

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Забайкальский государственный университет»

(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

На правах рукописи



Размахнин Константин Константинович

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ
УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ
НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНОГО И КОМПЛЕКСНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД
ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Специальность 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант: доктор технических наук
профессор, Хатькова Алиса Николаевна

Чита - 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1 Современное состояние уровня развития науки, техники и технологии управления горнопромышленными отходами на основе применения цеолитсодержащих пород	18
1.1. Анализ нормативно-правовой базы и опыта применения концепций управления отходами горной промышленности.....	18
1.2 Оценка уровня развития технологий переработки, обезвреживания и утилизации отходов горной промышленности с применением сорбентов.....	34
1.3 Анализ технологий обогащения, модификации и комплексной переработки цеолитсодержащих пород	47
1.4 Выбор и обоснование объектов исследования.....	58
1.5 Выводы по главе 1.....	59
Глава 2 Развитие научно-методологических основ создания инновационных ресурсосберегающих технологий управления горнопромышленными отходами на основе применения цеолитсодержащих пород	63
2.1 Разработка Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород.....	63
2.2 Обоснование рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород при управлении техногенным минеральным сырьем.....	78
2.3 Комплексная оценка вещественного состава и технологических свойств цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья.....	84
Выводы по главе 2.....	101
Глава 3 Разработка и исследование альтернативных вариантов рудоподготовки цеолитсодержащих пород на основе направленных акустических, энергетических и термических воздействий	104

3.1 Влияние ультразвукового воздействия на эффективность отделения цеолитов от минералов-примесей.....	106
3.2 Влияние предварительного обжига на физико-химические и технологические свойства цеолитсодержащих пород.....	113
3.3 Влияние мощных наносекундных электромагнитных импульсных воздействий на изменение технологических свойств цеолитсодержащих пород.....	119
3.4 Воздействие ускоренными электронами на технологические свойства цеолитсодержащих пород.....	133
Выводы по главе 3.....	140
Глава 4 Научное обоснование и разработка альтернативных вариантов технологий переработки и химической модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья	142
4.1 Научно-методические подходы и принципы обоснования и разработки технологических схем обогащения и переработки цеолитсодержащих пород.....	142
4.2 Технологии химической модификации цеолитсодержащих пород	176
4.2.1 Исследование химической устойчивости вмещающих минералов цеолитсодержащих пород.....	176
4.2.2 Деалюминирование в технологиях модификации цеолитсодержащих пород.....	184
4.2.3 Моделирование технологических процессов химической модификации цеолитсодержащих пород.....	188
4.2.4 Алгоритм создания технологии химической модификации цеолитсодержащих пород.....	194
Выводы по главе 4.....	204
Глава 5 Разработка технологий управления горнопромышленными отходами на основе использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья.....	207

5.1 Природные цеолиты в системе комплексного использования отходов горного производства.....	207
5.2 Разработка инновационных технологий обезвреживания, рекультивации и захоронения техногенных отходов с применением цеолитсодержащих пород	213
5.2.1 Развитие технологий очистки сточных и оборотных вод с использованием природных цеолитов.....	215
5.2.2 Технологии рекультивации нарушенных земель на основе применения цеолитсодержащих пород	229
5.2.3 Применение цеолитсодержащих пород для очистки отходящих газов от SO ₂	246
5.2.4 Технологии захоронения токсичных и радиоактивных отходов на основе использования природных цеолитов.....	251
5.2.5 Технологии регенерации и утилизации цеолитсодержащих пород....	254
5.2.6 Результаты реализации Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород.....	256
Выводы по главе 5.....	263
Глава 6 Эколого-экономический эффект от внедрения технологий рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород.....	265
6.1 Экономическая оценка внедрения инновационных методов рудоподготовки, обогащения и модификации цеолитсодержащих пород в производственных условиях.....	268
6.2 Эколого-экономическая оценка применения цеолитсодержащих пород в технологиях управления горнопромышленными отходами.....	275
Выводы по главе 6.....	283
Заключение.....	284
Словарь терминов.....	289

Список литературы	291
Приложение А Нормативно-правовая база РФ по наилучшим доступным технологиям	335
Приложение Б Химический состав исходных и кислотоактивированных цеолитов Восточного Забайкалья	338
Приложение В Акт внедрения результатов диссертационной работы (Институт экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии)	342
Приложение Г Акт об использовании результатов диссертационной работы (ООО «Диатомовый комбинат»)	344
Приложение Д Акт о внедрении результатов диссертационной работы (Центральная научно-исследовательская лаборатория ПАО ППГХО)	346
Приложение Е Акт внедрения технологии обогащения цеолитсодержащих туфов в технико-экономический расчет НПВО «Цеолит»	348
Приложение Ж Акт о внедрении результатов диссертационной работы (ООО «Забайкалзолотопроект»)	349
Приложение З Акт о внедрении результатов диссертационной работы (ООО «Горный проектно-изыскательский научно-исследовательский институт» (ООО «Майнинг Про»))	350

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Интенсивное развитие горной промышленности сопровождается применением технологий, при которых образуется значительное количество техногенных отходов, как правило, не подлежащих утилизации и переработке. При этом происходит накопление значительных объемов отвальных пород и хвостов обогащения, что определяет возникновение серьезных экономических и экологических проблем в районах их размещения. Основное количество отвалов горных пород и хвостохранилищ, являющихся наследием эпохи периода 90-х и 2000-х гг., не имеют хозяйствующего субъекта, и в совокупности с вновь образованными отходами горнопромышленного комплекса наносят значительный ущерб окружающей среде.

