагентов.

3. Диапазон расхода реагента-собирателя, времени агитации, времени флотации выбраны на основании практики флотационного обогащения, как средние значения при переработке неметаллических руд. Диапазон расхода реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия от 200 до 400 г/т борогипса.

4. Диапазон времени агитации пульпы с реагентами варьировали от 60 до 180 с. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что нецелесообразно устанавливать время агитации больше 3 минут.

5. Диапазон времени флотации от 4,0 мин до 6,0 мин выбран также с целью определения рациональных значений параметров флотации. Также посредством экспериментальных исследований установлено, что после 6 минут процесс пенообразования прекращается, а соответственно, прекращается и флотация.

Матрица и результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Матрица и результаты экспериментальных исследований

№	T, °C	pH	C, г/т	t _а , с	t _ф , мин	Продукт	γ, %	β, %	ε, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	5,5	200	60	4	Пенный	25,59	20,56	20,17
						Камерный	74,41	27,98	79,83
						Исходный	100	26,28	100

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	10	7,5	300	120	5	Пенный	26,25	14,31	14,09
						Камерный	73,75	31,05	85,91
						Исходный	100	26,28	100
3	10	6,5	250	90	4,5	Пенный	21,19	15,48	12,27
						Камерный	78,81	29,76	87,73
						Исходный	100	26,28	100
4	10	9,0	400	180	6	Пенный	32,82	14,43	17,79
						Камерный	67,18	32,57	82,21
						Исходный	100	26,28	100
5	10	8,5	350	150	5,5	Пенный	29,06	15,58	17,49
						Камерный	70,94	30,11	82,51
						Исходный	100	26,28	100
6	20	5,5	300	90	6	Пенный	25,59	17,46	16,77
						Камерный	74,41	29,80	83,23
						Исходный	100	26,28	100
7	20	7,5	250	180	5,5	Пенный	28,11	14,84	15,87
						Камерный	71,89	30,75	84,13
						Исходный	100	26,28	100
8	20	6,5	400	150	4	Пенный	32,37	16,31	20,61
						Камерный	67,63	30,07	79,39
						Исходный	100	26,28	100
9	20	9,0	350	60	5	Пенный	33,02	14,66	18,21
						Камерный	66,98	32,47	81,79
						Исходный	100	26,28	100
10	20	8,5	200	120	4,5	Пенный	23,49	14,85	13,06
						Камерный	76,51	30,36	86,94
						Исходный	100	26,28	100
11	15	5,5	250	150	5	Пенный	22,54	16,13	13,63
						Камерный	77,46	29,74	86,37
						Исходный	100	26,28	100
12	15	7,5	400	60	4,5	Пенный	30,16	13,84	16,51
						Камерный	69,84	30,22	83,49
						Исходный	100	26,28	100
13	15	6,5	350	120	6	Пенный	28,60	15,57	17,39
						Камерный	71,40	29,63	82,61
						Исходный	100	26,28	100
14	15	9,0	200	90	5,5	Пенный	21,63	15,34	13,16
						Камерный	78,37	27,95	86,84
						Исходный	100	26,28	100

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	15	8,5	300	180	4	Пенный	30,29	16,03	18,32
						Камерный	69,71	31,05	81,68
						Исходный	100	26,28	100
16	30	5,5	400	120	5,5	Пенный	43,68	18,09	29,75
						Камерный	56,32	33,13	70,25
						Исходный	100	26,28	100
17	30	7,5	350	90	4	Пенный	43,03	15,34	25,36
						Камерный	56,97	34,10	74,64
						Исходный	100	26,28	100
18	30	6,5	200	180	5	Пенный	29,72	12,71	14,24
						Камерный	70,28	32,38	85,76
						Исходный	100	26,28	100
19	30	9,0	300	150	4,5	Пенный	43,05	13,54	22,22
						Камерный	56,95	35,82	77,78
						Исходный	100	26,28	100
20	30	8,5	250	60	6	Пенный	34,90	15,26	20,14
						Камерный	65,10	32,44	79,86
						Исходный	100	26,28	100
21	25	5,5	350	180	4,5	Пенный	32,50	18,56	23,59
						Камерный	67,50	28,95	76,41
						Исходный	100	26,28	100
22	25	7,5	200	150	6	Пенный	30,39	13,75	16,13
						Камерный	69,61	31,21	83,87
						Исходный	100	26,28	100
23	25	6,5	300	60	5,5	Пенный	35,25	14,37	19,87
						Камерный	64,75	31,54	80,13
						Исходный	100	26,28	100
24	25	9,0	250	120	4	Пенный	35,52	13,52	19,00
						Камерный	64,48	31,76	81,00
						Исходный	100	26,28	100
25	25	8,5	400	90	5	Пенный	46,37	14,32	26,21
						Камерный	53,63	34,85	73,79
						Исходный	100	26,28	100

Примечание:

C – расход реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия, г/т;

t_a – время агитации, с;

t_f – время флотации, мин;

γ – выход, %;

β – содержание диоксида кремния, %;

ε – извлечение диоксида кремния, %.

3.2 Разработка уравнений множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате

По результатам экспериментальных данных сделана выборка по уровням значений частных функций Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 соответственно от факторов X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 , также определены средние, функциональные значения частных функций, которые свели в таблицы 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 – Экспериментальные значения частных функций при расчете по извлечению диоксида кремния

	1	2	3	4	5	Среднее значение
Y_1	83,76	84,20	83,10	79,04	77,66	81,55
Y_2	79,22	83,12	82,41	80,96	82,04	81,55
Y_3	84,65	83,82	81,75	79,59	77,95	81,55
Y_4	81,02	81,25	81,34	81,98	82,16	81,55
Y_5	79,31	82,47	82,72	80,77	82,48	81,55

Таблица 3.6 – Экспериментальные значения частных функций при расчете по содержанию диоксида кремния

	1	2	3	4	5	Среднее значение
Y_1	30,30	29,72	30,69	31,66	33,57	31,19
Y_2	29,92	30,68	31,47	31,76	32,11	31,19
Y_3	29,98	30,90	31,85	31,05	32,17	31,19
Y_4	30,93	31,30	31,19	31,39	31,14	31,19
Y_5	30,99	31,03	32,10	30,70	31,13	31,19

По полученным данным сделана выборка на частные графики и математически описана каждая частная функция. В таблицах 3.7, 3.8 сведены

эмпирические формулы, подобранные для описания точечных данных, и значения частных функций, рассчитанные по ним.

Таблица 3.7 – Расчетные значения частных функций (извлечение)

Функция	Уровни					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
$Y_1 = 64,188 + 3,54079X_1 - 0,18749X_1^2 + 0,00281X_1^3$	83,66	84,60	82,49	79,43	77,54	81,54
$Y_2 = -246,72033 + 134,62415X_2 - 18,10733X_2^2 + 0,80078X_2^3$	79,20	83,22	82,25	81,11	81,97	81,55
$Y_3 = 87,96543 - 0,00588X_3 - 0,0005X_3^2$	84,79	83,37	81,70	79,78	77,61	81,45
$Y_4 = 80,35274 \exp(0,00012X_4)$	80,93	81,23	81,52	81,81	82,11	81,52
$Y_5 = 45,70704 + 375,75232/X_5 - 960,51065/(X_5^2)$	79,61	81,78	82,44	82,27	81,65	81,55

Таблица 3.8 – Расчетные значения частных функций (содержание)

Функция	Уровни					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
$Y_1 = 41,53732 - 318,34247/X_1 + 2064,38961/X_1^2$	30,35	29,49	30,78	32,11	33,22	31,19
$Y_2 = 1/(0,03139 + 0,53230 \exp(-X_2))$	29,79	31,07	31,56	31,75	31,79	31,19
$Y_3 = X_3 / (0,75456 + 0,02941X_3)$	30,14	30,84	31,32	31,68	31,95	31,19
$Y_4 = 10^{(1,24740 + 0,23886 \lg(X_4) - 0,05745 \lg(X_4)^2)}$	30,94	31,25	31,31	31,27	31,18	31,19
$Y_5 = X_5 / (-0,00114 + 0,0323X_5)$	31,24	31,20	31,18	31,16	31,14	31,18

Рассчитан коэффициент корреляции и определена значимость каждой частной функции. Результаты приведены в таблицах 3.9 и 3.10.

Таблица 3.9 – Коэффициент корреляции R и его значимость t_R (извлечение)

Функция	R	t_R	Значимость функции	G (ошибка)
Y_1	0,99	43,38	значима	0,19
Y_2	1,00	129,14	значима	0,06
Y_3	0,99	73,84	значима	0,14
Y_4	0,95	11,57	значима	0,06
Y_5	0,67	1,67	не значима	0,43

Таблица 3.10 – Коэффициент корреляции R и его значимость t_R (содержание)

Функция	R	t_R	Значимость функции	G (ошибка)
Y_1	0,97	20,15	значима	0,14
Y_2	0,94	9,47	значима	0,12
Y_3	0,81	3,08	значима	0,20
Y_4	0,79	2,72	значима	0,04
Y_5	-	-	не значима	0,25

Как видно из данных таблицы 3.9, в случае расчета по извлечению 4 из 5 частных функций значимы, а функция зависимости извлечения диоксида кремния от времени флотации не значима.

Из данных таблицы 3.10 видно, что при расчете по содержанию 4 из 5 частных функций значимы, а функция зависимости содержания диоксида кремния от времени флотации не значима.

Применительно к предложенной автором технологической схеме переработки борогипса данная методика позволила выявить ряд закономерностей, которые также представлены в Приложении А:

1. Зависимости влияния температуры пульпы на извлечение и содержание диоксида кремния в концентрате представлены на рисунках 3.5 и 3.6. Уравнения множественной регрессии данных зависимостей представлены формулами 3.1 и 3.2.

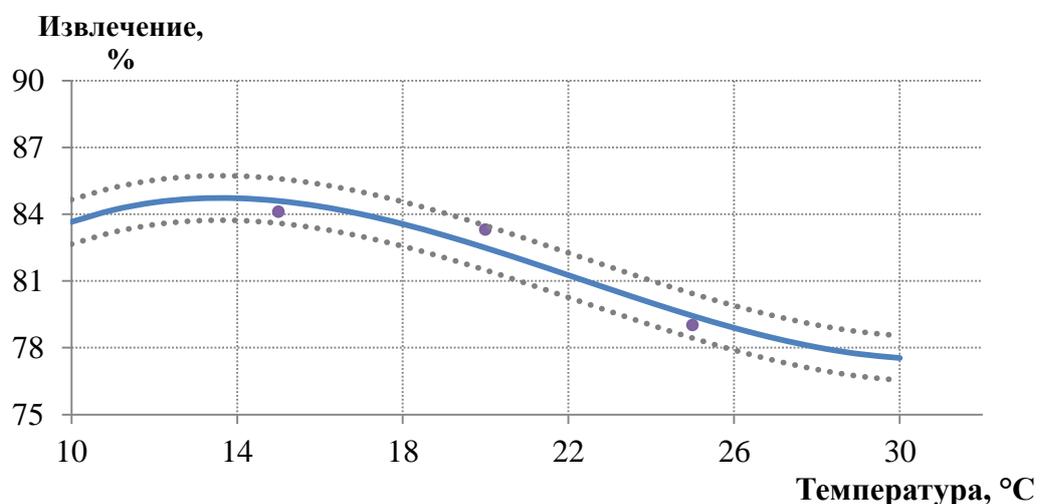


Рисунок 3.5 – Зависимость извлечения диоксида кремния от температуры флотации

$$Y_1 = 64,188 + 3,54079X_1 - 0,18749X_1^2 + 0,00281X_1^3. \quad (3.1)$$

Коэффициент корреляции $R=0,987$.

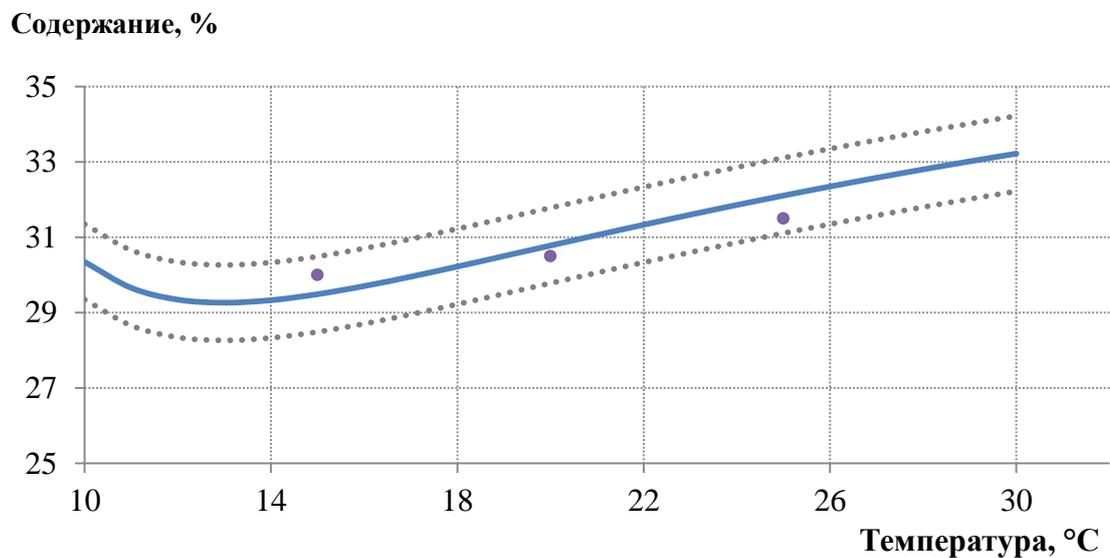


Рисунок 3.6 – Зависимость содержания диоксида кремния от температуры флотации

$$Y_1 = 41,53732 - 318,34247/X_1 + 2064,38961/X_1^2. \quad (3.2)$$

Коэффициент корреляции $R=0,971$.

Повышение температуры пульпы с 15 до 30 °C приводит к уменьшению извлечения диоксида кремния (с 83,66 до 77,54 %) и увеличению его содержания в кремниевом концентрате (с 30,35 до 33,22 %). Выявлено, что изменение температуры пульпы оказывает существенное влияние на флотируемость сульфатов кальция и практически не влияет на флотируемость диоксида кремния. Следовательно, изменением температуры можно регулировать процесс в зависимости от поставленной задачи. Влияние температуры пульпы на показатели обогащения объясняется природой реагента-собираателя, который подобен жирнокислотным реагентам, а также явлением мицеллообразования [128], происходящим в диапазоне температур от 10 до 20 °C. Закрепляясь на минеральной поверхности, мицеллы препятствуют адсорбции реагента-собираателя, оказывая отрицательное влияние на процесс флотации.

2. Зависимости влияния pH на извлечение и содержание диоксида кремния представлены на рисунках 3.7 и 3.8. Уравнения множественной регрессии данных зависимостей представлены формулами 3.3 и 3.4.

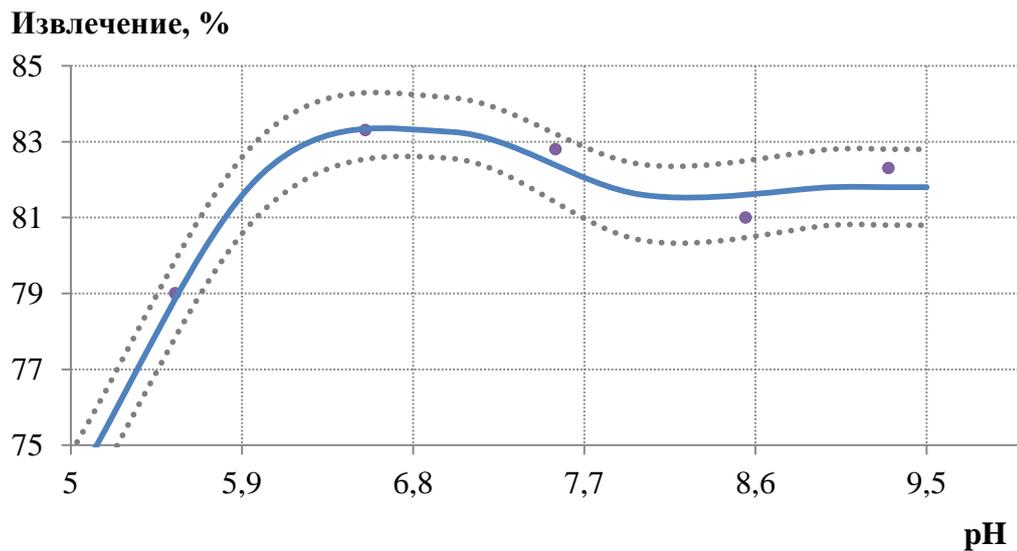


Рисунок 3.7 – Зависимость извлечения диоксида кремния от pH

$$Y_2 = -246,72033 + 134,62415X_2 - 18,10733X_2^2 + 0,80078X_2^3. \quad (3.3)$$

Коэффициент корреляции $R=0,996$.

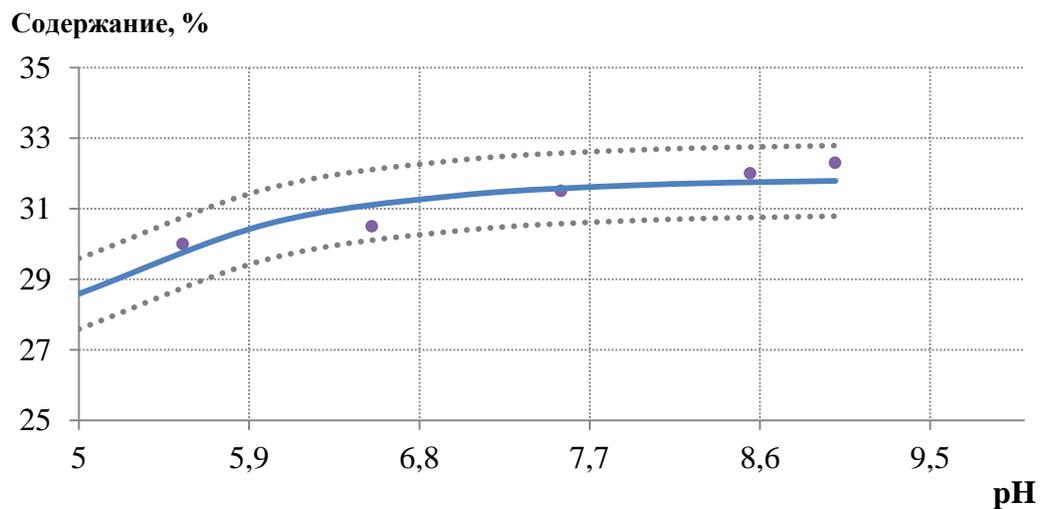


Рисунок 3.8 – Зависимость содержания диоксида кремния от pH

$$Y_2 = 1/(0,03139 + 0,53230 \exp(-X_2)). \quad (3.4)$$

Коэффициент корреляции $R=0,956$.

В отношении диапазона pH среды установлено, что оптимальные технологические показатели флотации борогипса достигнуты при $pH = 7,5$. Именно в нейтральной и слабощелочной средах ($pH = 7,0-8,0$) создаются благоприятные условия для закрепления реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия на поверхности минеральных частиц гипса и ангидрита. Установлено, что

именно в слабокислой среде ($\text{pH} = 5,0\text{--}6,5$), вследствие изменения гидратированности частиц, возможно поверхностное вытеснение реагента-собираателя, что технологически недопустимо. Следовательно, изменение pH системы не эффективно, что является преимуществом данной технологической схемы с точки зрения отсутствия необходимости использования дополнительного реагента-регулятора среды.

3. Зависимости влияния расхода олеилсаркозината натрия на извлечение и содержание диоксида кремния представлены на рисунках 3.9 и 3.10. Уравнения множественной регрессии данных зависимостей представлены формулами 3.5 и 3.6.

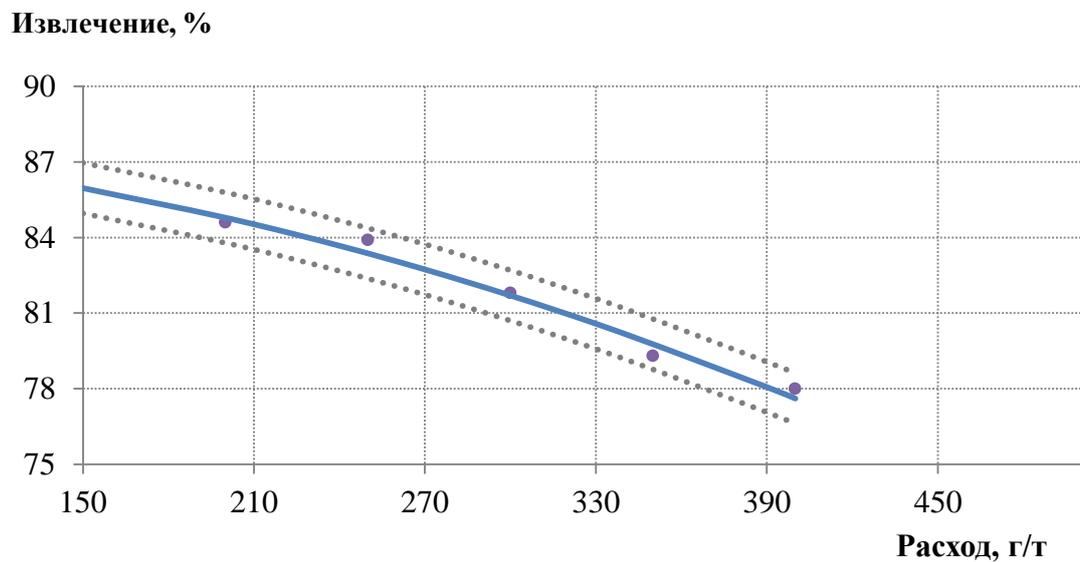


Рисунок 3.9 – Зависимость извлечения диоксида кремния от расхода олеилсаркозината натрия

$$Y_3 = 87,96543 - 0,00588X_3 - 0,0005X_3^2. \quad (3.5)$$

Коэффициент корреляции $r=0,993$.

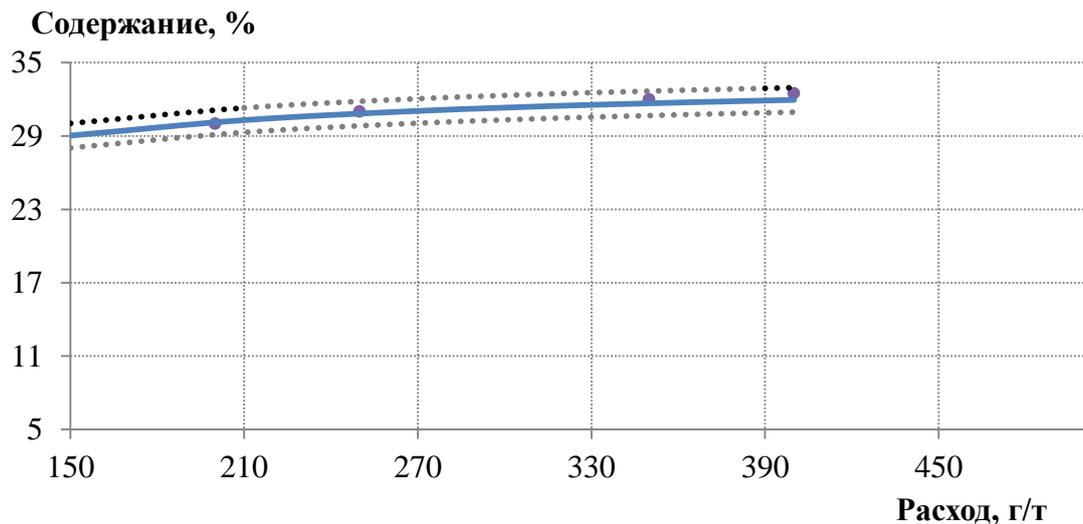


Рисунок 3.10 – Зависимость содержания диоксида кремния от расхода олеилсаркозината натрия

$$Y_3 = X_3 / (0,75456 + 0,02941X_3). \quad (3.6)$$

Коэффициент корреляции $R=0,998$.