Решение проблемы негативного влияния отходов горноперерабатывающей промышленности на окружающую среду лежит в плоскости использования эффективных инструментов управления техногенным сырьем, к которым относится внедрение наилучших доступных технологий (НДТ) и материалов, способных снизить содержание токсичных и радиоактивных элементов в отходах, предотвратить или существенно сократить количество выбросов пыли и газа от них, а также восстановить нарушенные за счет антропогенного воздействия земли, соблюдая при этом принципы сохранения минерально-сырьевых ресурсов, рациональности и комплексности их использования.

С точки зрения комплексности использования минерального сырья, одним из наиболее эффективных инструментов многоцелевого назначения при реализации мероприятий природоохранного характера являются сорбенты, обладающие набором необходимых свойств, в первую очередь адсорбционных. Одним из наиболее эффективных видов сорбентов являются цеолитсодержащие породы, доступные как по ресурсам, так и по стоимости. Уникальные сорбционные и ионообменные свойства природных цеолитов в полной мере могут эффективно использоваться в системах управления отходами горного производства.

В настоящее время цеолитсодержащие породы применяются в основном при закладке выработанного пространства (шахт, карьеров) с использованием пустых пород и минерального сырья хвостохранилищ, а также при отсыпке автодорог технического назначения. Потенциал природных цеолитов, с учетом их уникальных свойств, позволяет определить эффективные подходы к их применению в системах обращения с отходами горного производства для решения задач существенной минимизации и предотвращения негативного влияния техногенных образований на окружающую среду. К числу таких задач следует отнести очистку отходящих газов, сточных и оборотных вод, рекультивацию и консервацию хвостохранилищ и отвальных пород, а также захоронение токсичных и радиоактивных отходов. Вместе с тем основной причиной ограниченности применения цеолитсодержащих пород является относительно низкое качество минерального сырья (содержание минералов цеолита от 35 до 60 %) при значительных запасах, а также существующие требования промышленности к качеству природных цеолитов, в том числе гармонизированные с международными, и связанные с членством России в различных торговых организациях, в соответствии с которыми содержание вмещающих примесей в цеолитовых продуктах должно составлять не более 1–3 %. Подавляющая часть запасов цеолитсодержащих пород России представлена средне- и низкокачественным рядовыми породами, содержащими высокий процент вмещающих примесей, основными из которых являются кварц, полевые шпаты и оксиды железа, что также ограничивает возможность широкого применения данного вида сырья. В этой связи возникает необходимость разработки эффективных технологий обогащения и модификации цеолитсодержащих пород с целью получения цеолитовых продуктов, которые позволят более рационально подойти к решению многогранной проблемы комплексного использования, утилизации, обезвреживания и переработки отходов горного производства, с одной стороны, и созданию технологий управления физико-химическими свойствами природных цеолитов для получения продукции высокого качества – с другой.

Вопросам развития теоретических основ обогащения, переработки, модификации, применения природных сорбентов в технологиях управления горнопромышленными отходами и другим аспектам этой сложной проблемы посвящены труды многих выдающихся отечественных ученых: В. А. Чантурия, Т. С. Юсупова, А. Н. Хатьковой, В. П. Мязина, Ю. В. Павленко, И. Ж. Бунина, В. В. Милютина, В. А. Никашиной, В. И. Смола, И. И. Ивановой, С. А. Иванова, В. Г. Литвиненко, А. И. Везенцева, В. М. Мухина, А. А. Фомкина, Н. Ф. Челищева, Н. В. Кельцева, С. Н. Хаджиева, Т. З. Лыгиной, О. Б. Котовой, И. В. Глазуновой, Д. А. Шушкова, Ю. А. Убаськиной, Н. Д. Шукакаидзе, R. M. Barrer, Carmine Colella, Şükrü Uçkun и др.; научно-методические подходы к созданию ресурсосберегающих и малоотходных технологий переработки горнопромышленных отходов разрабатывались И. Н. Плаксиным, О. С. Богдановым, С. Б. Леоновым, В. А. Бочаровым, П. М. Соложенкиным, Г. В. Седельниковой, И. В. Шадруновой, Э. В. Адамовым, Е. В. Зелинской, В. П. Мязиным, Ю. П. Морозовым, Т. З. Лыгиной, Л. В. Шумиловой, Н. Л. Медяник, Н. Н. Ореховой, О. Е. Горловой; эколого-экономическая оценка использования и утилизации горнопромышленных отходов рассмотрена в трудах известных ученых: Д. Р. Каплунова, А. П. Островского, Ю. В. Овешникова, В. А. Овсейчука, В. Ф. Протасова и др.; развитие идей комплексного использования минерального сырья отражено в работах А. Е. Ферсмана, М. И. Агошкова, Н. В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, В. А. Чантурия, Б. Н. Ласкорина, Д. Р. Каплунова, В. П. Мязина, Л. Ф. Наркелюна, А. Н. Хатьковой, В. Ф. Офицера; вопросам оценки негативного воздействия техногенного сырья на компоненты окружающей природной среды посвящены труды В. И. Вернадского, А. В. Богданова, Я. Ю. Блиновской, М. А. Сапрыкина, А. Я. Гаева, Ю. М. Нестеренко, В. Я. Захарова, А. П. Бутолина, В. М. Герасимова, О. Л. Качор, Л. М. Фалейчик и многих других.

Существующие практические подходы к обогащению и модификации свойств цеолитсодержащих пород свидетельствуют о невысоких в целом показателях эффективности применяемых мер. Основная сложность при обогащении данного вида минерального сырья состоит в низкой контрастности

минералов цеолитов и вмещающих примесей при их тонком взаимопрорастании, что определяет необходимость применения наряду с традиционными методами обогащения наилучших доступных технологий рудоподготовки, а также совершенствования применяемого оборудования и определения рациональных параметров ведения процессов переработки.

Разработанные технологии повышения качества цеолитсодержащих пород позволяют существенно расширить направления их применения. В связи с этим возникает необходимость дальнейшего развития научных и методологических основ разработки технологий обогащения цеолитсодержащих пород и модификации их свойств с целью повышения комплексности их использования и рационального применения в мероприятиях по управлению горнопромышленными отходами.

В настоящее время разработаны некоторые отдельные теоретические положения и существует ряд технических решений в области создания технологий обращения с техногенным сырьем на основе применения сорбентов. На эффективность данных мер, как правило, влияет дороговизна применения предлагаемых технологических решений, слабая организация системы управления отходами, а также отсутствие механизма стимулирования по внедрению наилучших доступных технологий. Наиболее рациональным при этом является создание условий, при которых существенное снижение воздействия на окружающую среду будет для недропользователей экономически целесообразным и одновременно позволит решить проблему загрязнения территорий горнопромышленного комплекса. Решение данного вопроса возможно при использовании эффективных инструментов управления отходами горного производства, определяющих формирование единой устойчивой системы обращения с техногенным сырьем за счет применения доступных и эффективных технологий его переработки, обезвреживания, консервации, рекультивации, утилизации и захоронения, в том числе на основе применения природных цеолитов высокого качества. В этой связи актуальность выполнения данной диссертационной работы предопределяется необходимостью научного

обоснования и разработки концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного применения цеолитсодержащих пород.

Цель работы: развитие научно-методологических основ рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород на основе наилучших доступных технологий их обогащения, переработки, модификации и применения для обезвреживания, рекультивации и захоронения горнопромышленных отходов.

Задачи исследований:

– анализ современного состояния уровня развития теоретических основ и практических перспектив применения цеолитсодержащих пород при обезвреживании, рекультивации и захоронении горнопромышленных отходов;

– разработка Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья;

– комплексное изучение вещественного состава и технологических свойств цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья;

– выбор методов направленного воздействия на цеолитсодержащие породы и разработка технологических схем их глубокого обогащения и модификации;

– выявление закономерностей изменения фазового состава, физико-механических и физико-химических свойств цеолитсодержащих пород при использовании методов направленного воздействия и модификации;

– разработка и обоснование параметров технологий обезвреживания, рекультивации и захоронения техногенных отходов с применением природных цеолитов;

– эколого-экономическая оценка эффективности разработанных технологий обогащения цеолитсодержащих пород и управления отходами горноперерабатывающей промышленности.

В качестве **объектов исследований** использованы монтмориллонит-клиноптилолитсодержащие породы Шивыртуйского, клиноптилолитсодержащие породы Холинского, шабазитсодержащие породы Талан-Гозагорского и

морденит-клиноптилолитсодержащие породы Бадинского месторождений, лежалые хвосты обогатительной фабрики по переработке оловянно-полиметаллических руд, сточные воды и отходящие газы горнопромышленных предприятий.

Предмет исследования – рациональное и комплексное использование цеолитсодержащих пород в технологиях управления горнопромышленными отходами.

Идея работы: базируется на комплексном учете взаимосвязи вещественного состава и физико-химических свойств цеолитсодержащих пород и методов управления их качеством для направленного использования в различных отраслях промышленности.

Методология и методы исследования.

Информационный анализ, патентный поиск, оценка существующих научных разработок в области обогащения и модификации цеолитсодержащих пород, их применения в технологиях управления горнопромышленными отходами, определение физико-механических и физико-химических свойств цеолитсодержащих пород, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований с использованием термодинамического анализа, ИК-спектроскопии, рентгенографии, ЯМР- и EXAFS-спектроскопии, рентгеновской и мессбауэровской спектроскопии, электронной микроскопии, метода визуализации и рендеринга виртуальных трехмерных молекулярных моделей цеолитов, методов планирования эксперимента, экспериментальных лабораторных методов исследования эффективности энергетических воздействий, физико-химических, физических и химических методов обогащения, рудоподготовки и модификации, определения концентрации пыли, скорости отрастания травяного покрова в грунте поверхности хвостохранилища, нефтеемкости и влагоемкости сорбентов, адсорбционной емкости цеолитов, методов контроля минерального, химического и фракционного состава цеолитсодержащих пород, продуктов обогащения, переработки и модификации, количественного определения цеолитов и вмещающих примесей,

полупромышленных испытаний технологии обогащения цеолитсодержащих пород, статистических методов анализа и обработки экспериментальных данных, методов математического моделирования процессов обогащения, переработки и модификации цеолитсодержащих пород, эколого-экономический анализ.

Научная новизна:

1. Разработана Концепция управления отходами горного производства на основе рационального и комплексного применения цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья и составлена классификация инструментов ее реализации, базирующаяся на внедрении наилучших доступных технологий обогащения, переработки, обезвреживания, захоронения и рекультивации техногенного сырья.

2. Выявлены процессы существенного изменения физико-химических свойств входящих в состав цеолитсодержащих пород минералов посредством энергетического, термического и химического воздействия, приводящие к разупрочнению и дезинтеграции пород, усилению магнитных свойств входящих в их состав железосодержащих примесей и адсорбционных свойств цеолитов.

3. Научно обоснован принцип разработки технологий обогащения цеолитсодержащих пород, базирующийся на принципе рационального сочетания технологических операций направленных воздействий (акустических, энергетических, химических, термических) с традиционными методами обогащения, позволяющий получать высококачественную минеральную продукцию с содержанием цеолитов до 99 %, при необходимости модифицированную под определенное направление использования в различных отраслях промышленности.

4. На основе научно-методологического подхода к обоснованию технологии направленного изменения адсорбционных свойств природных цеолитов создана модель и разработан алгоритм выбора технологии химической модификации цеолитсодержащих пород, основанной на выявлении химической устойчивости и степени разложения входящих в состав пород минералов, а также на определении содержания оксида алюминия в исходном сырье и в продуктах модификации.

5. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ, обезвреживания сточных и оборотных вод горнопромышленных предприятий от радионуклидов и нефтепродуктов за счет применения цеолитсодержащих пород, обеспечивающая существенное снижение негативного воздействия на окружающую среду и сохранение минерально-сырьевой базы.

Практическая значимость:

– разработана технология обогащения цеолитсодержащих пород с применением направленных методов воздействия (ультразвуковая обработка, ускоренные электроны, мощные электромагнитные импульсы, обжиг);

– разработана комбинированная технология химической модификации цеолитсодержащих пород, основанная на их обогащении и деалюминировании;

– на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород разработаны технологии рекультивации (консервации) хвостохранилищ, захоронения токсичных и радиоактивных отходов, очистки отходящих дымовых газов, обезвреживания сточных и оборотных вод горнопромышленных предприятий от радионуклидов и нефтепродуктов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концепция управления горнопромышленными отходами на основе использования цеолитсодержащих пород базируется на применении наилучших доступных технологий их рудоподготовки, обогащения и химической модификации, соответствующих критериям рациональности, комплексности и энергоэффективности, и обеспечивает получение высококачественной цеолитовой продукции для использования в различных отраслях промышленности и снижения негативного воздействия техногенного сырья на окружающую среду.

2. Сложный минеральный состав, тонкое взаимопрораствание цеолитов и породообразующих минералов с вмещающими примесями, нестабильность электромагнитных и электрических свойств минералов, входящих в состав цеолитсодержащих пород, определяют их трудную обогатимость и необходимость разработки эффективных технологий рудоподготовки, основанных

на применении акустических, энергетических и термических воздействий с целью направленного повышения контрастности и активации физико-химических процессов на их поверхности и в объеме.

3. Управление качеством цеолитсодержащих пород и получение цеолитовой продукции с высокой адсорбционной способностью достигается сочетанием традиционных методов обогащения с гидрохимической модификацией, обеспечивающим эффективное удаление вмещающих примесей, сопровождающееся увеличением диаметра входных окон цеолитов до 0,6–0,75 нм.

4. Эффективность применения технологий обезвреживания, очистки, рекультивации и захоронения горнопромышленных отходов определяется рациональным и комплексным использованием цеолитсодержащих пород, базирующимся на их адсорбционных свойствах с учетом достигаемых эколого-экономических показателей.

Достоверность научных рекомендаций, положений и выводов обоснована корректностью поставленных задач, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, достаточным и представительным количеством проб и натурных исследований, соответствием математических и физических моделей реальным процессам, происходящим при обогащении и химической модификации цеолитсодержащих пород, использованием апробированных методик определения режимных параметров обогащения и переработки с применением методов математической статистики.

Реализация результатов работы. Результаты исследований использованы в проектно–конструкторской деятельности и технико-экономическом расчете (обосновании) ООО «Диатомовый комбинат» (акт внедрения от 13.11.2012 г.), при разработке учебных материалов в процессе реализации проекта Tempus 543962-1-2013-1-DE-Tempus-JPHEC (Учебное пособие: Комплексное устойчивое управление отходами. Metallургическая промышленность. – Москва: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 494 с.), при реализации проекта РНФ 22-17-00040 «Научное обоснование и разработка экологически

чистых безотходных технологий переработки природного и техногенного минерального сырья» (2022-2023 гг.), внедрены в научно-исследовательскую деятельность ЦНИЛ ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (акт внедрения от 05.02.2013 г.), Института экологических технологий Вьетнамской академии наук (акт внедрения от 11.03.2013 г.), в технико-экономическое обоснование деятельности НПВО «Цеолит» (акт внедрения от 06.09.2004 г.), в проектную и научно-исследовательскую деятельность ООО «Горный проектно-изыскательский научно-исследовательский институт», ООО «Майнинг Про» (акт внедрения от 25.02.2021 г.), в проектную деятельность ООО «Забайкалзолотопроект» (акт внедрения от 03.02.2022 г.). Новые технологические решения защищены 6 патентами РФ на изобретения.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на Международных конференциях «Плаксинские чтения - 2002, 2010, 2011, 2013, 2016, 2021 гг.», на Кулагинских чтениях (Чита, 2007, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2021 гг.), на 6-ой Всероссийской цеолитной конференции с Международным участием (МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011), на Международной научно-практической конференции «Технические науки - основа современной инновационной системы» (Йошкар-Ола, 2012 г.), на IV Международной научной конференции «Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья» (Белгород, 2012 г.), на научных семинарах Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии (Ханой, 2013 г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии в науке о Земле и горном деле» (Нальчик, 2012 г.), на Международном совещании «Конгресс обогатителей» (Москва, 2013 г.), на семинаре «Состояние и проблемы сферы обращения с производственными отходами в основных секторах промышленности в Сибирском регионе и Приморском крае» (Чита, 2014 г.), на Международной научно-практической конференции «Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений» (Казань, 2015 г.), на V Российской конференции «Актуальные

проблемы нефтехимии» (Звенигород, 2016 г.), на круглом столе «Партнерство государства, бизнеса и науки как решающий фактор кадровой модернизации российской экономики в сфере комплексного устойчивого управления отходами» (Москва, Государственная Дума, 2016 г.), на Международном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» Недропользование (Новосибирск, 2019 г.), на Всероссийской научной конференции с Международным участием «Проблемы развития горных наук и научно-технические решения освоения месторождений полезных ископаемых» (Новосибирск, 2020 г.), Международном симпозиуме «Неделя горняка» (МИСиС, 2022 г.).