Увеличение расхода олеилсаркозината натрия в предварительных исследованиях с 200 до 400 г/т повышает содержание диоксида кремния в камерном продукте с 29,98 до 32,17 %, при этом значительно падает его извлечение в концентрат с 84,65 до 77,95 %. Это объясняется тем, что при недостаточном расходе олеилсаркозината натрия затруднен процесс пенообразования и минерализации воздушных пузырьков частицами гипса и ангидрита. При избытке олеилсаркозината натрия, наоборот, происходит бурное пенообразование и возникают механические потери диоксида кремния.

4. Зависимости влияния времени агитации на извлечение и содержание диоксида кремния представлены на рисунках 3.11 и 3.12. Уравнения множественной регрессии данных зависимостей представлены формулами 3.7 и 3.8.

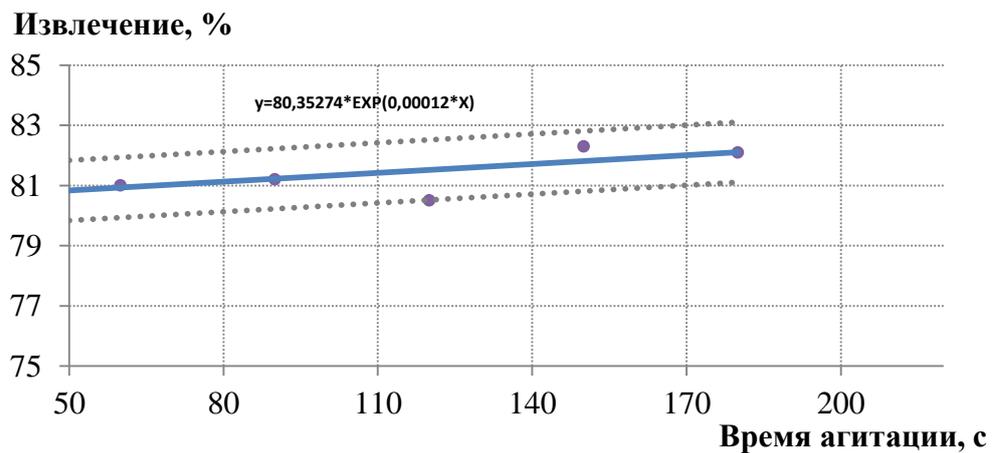


Рисунок 3.11 – Зависимость извлечения диоксида кремния от времени агитации

$$Y_4 = 80,35274 \exp(0,00012X_4). \quad (3.7)$$

Коэффициент корреляции $R=0,966$.

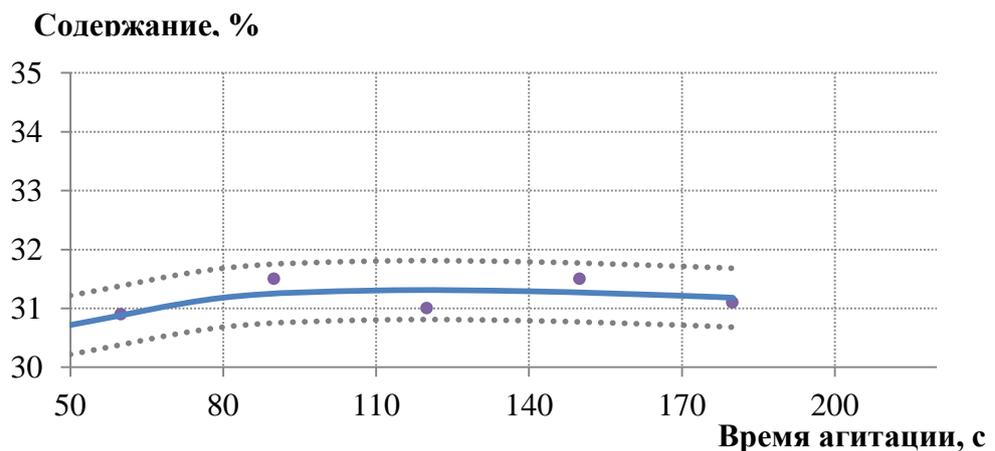


Рисунок 3.12 – Зависимость содержания диоксида кремния от времени агитации

$$Y_4 = 10^{(1,24740 + 0,23886 \lg(X_4) - 0,05745 \lg(X_4)^2)}. \quad (3.8)$$

Коэффициент корреляции $R=0,792$.

Время агитации линейно влияет на извлечение диоксида кремния в концентрат. Экономически нецелесообразно увеличивать время агитации олеилсаркозината натрия с минералами борогипса более 180 с (3 мин), так как экспериментально установлено, что в течение 180 с (3 мин) достигается максимальное закрепление реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия на поверхности минералов борогипса.

5. Зависимости извлечения (рисунок 3.13) и содержания (рисунок 3.14) диоксида кремния от времени флотации не значимы. Уравнения множественной регрессии данных зависимостей представлены формулами 3.9 и 3.10.

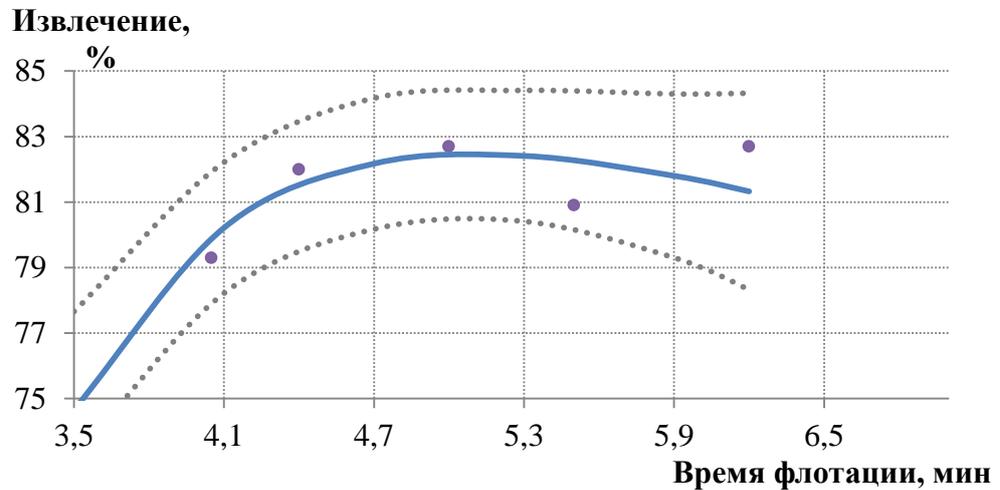


Рисунок 3.13 – Зависимость извлечения диоксида кремния от времени флотации

$$Y_5 = 45,70704 + 375,75232/X_5 - 960,51065/(X_5^2). \quad (3.9)$$

Коэффициент корреляции $R=0,671$.

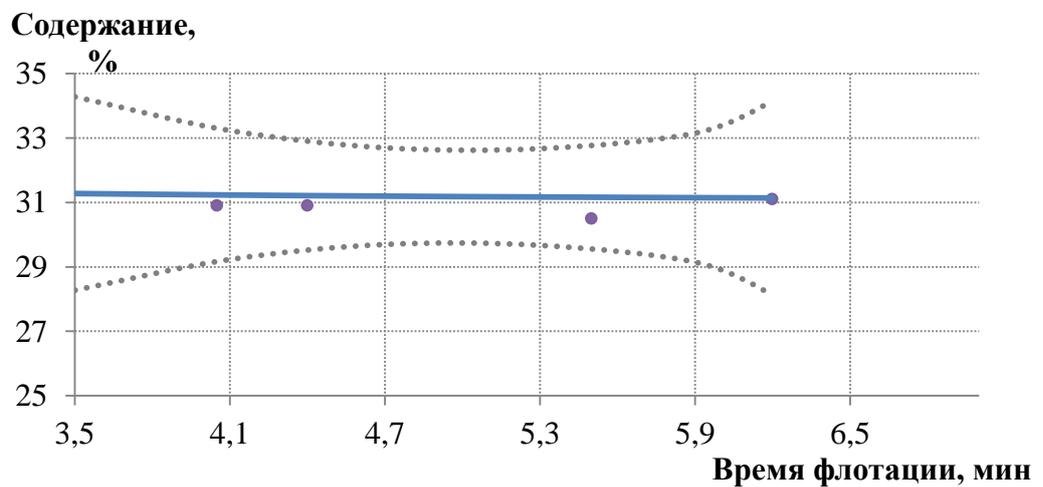


Рисунок 3.14 – Зависимость содержания диоксида кремния от времени флотации

$$Y_5 = X_5 / (-0,00114 + 0,0323X_5). \quad (3.10)$$

Коэффициент корреляции $R=0,994$.

На основании проведенных расчетов, с учетом исключения незначимых функций (программа «Нелинейный метод наименьших квадратов (OBREXP)»),

подобраны компактные уравнения множественной регрессии повышенной точности извлечения (3.11) и содержания (3.12) диоксида кремния в концентрате.

$$\varepsilon = \frac{(64,2+3,5X_1-0,19X_1^2+0,003X_1^3)(-246,7+134,6X_2-18,1X_2^2+0,8X_2^3)}{(88-0,006X_3-0,0005X_3^2)(80,4 \exp(0,00012X_4))}, \quad (3.11)$$

$$\beta = \frac{\left(41,5 - \frac{318,3}{X_1} + \frac{2064,4}{X_1^2}\right) X_3 (10^{1,25+0,24 \log(x_4)-0,06 \log(x_4^2)})}{31,19^3 (0,03+0,53 \exp(-X_2))(0,75+0,03X_3)}, \quad (3.12)$$

где ε – извлечение диоксида кремния, %;

β – содержание диоксида кремния, %;

X_1 – температура пульпы, °С;

X_2 – рН флотации;

X_3 – расход реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия, г/т;

X_4 – время агитации реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия с минералами, с.

Рассчитали коэффициент корреляции эксперимента по извлечению.

$$R_{\text{общ.}} = 0,46.$$

Значимость $t_R = 2,64 > 2$. Функция значимая.

Рассчитали коэффициент корреляции эксперимента по содержанию.

$$R_{\text{общ.}} = 0,51.$$

Значимость $t_R = 3,04 > 2$. Функция значимая.

Значимость обобщенных функций указывает на адекватность приведенных уравнений.

Регрессивная модель квазиньютоновского метода нелинейного программирования проходила проверку по нескольким вариантам (статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии, общего качества уравнения регрессии, предпосылок для множественной регрессии).

Таким образом, разработаны уравнения множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в конечном продукте,

которые позволяют определять рациональные условия проведения обратной флотации борогипса с реагентом-собирателем – олеилсаркозинатом натрия, прогнозировать качество кремниевого концентрата и контролировать процесс обогащения, варьируя режимные параметры: температура, pH, расход реагента-собирателя, время агитации, время флотации.

В таблице 3.11 представлены рациональные условия проведения флотации в трех режимах (максимальное извлечение, максимальное содержание, оптимальный).

Таблица 3.11 – Рациональные условия проведения флотации

Параметр	1 режим (максимальное извлечение)	2 режим (максимальное содержание)	3 режим (оптимальный)
Температура, °С	15	30	30
pH	6,5	9,0	7,5
Расход олеилсаркозината натрия, г/т борогипса	200	400	400
Время агитации, с	180	120	180
Время флотации, мин	4,5	4,0	4,5
Прогнозируемое содержание SiO ₂ , %	30,61	31,90	31,82
Прогнозируемое извлечение SiO ₂ , %	83,49	79,58	80,46

Проведены эксперименты в данных условиях. В таблице 3.12 представлены результаты флотации.

Таблица 3.12 – Результаты флотации борогипса, проведенной в рациональных условиях

Параметр	Прогнозируемое значение	Реальное значение	Прогнозируемое значение	Реальное значение	Прогнозируемое значение	Реальное значение
Режим	1		2		3	
Содержание SiO ₂ , %	30,61	30,64	31,90	31,93	31,82	31,84
Извлечение SiO ₂ , %	83,49	83,17	79,58	79,26	80,46	80,37

Таким образом, установлены факторы, влияющие на процесс флотации, и определены рациональные режимные параметры флотационного обогащения отходов производства борной кислоты, позволяющие повысить извлечение диоксида кремния в концентрат на 30,46 % (с 33,57 по 64,03 %). Флотацию необходимо проводить по усовершенствованной технологической схеме (рисунок 3.3) при параметрах флотации, представленных в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Оптимальный режим флотации борогипса

Параметр		Значение	
Температура, °С		30	
рН		7,5	
Расход олеилсаркозината натрия, г/т борогипса		1000	
Время агитации, мин		3	
Время основной флотации, мин		8	
Технологические показатели			
Продукт	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %	Извлечение SiO ₂ , %
Пенный	67,50	14,49	35,97
Камерный	32,50	53,56	64,03
Исходный	100	27,19	100

Разработанная автором усовершенствованная технологическая схема позволяет получать высококачественный продукт с содержанием диоксида

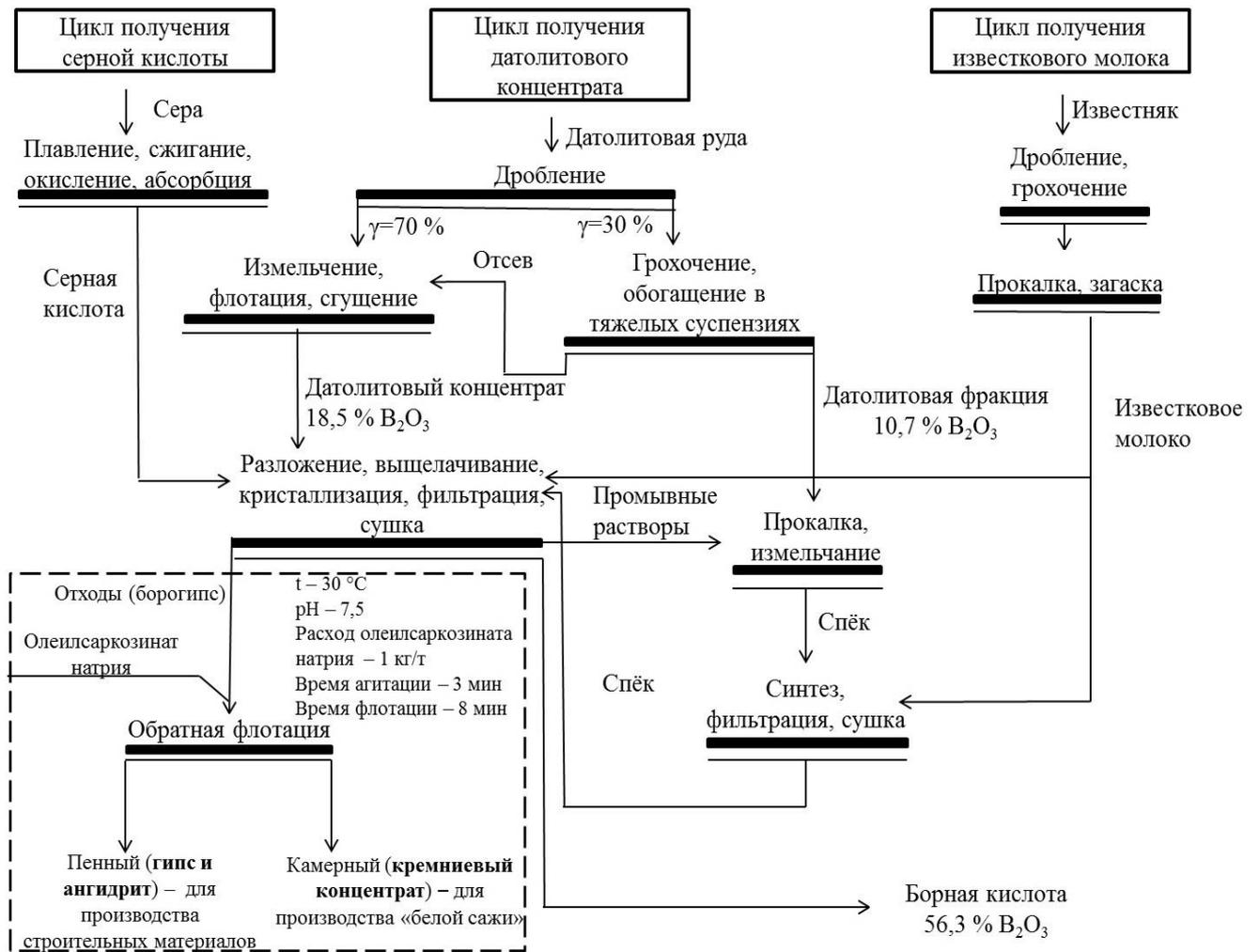
кремния 53,56 %, идущий на производство «белой сажи», соответствующей требованиям ГОСТ 18307-78.

Анализируя все полученные данные, определен наиболее эффективный режим флотации борогипса с реагентом-собирателем – олеилсаркозинатом натрия.

3.3 Сравнительная характеристика показателей схем флотации борогипса

Автором предложено дополнить технологическую схему, применяемую на ООО «Дальнегорский ГОК», новым технологическим решением – флотацией борогипса с получением двух готовых продуктов – гипсового и кремниевого (рисунок 3.15).

Разработанное патентно-защищенное технологическое [22] и аппаратурно-техническое решение по переработке борогипса рекомендовано к опытно-промышленным испытаниям на обогатительной фабрике ООО «Дальнегорский ГОК», что позволит: повысить технологичность процесса, уменьшить количество флотационных машин и реагентных питателей, снизить затраты на электроэнергию, обслуживание и ремонт оборудования, уменьшить площадь производственного цеха, получить товарные продукты (кремниевый концентрат (содержание SiO_2 не менее 50 %) и гипсовый продукт (сорт 2 по ГОСТ 4013-82, содержание SO_3 не менее 41,85 %)) широкого спектра применения.



Наименование продуктов	Выход γ, %	Содержание βSiO ₂ , %	Извлечение εSiO ₂ , %	Содержание βSO ₃ , %	Извлечение εSO ₃ , %
Поступает:					
Борогипс	100,00	27,19	100,00	31,53	100,00
Итого	100,00	27,19	100,00	31,53	100,00
Выходит:					
Камерный (кремниевый концентрат)	32,50	53,56	64,03	6,04	6,22
Пенный (гипс и ангидрит)	67,50	14,49	35,97	43,81	93,78
Итого	100,00	27,19	100,00	31,53	100

Рисунок 3.15 – Усовершенствованная технологическая схема производства борной кислоты

Примечание: пунктирной линией указан технологический блок, разработанный автором

Сравнительная оценка технологических показателей базовой схемы флотации борогипса, предложенной ООО «Дальнегорский ГОК» (рисунок 3.1), и схемы, разработанной автором (рисунок 3.3), представлена в таблице 3.14 [129–139].

Таблица 3.14 – Сравнительная оценка технологических показателей флотации борогипса

Показатель	Технологическая схема, предлагаемая ООО «Дальнегорский ГОК»	Технологическая схема, разработанная автором
Флотационный реагент	Жидкое мыло	Олеилсаркозинат натрия
Расход реагента, кг/т борогипса	1,5	1
Регулятор среды	Сода	–
Расход регулятора среды, кг/т борогипса	10	–
Температура пульпы, °С	40	30
рН	9,0	7,5
Время агитации, мин	3	3
Время основной флотации, мин	9	8
Время перечистной флотации, мин	5	нет
Содержание в исходном сырье, %:		
SiO ₂	27,19	27,19
SO ₃	31,53	31,53
Выход кремниевого концентрата, %	15,11	32,50
Извлечение SiO ₂ в кремниевый концентрат, %	33,57	64,03
Содержание SiO ₂ в кремниевом концентрате, % (ГОСТ 18307-78)	60,24	53,56
Выход гипсового продукта, %	–	67,50
Извлечение SO ₃ в гипсовый продукт, %	–	93,78
Содержание SO ₃ в гипсовом продукте, % (ГОСТ 4013-82)	–	43,81

Таким образом, впервые доказана эффективность использования олеилсаркозината натрия в качестве реагента-собирателя, обладающего смачивающими и пенообразующими свойствами в зависимости от особенностей минерального состава и структуры борогипса. Предложенная автором схема флотации борогипса позволяет значительно увеличить извлечение кремниевого концентрата на 30,46 % (с 33,57 до 64,03 %). Однако уменьшается содержание диоксида кремния на 6,68 % (с 60,24 до 53,56 %), тем не менее оно остается на уровне, удовлетворяющем требованиям для дальнейшего передела кремниевого концентрата в «белую сажу» (ГОСТ 18307-78). Технология включает в себя одну операцию флотации, что значительно уменьшает время осуществления флотации, а также позволяет значительно увеличить выход кремниевого концентрата на 17,39 % (с 15,11 до 32,50 %).

Разработанное технологическое решение переработки борогипса рекомендовано к опытно-промышленным испытаниям на обогатительной фабрике ООО «Дальнегорский ГОК».

3.4 Определение состава и свойств продуктов флотационного обогащения с применением олеилсаркозината натрия. Изучение механизма взаимодействия олеилсаркозината натрия с минералами борогипса

Современными физико-химическими методами изучены образцы борогипса, камерного и пенного продуктов.

Для исследования состава и свойств борогипса, химической адсорбции олеилсаркозината натрия на поверхности минералов продуктов флотационного обогащения, а также изучения механизма взаимодействия реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия с минералами (гипс, ангидрит, диоксид кремния) применяли ИК-спектроскопию.

На рисунке 3.16 представлены ИК-спектры борогипса и продуктов его переработки. На ИК-спектрах валентные колебания [140] Si-O-Si групп в областях

466, 1093 cm^{-1} относятся к содержанию диоксида кремния, а колебания SO_4^{2-} групп в областях 1155,665,600 cm^{-1} – к содержанию гипса и ангидрита в пробах. Изменение относительной интенсивности полос поглощения, принадлежащих валентным колебаниям диоксида кремния и гипса, измеряли по отношению к интенсивности полосы поглощения, принадлежащих валентным колебаниям Si-O-Si групп в области 1093 cm^{-1} .

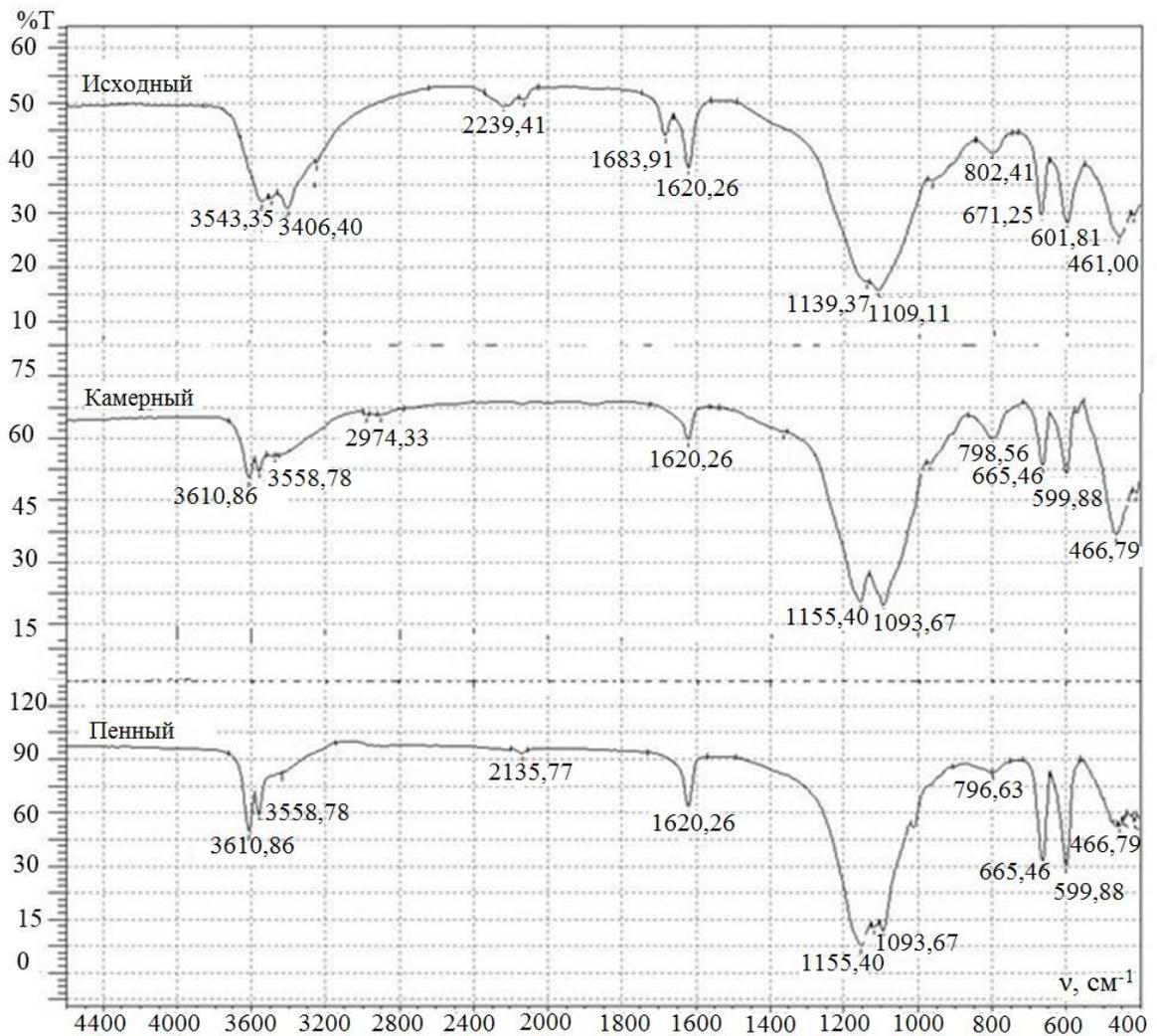


Рисунок 3.16 – ИК-спектры борогипса и продуктов его переработки

Относительная интенсивность полос поглощения (таблица 3.15) в областях 599–602 cm^{-1} и 665–671 cm^{-1} увеличивается в пенном продукте на 20–30 %, а в камерном уменьшается на 30–35 %. Это свидетельствуют о том, что реагент-собирающий – олеилсаркозинат натрия преимущественно адсорбируется на поверхности минералов гипса и ангидрита. В свою очередь, возрастание

относительной интенсивности полос поглощения Si-O-Si групп в области 461–467 см⁻¹ в камерном продукте на 20 % указывает на повышение концентрации диоксида кремния в нем. А в пенном продукте в этой области относительная интенсивность полос поглощения уменьшается на 30 %, это означает, что реагент-собираатель – олеилсаркозинат натрия практически не адсорбируется на поверхности диоксида кремния.