Работа основана на результатах научно-исследовательских работ, выполненных автором в Забайкальском государственном университете в рамках реализации Стратегии социально-экономического развития Забайкальского края на период до 2030 года, утвержденной постановлением Правительства Забайкальского края № 586 от 26.12.2013 года, целевой программы «Цеолиты Забайкалья на 2013-2025 гг.», по государственному заданию Минобрнауки РФ №1.1.12 (Разработка ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий переработки цеолитсодержащего сырья с целью расширения областей его практического применения), проекту Tempus (543962-1-2013-1-DE-Tempus-JPHES), проекту РНФ 22-17-00040 «Научное обоснование и разработка экологически чистых безотходных технологий переработки природного и техногенного минерального сырья» (2022-2023 гг.).

Публикации по работе. По тематике диссертационной работы опубликовано 93 научные работы, из них: 2 монографии, 16 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК России, 11 – в изданиях, входящих в базы цитирования WoS и Scopus, 58 – в прочих изданиях, 6 патентов РФ на изобретения.

Личный вклад автора состоит в выдвижении научной идеи, формулировке проблемы, цели и задач, в разработке новых методик, сравнительной оценке и обобщении результатов теоретических и экспериментальных исследований, математической обработке данных, обосновании принципов разработки технологий

переработки, обогащения и модификации цеолитсодержащих пород с последующим их использованием в мероприятиях по управлению горнопромышленными отходами, проведении технико-экономических и эколого-экономических расчетов.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, словаря терминов, списка литературы из 383 наименований и 8 приложений, включает 102 рисунка и 47 таблиц.

Автор выражает благодарность и признательность научному консультанту д-ру техн. наук, профессору, проректору по научной и инновационной работе ЗабГУ А. Н. Хатьковой, зав. отделом Горной экологии ИПКОН РАН, д-ру техн. наук, профессору И. В. Шадруновой, вед. науч. сотруднику отдела Проблем комплексного извлечения минеральных компонентов из природного и техногенного сырья, д-ру техн. наук И. Ж. Бунину, зав. минералогическим отделом ВИМС, д-ру геол.-минерал. наук Е. Г. Ожогиной, зав. лабораторией технологии минерального сырья Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, д-ру геол.-минерал. наук О. Б. Котовой, профессору ЗабГУ, д-ру техн. наук Л. В. Шумиловой, профессору ДВФУ, д-ру техн. наук Я. Ю. Блиновской, профессору кафедры ОПИ и ВС ЗабГУ В. П. Мязину, сотрудникам кафедры ОПИ и ВС ЗабГУ, профессору кафедры ОПИ и ООС им. С. Б. Леонова ИрННТУ, д-ру техн. наук Е. В. Зелинской, зав. лабораторией хроматографии радиоактивных элементов ИФХЭ РАН, д-ру хим. наук В. В. Милютину, профессору кафедры сопротивления материалов и механики ЗабГУ, д-ру техн. наук В. Г. Черкасову, вед. науч. сотруднику лаборатории обогащения полезных ископаемых и технологической экологии ИГД СО РАН, д-ру техн. наук В. И. Ростовцеву, руководству и сотрудникам ОАО «Диатомовый комбинат», директору института экологических технологий Вьетнамской Академии науки и технологии г-ну Нгуен Хоай Тьяу, д-ру техн. наук, профессору Т. В. Башлыковой, а также руководству компании «АТС-Иран» за помощь в проведении исследований, консультации и всестороннюю помощь.

1 Современное состояние уровня развития науки, техники и технологии управления горнопромышленными отходами на основе применения цеолитсодержащих пород

1.1 Анализ нормативно-правовой базы и опыта применения концепций управления отходами горной промышленности

Основной характеристикой эффективности процесса переработки минерального сырья, в том числе и горнопромышленных отходов, является применяемая при этом технология. Современные подходы к выбору тех или иных решений в данной сфере направлены в первую очередь на создание безотходных и малоотходных технологий. Впервые термин «безотходная технология» был применен в 1972 г. выдающимися советскими учеными И. В. Петряновым-Соколовым и Н. Н. Семеновым. В дальнейшем существенное развитие данное направление получило в трудах М. И. Агошкова, В. А. Чантурия, И. В. Шадруновой, В. П. Мязина и других выдающихся ученых. Вместе с тем принцип организации безотходного производства подразумевает использование сырья и энергии в замкнутом цикле, а идея малоотходной технологии заключается в приближении к нему технологического процесса и включает в себя ресурсосбережение, рациональное использование ресурсов и утилизацию отходов горного производства. В частности, М. И. Агошков определил процесс рационального и комплексного использования минерального сырья как полное извлечение всех ценных компонентов с помощью рационального сочетания различных аппаратов и методов [1]. На законодательном уровне понятия безотходных и малоотходных технологий в России впервые были закреплены в Федеральной целевой программе «Отходы», утвержденной постановлением Правительства РФ 13.09.1996 г. и направленной на реализацию норм и положений Закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

На международном уровне термин безотходной технологии был закреплен в 1984 г. декларацией семинара Европейской экологической комиссии при Организации Объединенных Наций. Малоотходное и безотходное производства в

горноперерабатывающей промышленности обеспечиваются в значительной степени устойчивым и эффективным управлением отходами.

В большинстве стран мира безопасное и устойчивое управление отходами горного производства представляет собой одну из важнейших задач в области окружающей среды. Как правило, целью обращения с отходами в горнопромышленной отрасли является разработка и реализация мер, направленных на соблюдение требуемой внутригосударственным и международным законодательством структуры системы способов обращения с отходами. К примеру, в Евросоюзе такая структура определяется Рамочной директивой ЕС по отходам, в соответствии с которой выделяют следующие главные направления: предотвращение образования отходов; подготовка для повторного использования; рециклинг; утилизация отходов; захоронение отходов [47; 48; 111; 154; 278]. Рекомендуемыми мерами для достижения обозначенных целей являются такие, как внедрение или модернизация технологий и производственных процессов, обеспечивающих минимизацию образования отходов либо получение менее вредных отходов для окружающей среды. Важным фактором является использование экономически обоснованных средств по борьбе с образованием отходов горнопромышленного комплекса с целью обеспечения рентабельности работы производственных предприятий.

В рамках «регуляторной гильотины», вступившей в силу с 01.01.2021 г., и затрагивающей достаточно широкий перечень нормативно-правовых документов (НПД) в сфере экологической деятельности горнопромышленных предприятий обновлена законодательная база в данной области. В частности, введено в действие Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий», устанавливающее в первую очередь критерии отнесения предприятий горной промышленности, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду и относящихся к областям применения наилучших доступных технологий, к объектам I категории. Также утвержден Приказ Минприроды России от 08.12.2020 г. № 1028 «Об утверждении Порядка учета в области

обращения с отходами», регламентирующий требования к горнопромышленным предприятиям в области обращения с отходами по предоставлению сведений о видах и составе образующихся и подлежащих учету отходов, в том числе размещенных, вновь образовавшихся, утилизированных и обезвреженных. Основными нормативно-правовыми документами в сфере паспортизации и отнесения отходов к определенным классам опасности являются: Приказ Минприроды России от 08.12.2020 г. № 1026 «Об утверждении порядка паспортизации и типовых форм паспортов отходов I–IV классов опасности» и Приказ Минприроды России от 08.12.2020 г. № 1027 «Об утверждении порядка подтверждения отнесения отходов I–V классов опасности к конкретному классу опасности». Вместе с тем одним из наиболее важных НПД является Приказ Минприроды России от 08.12.2020 г. № 1029 «Об утверждении порядка разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение», определяющий факт того, что нормативы образования отходов и лимиты на их размещение устанавливаются комплексным экологическим разрешением (КЭР), выдача которого осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере природопользования. Процедура и порядок лицензирования деятельности по обращению с отходами, в том числе и горнопромышленными, в настоящее время регламентированы Постановлением Правительства РФ от 26.12.2020 г. № 2290 «О лицензировании деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I–IV классов опасности». В целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду предприятиями горной промышленности введен в действие Приказ Минприроды России от 08.12.2020 г. № 1030 «Об утверждении Порядка проведения собственниками объектов размещения отходов, а также лицами, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду». Анализ проведенной «регуляторной гильотины» в России показал, что основные изменения законодательства в области обращения с отходами горной промышленности направлены на введение комплексных

экологических разрешений (КЭР), выдача которых соответствующими органами зависит в том числе от внедрения предприятиями наилучших доступных технологий (НДТ), перечисленных в информационно-технических справочниках, утвержденных, в свою очередь, распоряжением Правительства РФ от 31.10.2014 г. № 2178-р (в ред. распоряжений Правительства РФ от 29.08.2015 г. № 1678-р, от 30.12.2015 г. № 2765-р, от 07.07.2016 г. № 1444-р) и актуализированных в 2021 г. В этой связи важнейшим направлением в сфере управления отходами горной промышленности становится обязательное внедрение технологий, базирующихся на достижениях современной науки и техники. Нормативно-правовая база РФ по наилучшим доступным технологиям отражена в Приложении А.

Необходимо отметить, что для разработки и внедрения устойчивых эколого-экономических мер следует применять НДТ, обеспечивающие достижение малоотходного или безотходного производства, о чем прямо говорится в статье 10 закона РФ «Об отходах производства и потребления» [112].

НДТ, определяемые на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды (при условии наличия технической возможности ее применения), отраженные в Российском законодательстве об отходах, с течением времени будут изменяться под воздействием технического прогресса, экономических и социальных факторов [111; 112]. В настоящее время подавляющее число российских горнопромышленных компаний, за исключением наиболее крупных, предпочитают крайне редко использовать НДТ по обращению с отходами, в частности, это касается переработки отвалов пустых пород, хвостохранилищ, отработанных штабелей кучного выщелачивания, техногенных отходов, образовавшихся при разработке россыпных месторождений и т. д. В этой связи усложняется внедрение малоотходных и безотходных технологий в работу горноперерабатывающих предприятий, нацеленных на минимизацию затрат путем использования наиболее простых, относительно дешевых и не всегда надежных методов. Достаточно часто предприятия после завершения своей деятельности предпочитают процедуру банкротства проведению восстановительных работ и рекультивации, все это приводит к катастрофическим последствиям для окружающей среды, усугубляемой

во многих случаях уже имеющимся негативным заделом, доставшимся нашей стране после распада СССР, когда было остановлено огромное количество предприятий без проведения каких-либо природоохранных мероприятий.

Анализ применяемых систем управления техногенными отходами на основе НДТ в европейских странах (Великобритания, Германия, Финляндия, Франция, Нидерланды, Швеция, Австрия, Дания и др.) показал, что данные функциональные структуры имеют взаимозависимость используемых методов и учитывают управленческие, технические, экономические, нормативно-правовые и социальные аспекты [111; 154; 275].

Концепции управления отходами в странах Западной Европы, как правило, базируются на показателе степени использования вторичных ресурсов [282]. Данный показатель является интегральным и отражает количественное сокращение объема отходов, сопровождающееся повышением их качества (снижение радиоактивности и токсичности), а также количественное захоронение и консервация техногенного сырья высокого класса опасности (при невозможности переработки) [278]. Результаты анализа применяемых в России и странах Европейского Союза концепций безотходного производства в горнопромышленном секторе экономики представлены в таблице 1.1.1.