Таблица 3.15 – Результаты ИК-спектроскопии борогипса и продуктов его переработки

Продукт	Частота колебаний (ν), см ⁻¹	Относительная интенсивность п.п. (I/I ₀)	Изменение относительной интенсивности п.п. относительно исходного продукта, %
Исходный продукт	1139,97	0,97	–
	1109,11	1,00	–
	671,25	0,46	–
	601,81	0,49	–
	461,00	0,54	–
Камерный продукт	1155,40	0,97	–
	1093,67	1,00	–
	665,46	0,30	-34,8
	599,88	0,34	-30,6
	466,79	0,65	+20,4
Пенный продукт	1153,47	1,08	+11,3
	1093,67	1,00	–
	665,46	0,58	+26,1
	601,81	0,60	+22,4
	466,79	0,38	-29,6

Примечание: «+» – изменение интенсивности полос поглощения в сторону увеличения; «-» – в сторону уменьшения.

Предполагаемое взаимодействие олеилсаркозината натрия с поверхностью частиц борогипса представлено на рисунке 3.17 (а).

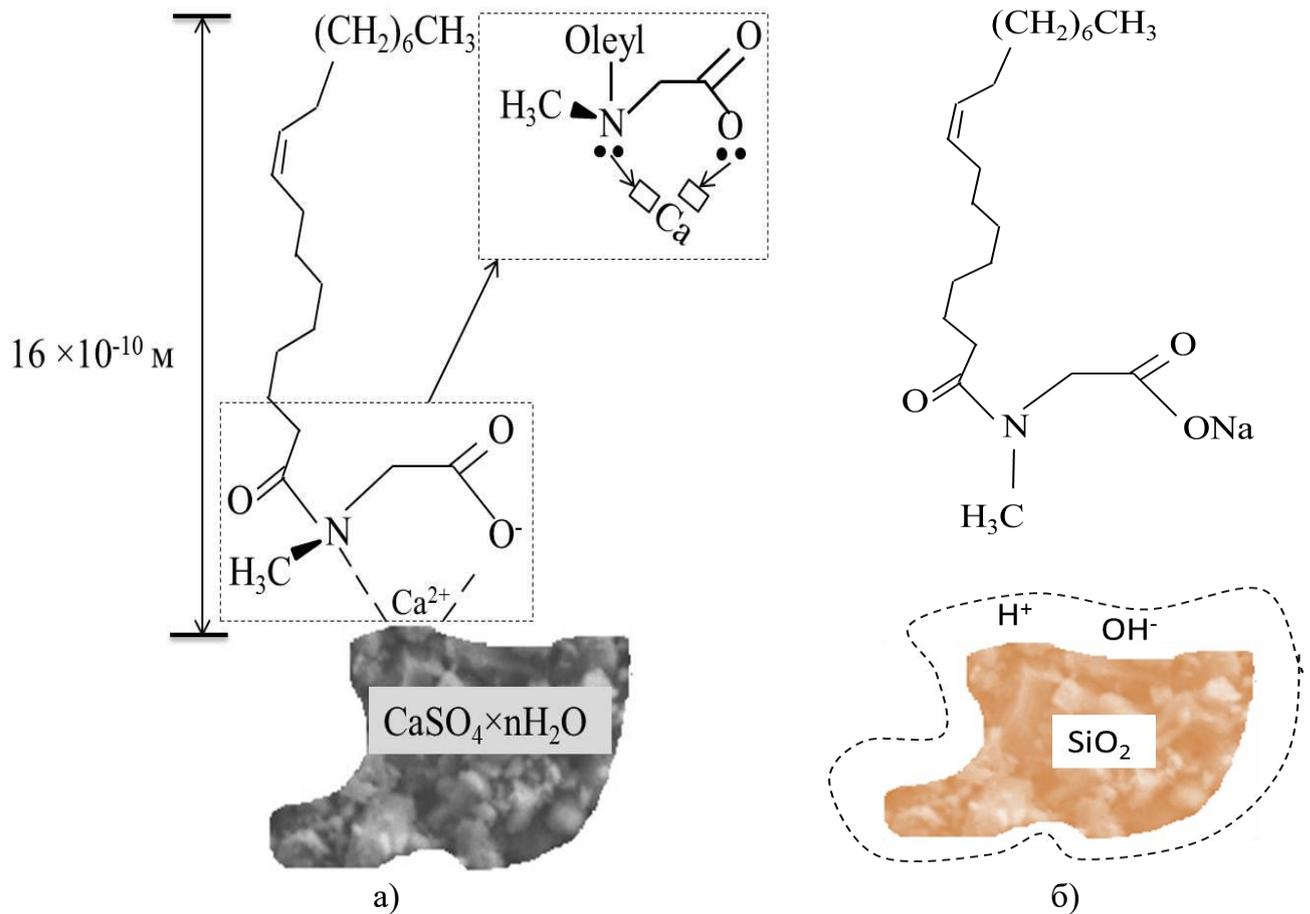


Рисунок 3.17 – Схема взаимодействия олеилсаркозината натрия с минералами борогипса: а) гипс, $n = 2$; ангидрит, $n = 0$; б) аморфный кремнезем

За счет нахождения на поверхности борогипса положительно заряженных ионов Ca^{2+} происходит их взаимодействие с молекулами олеилсаркозината натрия, имеющими неподеленную электронную пару у атома азота и валентные электроны атома кислорода карбоксильной группы. Вследствие чего образуется соединение частиц борогипса, богатых кальцием, с пузырьками пены и их переход в пенный продукт. Большая карбоксилатная часть молекулы ориентирована практически перпендикулярно поверхности минерала и действует как гидрофобный защитный экран.

Оставшийся (камерный) продукт содержит меньшее количество частиц с кальцием на поверхности, чем исходный, что четко отражается на ИК-спектрах исходного и камерного продуктов.

На ИК-спектре пенного образца видно снижение содержания групп Si-O-Si на 29,6 % по отношению к исходному образцу, что подтверждает факт

взаимодействия реагента-собиранителя – олеилсаркозината натрия с катионами кальция на поверхности борогипса.

Связь Si-O-Si малополярна, вследствие чего на поверхности частиц борогипса, богатых кремнием, не возникает взаимодействия с молекулами олеилсаркозината натрия. Поэтому можно говорить о селективном взаимодействии олеилсаркозината натрия [141] с минералами борогипса, что позволяет эффективно их разделять.

На рисунке 3.18 показаны микрофотографии РЭМ борогипса и продуктов его переработки, на которых визуально определяется, что сложный рельеф микроповерхности, образованный кристаллами и агрегатами в виде тонкодисперсной массы, характерен как для исходного продукта, так и для продуктов его переработки.

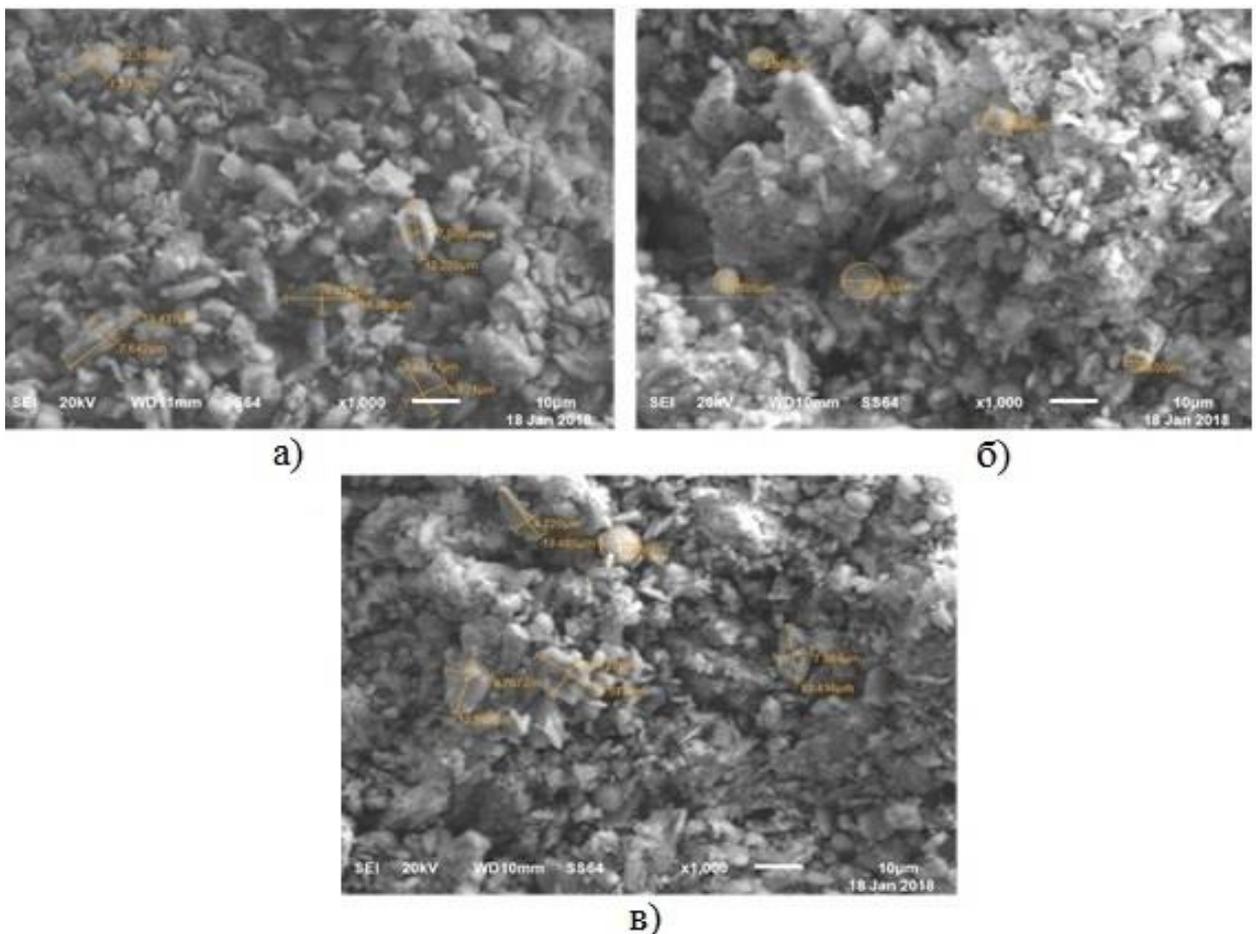


Рисунок 3.18 – Микрофотографии РЭМ продуктов переработки борогипса:

а) исходный продукт; б) камерный продукт; в) пенный продукт

Значения минимального и максимального диаметров Ферета агрегатов частиц борогипса и продуктов его обогащения по результатам РЭМ представлены на рисунке 3.19.

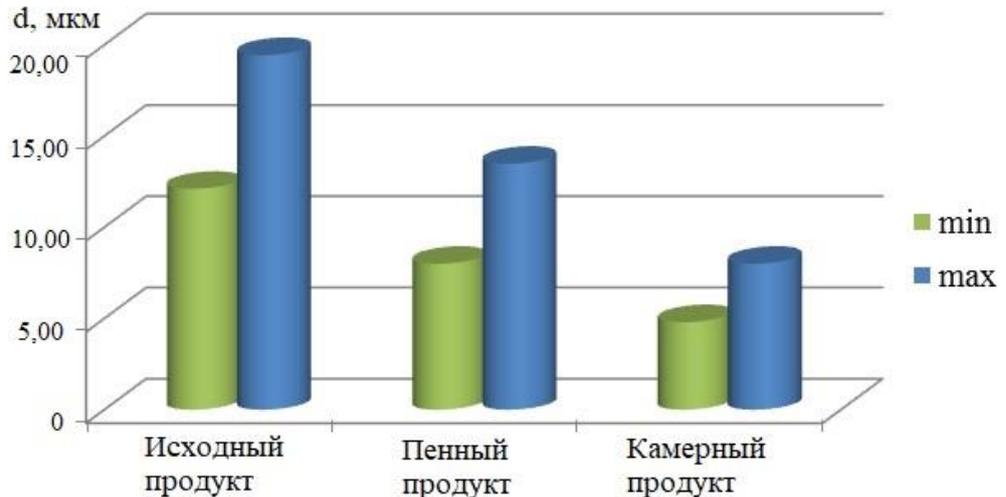


Рисунок 3.19 – Значения минимального и максимального диаметров Ферета агрегатов частиц борогипса и продуктов его обогащения

Растровой электронной микроскопией продуктов обогащения борогипса выявлено:

1) в пенном продукте минимальный диаметр Ферета уменьшается в 1,54 раза (с $d_{Fmin} = 12,108$ мкм до $d_{Fmin} = 7,864$ мкм), а максимальный – в 1,44 раза (с $d_{Fmax} = 19,437$ мкм до $d_{Fmax} = 13,485$ мкм);

2) в камерном продукте минимальный диаметр Ферета уменьшается в 2,52 раза (с $d_{Fmin} = 12,108$ мкм до $d_{Fmin} = 4,800$ мкм), а максимальный – в 2,86 раза (с $d_{Fmin} = 19,437$ мкм до $d_{Fmax} = 6,800$ мкм).

Приведенные значения диаметров Ферета позволяют отнести пенный продукт, как и исходный, к среднепылеватому, а камерный – к мелкопылеватому грунту по ГОСТ Р ИСО 14688-1-2017.

Элементный состав борогипса и продуктов его переработки по результатам растровой электронной микроскопии приведен в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Элементный состав борогипса и продуктов его переработки по результатам РЭМ

Элементный состав, %	Образец		
	Исходный продукт	Пенный продукт	Камерный продукт
Si	9,06	4,83	17,85
S	7,88	10,95	3,75
Ca	12,60	15,88	7,94
O	61,14	62,51	62,36
B	0,42	0,27	0,58
Fe	1,23	0,73	2,08
Al	0,26	0,12	0,43
Mg	0,14	0,07	0,30
Mn	0,12	0,06	0,25
Na	0,15	0,13	0,22
K	0,06	0,03	0,10
Ti	0,01	0,01	0,03
H	6,93	4,41	4,11

На основе анализа результатов исследований установлено, что большая часть кальция (содержание повысилось с 12,60 до 15,88 %) и серы (содержание повысилось с 7,88 до 10,95 %) при флотации перешла в пенный продукт с незначительным количеством кремния (содержание уменьшилось с 9,06 до 4,83 %). В камерном продукте повысилось содержание кремния с 9,06 до 17,85 %, содержание кальция уменьшилось с 12,60 до 7,94 %, а серы – с 7,88 до 3,75 %. Полученные данные согласуются с результатами ИК-спектроскопии.

Результаты изучения химического состава исследуемых образцов фотометрическим, гравиметрическим, атомно-эмиссионным методами представлены в таблице 3.17, которые подтвердили данные РЭМ.

Таблица 3.17 – Химический состав исследуемых продуктов

Показатель	Обозначение	Содержание, масс. доля, %		
		Продукт		
		Исходный	Камерный	Пенный
1	2	3	4	5
Кремний (оксид)	SiO ₂	27,19	53,56	14,49
Кальций (оксид)	CaO	25,20	15,89	31,76
Сера (оксид)	SO ₃ общ.	31,53	15,00	43,81

1	2	3	4	5
Бор (оксид)	B_2O_3	1,06	1,46	0,67
Железо (оксид)	Fe_2O_3 общ.	3,08	5,21	1,83
Алюминий (оксид)	Al_2O_3	0,65	1,07	0,31
Магний (оксид)	MgO	0,28	0,60	0,14
Марганец (оксид)	MnO	0,25	0,49	0,12
Натрий (оксид)	Na_2O	0,23	0,33	0,19
Калий (оксид)	K_2O	0,090	0,15	0,040
Титан (оксид)	TiO_2	0,040	0,080	0,020
Вода гигроскопическая	H_2O	10,40	6,16	6,62

На рисунке 3.18 представлены спектры рентгеновских лучей борогипса и продуктов его переработки, по которым определён минеральный состав исследуемых образцов (таблица 3.18).

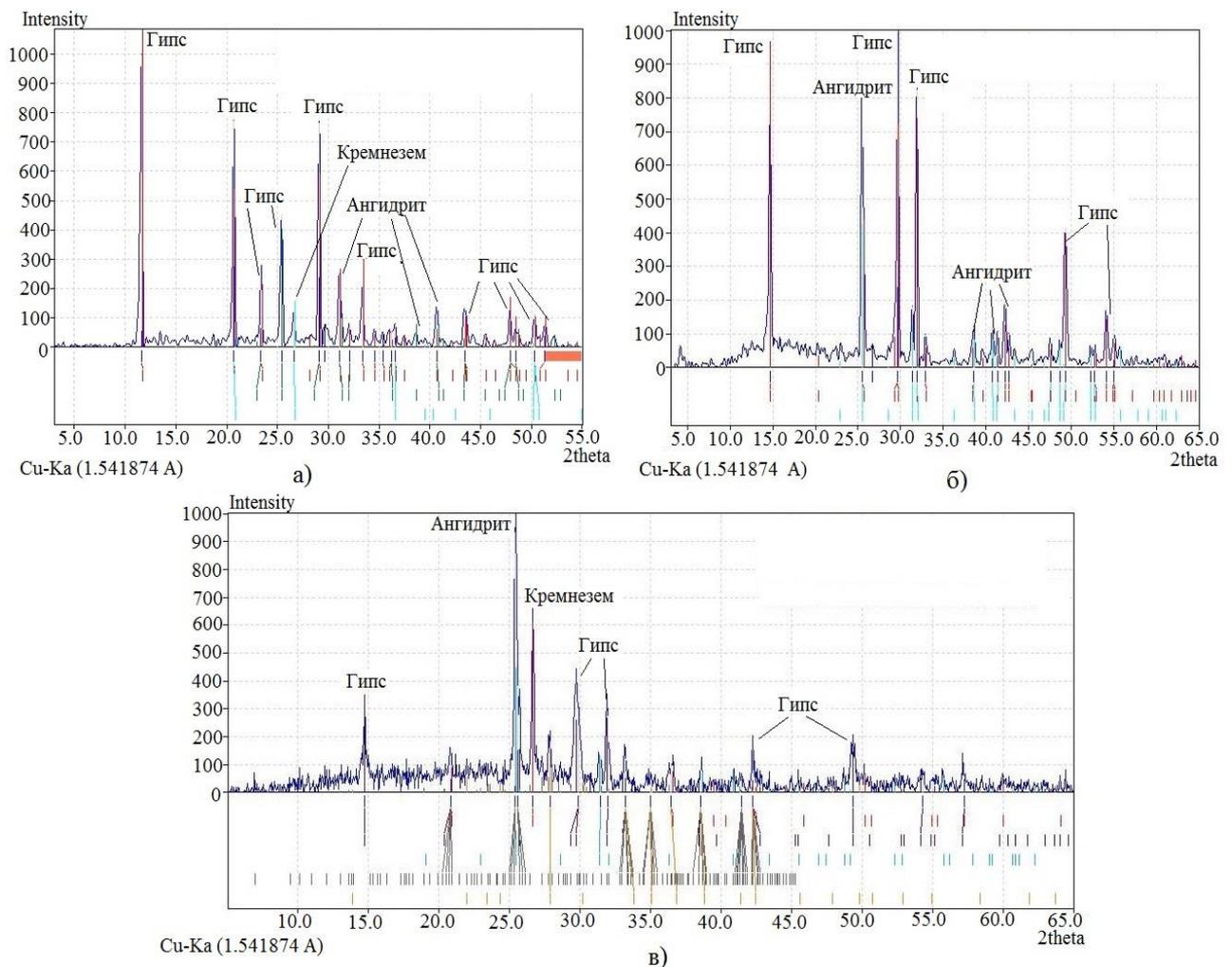


Рисунок 3.18 – Минеральный состав борогипса и продуктов его переработки по результатам РФА: а) исходный продукт; б) пенный продукт; в) камерный продукт

Таблица 3.18 – Минеральный состав исследуемых продуктов

Минерал	Теоретическая формула	Массовая доля, %		
		Продукт		
		Исходный	Камерный	Пенный
Гипс	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	47	20	50
Ангидрит	CaSO_4	14	4,5	24
Кварц	SiO_2	0	4	1
Геденбергит	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	1	6	–
Волластонит	CaSiO_3	4	6	–
Гранат	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_4$	3	4	3
Сумма кристаллических фаз		69	44,5	78
Аморфный диоксид кремния		27,19	53,56	14,49
Неразложившиеся минералы		3,81	1,94	7,51

В пенном продукте дифракционные отражения, присущие гипсу (15, 30, 33 2 Θ) и ангидриту (26, 39, 40, 42 2 Θ), более интенсивны, чем в борогипсе. На спектре камерного продукта видно, что дифракционные отражения, присущие гипсу (15, 30 2 Θ) и ангидриту (26 2 Θ), менее интенсивны, чем на спектре борогипса, а дифракционные отражения, присущие кремнезему (27 2 Θ), более интенсивны.

Данные РФА согласуются с данными ИК-спектроскопии и подтверждают вывод о селективном взаимодействии олеилсаркозината натрия с минералами борогипса.

Выводы по главе 3

Флотационные исследования проведены по трём альтернативным схемам флотации борогипса: 1) предложенной на ООО «Дальнегорский ГОК; 2) с применением реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия с двумя операциями флотации; 3) с применением реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия с одной операцией флотации.

Оптимальной из трех предложенных схем переработки техногенного сырья является одностадийная технологическая схема флотации борогипса с

применением олеилсаркозината натрия в качестве реагента-собирателя с расходом – 1000 г/т, установленным экспериментальным путем. Время флотации – 8 минут, время агитации – 3 минуты. Схема позволяет повысить извлечение диоксида кремния в концентрат на 30,46 % (с 33,57 % по базовой схеме до 64,03 % по предложенной автором схеме) и обеспечить соответствие требованиям по содержанию диоксида кремния, предъявляемые к концентрату, необходимые для его переработки в «белую сажу» (ГОСТ 18307-78).