Основополагающими по данному направлению являются выпускаемые Европейской комиссией директивы, в частности, «К тематической стратегии по предотвращению и переработке отходов» от 27 мая 2003 г., «Обзор стратегии управления отходами в Европейском сообществе» от 30 июля 1997 г., а также «Отходы 21» [47; 273]. В результате проведенных реформ и усовершенствования нормативно-правовой базы уровень переработки вторичного сырья в странах ЕС достиг значений от 15 до 50 %, при этом лидерами в данном направлении являются Швеция, Дания, Австрия, Германия и Норвегия [154; 322; 325; 326; 338; 339].

Необходимо отметить, что основой управления отходами горной промышленности в Европейском Союзе является принцип «бери-производи-потребляй и утилизируй», который реализован в стратегии «ZW of Resources», основанной на интегрированном подходе к управлению техногенным сырьем,

энергией, материалами и человеческими ресурсами с целью перехода к экономике замкнутого цикла. При этом существующая дорожная карта ресурсоэффективной Европы, утвержденная в 2011 г., соответствует VII Программе действий по охране окружающей среды (7th EAP), в которой закреплены основные направления безотходных технологий: нулевые выбросы в воздух, воду, почву и т.д. (Zero emissions); организация «безотходной деятельности» на административном и производственном уровнях (ZW inactivities); так называемый «безотходный жизненный цикл товара» (ZW inproduct life), реализуемый при транспортировке, использовании и утилизации минерального сырья и отходов, а также максимальное снижение содержания токсичных веществ в продуктах их переработки (Zero use of toxics) (таблица 1.1.1). Существующие концепции безотходного производства в горной промышленности (интенсификации, горно-экологическая, экологическая) имеют ряд общих проблем, связанных с низким коэффициентом выхода готовой продукции, противоречиями между требованиями повышения технико-экономических показателей производства и необходимостью поддержания уровня оптимального состояния окружающей среды, отсутствием эффективной системы сбора данных об отходах, необходимостью регулярной адаптации концепций к изменяющимся условиям, а также систематической оценки безотходного производства в течение жизненного цикла предприятия.

Общие задачи, которые необходимо решить в России, ЕС, США, Канаде и других странах, в рамках указанных в таблице 1.1.1 концепций базируются на рациональном и комплексном использовании минерального сырья и техногенных отходов с максимальным сокращением эмиссий в компоненты окружающей среды. Вместе с тем существует ряд технологических и законодательных требований, предъявляемых к организации безотходного производства, основными составляющими которого являются добыча и обогащение минерального сырья (таблица 1.1.1).

Таблица 1.1.1 – Результаты анализа концепций безотходного производства в горной промышленности

Концепция безотходного производства. Сущность концепции		
Концепция интенсификации	Горно-экологическая концепция	Экологическая концепция
<p>Комплексное освоение крупных сырьевых ресурсов с полным использованием попутных или побочных продуктов и вторичных материалов; оптимизация потерь при добыче и переработке минерального сырья; комплексное использование сырья; утилизация отходов производства; периодический пересмотр кондиций в зависимости от уровня развития техники и технологии, систематическое снижение расхода сырья на единицу производимой продукции; использование вторичного сырья и отходов в других производственных отраслях и др. [15; 16; 40; 47]</p>	<p>Горно-экологический мониторинг (наблюдение, контроль, управление); контроль реализации плана действий по охране окружающей среды предприятия и принятие корректирующих мер; независимая оценка результатов выполнения целей и задач экологической политики; оптимизация воздействия горного производства на окружающую среду; совершенствование системы управления рационального ресурсопользования; уменьшение до или ниже регламентированного уровня или полная ликвидация загрязнения атмо-, гидро-, лито- и биосферы выбросами и сбросами [218; 219; 321; 322]</p>	<p>Безотходная добыча, разработка и производство – различные методы добычи полезных ископаемых и экологические принципы (Industrial Ecology, Cradle-to-Cradle, Green Engineering), применяемые для обеспечения промышленного симбиоза и процессов вторичной переработки с целью использования уже имеющихся техногенных отходов вместо отработки новых месторождений, минимизации воздействия на природную среду на основе инновационных технологий, соответствующих интегрированным экологическим принципам (Industrial Ecology, Cradle-to-Cradle, Green Engineering) [289; 293; 296; 297, 322; 340; 341; 342; 343]. Zero waste design («безотходная разработка») – это один из фундаментальных аспектов достижения целей концепции ZW. Примером этого подхода является концепция Cradle-to-Cradle Design [311; 322; 342; 343]</p>
Общие проблемы		
<p>Качественные различия кругооборота вещества и энергии в горном производстве (техносфера) с низким коэффициентом выхода готовой продукции по сравнению с экологическими системами (биосфера), когда внутри циклической цепи питания, отходы, производимые одним организмом, перерабатываются или используются другими организмами.</p> <p>Противоречия между требованиями улучшения технико-экономических показателей горного производства (снижение себестоимости продукции) и необходимостью поддержания оптимального состояния окружающей среды.</p> <p>Несовершенство существующей системы сбора данных об отходах, что не позволяет сделать точную оценку уровня переработки отходов из различных потоков. Программы управления отходами должны разрабатываться с учетом новых планируемых проектов, процессов, услуг. Необходимость постоянного пересмотра и адаптации концепций к изменяющимся горно-геологическим условиям, необходимость систематической оценки безотходного производства в течение всего жизненного цикла горного предприятия</p>		
Общие задачи, которые необходимо решить в России		Общие задачи, которые необходимо решить в ЕС, США,