В ходе проведения многофакторного эксперимента по предложенной автором схеме выявлены следующие закономерности:

1. Для осуществления процесса флотации, исходя из природы реагента-собирателя, требуется увеличить температуру пульпы. При температуре пульпы 15–30 °С происходит уменьшение извлечения диоксида кремния с 83,66 до 77,54 %, однако при этом увеличивается его содержание в кремниевом концентрате с 30,35 до 33,22 %. Температура пульпы оказывает существенное влияние на флотируемость сульфатов кальция, но не влияет на флотируемость диоксида кремния. Это можно объяснить протеканием процесса мицеллообразования (температура пульпы от 10 до 20 °С).

2. Оптимальные технологические показатели флотации борогипса достигнуты при $\text{pH} = 7,5$. Нейтральная и слабощелочная среды ($\text{pH} = 7,0\text{--}8,0$) обеспечивают благоприятные условия для закрепления реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия на поверхности минеральных частиц гипса и ангидрита. В слабокислой среде ($\text{pH} = 5,0\text{--}6,5$) олеилсаркозинат натрия вытесняется с поверхности минералов за счет изменения гидратированности частиц, что технологически ухудшает процесс флотации.

3. При увеличении расхода олеилсаркозината натрия в предварительных исследованиях с 200 до 400 г/т повышается содержание диоксида кремния в камерном продукте (с 29,98 до 32,17 %), при этом значительно падает его извлечение в концентрат (с 84,65 до 77,95 %) ввиду снижения пенообразования. При избытке олеилсаркозината натрия возникают механические потери диоксида кремния.

4. Время агитации линейно влияет на извлечение диоксида кремния в концентрат. Увеличение времени агитации олеилсаркозината натрия с минералами борогипса более 180 с (3 мин) экономически нецелесообразно, так как за это время достигается максимальное закрепление реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия на поверхности минералов борогипса.

5. Зависимости извлечения и содержания диоксида кремния от времени флотации не значимы.

Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность обогащения борогипса (температура пульпы, рН, расход реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия, время агитации и время флотации) и повышение комплексности использования минерального сырья. Экспериментально получены уравнения множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате при обратной флотации борогипса с реагентом-собирателем (олеилсаркозинатом натрия), позволяющие определить рациональные режимные параметры флотации борогипса (температура – 30 °С, рН – 7,5, расход реагента-собирателя – 1 кг/т, продолжительность агитации – 3 мин, продолжительность флотации – 8 мин), управлять процессом и прогнозировать качество кремниевого концентрата.

Предложенное автором новое технологическое решение позволит уменьшить расходы на основные и оборотные фонды и снизить эксплуатационные затраты: уменьшить количество флотационных машин и реагентных питателей, снизить затраты на электроэнергию, обслуживание и ремонт оборудования, уменьшить занимаемую площадь производственного цеха, повысить технологичность процесса.

Технологическое решение, разработанное автором, защищено патентом РФ 2723787 «Способ переработки гипсосодержащих отходов производства борной кислоты».

Комплексом современных физико-химических методов исследования подтверждена правомерность гипотезы механизма взаимодействия молекул олеилсаркозината натрия, имеющих неподеленную электронную пару у атома

азота и валентные электроны атома кислорода карбоксильной группы, с минералами борогипса, заключающегося в адсорбции реагента-собираателя на поверхности частиц гипса и ангидрита, содержащих положительно заряженные ионы кальция.

4 Эколого-экономическое обоснование эффективности нового технологического решения

4.1 Комплексность переработки датолитовых руд Дальнегорского месторождения

В представленной работе приведён один из альтернативных вариантов охраны недр – рациональное и комплексное использование датолитовых руд Дальнегорского месторождения, который базируется на достижении максимальной эффективности использования ресурсов в народном хозяйстве при существующем уровне развития техники и технологии.

Это достигается за счёт предотвращения или минимизации генерации отходов в технологических процессах, полного извлечения всех сопутствующих компонентов сырья (диоксид кремния и гипс) с помощью рационального сочетания различных аппаратов и методов. Утилизацию отходов на Дальнегорском ГОКе предлагается осуществлять на этапах технологического цикла переработки, когда практически исключается образование отходов – малоотходное (безотходное производство) и отрицательное воздействие их на окружающую среду.

Коэффициент комплексности использования минерального сырья позволяет оценить конкурентную способность предприятия и эффективность реализации федеральной программы «Отходы» конкретным горным производством.

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса флотации отходов переработки датолитовых руд (борогипса) предложена технологическая схема, позволяющая, кроме основного продукта обогащения – датолитового концентрата, получить попутные продукты. Реализация на практике технологии переработки борогипса обеспечит получение следующих концентратов:

1. Датолитовый концентрат с массовой долей B_2O_3 не ниже 18,50 % при извлечении 70,83 %, соответствующий условиям ГОСТ 16108-80.

2. Кремниевый концентрат, содержащий SiO_2 не ниже 53,56 % при извлечении 64,03 %, соответствующий условиям ГОСТ 18307-78.

3. Гипсовый продукт с массовой долей SO_3 – 43,81 % при извлечении 35,97 %, соответствующий условиям ГОСТ 4013-82.

Уровень комплексности использования минерального сырья оценивается коэффициентом комплексности φ , представляющим собой отношение суммарной стоимости извлеченных в товарную продукцию полезных компонентов к суммарной стоимости этих же компонентов в сырье.

Коэффициент комплексности использования минерального сырья рассчитывается по формуле 4.1 [142]

$$\varphi = \frac{\sum \alpha_i \varepsilon_i \Pi_i}{\sum \alpha_i \Pi_i}, \quad (4.1)$$

где α_i – массовая доля ценного компонента в руде, %; ε_i – извлечение ценного компонента в концентрат, %; Π_i – единые оптовые цены, установленные на компоненты в товарном виде, руб.; φ – коэффициент использования минерального сырья, %.

Сделали сравнения коэффициентов комплексности использования минерального сырья по трём вариантам: 1-й вариант – технология действующего предприятия ООО «Дальнегорский ГОК»; 2-й вариант – технология, предлагаемая ООО «Дальнегорский ГОК»; 3-й вариант – технология, разработанная автором.

В таблице 4.1 приведены исходные данные для расчета коэффициента использования минерального сырья (датолитовых руд).

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета коэффициента использования минерального сырья (датолитовых руд)

Показатели	Вид товарной продукции		
	Датолитовый концентрат	Кремниевый концентрат	Гипсовый продукт
Содержание ценного компонента в исходной руде			
$\alpha_1^{B_2O_3}, \%$	8,70	–	–
$\alpha_2^{SiO_2}, \%$	–	27,19	–
$\alpha_3^{SO_3}, \%$	–	–	31,53
Извлечение ценного компонента в концентрат по технологии действующего предприятия ООО «Дальнегорский ГОК»			
$\varepsilon_{2.1}^{B_2O_3}, \%$	70,83	–	–
$\varepsilon_{2.2}^{SiO_2}, \%$	–	–	–
$\varepsilon_{2.3}^{SO_3}, \%$	–	–	–
Извлечение ценного компонента в концентрат по технологии, предлагаемой ООО «Дальнегорский ГОК»			
$\varepsilon_{2.1}^{B_2O_3}, \%$	70,83	–	–
$\varepsilon_{2.2}^{SiO_2}, \%$	–	33,57	–
$\varepsilon_{2.3}^{SO_3}, \%$	–	–	–
Извлечение ценного компонента в концентрат по технологии, предлагаемой автором			
$\varepsilon_{2.1}^{B_2O_3}, \%$	70,83	–	–
$\varepsilon_{2.2}^{SiO_2}, \%$	–	64,03	–
$\varepsilon_{2.3}^{SO_3}, \%$	–	–	93,78
Цена единицы продукции Ц, руб./т	40000	10000	3500

Таким образом, при получении только одного продукта обогащения (датолитового концентрата) коэффициент комплексности использования датолитовых руд, перерабатываемых на предприятии ООО «Дальнегорский ГОК» (рисунок 3.1), будет равен

$$\varphi_1 = \frac{8,70 \times 70,83 \times 40000}{8,70 \times 40000 + 27,19 \times 10000 + 31,53 \times 3500} = 33,75 \%. \quad (4.2)$$

Предлагаемая технология ООО «Дальнегорский ГОК» по извлечению из датолитовых руд, помимо датолитового концентрата и кремниевого концентрата, позволяет повысить коэффициент комплексности использования сырья на 12,5 % (рисунок 3.2):

$$\varphi_2 = \frac{8,70 \times 70,83 \times 40000 + 27,19 \times 33,57 \times 10000}{8,70 \times 40000 + 27,19 \times 10000 + 31,53 \times 3500} = 46,25 \%. \quad (4.3)$$

Рекомендуемая автором технология по извлечению из датолитовых руд, помимо датолитового концентрата, кремниевого концентрата и гипсового продукта (рисунок 3.3), позволяет повысить коэффициент комплексности использования минерального сырья на 36,61 % по сравнению с вариантом (рисунок 3.1) и на 24,11 % по сравнению с вариантом (рисунок 3.2):

$$\varphi_3 = \frac{8,70 \times 70,83 \times 40000 + 27,19 \times 60,24 \times 10000 + 31,53 \times 93,78 \times 3500}{8,70 \times 40000 + 27,19 \times 10000 + 31,53 \times 3500} = 70,36 \%. \quad (4.4)$$

Введение в технологию производства борной кислоты, переработку борогипса с получением кремниевого концентрата (содержание SiO_2 не менее 50%) и гипсового продукта (сорт 2, содержание SO_3 не менее 41,85 %), широкого спектра применения, позволяет повысить коэффициент комплексности использования минерального сырья в 2,08 раза (с 33,75 до 70,36 %) по сравнению с действующим на предприятии технологическим процессом.

4.2 Экологическая оценка внедрения нового технологического решения

Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха промплощадки Дальнегорской обогатительной фабрики и города являются выбросы пыли с поверхности хвостохранилища, где складирован борогипс. Интенсивность пылевыведения возрастает при сильной ветровой эрозии. Класс опасности шлама борогипса – IV. К IV классу опасности относятся малоопасные вещества, у которых низкая степень вредного воздействия отходов на окружающую среду. Эти вещества приводят к определенным нарушениям экологической системы, но она способна восстановиться в среднем в течение трех лет.

Масса пыли (M_o , т/год), образующаяся от всех пылящих поверхностей, рассчитывается по формуле 4.5

$$M_o = M_{в.у.} + M_{\text{cot}} * S_{\text{cot}}. \quad (4.5)$$

Масса пыли ($M_{в.у.}$, т/год), выделяющаяся в зоне укладки отходов,

рассчитывается по формуле 4.6

$$M_{в.у.} = q * Q * K_1 * K_2 * 10^{-6}, \quad (4.6)$$

где q – удельное выделение твердых частиц с перегружаемой породы, г/т;

Q – объем отходов, транспортируемых в хвостохранилище, т/год;

K_1 – коэффициент, учитывающий скорость ветра для рассматриваемого района;

K_2 – коэффициент, учитывающий влажность материала.

Масса пыли ($M_{сот}$, т/год), сдуваемая с 1 м^2 свежесыпанной поверхности в год, определяется по формуле 4.7

$$M_{сот} = 86,4 * q * (365 - T_c) * K_2 * 10^{-6}, \quad (4.7)$$

где q – удельная сдуваемость пыли с поверхностей отвала, мг/м²·с;

Q – объем отходов, транспортируемых в хвостохранилище, т/год;

K_2 – коэффициент, учитывающий влажность материала.

В таблице 4.2 представлено сравнение показателей выбросов пыли с пылящих поверхностей.

Таблица 4.2 – Оценка показателей выбросов пыли с пылящих поверхностей

Показатель	$M_{в.у.}$, т/ГОД	$M_{сот}$, т/ГОД	$S_{сот}$, м ²	M_o , т/ГОД	$Q_{п}$, т/ГОД	Q_o , т/ГОД
Технология, используемая на ООО «Дальнегорский ГОК»	0,090	0,401	600	240,69	388729,44	348301,58
Новое технологическое решение	0,026	0,401	260	104,29	388729,44	272888,07

Примечание: $Q_{п}$ – производственная мощность обогатительной фабрики, т/год; Q_o – количество образующихся отходов, т/год.

Как видно из таблицы, масса пыли, образующаяся от всех пылящих поверхностей, при внедрении нового технологического решения уменьшается в 2,31 раза (с 240,69 до 104,29 т/год).

Нормативный объем образования отходов горного производства (т/год) определяется путем деления объема образования отхода на соответствующий объем добычи минерального сырья.

Так, для действующей технологии нормативный объем образования отходов будет равен

$$V_H = 348301,58 / 388729,44 = 0,896.$$

В свою очередь, при внедрении разработанной нами технологии нормативный объем образования отходов значительно уменьшается и будет равен

$$V_H = 272888,07 / 388729,44 = 0,702.$$

Расчет экономического ущерба от нарушения и загрязнения земельных ресурсов (Y_3 , руб./год) производится по формуле 4.8

$$Y_3 = S * d, \quad (4.8)$$

где S – площадь земельных ресурсов, га;

d – константа (руб./га).

При действующей технологии производства борной кислоты образуется 348301,58 т отходов, вследствие чего нарушению подвергается территория площадью около 950 га. Нарушаемые земли расположены в лесостепной зоне.

Так, экологический ущерб составляет $Y_3 = 950 * 1070 = 1016,5$ тыс. руб.

Внедрение разработанной технологии позволяет сократить образующиеся отходы и снизить площади нарушаемых земель на 22 % до 744 га.

Соответственно, экологический ущерб составит $Y_3 = 744 * 1070 = 796,1$ тыс. руб.

Таким образом, предотвращенный эколого-экономический эффект составит $Y_3 = 1016,5 - 796,1 = 220,4$ тыс. руб.

Таким образом, разработанное новое технологическое решение позволяет значительно снизить экологический ущерб, вызванный производством борной кислоты.

4.3 Сравнительная оценка технико-экономических показателей нового технологического решения с альтернативными вариантами

При расчете технико-экономических показателей нового технологического решения за основу принята технологическая схема, представленная на рисунке 3.15.

Непрерывный режим работы фабрики – 24 часа в 3 смены. Календарный фонд времени $T_{\text{кал}} = 365$ дней. Рабочий фонд времени рассчитывается по формуле 4.9

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{рем}}, \quad (4.9)$$

где $T_{\text{раб}}$ – фонд времени рабочий, дней;

$T_{\text{кал}}$ – фонд времени календарный ($T_{\text{кал}} = 365$ дней);

$T_{\text{рем}}$ – ремонтное обслуживание.

Время на ремонтное обслуживание $T_{\text{рем}} = 35$ дн.

Рабочий фонд времени $T_{\text{раб}} = 330$ дн.

В таблице 4.3 представлен плановый баланс рабочего времени фабрики.

Таблица 4.3 – Плановый баланс рабочего времени

№	Наименование	Дни
1	Календарное время	365
2	Номинальный фонд рабочего времени (1–2)	272
3	Невыходы на работу, 4 % от 2	3
4	Число выходных и нерабочих дней по графику	93
5	Эффективный фонд рабочего времени (3–4)	269

Производственная мощность обогатительной фабрики по сырью определяется по формуле 4.10

$$M_c = A (T_{\text{кал}} - T_{\text{пер}}) N_t, \quad (4.10)$$

где M_c – производственная мощность цеха, участка, т/год;

A – число одинаковых ведущих агрегатов;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время, дней;

$T_{\text{пер}}$ – перерывы (планово-предупредительные ремонты, праздничные, выходные), дней;

$N_{\text{т}}$ – техническая норма производительности ведущего агрегата по сырью в натуральном выражении в сутки, т.

Производственная программа и производственная мощность по сырью

$$M_c = 1 * (365 - 35) * 1177,968 = 388729,44 \text{ т/год.}$$

К показателям использования производственной мощности относятся коэффициент экстенсивности ($K_{\text{э}}$, рассчитывается по формуле 4.11), коэффициент интенсивности нагрузки ($K_{\text{и}}$, рассчитывается по формуле 4.12) и коэффициент нагрузки на оборудование интегральный ($K_{\text{ин}}$, рассчитывается по формуле 4.13).

$$K_{\text{э}} = T_{\text{раб}} / T_{\text{кал}}, \quad (4.11)$$

$$K_{\text{э}} = 330 / 365 = 0,9,$$

$$K_{\text{и}} = N_{\text{пр}} / N_{\text{т}}, \quad (4.12)$$

$$K_{\text{и}} = 1060,17 / 1177,968 = 0,9,$$

где $N_{\text{пр}}$ – проектная производительность агрегата.

$$K_{\text{ин}} = K_{\text{э}} * K_{\text{и}}, \quad (4.13)$$

$$K_{\text{ин}} = 0,9 * 0,9 = 0,81.$$

План производства обогатительной фабрики или производственная программа (по концентрату $ПП_{\text{к}}$ и по сырью $ПП_{\text{с}}$) рассчитываются по формулам 4.14 и 4.15 соответственно.

$$ПП_{\text{с}} = M_c K_{\text{ин}}, \quad (4.14)$$

$$ПП_{\text{к}} = M_{\text{к}} * K_{\text{ин}}, \quad (4.15)$$

$$ПП_{\text{с}} = 388729,44 * 0,81 = 314870,85 \text{ т/год.}$$

Товарная продукция (ТП) рассчитывается сначала отдельно по каждому сырью по формуле 4.16

$$ТП = ВП * Ц, \quad (4.16)$$

где ВП – выпуск продукции (количество концентрата), т;

Ц – цена 1 тонны концентрата, руб.

Производственная мощность, производственная программа и товарная продукция по концентратам рассчитаны ниже:

- $M_{\text{дк}}$ – производственная мощность по датолитовому концентрату, т/год;
 $\text{ПП}_{\text{дк}}$ – производственная программа по датолитовому концентрату, т/год;
 $\text{ТП}_{\text{дк}}$ – товарная продукция по датолитовому концентрату, руб.;
 $M_{\text{кк}}$ – производственная мощность по кремниевому концентрату, т/год;
 $\text{ПП}_{\text{кк}}$ – производственная программа по кремниевому концентрату, т/год;
 $\text{ТП}_{\text{кк}}$ – товарная продукция по кремниевому концентрату, руб.;
 $M_{\text{гк}}$ – производственная мощность по гипсовому продукту, т/год;
 $\text{ПП}_{\text{гк}}$ – производственная программа по гипсовому продукту, т/год;
 $\text{ТП}_{\text{гк}}$ – товарная продукция по гипсовому продукту, руб.;
 $\text{Ц}_{\text{дк}}$ – цена на датолитовый концентрат, руб./т;
 $\text{Ц}_{\text{кк}}$ – цена на кремниевый концентрат, руб./т;

$\text{Ц}_{\text{гк}}$ – цена на гипсовый продукт, руб./т;

$$M_{\text{дк}} = 388729,44 * 10,4 / 100 = 40427,86 \text{ т/год};$$

$$\text{ПП}_{\text{дк}} = 40427,86 * 0,81 = 32746,57 \text{ т/год};$$

$$\text{ТП}_{\text{дк}} = \text{ПП}_{\text{дк}} * \text{Ц}_{\text{дк}} = 32746,57 * 40000 = 1309862800 \text{ руб./год};$$

$$M_{\text{кк}} = 388729,44 * 6,3 / 100 = 24489,95 \text{ т/год};$$

$$\text{ПП}_{\text{кк}} = M_{\text{кк}} * K_{\text{ин}} = 24489,95 * 0,81 = 19836,86 \text{ т/год};$$

$$\text{ТП}_{\text{кк}} = \text{ПП}_{\text{кк}} * \text{Ц}_{\text{кк}} = 19836,86 * 10000 = 198368600 \text{ руб./год};$$

$$M_{\text{гк}} = 388729,44 * 13,1 / 100 = 50923,56 \text{ т/год};$$

$$\text{ПП}_{\text{гк}} = M_{\text{гк}} * K_{\text{ин}} = 50923,56 * 0,81 = 41248,08 \text{ т/год};$$

$$\text{ТП}_{\text{гк}} = \text{ПП}_{\text{гк}} * \text{Ц}_{\text{гк}} = 41248,08 * 3500 = 144368280 \text{ руб./год}.$$

Суммарная товарная продукция (ТП) рассчитывается по формуле 4.17

$$\text{ТП} = \text{ТП}_{\text{дк}} + \text{ТП}_{\text{кк}} + \text{ТП}_{\text{гк}}. \quad (4.17)$$

$$\text{ТП} = 1309862800 + 198368600 + 144368280 = 1652599680 \text{ руб.}$$

Численность трудящихся явочная определяется по формуле 4.18

$$\text{Ч}_{\text{яв}} = N_{\text{чис}} * A * C, \quad (4.18)$$

$N_{\text{чис}}$ – количество человек на смену, необходимых для обслуживания 1 агрегата, чел.;

A – число обслуживаемых агрегатов, шт.;

C – число рабочих смен.

Списочный состав рабочих определяется по формуле 4.19

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} * T_{кал} / T_{эф} \quad (4.19)$$

где $T_{эф}$ – эффективный фонд рабочего времени.

В таблице 4.4 представлена численность трудящихся обогатительной фабрики.

Таблица 4.4 – Численность трудящихся

Оборудование/профессия	Кол-во	Н _{чис}	Бригада	Ч _{яв}	Ч _{сп}
1	2	3	4	5	6
Дробильное отделение					
Грохот колосниковый	1	0,3			
Бункер дробленой руды	1	0,3			
Бункеровщик		0,6	4	4	5
Грохот вибрационный	2	0,1			
Грохотовщик		0,2	4	4	5
Дробилка КМД-1200	1	0,5			
Дробилка КСД-1750Гр	1	0,5			
Грохот	1	0,33			
Дробилка ШДС 2,5х9	1	0,5			
Дробильщик		1,83	4	8	10
Кран подвесной 10 т	1	0,8			
Крановщик		0,8	4	4	5
Конвейер ленточный	4	0,3			
Машинист конвейера		1,2	4	4	5
Грохот 10х20	2	0,1			
Сито дуговое СДО-3	4	0,1			
Грохотовщик		0,6	4	4	5
Кран-балка	1	0,33			
Крановщик		0,33	4	4	5
Конвейер ленточный	3	0,2			
Машинист конвейера		0,6	4	4	5
Воздуходувка	2	0,1			
Сепаратор винтовой 0,04	3	0,1			
Сепаратор винтовой 0,15	4	0,1			
Магнитный сепаратор (ПБМ)	3	0,3			
Сепараторщик		1,8	4	8	10
Отделение измельчения					

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
Пульподелитель	1	0,03			
Аппаратчик гидromеталлург		0,03	4	4	5
Емкость	1	0,33			
Дозировщик		0,33	4	4	5
Весы конвейерные	1	0,3			
Машинист конвейера		0,3	4	4	5
Мельница МШР-2700x3600	2	0,2			
Классификатор 1 КСН-3	6	0,2			
Мельница МШР 900x900	6	0,3			
Классификатор Марка 2	3	0,2			
Машинист мельницы		4	4	16	21
Вакуум-насос	2	0,06			
Насосчик		0,12	4	4	5
Отделение сгущения					
Пробоотборник	1	0,1			
Центрифуги типа ФГМ-2001	1	0,33			
Реакционные камеры	4	0,33			
Сгустительщик		1,75	4	4	10
Дисковые фильтры ДК-68-2,5	1	0,33			
Фильтр-сгуститель типа F-70	2	0,33			
Фильтр-пресс рамный типа	1	0,33			
Фильтровальщик		1,32	4	4	5
Отделение флотации датолитовой руды					
Емкость ПАА	1	0,1			
Каплеотбойник	2	0,33			
Концентраторщик		0,76	4	4	5
Компрессор	1	0,1			
Насосчик		0,1	4	4	5
Флотомашина ФМ 6,3	3	0,3			
Флотомашина ФМ 3,2	4	0,2			
Флотатор	1,65	4	8	10	
Отделение флотации борогипса					
Флотомашина ФМ 6,3	3	0,33			
Флотомашина ФМ 3,2	2	0,33			
Флотатор		1,65	4	8	10
Сушильное отделение					
Насос суспензионный	6	0,1			
Вакуум – ресивер	2	0,1			
Сушилка барабанная	1	0,7			
Центрифуга осадительная	1	0,1			

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
Циклон классификационный	1	0,33			
Сушильщик		1,93	4	8	10
Вспомогательные рабочие 40 %					52
ВСЕГО					183

Общая численность трудящихся обогатительной фабрики составит 183 человека.

В таблице 4.5 представлены результаты расчета заработной платы инженерно-технических работников, служащих и младшего обслуживающего персонала. В таблице 4.6 представлены результаты расчета заработной платы промышленно-производственного персонала.

Таблица 4.5 – Результаты расчета заработной платы инженерно-технических работников, служащих и младшего обслуживающего персонала

Должность	Кол-во, чел.	Оклад, руб.	Район. коэф., %	С район. коэф., руб.	Премия, %	С премией, руб.	Дополн. з/п, %	С дополн. з/п, руб.	Сумма в год, руб.
Руководители									
Начальник ОФ	1	80000	50	120000	30	156000	10	171600	2059200
Главный инженер	1	64000	50	96000	30	124800	10	137280	1647360
Главный технолог	1	57600	50	86400	30	112320	10	123552	1482624
Начальник цеха	2	48000	50	144000	30	187200	10	205920	2471040
ИТР									
Мастер	4	41600	50	249600	30	324480	10	356928	4283136
Старший диспетчер	1	48000	50	72000	30	93600	10	102960	1235520
ВСЕГО	10								13178880

Общая заработная плата инженерно-технических работников, служащих и младшего обслуживающего персонала составит 13178880 руб.

В таблице 4.6 представлены результаты расчета заработной платы промышленно-производственного персонала.

Общая заработная плата промышленно-производственного персонала составит 149394063,17 руб.

Производительность труда является показателем эффективности труда. Существует производительный и менее производительный труд. Подходить к повышению производительности труда нужно на микро- и макроуровне, так как она имеет огромное социальное и экономическое значение.

Производительность по руде определяется по формуле 4.20

$$P_p = \text{ПП}_c / \text{Ч}_{\text{сп}}, \quad (4.20)$$

$$P_p = 314870,85 / 183 = 1720,61 \text{ т/год/чел.}$$

Производительность по концентрату определяется по формуле 4.21

$$P_{\text{тп}} = \text{ТП} / \text{Ч}_{\text{сп}}, \quad (4.21)$$

$$P_{\text{тп}} = 1652599680 / 183 = 9030599,34 \text{ руб./год/чел.}$$

Одной из составных частей управления предприятием является политика оплаты труда. Данная политика определяет эффективность работы фабрики, потому что заработная плата является основным стимулом рационального использования рабочих. В таблице 4.7 представлен годовой фонд заработной платы.

Таблица 4.7 – Годовой фонд заработной платы

Категория работников	Сумма, руб.
Рабочие	149394063,17
ИТР и МОП	13178880,00
Соц. налог	48771882,95
ИТОГО	211344826,12

Итого годовой фонд заработной платы составит 211344826,12 руб.

Основными фондами предприятия считаются средства труда, принимающие участие в производстве, не меняя свою изначальную форму.

К этим фондам относятся сооружения, здания, оборудование. В таблице 4.8 представлена стоимость зданий.

Таблица 4.8 – Стоимость зданий

Наименование	Площадь, м ²	Цена, руб./м ²	Сумма, руб.
Главный корпус	2500	11200	28000000
Корпус дробления	1200	2800	3360000
Стоянка автотранспорта	1000	7000	7000000
Химическая лаборатория	500	2800	1400000
Механические мастерские	500	16800	8400000
Насосная	351	14000	4914000
Подстанция	200	5600	1120000
Склад	200	4200	840000
Компрессорная	100	3360	336000
Склад реагентов	100	4200	420000
ИТОГО			55790000

Стоимость зданий составляет 55790000 руб.

В таблице 4.9 представлена стоимость оборудования.

Таблица 4.9 – Стоимость оборудования

№	Оборудование	Кол-во, шт.	Цена, руб./шт.	Монтаж, 15 %	Трансп-ка, 20 %	Стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6	7
1	Сито дуговое СДО-3	4	826000	123900	165200	4460400,00
2	Вакуум-насос	2	210000	31500	42000	567000,00
3	Воздуходувка	2	168000	25200	33600	453600,00
4	Пробоотборник	1	196000	29400	39200	264600,00
5	Сушилка барабанная	1	392000	58800	78400	529200,00
6	Грохот колосниковый	1	420000	63000	84000	567000,00
7	Дробилка КСД-1750Гр	1	2671200	400680	534240	3606120,00
8	Кран подвесной 10 т	1	3150000	472500	630000	4252500,00
9	Компрессор	1	882000	132300	176400	1190700,00
10	Мельница МШР 900х900	6	9800000	1470000	1960000	79380000,00
11	Классификатор 1 КСН-3	6	212800	31920	42560	1723680,00
12	Флотомашинa ФМ 3,2	4	107800	16170	21560	582120,00

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6	7
13	Пульподелитель	1	1400000	210000	280000	1890000,00
14	Гидроциклон	3	2940000	441000	588000	11907000,00
15	Классификатор Марка 2 КСН-2400	3	588000	88200	117600	2381400,00
16	Грохот	1	1918000	287700	383600	2589300,00
17	Дробилка ЩДС 2,5х9	1	3360000	504000	672000	4536000,00
18	Емкость	1	490000	73500	98000	661500,00
19	Мельница МШР- 2700х3600	2	8400000	1260000	1680000	22680000,00
20	Дробилка КМД-1200	1	5600000	840000	1120000	7560000,00
21	Кран-балка	1	2100000	315000	420000	2835000,00
22	Бункер дробленой руды	1	4200000	630000	840000	5670000,00
23	Весы конвейерные	1	350000	52500	70000	472500,00
24	Конвейер ленточный	4	2520000	378000	504000	13608000,00
25	Конвейер ленточный	3	1246000	186900	249200	5046300,00
26	Емкость ПАА	1	560000	84000	112000	756000,00
27	Вакуум – ресивер	2	238000	35700	47600	642600,00
28	Флотомашина ФМ 6,3	2	79800	11970	15960	215460,00
29	Магнитный сепаратор (ПБМ) Марка	3	2548000	382200	509600	10319400,00
30	Сепаратор винтовой (0,15–1,0)	4	2086000	312900	417200	11264400,00
31	Сепаратор винтовой (0,045–0,15)	3	1946000	291900	389200	7881300,00
32	Грохот10х20	2	1540000	231000	308000	4158000,00
33	Циклон классификационный	1	938000	140700	187600	1266300,00
34	Насос суспензионный	6	345800	51870	69160	2800980,00
35	Грохот вибрационный	2	1862000	279300	372400	5027400,00
36	Центрифуга осадительная	1	350000	52500	70000	472500,00
37	Дымосос ДН-15НЖ	4	1050000	157500	210000	5670000,00
38	Каплеотбойник	2	294000	44100	58800	793800,00

1	2	3	4	5	6	7
39	Центрифуги типа ФГМ-2001-К-0,2	1	14000	2100	2800	18900,00
40	Фильтр-пресс рамный типа ПМ-80-1000/45	1	14000	2100	2800	18900,00
41	Фильтр-сгуститель типа F-70	2	14000	2100	2800	37800,00
42	Дисковые фильтры ДК-68-2,5	1	14000	2100	2800	18900,00
43	Реакционные камеры	4	14000	2100	2800	75600,00
	ИТОГО					230852160,00
	Неучтенное оборудование					14644230,30
	ВСЕГО					245496390,30

Общая стоимость оборудования составляет 245496390,30 руб.

В таблице 4.10 представлена стоимость сооружений.

Таблица 4.10 – Стоимость сооружений

Наименование	Объем, м ³	Цена, руб./м ³	Сумма, руб.
Дамба	1200	22400	26880000
Дорога	1000	9800	9800000
Трубопровод	1000	5040	5040000
Галерея	800	14000	11200000
Теплотрасса	800	29400	23520000
ЛЭП	500	22400	11200000
Приемный бункер	100	11200	1120000
ИТОГО			88760000

Итого стоимость сооружений составляет 88760000 руб.

Структура основных производственных фондов – это соотношение групп промышленно-производственных фондов по вещественному составу к общей среднегодовой стоимости. Предотвращение излишнего старения основных

фондов предприятия (основной активной части) является основной задачей предприятия. В таблице в 4.11 представлены промышленно-производственные фонды.

Таблица 4.11 – Промышленно-производственные фонды

Основные фонды	Удельный вес		Амортизация	
	%	руб.	%	руб.
Здания	7,26	55790000,00	3,00	1673700,00
Сооружения	11,55	88760000,00	5,00	4438000,00
Передаточные устройства	11,88	91292253,00	20,00	18258450,00
Оборудование	31,95	245496390,30	18,00	44189350,00
Приборы	11,88	91292253,00	10,00	9129225,00
Транспорт	10,18	78250502,00	25,00	19562625,00
Инструмент	5,09	39125251,00	50,00	19562625,00
Инвентарь	5,09	39125251,00	15,00	5868787,00
Прочие	5,09	39125251,00	18,00	7042545,00
ИТОГО	100,00	768257151,30	16,88	129725307,00

Эффективность использования основных фондов определяется следующими показателями: фондоотдача ($\Phi_{отд}$, определяется по формуле 4.22), фондоемкость ($\Phi_{ем}$, определяется по формуле 4.23), фондовооруженность (Φ , определяется по формуле 4.24).

$$\Phi_{отд} = \text{ТП} / \text{О}_{осн} = 2112865273,75 / 872455807,5 = 2,42, \quad (4.22)$$

где $\text{О}_{осн}$ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.

$$\Phi_{ем} = 1 / \Phi_{отд} = 0,41, \quad (4.23)$$

$$\Phi = \text{О}_{осн} / \text{Ч}_{сп} = 872455807,5 / 169 = 5162460,39 \text{ руб./чел.} \quad (4.24)$$

Оборотные фонды предприятия – это та часть производственных средств, которая полностью расходуется при производстве, например: топливо, реагенты, электроэнергия. В таблице 4.12 представлена стоимость вспомогательных материалов.

Таблица 4.12 – Стоимость вспомогательных материалов

Наименование	Ед. изм.	На 1 т руды	Расход в год	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Футеровка	тонн	0,0007	220,409	16800,00	3702871,20
Шары	тонн	0,0003	94,461	15400,00	1454699,40
Сода кальцинированная	кг	1,2	377844	56,00	21159264,00
Лента конвейерная	м	0,0007	220,409	420,00	92571,78
Технические нефтяные кислоты	кг	0,02	6297,4	56,00	352654,40
Натрия триполифосфат	кг	0,045	14169,15	67,20	952166,88
Натр едкий техн.	л	0,001	314,87	103,60	32620,53
Силикат натрия растворимый	кг	0,2	62974	32,20	2027762,80
Кислота серная	кг	0,6	188922	0,42	79347,24
Олеилсаркозинат натрия	кг	1	388729,44	181,44	70530880,00
Прочие 10 %					10038483,82
ИТОГО					110423322,06

Итоговая стоимость вспомогательных материалов составляет 110423322,06 руб.

В таблице 4.13 представлена стоимость оборотных фондов.

Таблица 4.13 – Стоимость оборотных фондов

Наименование	Стоимость, руб.
Сырье	626430844,00
Материалы	110423322,06
Топливо	6141478,00
Эл. энергия	73697746,00
Вода	755688,00
Пар	1574350,00
Прочие 3 %	24570702,84
ИТОГО	843594130,90

Суммарная стоимость оборотных фондов составляет 843594130,90 руб.

В таблице 4.14 представлен расчет оплаты за природопользование.

Таблица 4.14 – Расчет платы за размещение жидких отходов

Показатели	Значение
1. Стоимость размещения 1 м ³ жидких отходов, руб.	15
2. Количество жидких отходов, м ³ /год	1422336,24
3. Плотность руды, г/см ³	2,30
4. Отношение Ж/Т (разжижение пульпы)	6,00
5. Коэффициент экологической ситуации	1,0
6. Плата за размещение жидких отходов, руб.	6400513,00

Общая сумма платы за размещение жидких отходов составила 6400513,00 руб.

Немаловажен экологический эффект от внедрения нового технологического решения на Дальнегорской обогатительной фабрике. За счет вовлечения в переработку отходов не только снижаются затраты на размещение отходов на 1,77 млн руб. в год, но и значительно улучшается экологическая обстановка в регионе как за счет существенного сокращения интенсивности накопления отходов, так и за счет освобождения земельных угодий от хранящихся отходов.

Важным является расчет себестоимости продукции. Она представляет собой затраты фабрики на производство и реализацию продукции. В таблице 4.15 представлен расчет себестоимости переработки руды.

Таблица 4.15 – Себестоимость переработки руды

Наименование	Удел. вес, %	Стоимость, руб.
1. Себестоимость добычи	49,19	626430844,00
2. Вспомогательные материалы	8,67	110423322,06
3. Топливо технологическое	0,48	6141478,00
4. Эл. энергия	5,79	73697746,00
5. Заработная плата ППП	11,73	149394063,17
6. Заработная плата ИТР, служащих и МОП	1,03	13178880,00
7. Единый социальный налог	3,83	48771882,95
8. Амортизация	10,19	129725307,00
9. Прочие расходы 10 %	9,09	115776352,32
Производственная себестоимость:	100	1273539875,49
10. Внепроизводственные расходы 3 %	3	38206196,26
Цеховая себестоимость	103	1311746071,76
11. Общезаводские расходы 0,3 %	0,3	3935238,22
Полная себестоимость переработки	103,3	1315681309,97

В таблице 4.16 представлен расчет показателей эффективности инвестиционного проекта.

Таблица 4.16 – Расчет показателей эффективности инвестиционного проекта

Год	Приток от операционной деятельности			Отток от операционной деятельности			Кэш-фло от операц. деятельности		Приток от инв. деятельности	
	Выручка	Амортизация	Итого	Себе стоимость	Налоги	Итого	Капитальные вложения	Итого		
1 год	2112859692	151641133	2264500825	1546561584	161024670	1707586254	1918654405	1918654405		
2 год	2176245483	156190367	2332435850	1592958432	165855410	1758813841	0	0		
3 год	2239631274	160739601	2400370875	1639355279	170686150	1810041429	0	0		
4 год	2303017064	165288835	2468305899	1685752127	175516890	1861269016	0	0		
5 год	2366402855	169838069	2536240924	1732148974	180347630	1912496604	0	0		
6 год	2429788646	174387303	2604175949	1778545822	185178370	1963724192	0	0		
7 год	2493174437	178936537	2672110974	1824942669	190009110	2014951779	0	0		
8 год	2556560227	183485771	2740045998	1871339517	194839850	2066179367	0	0		
9 год	2619946018	188035005	2807981023	1917736364	199670590	2117406954	0	0		
10 год	2683331809	192584239	2875916048	1964133212	204501330	2168634542	0	0		
11 год	2746717600	197133473	2943851073	2010530059	209332070	2219862130	0	0		
12 год	2810103390	201682707	3011786097	2056926907	214162811	2271089717	0	0		
ИТОГО	29537778494	2119943039	31657721534	21620930944	2251124881	23872055825	1918654405	1918654405		

Год	Отток от инвестиционной деятельности			Кэш-фло от инв. деятельности	Поток реальных денег	Накопленным итогом	Е, % диск.	ЧДД	ЧДД накопленным итогом	ВНД, %	ИД
	% по кредиту	Платежи по кредиту	Итого								
1 год	345357793	479663601	825021394	1093633011	-536718439	-536718439	12	-479212892	-479212892	-128	-0,25
2 год	259018345	479663601	738681946	-738681946	1312303954	775585515	12	1046160678	566947786	-83	0,30
3 год	172678896	479663601	652342498	-652342498	1242671943	2018257458	12	884509344	1451457129	-11	0,76
4 год	86339448	479663601	566003049	-566003049	1173039932	3191297391	12	745488084	2196945213	72	1,15
5 год	0	0	0	0	623744320	3815041711	12	353929278	2550874491	42	1,33
6 год	0	0	0	0	640451757	4455493468	12	324472792	2875347283	41	1,50
7 год	0	0	0	0	657159194	5112652662	12	297265446	3172612729	40	1,65
8 год	0	0	0	0	673866631	5786519294	12	272163430	3444776159	39	5,80
9 год	0	0	0	0	690574069	6477093362	12	249027932	3693804092	38	1,93
10 год	0	0	0	0	707281506	7184374868	12	227725716	3921529807	37	2,04
11 год	0	0	0	0	723988943	7908363811	12	208129521	4129659328	36	2,13
12 год	0	0	0	0	740696380	8649060191	12	190118312	4319777640	36	2,25
ИТОГО	863394482	1918654405	2782048887	-863394482	8649060191			4319777640		36	2,25

Прибыль предприятия (ПР) представляет собой разницу между суммарной товарной продукцией и полной себестоимостью производства $ПР=1652,60 - 1315,68= 336,52$ млн руб.

Чистая прибыль предприятия (ЧПР) представляет собой прибыль предприятия за вычетом налога (20 %) $ЧПР=336,52 * 0,8 = 269,53$.

С учетом вышеизложенных расчетов составлена сравнительная оценка технико-экономических показателей нового технологического решения с применением альтернативного реагента-собираателя – олеилсаркозината натрия.

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка технико-экономических показателей нового технологического решения с применением альтернативного реагента-собираателя – олеилсаркозината натрия

Показатели	Ед. изм.	Технологическое решение с олеилсаркозинатом натрия, предлагаемое автором	Действующая технология ООО «Дальнегорский ГОК»	Технологическое решение, предлагаемое ООО «Дальнегорский ГОК»
1	2	3	4	5
Производственная мощность по сырью	т/год	388729,44	388729,44	388729,44
Продукция: датолитовый концентрат				
Производственная программа по концентрату	т/год	32746,57	32746,57	32746,57
Цена единицы продукции	руб.	40000	40000	40000
Товарная продукция по концентрату	млн руб.	1309,86	1309,86	1309,86
Продукция: кремниевый концентрат				
Производственная программа по концентрату	т/год	19836,86	-	9131,23
Цена единицы продукции	руб.	10000	-	10000
Товарная продукция по концентрату	млн руб.	198,37	-	91,31

1	2	3	4	5
Продукция: гипсовый продукт				
Производственная программа по продукту	т/год	41248,08	-	51953,55
Цена единицы продукции	руб.	3500	-	3500
Товарная продукция по продукту	руб.	144,37	-	181,84
Суммарная продукция				
Суммарная товарная продукция	млн руб.	1652,60	1309,86	1583,01
Численность ППП	чел.	183	175	198
Производительность ППП по руде	т/чел.	1720,60	1645,38	1590,25
Годовой фонд заработной платы	млн руб.	211,34	202,10	225,58
Основные фонды	млн руб.	768,26	688,86	794,57
Оборотные фонды	млн руб.	843,59	612,81	810,77
Плата за размещение отходов	млн руб.	6,40	8,17	6,40
Полная себестоимость	млн руб.	1315,68	1042,15	1310,37
Прибыль	млн руб.	336,92	267,71	272,64
Налог с прибыли	млн руб.	67,38	53,54	54,53
Прибыль чистая	млн руб.	269,53	214,17	218,11

Как видно из данных таблицы 4.17, при внедрении предлагаемой схемы переработки отходов производства борной кислоты чистая прибыль предприятия возрастает на 55,36 млн руб. в год. Это происходит за счет того, что добавляется два товарных продукта – кремниевый и гипсовый. Несмотря на то, что возрастают затраты на основные и оборотные фонды, прибыль от производства дополнительных продуктов превосходит данные затраты. Доказано, что с экономической точки зрения предложенное автором технологическое решение переработки отходов производства борной кислоты с использованием реагента-

собиранителя – олеилсаркозината натрия эффективнее, чем схема, предлагаемая ООО «Дальнегорский ГОК», так как использование жидкого мыла в качестве реагента-собиранителя влечет за собой траты на дополнительное оборудование, персонал и расходные материалы [143–147].

Выводы по главе 4

Рациональное и комплексное использование недр позволяет уменьшить количество недоиспользованных минеральных ресурсов, выпускать новые продукты из той части сырья, которая раньше уходила в отходы, увеличить ассортимент выпускаемой продукции и снизить себестоимость переработки 1 тонны руды.

Введение в технологию производства борной кислоты, переработку борогипса с получением кремниевого концентрата (содержание SiO_2 не менее 50 %) и гипсового продукта (сорт 2, содержание SO_3 не менее 41,85 %), широкого спектра применения, позволяет повысить коэффициент комплексности использования минерального сырья в 2,08 раза (с 33,75 до 70,36 %) по сравнению с действующим на предприятии технологическим процессом.

Внедрение разработанного решения позволяет сократить образующиеся отходы и уменьшить площади нарушенных земель с 950 до 744 га. Предотвращенный эколого-экономический эффект от уменьшения отчужденных земельных участков составит 220,4 тыс. руб.

Обоснована эколого-экономическая значимость работы, приведены расчеты экономических показателей фабрики при внедрении новых технологических решений передела борного сырья.

Внедрение разработанных аппаратурно-технических решений, ориентированных на переработку борогипса, при производственной мощности по сырью 388729,44 т/год позволит получить чистую прибыль 55,36 млн руб.

Немаловажен экологический эффект от внедрения нового технологического

решения. За счет вовлечения в переработку отходов не только снижаются затраты на размещение отходов на 1,77 млн руб. в год, но и значительно улучшается экологическая обстановка в регионе за счет существенного сокращения интенсивности накопления отходов и освобождения земельных угодий от хранящихся отходов.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья» при проведении лабораторных занятий по курсу учебной дисциплины «Флотационные методы обогащения» специальности 21.05.04 «Горное дело» (специализация «Обогащение полезных ископаемых») (Приложение Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложено новое научно обоснованное технологическое решение актуальной научной задачи для повышения технологических показателей обогащения отходов производства борной кислоты с целью комплексного использования борных руд, имеющей существенное значение для развития горноперерабатывающей отрасли страны.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие основные выводы:

1. Экспериментально изучено влияние девяти альтернативных реагентов-собирателей (олеилсаркозинат натрия, олеилсаркозин, ФЛОН-1 (катионное ПАВ – ацетат первичных аминов кокосовой фракции в изопропиловом спирте), жидкое мыло, техническая нефтяная кислота, олеиновая кислота, растительное кислое масло, олеин, линолевая кислота) на технологические показатели процесса флотации борогипса (отходов производства борной кислоты). Осуществлён выбор эффективного реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия, обладающего пенообразующими и смачивающими свойствами, открывающего возможность получения двух товарных продуктов: гипсового с широким спектром практического применения и кремниевого – для производства «белой сажи».

2. Обоснован выбор метода извлечения (обратная флотация) минералов диоксида кремния из отходов производства борной кислоты. Выявлены закономерности влияния реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия на показатели обогащения борогипса.

3. Установлены закономерности взаимосвязи извлечения и содержания диоксида кремния при флотации борогипса с использованием реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия от технологических факторов: температура пульпы, рН, расход реагента-собирателя, время агитации, время обратной флотации.

4. Экспериментально доказано, что применение реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия при обратной флотации борогипса позволило эффективно разделить минералы диоксида кремния, гипса и ангидрита, отказаться от реагента регулятора среды, уменьшить температуру пульпы в 1,33 раза (с 40 до 30 °С), сократить время флотации в 1,75 раза (с 14 до 8 мин), снизить расход реагента-собирателя в 1,5 раза (с 1,5 до 1 кг/т), увеличить извлечение диоксида кремния в концентрат на 30,46 % (с 33,57 по 64,03 %) по сравнению с базовой технологией, предлагаемой ООО «Дальнегорский ГОК».

5. Установлены рациональные режимные параметры флотационного обогащения отходов производства борной кислоты – борогипса: расход реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия – 1 кг/т, температура пульпы – 30 °С, pH – 7,5, время агитации – 3 мин, время основной флотации – 8 мин, что позволило в 2,15 раза увеличить выход кремниевого концентрата (с 15,11 до 32,50 %), дополнительно извлечь в пенный продукт гипс и ангидрит, широкого спектра применения.

6. Экспериментально получены уравнения множественной регрессии показателей извлечения и содержания диоксида кремния в концентрате при обратной флотации борогипса с реагентом-собирателем (олеилсаркозинатом натрия), позволяющие определить рациональные режимные параметры флотации борогипса, управлять процессом и прогнозировать качество кремниевого концентрата.

7. Подтверждена правомерность гипотезы механизма взаимодействия молекул олеилсаркозината натрия, имеющих неподеленную электронную пару у атома азота и валентные электроны атома кислорода карбоксильной группы, с минералами борогипса, заключающегося в адсорбции реагента-собирателя на поверхности частиц гипса и ангидрита, содержащих положительно заряженные ионы кальция.

8. Разработанное новое технологическое решение переработки борогипса, с применением реагента-собирателя – олеилсаркозината натрия, позволит снизить затраты по размещению отходов производства на 1,77 млн руб./год, уменьшить

площади нарушенных земель в 1,3 раза (с 950 до 744 га), повысить коэффициент комплексности использования минерального сырья в 2,08 раза (с 33,75 до 70,36 %) и улучшить экологическую обстановку в регионе.

9. Технологическое решение, разработанное автором, защищено патентом РФ 2723787 «Способ переработки гипсосодержащих отходов производства борной кислоты».

10. Реагент-собиратель – олеилсаркозинат натрия рекомендован к опытно-промышленным испытаниям на обогатительной фабрике ООО «Дальнегорский ГОК» при технологическом переделе борогипса. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья» при проведении лабораторных занятий по курсу учебной дисциплины «Флотационные методы обогащения» специальности 21.05.04 «Горное дело» (специализация «Обогащение полезных ископаемых»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oelofse, S. H. H. The pollution and destruction threat of gold mining waste on the Witwatersrand – A West Rand case study / S. H. H. Oelofse, P. J. Hobbs, J. Rascher, J. E. Cobbing. – Text: electronic // 10th International symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. – Bangkok, Thailand, 2007. – 973 p. – URL: <https://studylib.net/doc/5894516/> (дата обращения: 13.03.2017).
2. Extractive Waste / European commission. –URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/mining/index> (дата обращения: 13.03.2017).
3. Сагдеева, Г. С. Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала / Г. С. Сагдеева, Г. Р. Патракова. – Текст: электронный // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 6. – С. 194–198. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21455489> (дата обращения: 13.03.2017).
4. Кудрин, В. А. Ресурсосбережение в металлургии и проблемы охраны природы / В. А. Кудрин Г.А. Исаев; Министерство образования и науки РФ, Московский государственный вечерний металлургический институт. – Москва: МГВМИ, 2012. – 102 с. – ISBN 978-5-94475-064-8. – Текст: непосредственный.
5. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: учебное и справочное пособие / В. Ф. Протасов. – Москва: Финансы и статистика, 1999. – 672 с. – ISBN 5-279-02194-6 – Текст: непосредственный.
6. Пинаев, В. Е. Состояние и проблемы использования промышленных твердых отходов в России / В. Е. Пинаев. – Текст: электронный // Исследовано в России. – 2004. – № 7. – С. 1397–1433. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-problemy-ispolzovaniya-promyshlennyh-tverdyh-othodov-v-rossii/viewer> (дата обращения: 13.03.2017).

7. Никифоров, И. В. Исследование композиций котельного топлива на базе продуктов переработки нефтешлама и остатков нефтехимических производств / И. В. Никифоров [и др.]. – Текст: электронный // Башкирский химический журнал. – 2016. – № 3. – С. 89–93. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27294725> (дата обращения: 14.03.2018).
8. Pullum, L. Hydraulic Mineral Waste Transport and Storage / L. Pullum, D. V. Boger, F. Sofra. – Text: electronic // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2018. – Vol. 50. – P. 157–185. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36008254> (дата обращения: 17.03.2020).
9. Амадзиева, Н. А. Возобновляемая энергетика как один из факторов энергосбережения на сельских территориях республики Дагестан / Н. А. Амадзиева, А. Ш. Хизриев. – Текст: электронный // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2016. – № 2. – С. 90–96. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozobnovlyаемая-energetika-kak-odin-iz-faktorov-energoberezheniya-na-selskih-territoriyah-respubliki-dagestan/viewerdagestan/viewer> (дата обращения: 17.05.2019).
10. Kudelko, J. Effectiveness of mineral waste management / J. Kudelko // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2018. – No. 1–9. – P. 440-448. – URL: <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1438036> (дата обращения: 12.10.2019).
11. Мещеряков, Ю. Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов / Ю. Г. Мещеряков. – Ленинград : Стройиздат, 1982. – 144 с. – Текст: непосредственный.
12. Складорова, Г. Ф. Опытные технологии применения промышленных отходов в качестве агрохимического сырья / Г. Ф. Складорова. – Текст: электронный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S9. – С. 155–161. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15198067> (дата обращения: 13.03.2017).
13. Гордиенко, П. С. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты с получением материалов для стройиндустрии / П. С. Гордиенко,

- А. В. Козин, С. Б. Ярусова, И. Г. Згиблый. – Текст: электронный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № S4-9. – С. 60–66. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23737836> (дата обращения: 13.03.2017).
14. Капустин, Ф. Л. Особенности состава и свойства продукта переработки фосфогипса / Ф. Л. Капустин, М. А. Афанасьева, Н. А. Митюшов // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы IV Междунар. интерактивной науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 15–18 декабря 2014 г.). – Екатеринбург, 2015. – С. 401–404. – URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/31573> (дата обращения: 13.03.2017).
15. Патент 2324654 Российская Федерация, МПК С 01 F 11/46 В 03 D 1/02. Способ переработки гипсосодержащего сырья: № 2006127319/15; заявл. 27.07.2006; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14 / Семлёв В. С., Реутов В. А., Кондриков Н. Б. – 8 с. – Текст: непосредственный.
16. Патент 2268864 Российская Федерация, МПК С 04 В 28/14 С 04 В 24/02. Способ переработки гипсосодержащего отхода для использования в промышленности строительных материалов: № 2005110688/03; заявл. 13.04.2005; опубл. 27.01.2006, Бюл. № 03 / Ким В., Семичастнов В. М., Жуков Е. В. – 4 с. – Текст: непосредственный.
17. Патент 2601608 Российская Федерация, МПК С 01 В 33/24. Способ комплексной переработки борогипса: № 2015141651/05; заявл. 30.09.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 31 / Гордиенко П. С, Ярусова С. Б., Козин А. В., Степанова В. А., Шабалин И. А., Гриванова О. В. – 7 с. – Текст: непосредственный.
18. Александров, С. М. Геохимия эндогенного бора / С. М. Александров, В. Л. Барсуков, В. В. Щербина. – Москва: Наука, 1968. – 182 с. – Текст: непосредственный.
19. Богданов, О. С. Теория и технология флотации руд / О. С. Богданов [и др.]. – Москва: Недра, 1990. – С. 363. – ISBN: 5-247-00449-3. – Текст: непосредственный.

20. Сугоняко, Д. В. Диоксид кремния как армирующий наполнитель полимерных материалов / Д. В. Сугоняко, Л. А. Зенитова. – Текст: электронный // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 5. – С. 94–100. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23249595> (дата обращения: 13.03.2017).
21. Халиуллина, А. А. Разработка зубочелюстного тренажера с использованием полимерных композиционных материалов / А. А. Халиуллина [и др.]. – Текст: электронный // Вестник казанского технологического университета. – 2013. – № 5. – С. 94–96. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18922432> (дата обращения: 13.03.2017).
22. Пат. 2723787 Российская Федерация, МПК В03D 1/02, В03В 9/06. Способ переработки гипсосодержащих отходов производства борной кислоты: – № 2019139135: заявл. 29.11.2019; опубл. 17.06.2020, Бюл. № 17 / **Патеюк С. А.**, Хатькова А. Н., Никитина Л. Г.; патентообладатель Забайкальский государственный университет (ФГБОУ ВО «ЗабГУ»). – 10 с. – Текст: непосредственный.
23. Барский, Л. А. Обогащаемость минеральных комплексов / Л. А. Барский, Л. М. Данильченко. – Москва: Недра, 1977. – 240 с. – Текст: непосредственный.
24. **Патеюк, С. А.** Перспективы Забайкальских недр на борное сырье / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Н. Н. Бурнашова // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 22–28. – Текст: непосредственный.
25. Абрамов, А. А. Технология обогащения руд цветных и редких металлов / А. А. Абрамов. – Москва: Недра, 1983. – 395 с. – Текст: непосредственный.
26. Научно-техническая конференция, посвященная 30-летию открытия, изучения и освоения месторождения борных руд на дальнем Востоке: тезисы докладов. – Дальнегорск, 1976. – 116 с. – Текст: непосредственный.
27. Поиск разведка и оценка месторождений бора / под ред. А. Е. Лисицына, И. И. Пастушенко. – Москва: Недра, 1983. – 191 с. – Текст: непосредственный.

28. Технологическая оценка минерального сырья: методы исследования: справочник / под ред. П. Е. Остапенко. – Москва: Недра, 1990. – 264 с. – ISBN 5-247-00925-8. – Текст: непосредственный.
29. Alonso, R. N. A new Tertiary borax deposit in the Andes / R. N. Alonso [et al]. – Text: electronic // Mineral. Deposita. – 1988. – Vol. 23. – P. 299–305. – URL: https://www.researchgate.net/publication/226461411_A_new_Tertiary_borax_deposit_in_the_Andes (дата обращения: 04.04.2017).
30. Zentilli, M. Spatial coincidence and similar geochemistry of Late Triassic and Eocene – Oligocene magmatism in the Andes of northern Chile: evidence from the MMH porphyry type Cu – Mo deposit, Chuquicamata District / M. Zentilli, V. Maksayev, R. Boric. – Text: electronic // Int J Earth Sci (Geol Rundsch). – 2018. – Vol. 107. – P. 1097–1126. – URL: https://www.researchgate.net/publication/323703284_Spatial_coincidence_and_similar_geochemistry_of_Late_Triassic_and_Eocene-Oligocene_magmatism_in_the_Andes_of_northern_Chile_evidence_from_the_MMH_porphyry_type_Cu-Mo_deposit_Chiquicamata_District (дата обращения: 07.04.2019).
31. Goedert, J. L. The Late Eocene ‘Whiskey Creek’ methane-seep deposit (western Washington State) / J. L. Goedert, T. Heinrichs. – Text: electronic // Facies. – 2003. – Vol. 48. – P. 223–240. – URL: https://www.researchgate.net/publication/225153243_The_Late_Eocene_'Whiskey_Creek'_methane-seep_deposit_western_Washington_State_Part_I_Geology_palaeontology_and_molecular_geobiology (дата обращения: 04.04.2017).
32. Birsoy, R. Activity diagrams of borates: implications on common deposits / R. Birsoy, Ü. Özbaş. – Text: electronic // Carbonates Evaporites. – 2012. – Vol. 27. – P. 71–85. – URL: https://www.researchgate.net/publication/257796695_Activity_diagrams_of_borates_Implications_on_common_deposits (дата обращения: 04.04.2021).

33. Chenari, R. J. Site response of heterogeneous natural deposits to harmonic excitation applied to more than 100 case histories / R. J. Chenari, S. A. Bostani Taleshani. – Text: electronic // *Earthq. Eng. Eng. Vib.* – 2016. – Vol. 15. – P. 341–356. – URL: https://www.researchgate.net/publication/303806461_Site_response_of_heterogeneous_natural_deposits_to_harmonic_excitation_applied_to_more_than_100_case_histories (дата обращения: 04.04.2021).
34. Wise, W. S. Sodic Clay-Zeolite Assemblage in Basalt at Boron, California / W. S. Wise, W. D. Kleck // *Clays Clay Miner.* – 1988. – Vol. 36. – P. 131–136. – Text: direct.
35. Kasemann, S. Boron recycling in the continental crust of the central Andes from the Palaeozoic to Mesozoic, NW Argentina / S. Kasemann, J. Erzinger, G. Franz. – Text: electronic // *Contrib Mineral Petrol.* – 2000. – Vol. 140. – P. 328–343. – URL: https://www.researchgate.net/publication/226001387_Boron_recycling_in_the_continental_crust_of_the_Central_Andes_from_the_Palaeozoic_to_Mesozoic_NW_Argentina (дата обращения: 04.04.2017).
36. Barth, S. Utilization of boron as a critical parameter in water quality evaluation: implications for thermal and mineral water resources in SW Germany and N Switzerland / S. Barth. – Text: electronic // *Environmental Geology.* – 2000. – Vol. 40. – P. 73–89. – URL: https://www.researchgate.net/publication/225711542_Utilization_of_boron_as_a_critical_parameter_in_water_quality_evaluation_Implications_for_thermal_and_mineral_water_resources_in_SW_Germany_and_N_Switzerland (дата обращения: 04.04.2017).
37. Casentini, B. Release of Arsenic from Volcanic Rocks through Interactions with Inorganic Anions and Organic Ligands / B. Casentini, M. Pettine, F. J. Millero. – Text: electronic // *Aquat Geochem.* – 2010. – Vol. 16. – P. 373–393. – URL: https://www.researchgate.net/publication/225719138_Release_of_Arsenic_from_

- Volcanic_Rocks_through_Interactions_with_Inorganic_Anions_and_Organic_Li
gands (дата обращения: 04.04.2017).
38. Paliewicz, C. C. Environmentally Hazardous Boron in Gold Mine Tailings, Timmins, Ontario, Canada / C. C. Paliewicz, M. L. C. Sirbescu, T. Sulatycky. – Text: electronic // *Mine Water Environ.* – 2015. – Vol. 34. – P. 162–180. – URL: https://www.researchgate.net/publication/270566876_Environmentally_Hazardous_Boron_in_Gold_Mine_Tailings_Timmins_Ontario_Canada (дата обращения: 08.06.2019).
39. Лисицын, А. Е. Минеральное сырье. Бор: справочник / А. Е. Лисицын, Р. Н. Моисеева. – Москва: АОЗТ Геоинформмарк, 1997. – 47 с. – Текст: непосредственный.
40. Helvacı, C. Occurrence of rare borate minerals: Veatchite-A, tunellite, teruggite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey / C. Helvacı. – Text: electronic // *Mineral. Deposita.* – 1984. – Vol. 19. – P. 217–226. – URL: https://www.researchgate.net/publication/257937247_Helvaci_C_1984_Occurrence_of_rare_borate_minerals_Veatchite-A_tunellite_teruggite_and_cahnite_in_the_Emet_borate_deposit_Turkey_Mineral_Deposita_Vol_19_217-226 (дата обращения: 04.04.2017).
41. Manchuk, J. G. Estimating Stable Measured Values and Detecting Anomalies in Groundwater Geochemistry Time Series Data Across the Athabasca Oil Sands Area, Canada / J. G. Manchuk, J. S. Birks, C. N. McClain. – Text: direct // *Nat Resour Res.* – 2021. – Vol. 30. – P. 1755–1779.
42. Gündođdu, M. N. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of zeolite deposits associated with borates in the Bigadiç, Emet and Kirka Neogene lacustrine basins, western Turkey / Gündođdu M. N., Yalçın H., Temel A. – Text: electronic // *Mineral. Deposita.* – 1996. – Vol. 31. – P. 492–513. – URL: https://www.researchgate.net/publication/227047706_Geological_mineralogical_and_geochemical_characteristics_of_zeolite_deposits_associated_with_borates_in_the_Bigadi_Emet_and_Kirka_Neogene_lacustrine_basins_western_Turkey (дата обращения: 04.04.2017).

43. Stamatakis, M. G. The geochemistry of Boron-rich groundwater of the Karlovassi Basin, Samos Island, Greece / M. G. Stamatakis, E. P. Tziritis, N. Evelpidou. – Text: electronic // Cent. Eur. J. Geosci. – 2009. – Vol. 1. – P. 207–218. – URL: https://www.researchgate.net/publication/235800921_The_geochemistry_of_Boron_rich_groundwater_of_the_Karlovassi_Basin_Samos_Island_Greece (дата обращения: 04.04.2017).
44. Koç, Ş. Geochemistry of Kestelek colemanite deposit, Bursa, Turkey / Ş. Koç, Ö. Kavrazlı, İ. Koçak İ. – Text: electronic // J. Earth Sci. – 2017. – Vol. 28. – P. 63–77. – URL: https://www.researchgate.net/publication/303404585_Geochemistry_of_Kestelek_colemanite_deposit_Bursa_Turkey (дата обращения: 04.12.2018).
45. Comboni, D. High-pressure behaviour and phase stability of $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_6(\text{OH})_{10}\cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ (meyerhofferite) / D. Comboni, F. Pagliaro, G. D. Gatta. – Text: electronic // Phys Chem Minerals. – 2020. – Vol. 47. – P. 50. – URL: https://www.researchgate.net/publication/345810447_High-pressure_behaviour_and_phase_stability_of_Ca2B6O6OH102H2O_meyerhofferite (дата обращения: 04.05.2021).
46. Аяган, Б. Г. Казахстан. Национальная энциклопедия / Б. Г. Аяган. – Алматы, Казахстан: Главная редакция «Казак энциклопедиясы», 2005. – Т. 2. – С. 467. – ISBN 9965-9746-3-2. – URL: https://web.archive.org/web/20190925041428/https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Kazakhstan_National_encyclopedia_%28ru%29_-_Vol_2_of_5_%282005%29.pdf (дата обращения: 04.12.2018). – Текст: электронный.
47. Zhang, Y. Sample preparation for isotopic determination of boron in clay sediments / Y. Zhang, Y. Xiao, Y. Ma. – Text: electronic // Chin. J. Geochem. – 2013. – Vol. 32. – P. 203–211. – URL: https://www.researchgate.net/publication/257705287_Sample_preparation_for_isotopic_determination_of_boron_in_clay_sediments (дата обращения: 04.12.2018).

48. Castaldi, P. X-ray Diffraction and Thermal Analysis of Bauxite Ore-Processing Waste (Red Mud) Exchanged with Arsenate and Phosphate / P. Castaldi, M. Silveti, S. Enzo. – Text: electronic // *Clays Clay Miner.* – 2011. – Vol. 59. – P. 189–199. – URL: https://www.researchgate.net/publication/258489109_X-ray_Diffraction_and_Thermal_Analysis_of_Bauxite_Ore-Processing_Waste_Red_Mud_Exchanged_with_Arsenate_and_Phosphate (дата обращения: 24.10.2019).
49. Kameda, T. Effect of the specific surface area of MgO on the treatment of boron and fluorine / T. Kameda, Y. Yamamoto, S. Kumagai. – Text: electronic // *Appl Water Sci.* – 2020. – Vol. 10. – P. 104. – URL: https://www.researchgate.net/publication/340608821_Effect_of_the_specific_surface_area_of_MgO_on_the_treatment_of_boron_and_fluorine (дата обращения: 24.05.2021).
50. Youssef, D. H. Distribution of Boron in Some Egyptian Aquatic Environments / D. H. Youssef. – Text: electronic // *Journal of Oceanography.* – 2003. – Vol. 59. – P. 537–544. – URL: https://www.researchgate.net/publication/226281659_Distribution_of_Boron_in_Some_Egyptian_Aquatic_Environments (дата обращения: 24.10.2019).
51. Kurt Albayrak, Z. N. The use of boron waste clay to improve the geotechnical properties of a high plasticity clay / Z. N. Kurt Albayrak, E. Turan. – Text: electronic // *Arab J Geosci.* – 2021. – Vol. 14. – P. 1002. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-use-of-boron-waste-clay-to-improve-the-of-a-Albayrak-Turan/747e656400b7e0f00fd4312c1952b80906200e18> (дата обращения: 04.12.2018).
52. Çelebi, E. E. Boron recovery from montmorillonite clay waste using sequential leaching followed by cooling crystallization techniques / E. E. Çelebi, M. S. Öncel. – Text: electronic // *Arab J Geosci.* – 2021. – Vol. 14. – P. 817. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Boron-recovery-from-montmorillonite-clay-waste-by-%C3%87elebi->

%C3%96ncel/f91c70ef34fdb5d4d8fad9329204c946989d8a93 (дата обращения: 07.08.2021).

53. Büyükbuğ, A. An Attempt to Minimize the Cost of Extracting Lithium from Boron Clays Through Robust Process Design / A. Büyükbuğ, G. Köksal. – Text: electronic // Clays Clay Miner. – 2005. – Vol. 53. – P. 301–309. – URL: https://www.researchgate.net/publication/249899826_An_attempt_to_minimize_the_cost_of_extracting_lithium_from_boron_clays_through_robust_process_design (дата обращения: 04.04.2017).
54. Işık, G. Boron removal with microcosm constructed wetlands (MCWs) with *Carex divisa* for treating contaminated river water / G. Işık, Ç. Saz, O. C Türker. – Text: electronic // Arab J Geosci. – 2020. – Vol. 13. – P. 541. – URL: https://www.researchgate.net/publication/342439719_Boron_removal_with_microcosm_constructed_wetlands_MCWs_with_Carex_divisa_for_treating_contaminated_river_water (дата обращения: 05.02.2021).
55. Rehman, F. Boron contamination in groundwater at a sewage waste disposal facility near Jeddah, Saudi Arabia / F. Rehman, T. Cheema. – Text: electronic // Environ Earth Sci. – 2017. – Vol. 76. – P. 218. – URL: https://www.researchgate.net/publication/314262690_Boron_contamination_in_groundwater_at_a_sewage_waste_disposal_facility_near_Jeddah_Saudi_Arabia (дата обращения: 24.10.2019).
56. Tut Haklıdır, F. S. Prediction of geothermal originated boron contamination by deep learning approach: at Western Anatolia Geothermal Systems in Turkey / F. S. Tut Haklıdır, M. Haklıdır. – Text: electronic // Environ Earth Sci. – 2020. – Vol. 79. – P. 180. – URL: https://www.researchgate.net/publication/340502141_Prediction_of_geothermal_originated_boron_contamination_by_deep_learning_approach_at_Western_Anatolia_Geothermal_Systems_in_Turkey (дата обращения: 24.05.2021).
57. Fernandes, P. Application of nitrogen and boron isotopes for tracing sources of anthropogenic contamination in Monforte-Alter do Chão aquifer system, Portugal. Sustain / P. Fernandes. – Text: electronic // Water Resour. Manag. –

2019. – Vol. 5. – P. 249–266. – URL: https://www.researchgate.net/publication/326364634_Application_of_nitrogen_and_boron_isotopes_for_tracing_sources_of_anthropogenic_contamination_in_Monforte-Alter_do_Chao_aquifer_system_Portugal (дата обращения: 21.04.2021).
58. Rufaut, C. G. Geocology of ecosystem recovery at an inactive coal mine site, New Zealand / C. G. Rufaut, D. Craw. – Text: electronic // *Environ Earth Sci.* – 2010. – Vol. 60. – P. 1425–1437. – URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-009-0278-z?error=cookies_not_supported&code=187e3fba-68e8-431f-a4d3-2cbeb7e466fc (дата обращения: 24.10.2019).
59. Kerndorff, H. Effects of natural attenuation processes on groundwater contamination caused by abandoned waste sites in Berlin / H. Kerndorff [et al]. – Text: electronic // *Environ Geol.* – 2008. – Vol. 55. – P. 291–301. – URL: https://www.researchgate.net/publication/225155369_Effects_of_natural_attenuation_processes_on_groundwater_contamination_caused_by_abandoned_waste_sites_in_Berlin (дата обращения: 24.10.2019).
60. Reed, E. M. Modeling anthropogenic boron in groundwater flow and discharge at Volusia Blue Spring (Florida, USA) / E. M. Reed, D. Wang, S. J. Duranceau. – Text: electronic // *Hydrogeol J.* – 2017. – Vol. 25. – P. 91–101. – URL: https://www.researchgate.net/publication/306924966_Modeling_anthropogenic_boron_in_groundwater_flow_and_discharge_at_Volusia_Blue_Spring_Florida_USA (дата обращения: 24.10.2019).
61. Statom, R. A. Temporal changes in leachate chemistry of a municipal solid waste landfill cell in Florida, USA / R. A. Statom G. D. Thyne, J. E. McCray. – Text: electronic // *Env Geol.* – 2004. – Vol. 45. – P. 982–991. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=6520787> (дата обращения: 24.10.2019).
62. Giménez Forcada E. Contributions of boron isotopes to understanding the hydrogeochemistry of the coastal detritic aquifer of Castellón Plain, Spain / E. Giménez Forcada, I. Morell Evangelista. – Text: electronic // *Hydrogeol J.* – 2008. – Vol. 16. – P. 547–557. – URL:

https://www.researchgate.net/publication/227120605_Contributions_of_boron_isotopes_to_understanding_the_hydrogeochemistry_of_the_coastal_detritic_aquifer_of_Castellon_Plain_Spain (дата обращения: 24.10.2019).

63. Позин, М. Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) / М. Е. Позин. – 4-е изд., испр. – Ленинград: Химия, 1974. – 792 с. – Текст: непосредственный.
64. Ткачев, К. В. Технология неорганических соединений бора / К. В. Ткачев, Ю. С. Плышевский. – Ленинград: Химия, 1983. – 208 с. – Текст: непосредственный.
65. Цыпин, Е. Ф. Информационные методы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / Е. Ф. Цыпин. – Екатеринбург: УГГУ, 2015. – 206 с. – Текст: непосредственный.
66. Абрамов, А. А. Химия флотационных систем / А. А. Абрамов, С. Б. Леонов, М. М. Сорокин. – Москва: Недра, 1982. – 312 с. – Текст: непосредственный.
67. Литвинцев, Э. Г. Рентгенолюминесцентная сепарация боросиликатных руд / Э. Г. Литвинцев, М. Л. Гафт, В. И. Ермоленко. – Текст: непосредственный // Обогащение руд. – 1985. – № 4. – С. 55–61.
68. Литвинцев, Э. Г. Методические особенности люминесцентного обогащения руд / Э. Г. Литвинцев, Б. С. Горобец, А. В. Вальщиков. – Текст: непосредственный // Обогащение руд. – 1987. – № 3. – С. 35–39.
69. Гафт, М. Л. Люминесцентная сепарация датолитовой руды / М. Л. Гафт, Э. Г. Литвинцев, В. А. Рассулов // Материалы научно-технической конференции 30-летия НПО «Бор». – Дальнегорск, 1976. – С. 33–35. – Текст: непосредственный.
70. Литвинцев, Э. Г. Люминесцентная сепарация неметаллического сырья / Э. Г. Литвинцев, Б. С. Горобец, А. А. Рогожин. – Текст: непосредственный // Горный журнал. – 1998. – № 3. – С. 50–54.
71. Ерёмин, Н. И. Неметаллические полезные ископаемые: учебное пособие / Н. И. Ерёмин. – Москва: Изд-во Московского университета: Академкнига, 2007. – 458 с. – Текст: непосредственный.

- 72.Василькова, Н. Н. Об изменении датолитсодержащих пород в зоне гипергенеза / Н. Н. Василькова, В. И. Кузьмин. – Текст: непосредственный // Геология рудных месторождений. – 1961. – № 6. – С. 68–71.
- 73.Губин, С. Л. Флотация магнетитовых концентратов катионными собирателями / С. Л. Губин, В. М. Авдохин. – Текст: непосредственный // Горный журнал. – 2006. – № 7. – С. 80–84.
- 74.Элжиркаев, Р. А. Разработка метода управления качеством борной кислоты / Р. А. Элжиркаев, Н. П. Какуркин. – Текст: непосредственный // Успехи в химии и химической технологии. – 2013. – Том XXVII, № 7. – С. 132–135.
- 75.Русина, В. В. Минеральные вяжущие вещества на основе многотоннажных промышленных отходов: учеб. пособие / В. В. Русина. – Братск: БрГУ, 2007. – 224 с. – Текст: непосредственный.
- 76.Health Effects Support Document for Boron U. S. Environmental Protection Agency Office of Water (4304T) Health and Ecological Criteria Division / EPA Document Number EPA-822-R-08-002. – Washington, DC, 2008. – 136 p. – Text: electronic.
- 77.СанПиН 1.2.3685-21 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: издание официальное: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021; введен 29.01.2021. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560Ю> (дата обращения: 24.03.2021).
- 78.Беус, А. А. Геохимия окружающей среды / А. А. Беус, Л. И. Грабовская, Н. В. Тихонова. – Москва: Недра, 1976. – 248 с. – Текст: непосредственный.
- 79.Богданов, О. С. Вопросы теории и технологии флотации / О. С. Богданов, А. К. Поднек, В. Я. Хайнман. – Ленинград, 1959. – № 124. – 392 с. – (Труды Института «Механобр»). – Текст: непосредственный.

80. Гордиенко, П. С. Возможности использования продуктов автоклавной обработки борогипса в строительной отрасли / П. С. Гордиенко, С. Б. Ярусова, А. В. Козин. – Текст: непосредственный // Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации: науч.-практ. конф. с междунар. участием (Дальнегорск, 26–27 мая 2016 г.): сб. ст. / под ред. Н. В. Лисичкиной. – Владивосток: ДВФУ, 2016. – С. 48–59. – ISBN 978-5-7444-3852-4.
81. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства: учебник / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – 3-е изд., перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1979 г. – Москва: Эколит, 2011. – 480 с. – ISBN 978-5-4365-0029-4. – Текст: непосредственный.
82. Гаев, А. Я. О возможности и необходимости превращения отходов во вторичные ресурсы / А. Я. Гаев, С. В. Миронов, В. О. Штерн. – Текст: непосредственный // Вестник ОГУ. – 2003. – № 3. – С. 134–136.
83. Гаев, А. Я. Охрана окружающей среды или введение в геоэкологию: учеб. пособие / А. Я. Гаев. – Пермь: Пермский университет, 2001. – 244 с. – ISBN 5-7944-0190-7. – Текст: непосредственный.
84. Ласкорин, Б. Н. Безотходная технология переработки минерального сырья. Системный анализ / Б. Н. Ласкорин, А. А. Барский, В. З. Пересец. – Москва: Недра, 1984. – 334 с. – Текст: непосредственный.
85. Пальгунов, П. П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, М. В. Сумароков. – Москва: Стройиздат, 1990. – 352 с. – (Охрана окружающей природной среды). – ISBN 5-274-004407. – Текст: непосредственный.
86. Ферсман, А. Е. Геохимия: в 4 т. / А. Е. Ферсман. – Ленинград: Госхимтехиздат, 1933–1939. – 4 т. – Текст: непосредственный.
87. Булатов, Б. Г. Перспективы использования результатов функционирования системы автоматизации производства стеновых изделий из фосфогипса / Б. Г. Булатов, И. В. Недосеко. – Текст: электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1.

- С. 302–308. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_28905566_20510842.pdf (дата обращения: 05.03.2021).
88. Бабков, В. В. Опыт производства и применения гипсовых вяжущих в Республике Башкортостан / В. В. Бабков, И. В. Недосеко, Р. Н. Мирсаев. – Текст: непосредственный // Гипс и его применение: II Всерос. науч.-практ. конф.: сб. трудов. – Уфа, 2004. – С. 196–200.
89. Гаитова, А. Р. Наноструктурные аспекты гидратации и твердения гипсовых и гипсошлаковых композиций на основе двуводного гипса / А. Р. Гаитова, И. И. Ахмадулина, Т. В. Печенкина, А. Н. Пудовкин, И. В. Недосеко. – Текст: электронный // Строительные материалы. – 2014. – № 1–2. – С. 46–51. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21231068_33842751.pdf (дата обращения: 05.01.2021).
90. Мирсаев, Р. Н. Структурообразование и твердение прессованных композиций на основе дигидрата сульфата кальция / Р. Н. Мирсаев, В. В. Бабков, И. В. Недосеко, С. С. Юнусова. – Текст: электронный // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 6–9. – URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33378431&selid=12830599> (дата обращения: 05.01.2021).
91. Булатов, Б. Г. Разработка структуры системы управления производством стеновых изделий на основе гипсосодержащих отходов / Б. Г. Булатов, И. В. Недосеко. – Текст: электронный // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2. – С. 109–112. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22299241_13618295.pdf (дата обращения: 05.01.2021).
92. Булатов, Б. Г. Система управления процессом переработки многотоннажного гипсосодержащего отхода производства минеральных удобрений фосфогипса в готовые изделия / Б. Г. Булатов, И. В. Недосеко. – Текст: электронный // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 69–73. – URL:

https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23963949_95458199.pdf (дата обращения: 05.01.2021).

93. Ostroukh, A. V. Automated information-analytical system for dispatching control of transportation concrete products / N. E. Surkova, Y. E. Nuruev, I. V. Nedoseko, M. M. Fattakhov, A. S. Salov. – Text: direct // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – No. 19. – P. 40063–40067.
94. Гордиенко, П. С. Получение силикатов кальция из отходов переработки борсодержащего минерального сырья / П. С. Гордиенко, С. Б. Ярусова, В. А. Колзунов, Ю. В. Сушков, А. И. Чередниченко, Г. Ф. Крысенко, Н. Н. Баринов. – Текст: электронный // Химическая технология. – 2011. – № 3. – С. 142–147. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16319950> (дата обращения: 05.04.2020).
95. Гордиенко, П. С. Получение неорганических материалов из фторсодержащего сырья / П. С. Гордиенко, В. А. Колзунов, Л. Г. Зорина. – Текст: непосредственный // Принципы и процессы создания неорганических материалов: междунар. симпозиум (Хабаровск, 12–15 апреля, 2006 г.): сб. материалов / Тихоокеанский государственный университет. – Хабаровск: ТОГУ, 2006. – С. 113–114.
96. Крысенко, Г. Ф. Изучение процесса сернокислотного разложения флюорита в присутствии диоксида кремния / Г. Ф. Крысенко, П. С. Гордиенко, Д. Г. Эпов. – Текст: электронный // Журнал неорганической химии. – 2009. – Т. 54, № 12. – С. 1958–1961. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12989064> (дата обращения: 15.09.2020).
97. Бутт, Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов: учебник / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – Москва: Высшая школа, 1980. – 472 с. – Текст: непосредственный.
98. Зимакова, Г. А. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе: учеб.-метод. пособие / Г. А. Зимакова, Е. А. Каспер, О. С. Бочкарева. – Тюмень: ТюмГАСУ, 2014. – 89 с. – Текст: непосредственный.

99. Чаус, К. В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций: учебник / К. В. Чаус, Ю. Д. Чистов, Ю. В. Лабзина. – Москва: Стройиздат, 1988. – 448 с. – ISBN 5-274-00640-X. – Текст: непосредственный.
100. Бейсембаева, Л. К. Борсодержающие химические мелиоранты из техногенных отходов / Л. К. Бейсембаева, О. И. Пономаренко, А. Омарова, М. Р. Танашева. – Текст: непосредственный // Вестник Казахского национального университета. Серия химическая. – 2011. – № 4. – С. 38–41.
101. Левковский, И. А. Производственный потенциал утилизации отходов сернокислотного производства: специальность 080200.68 «Менеджмент»: автореф. дис. на соискание академической степени магистр / Левковский Илья Александрович; Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – Комсомольск-на-Амуре, 2015. – 24 с. – Текст: непосредственный.
102. Об инвестициях в развитие цементной промышленности и об утилизации при производстве цемента отходов других отраслей экономики, в том числе бытовых. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901892828> (дата обращения: 25.08.2019).
103. Patent 3960715 United States, Int. Cl.² B 03 D 1/02. Cationic froth flotation process: № 431,292: filed. 07.01.1974: publ. 01.01.1976 / Dicks Mason L., Morrow James B. – 8 p. – Text: direct.
104. Patent 3425548 United States, Int. Cl.² B 03 d 1/00. Flotation process: № 508,841: filed. 19.11.1965: publ. 04.02.1969 / Douglas H. Fenske, Lynn L. McMurray. – 2 p. – Text: direct.
105. Patent 3480143 United States, Int. Cl.² B 03 d 1/08, 1/00. Flotation of siliceous ores: № 531,789: filed. 04.03.1966: publ. 25.11.1969 / Abraham Mitzmager, Chanuch Gorin, Kiriath Haim. – 3 p. – Text: direct.

106. Patent 4995965 United States, Int. Cl.⁵ B 03 D 1/01; B 03 D 1/02. Calcium carbonate beneficiation: № 427,154: filed. 25.11.1986: publ. 26.02.1991 / Joseph L. Mehaffey, Thomas C. Newman. – 5 p. – Text: direct.
107. Patent 5261539 United States, Int. Cl.² B 03 D1/01; B 03 D1/02; (IPC1-7): B 03 D1/01; B 03 D1/02. Flotation process for purifying calcite: № 209,166: filed. 07.10.192: publ. 16.11.1993 / Bill A. Wang, Samuel S. – 5 p. – Text: direct.
108. Кройчук, Л. А. Использование отходов, содержащих сульфат кальция / Л. А. Кройчук. – Текст: непосредственный // Строительные материалы. – 2001. – № 6. – С. 47–51.
109. Подлuzский, Е. Я. Безотходная технология переработки гипсосодержащих отходов / Е. Я. Подлuzский. – Текст: непосредственный // Строительные материалы. – 1990. – № 11. – С. 32–37.
110. Патент 2210540 Российская Федерация, МПК C01F 11/46. Способ получения гипсового вяжущего: № 2002113559/12: заявл. 27.05.2002: опубл. 20.08.2003 / Мясников Н. Ф., Бершаков Н. Г., Козлов В. П., Наумов Е. Г., Шевченко Н. Н. – 10 с. – Текст: непосредственный.
111. Патент 2182113 Российская Федерация, МПК C 01 B 33/12 B 03 C 7/00. Способ обработки кварцсодержащего сырья: № 2000130352/12: заявл. 04.12.2000: опубл. 10.05.2002 / Тиунов Ю. А., Черняховский Л. В., Разуваев Э. А., Наумов В. В., Взяткин В. А. – 10 с. – Текст: непосредственный.
112. Патент 2353578 Российская Федерация, МПК C01B 33/12. Способ обогащения кварцевого сырья: № 2007127504/15: заявл. 17.07.2007: опубл. 27.04.2009 / Тиунов Ю. А., Черняховский Л. В. – 13 с. – Текст: непосредственный.
113. Киндалюк, Е. Г. Выщелачивание шламов борогипса / Е. Г. Киндалюк, В. С. Семлёв, Н. Б. Кондриков, В. А. Реутов. – Текст: непосредственный // Химия и химическое образование: IV Междунар. симпозиум (Владивосток, 16–19 мая 2007 г.): сб. трудов. – Владивосток, 2007. – С. 182.
114. Гордиенко, П. С. Получение силикатов кальция из отходов переработки борсодержащего минерального сырья / П. С. Гордиенко, С. Б.

- Ярусова, В. А. Колзунова, Ю. В. Сушков, А. И. Чередниченко. – Текст: непосредственный // Химическая технология. – 2011. – № 3. – С. 142–147.
115. Гордиенко, П. С. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты с получением материалов для стройиндустрии / П. С. Гордиенко, А. В. Козин, С. Б. Ярусова, И. Г. Згиблый. – Текст: электронный. – Текст: электронный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S4–9. – С. 60–66. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23737836_76885812.pdf (дата обращения: 15.11.2019).
116. Bulut, G. Celestite-gypsum separation by flotation / G. Bulut, S. Atak, E. Tuncer. – Text: direct // The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science. – 2008. – Vol. 47. – P. 119–126.
117. Matsuno, T. Separation of Gypsum by the Flotation Process / T. Matsuno, M. Kadota, Y. Ishiguro. – Text: direct // Bulletin of the Society of Salt Science. – 1958. – Vol. 12. – P. 73–78.
118. ГОСТ 18307–78. Сажа белая. Технические условия = White soot. Specification: государственный стандарт Союза ССР: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 3 февраля 1978 г. № 364: введен впервые: дата введения 1979-01-01 / разработан Министерством химической промышленности СССР. – Москва: Изд-во стандартов, 1998. – 19 с. – Текст: непосредственный.
119. Гордиенко, П. С. Способ получения белой сажи из отходов борного производства / П. С. Гордиенко, Е. В. Пашнина, С. Б. Ярусова, И. Г. Жевтун. – Текст: непосредственный // Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации: науч.-практ. конф. с междунар. участием (Дальнегорск, 26–27 мая 2016 г.): сб. материалов / под ред. Н. В. Лисичкиной. – Владивосток: ДВФУ, 2016. – С. 43–48. – ISBN 978-5-7444-3852-4.

120. ГОСТ 4013–82. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия = Gypsum and gypsum-anhydrite rock for the manufacture of binders. Specifications: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 27 сентября 1982 г. № 220: дата введения 1983-07-01: переиздан июль 2008 г. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 6 с. – Текст: непосредственный.
121. Методика количественного химического анализа. Ускоренные химические методы определения порообразующих элементов в горных породах и рудах: отраслевая методика III категории точности / Министерство природных ресурсов РФ; Федеральный научно-методический Центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья «ВИМС»; Научный совет по аналитическим методам. – Москва, 2005. – 57 с. – (Химические методы. Методика № 138-X). – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/bdc/4293753734.pdf> (дата обращения: 05.10.2021). – Текст: электронный.
122. Малышев, В. П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента / В. П. Малышев; АН КазССР, Хим.- металлург. ин-т. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 35 с. – Текст: непосредственный.
123. Накамото, К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений / К. Накамото; пер. с англ. А. И. Григорьева, под ред. Ю. А. Пентина. – Москва: Мир, 1966. – 411 с. – Текст: непосредственный.
124. ГОСТ Р ИСО 14688-1–2017. Геотехнические исследования и испытания. Идентификация и классификация грунтов. Часть 1. Идентификация и описание = Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil. Part 1: Identification and description, IDT: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по

техническому регулированию и метрологии от 17 ноября 2017 г. № 1761-ст: дата введения 2020-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 13 с. – Текст: непосредственный.

125. Долгих, О. Л. Использование реагента перластана как альтернативы олеиновой кислоте при флотации флюорита / О. Л. Долгих. – Текст: электронный // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2012. – № 9. – С. 20–26. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_18042389_57084329.pdf (дата обращения: 07.08.2017).
126. Состояние обогащения флюоритовых руд / А. В. Фатьянов, С. Б. Леонов, Л. В. Каташин. – Москва: Цветметанформация, 1972. – 67 с. – Текст: непосредственный.
127. Саматова, Л. А. Перспективы применения олеил-саркозинатов в собирательных смесях при флотации бедных шеелитовых руд / Л. А. Саматова, Е. Д. Шепета. – Текст: непосредственный // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2012): междунар. совещание (Петрозаводск, 10–14 сентября 2012 г.): сб. трудов / Институт геологии КарНЦ РАН; Институт проблем комплексного освоения недр РАН. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – 391 с.
128. Хан, Г. А. Флотационные реагенты и их применение / Г. А. Хан, Л. И. Габриелова, Н. С. Власова. – Москва: Недра, 1986. – 271 с. – Текст: непосредственный.
129. Хатькова, А. Н. Исследование флотирuemости борогипса перластаном / А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина, С. А. Патеюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 160–171. – Текст: непосредственный.
130. Хатькова, А. Н. Борогипс: минеральный состав, технологии переработки / А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина, С. А. Патеюк, В. Г. Черкасов // Вестник геонаук. – 2020. – № 3. – С. 22–27. – Текст: непосредственный.

131. Khatkova, A. L. Use of borogypsum as secondary raw / A. Khatkova, L. Nikitina, **S. Pateyuk** // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (23–27 September 2019). – Belgorod, 2019. – P. 90–93. – Текст: непосредственный.
132. **Патеюк, С. А.** Выделение кремниевого концентрата из отходов производства борной кислоты / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина. – Текст: непосредственный // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: XVII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. ст.: в 3 ч. – Чита: ЗабГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 165–169.
133. **Патеюк, С. А.** Разработка технологии флотационного выделения кремниевого концентрата из отходов производства борной кислоты / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина. – Текст: непосредственный // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017): материалы Междунар. науч. конф. (Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.). – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – С. 408–411.
134. **Патеюк, С. А.** Способ переработки отходов производства борной кислоты для выделения кремниевого концентрата / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина. – Текст: непосредственный // Наука в России: перспективные исследования и разработки: сборник материалов I Всерос. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2017 – С. 342–345.
135. **Патеюк, С. А.** Переработка отходов производства борной кислоты / С. А. Патеюк. – Текст: непосредственный // Молодежная научная весна: материалы XLV науч.-практ. конф. молодых исследователей ЗабГУ: в 4 ч. – Чита: ЗабГУ, 2018. – С. 181–184.
136. **Патеюк С. А.** Изучение процесса флотации борогипса / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина. – Текст: непосредственный // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: XVIII

- Международ. науч.-практ. конф.: сб. ст.: в 3 ч. – Чита: ЗабГУ, 2018. – Ч. 2. – С. 136–139.
137. **Патеюк, С. А.** Исследование флотуемости борогипса перластаном / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина. – Текст: непосредственный // Новые классы флотационных реагентов и современные методы оценки их адсорбции на микро- и наночастицах минералов (Плаксинские чтения – 2018): материалы международ. симпозиума в рамках в рамках XXIX Международного конгресса по обогащению полезных ископаемых (Москва, 15–21 сентября 2018 г.). – Москва, 2018. – С. 54–57.
138. **Патеюк, С. А.** Технология переработки отходов производства борной кислоты / С. А. Патеюк, А. Н. Хатькова, Л. Г. Никитина. – Текст: непосредственный // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения – 2019): материалы международного совещания (Иркутск, 9–14 сентября 2019 г.). – Иркутск: Изд-во ООО «Репроцентр А1», 2019. – С. 221–224.
139. Хатькова, А. Н. Экспериментальное определение оптимальных технологических параметров флотационного обогащения отходов выщелачивания даолитовых концентратов / А. Н. Хатькова, Л. В. Шумилова, С. А. Патеюк. – Текст: непосредственный // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2021): материалы международной конференции (Владикавказ, 4–8 октября 2021 г.). – Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ), 2021. – С. 502–504.
140. Ефимова, А. И. Инфракрасная спектроскопия наноструктурированных полупроводников и диэлектриков: специальный физический практикум / А. И. Ефимова. – Москва: Физический факультет МГУ. – 2014. – 41 с. – URL: http://vega.phys.msu.ru/files/phys/books/efimova_specpracticum.pdf (дата обращения: 05.06.2018). – Текст: электронный.

141. ЕКО-CHEM bis: [сайт]. – URL: <http://www.ekochem-bis.pl/component/attachments/download/28> (дата обращения: 07.06.2021). – Текст : электронный.
142. Лобанов, Н. Я. Развитие методов экономической оценки минеральных ресурсов / Н. Я. Лобанов, М. А. Невская. – Текст: электронный // Записки Горного Института. – 2013. – Т. 201. – С. 55–58. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-metodov-ekonomicheskoy-otsenki-mineralnyh-resursov/viewer> (дата обращения: 01.09.2019).
143. Нормативы численности рабочих обогатительных фабрик предприятий горнодобывающей промышленности. – Москва: ОНИ НИИ труда, 1983. – 52 с. – Текст: непосредственный.
144. СНиП 11-01-95. Строительные нормы и правила Российской Федерации: разработан Главным управлением проектирования и инженерных изысканий Минстроя России: введен: 30.06.1995. – Москва: Минстрой России, 1995. – 34 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9053289> (дата обращения: 01.09.2019). – Текст : электронный.
145. Балабанов, И. Т. Анализ и планирование финансов хозяйствующего субъекта / И. Т. Балабанов. – Москва: Финансы и статистика, 1998. – 110 с. – ISBN 5-279-01827-9. – Текст: непосредственный.
146. О продолжении экономического эксперимента по взиманию платы за сбросы токсичных загрязняющих веществ в окружающую природную среду: Приказ Государственного Комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 15.04.1998 г. № 216 // КонтурНорматив: [сайт]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=27895> (дата обращения: 01.09.2019). – Текст : электронный.
147. Организация, планирование и управление производством в горной промышленности / под ред. Н. Я. Лобанова. – Москва: Недра, 1989. – 516 с. – (Высшее образование). – ISBN 5-247-00900-2. – Текст: непосредственный.

Приложение А

Графики зависимостей извлечения и содержания диоксида кремния от различных факторов флотации

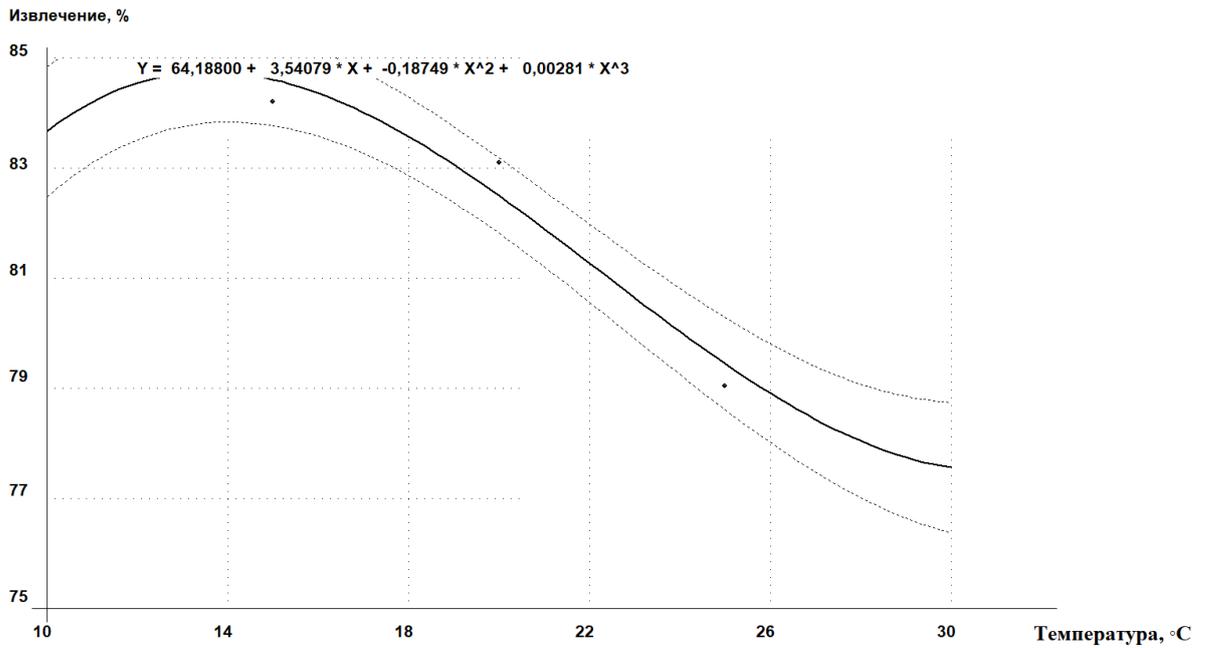


Рисунок А.1 – Зависимость извлечения диоксида кремния от температуры флотации

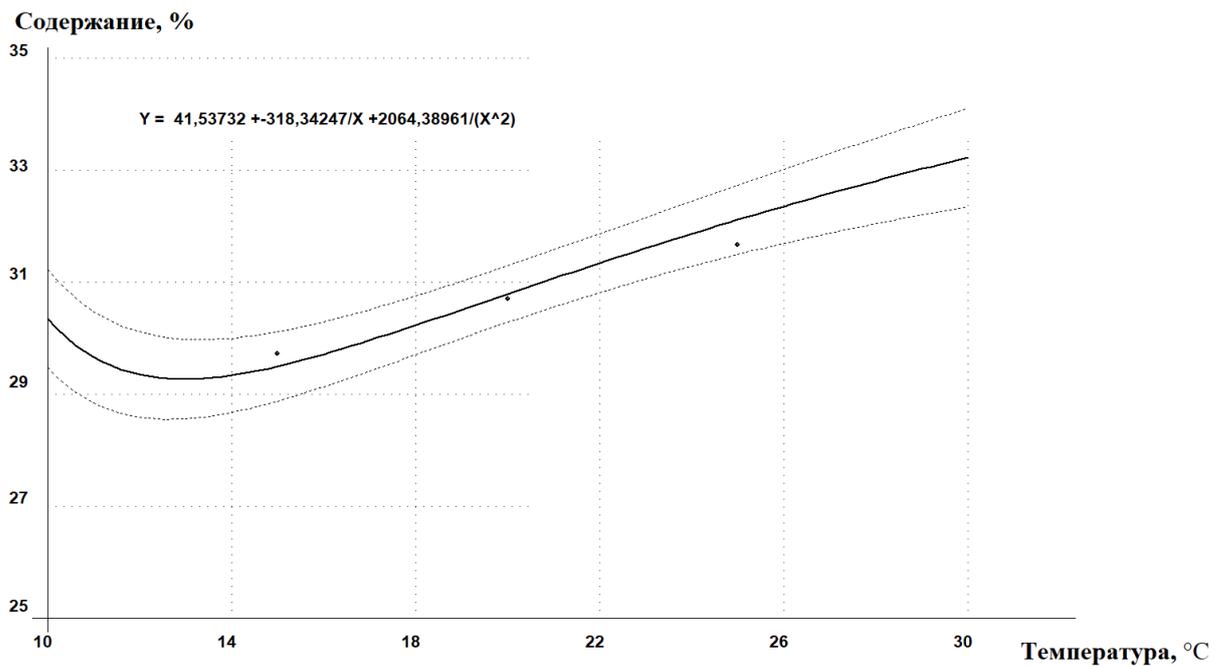


Рисунок А.2 – Зависимость содержания диоксида кремния от температуры флотации

Извлечение, %

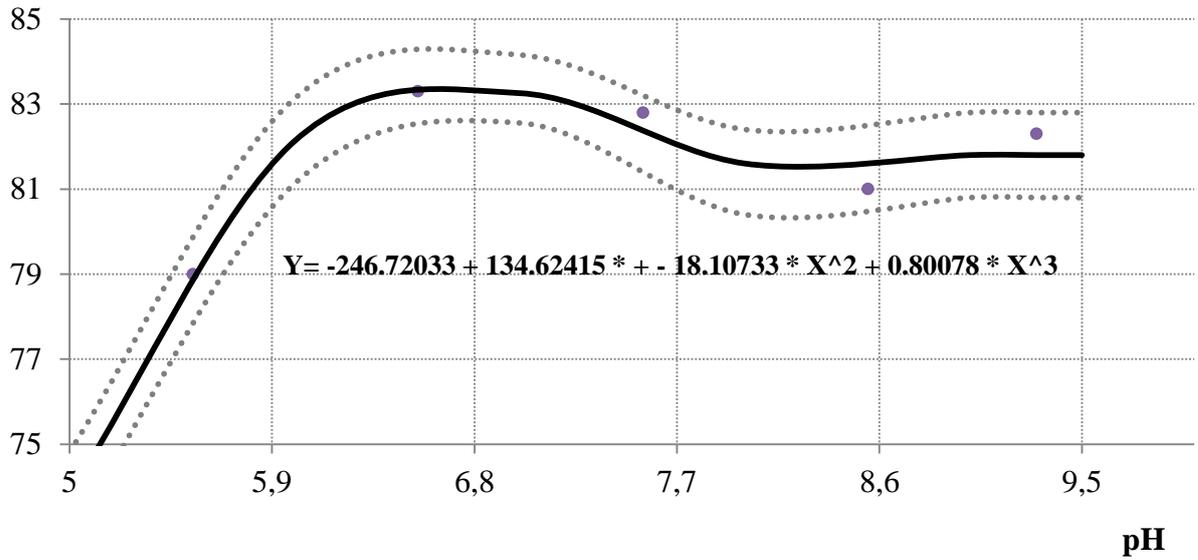


Рисунок А.3 – Зависимость извлечения диоксида кремния от pH

Содержание, %

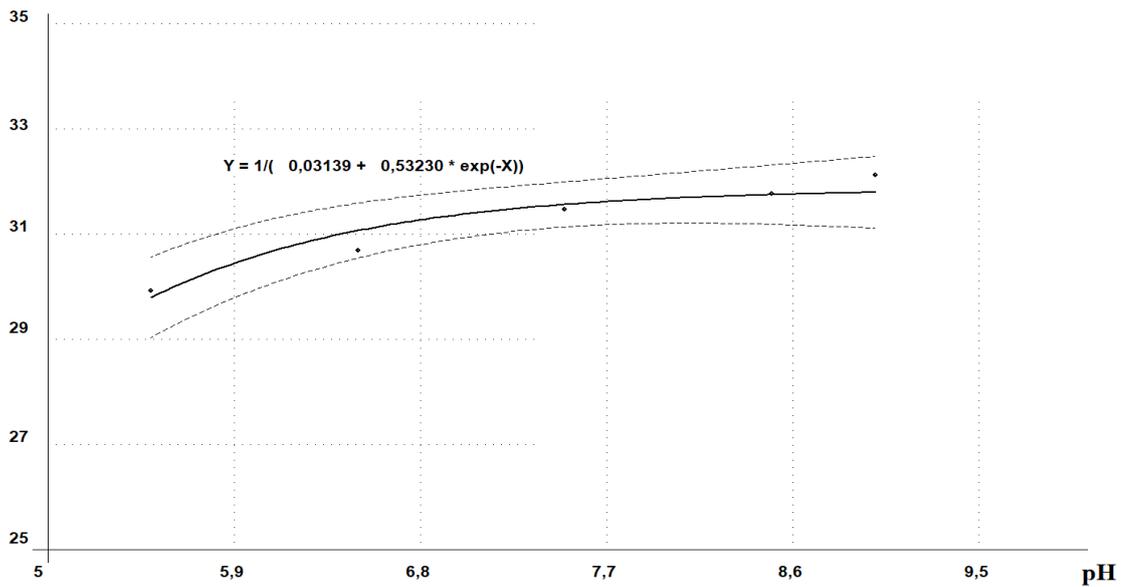


Рисунок А.4 – Зависимость содержания диоксида кремния от pH

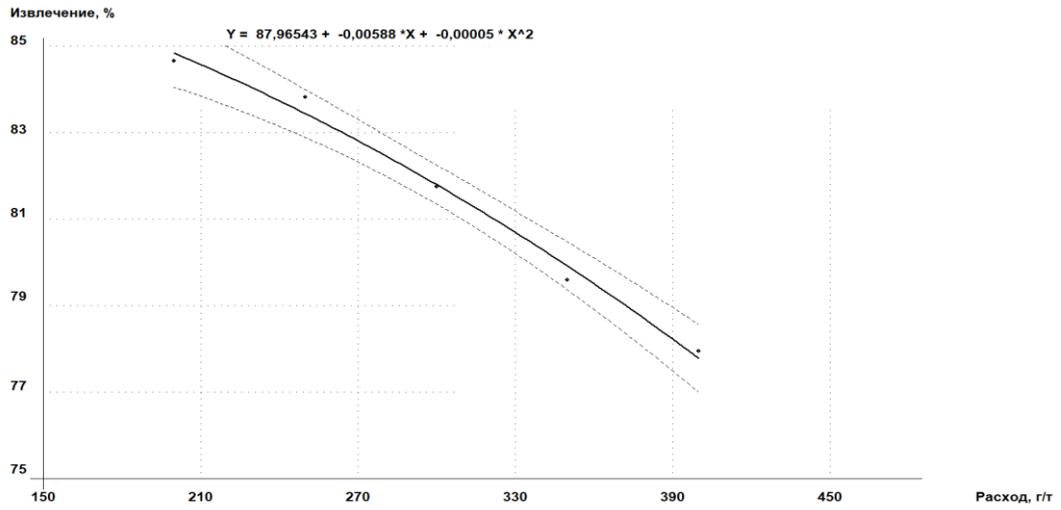


Рисунок А.5 – Зависимость извлечения диоксида кремния от расхода олеилсаркозината натрия

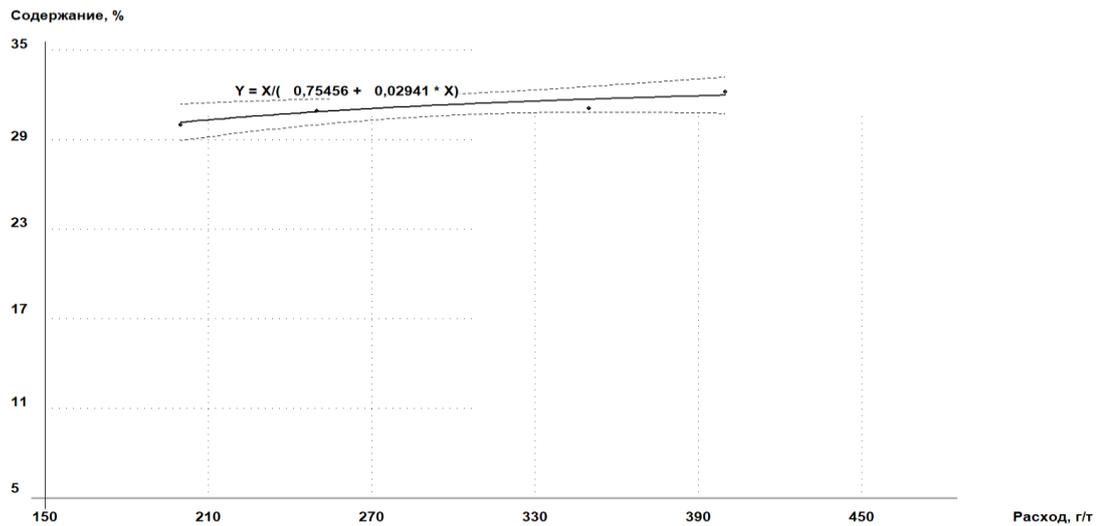


Рисунок А.6 – Зависимость содержания диоксида кремния от расхода олеилсаркозината натрия

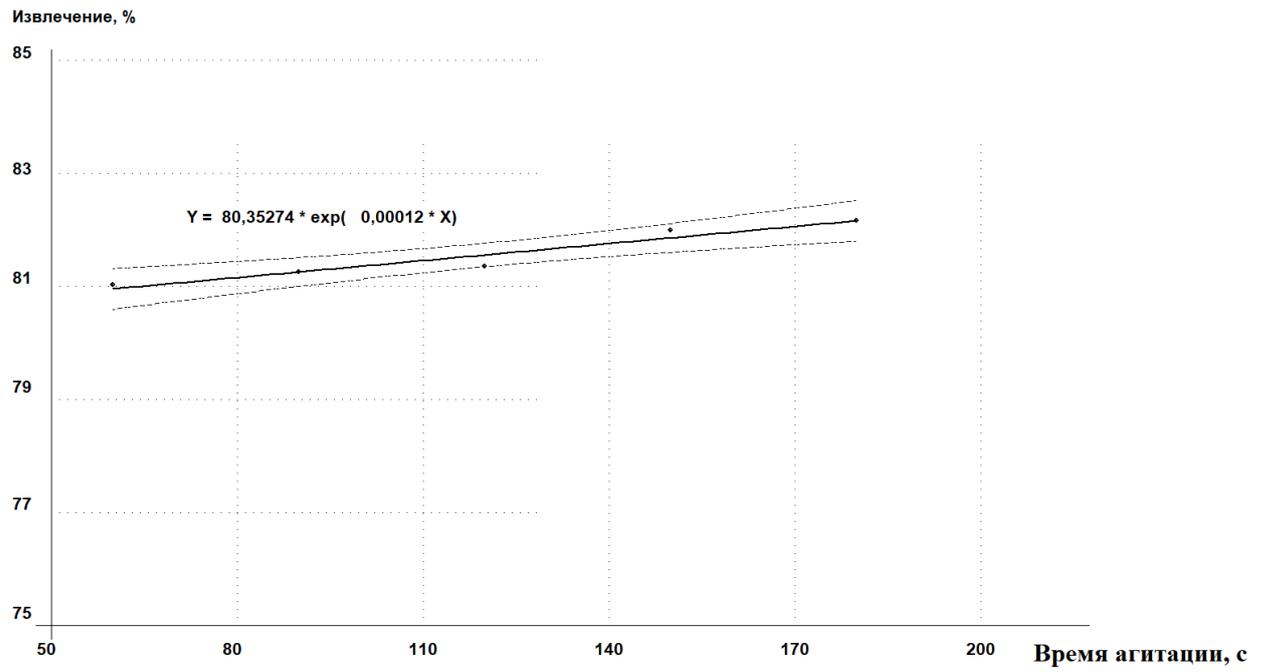


Рисунок А.7 – Зависимость извлечения диоксида кремния от времени агитации

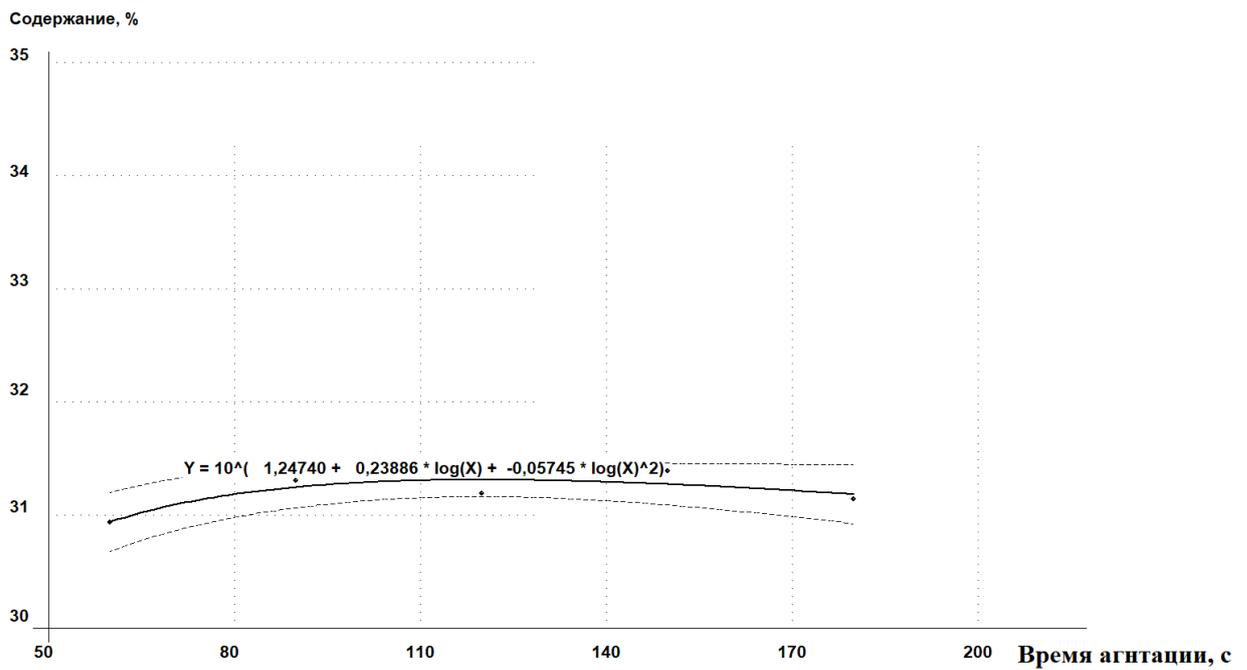


Рисунок А.8 – Зависимость содержания диоксида кремния от времени агитации

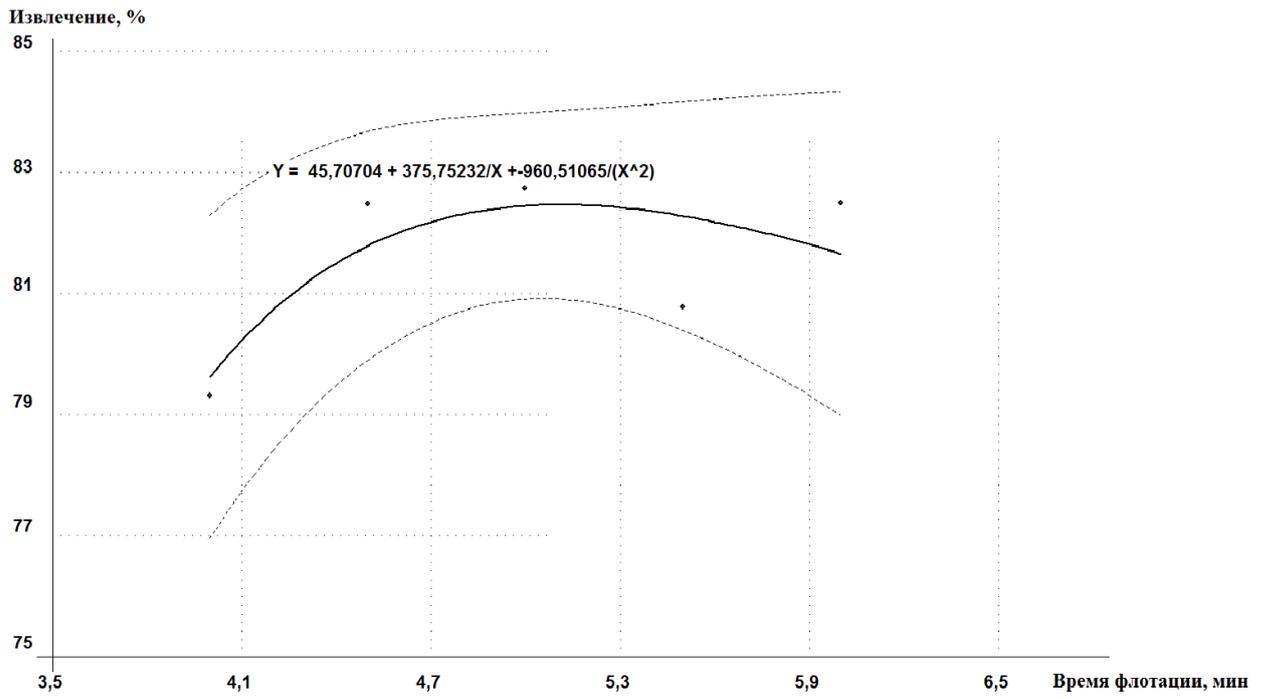


Рисунок А.9 – Зависимость извлечения диоксида кремния от времени флотации

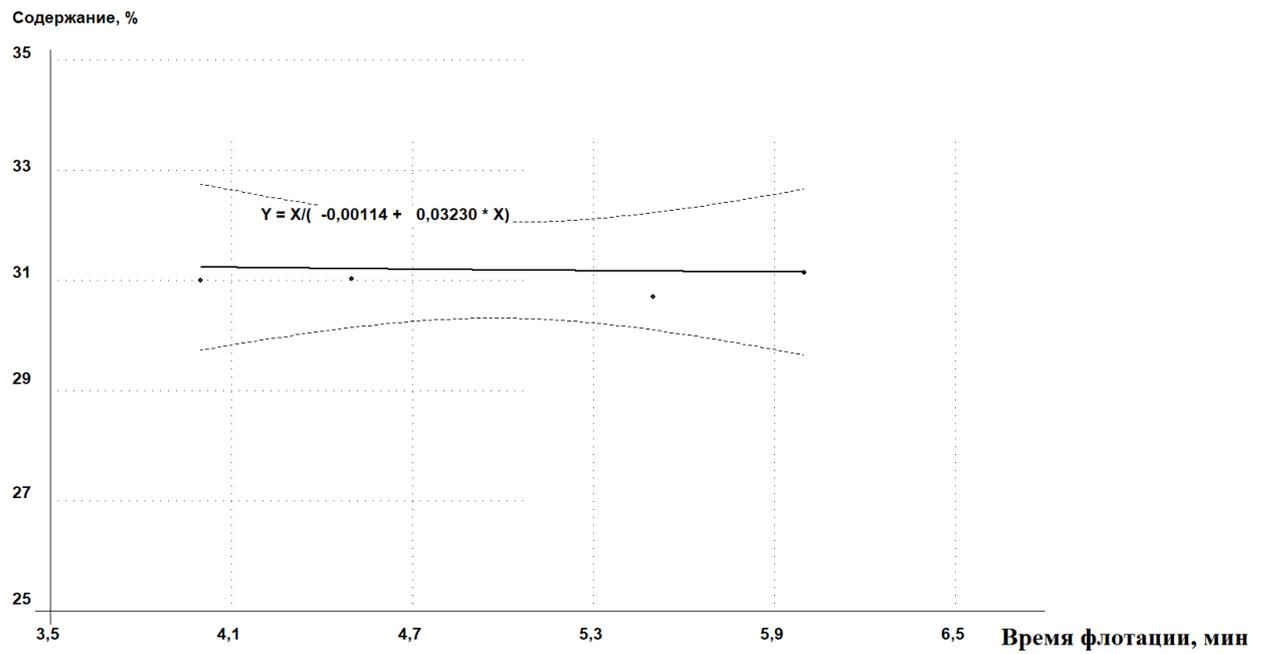


Рисунок А.10 – Зависимость содержания диоксида кремния от времени флотации