	Канаде и др. странах
<p>Предотвращение или минимизация генерации отходов в технологических процессах добычи и переработки за счет изменения качества сырья и готовой продукции. Совершенствование качества проектной документации и организации управления производственным процессом или эксплуатацией технологических агрегатов. Применение рациональных систем складирования и хранения отходов с целью дальнейшей переработки, предупреждающих большие отчуждения земель. Создание эффективных газоочистных и других систем во избежание загрязнения водоемов, почвы и атмосферы. Рациональное использование техногенных месторождений. Проведение инвентаризации и разработка классификации техногенных отходов. Проведение общей оценки минерально-сырьевого потенциала техногенных отходов. Проведение районирования техногенных месторождений и выделение первоочередных объектов для возможной эксплуатации. Выполнить геолого-экономическую и стоимостную оценку первоочередных вовлекаемых в разработку техногенных месторождений. Разработать предложения по созданию геолого-экономических и правовых основ подготовки техногенных месторождений к промышленному освоению в меняющихся условиях. Провести анализ и оценку действующих нормативно-правовых документов на соответствие их стратегическим целям государства, выработать предложения по их усовершенствованию. Провести оценку воздействия жизненного цикла предприятия на здоровье людей, окружающую природную среду и природные ресурсы, в части, экономической целесообразности в четыре этапа: классификация, характеристика, нормализация, анализ решений (ISO14000) [2; 3]</p>	<p>Осуществлять безотходную добычу с соблюдением экологических принципов (Industrial Ecology, Cradle-to-Cradle, Green Engineering) для обеспечения промышленного симбиоза и процессов вторичной переработки сырьем по ряду направлений.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zero waste design («безотходная разработка») должна стать фундаментальным аспектом достижения целей концепции ZW на основе применения экологических принципов (Green Engineering and Production). 2. Интегрированный подход к планированию управления техногенными отходами для создания комплексной стратегии ZW of Resources, «безотходность ресурсов» (энергия, материалы, человеческие ресурсы); 3. Zero emissions, «ноль выбросов» (в воздух, в воду, твердых и т. д.). 4. ZW inactivities, «безотходная деятельность» (административная, производственная). 5. ZW inproduct life, «безотходный жизненный цикл товара» (транспортировка, использование, утилизация). 6. Zero use of toxics, «ноль токсичных веществ» (в процессах и продуктах) [47; 227; 258; 259; 278]
Требования, предъявляемые к организации безотходного производства	
<p>Обновление технически устаревших аспектов производства; развитие материальной базы производства; экономически оправданное извлечение из сырья сопутствующих компонентов; кооперация с другими отраслями промышленности (строительная, дорожная, закладка выработанного пространства и т. д.), включая территориальный принцип; модернизация экономики – экологизированная экономика; разработка при участии ведущих предпринимательских объединений зеленых финансовых инструментов институтами развития и публичными компаниями: зеленая экономика, наилучшие доступные технология, зеленые инвестиции, зеленые инвестиции общего толка, зеленые облигации, зеленые займы, зеленые финансы, индекс устойчивости, интегрированная отчетность, корпоративная социальная ответственность, окружающая среда, общество и корпоративное управление, облигации по продвижению устойчивого развития, стимулирование деятельности в сфере промышленности путем предоставления ее субъектам финансовой, информационно-консультационной поддержки. Организация эффективной надзорной деятельности.</p>	

Требования, предъявляемые при добыче полезных ископаемых
<p>Выбор рациональных систем разработки, снижение потерь сырья в недрах и разубоживание руд, обеспечение максимальной экономически целесообразной полноты отработки месторождений. Обеспечение комплексности отработки месторождений, использование попутно добываемого рудного и нерудного сырья путем его селективной выемки и складирования. Выбор рациональных систем разработки месторождений и отвалообразования с целью дальнейшей переработки, рекультивация нарушенных земель, очистка и нейтрализация шахтных и других сточных вод, предотвращение утечки нефти при морской добыче и т. п.</p>
Требования, предъявляемые при переработке природного и техногенного сырья (обогащение, металлургия)
<p>Обоснованность особенностей вещественного состава исходного сырья. Минимальные потери ценных компонентов в отходах обогащения. Полное использование сопутствующих компонентов сырья, а также полезных ископаемых в составе вскрышных и вмещающих пород. Сокращение потерь при металлургии. Максимальное внедрение методов физико-химической геотехнологии, как для природных месторождений, включая россыпи, так и для техногенного минерального сырья. Универсальность по отношению к различным литологическим разновидностям руд, фракциям руды и технологическим продуктам первичного обогащения, в том числе крупнокускового. Рациональность и мобильность по схемным и компоновочным решениям. Эффективное действие систем контроля и управления элементами окружающей среды с ее взаимодействием со службами всех подразделений горнодобывающих и горноперерабатывающих объединений и предприятий. Оптимальность по глубине обогащения (рациональное соотношение механических, пиро-, гидро- и биогидрометаллургических методов). Использование комбинированных технологий – классических методов обогащения с физико-химической геотехнологией. Получение высоколиквидной товарной продукции. Экологическая безопасность, соблюдение экологически обоснованных требований к продукции предприятий горного кластера. Устойчивость по отношению к изменчивости вещественного состава перерабатываемой руды (изменениям фазового состава и степени окисления, содержаниям ценных, попутных и вредных компонентов и т. д.). Экономическая целесообразность, обеспечивающая максимальное извлечение при оптимальных капитальных и эксплуатационных затратах. Обучение студентов рациональному и комплексному использованию минерального сырья, владению наилучшими доступными технологиями горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей, а также владение экологическим сознанием и рискоориентированным мышлением, воспитание культуры безопасности [1; 3; 4; 47; 48; 340]</p>

Одной из наиболее рациональных, по мнению автора, является отечественная концепция безотходного производства, предложенная В. Ф. Протасовым, основанная на следующих принципах [160]:

- рациональность организации безотходного/малоотходного производства;
- комплексность использования сырья, материалов и ресурсов;
- принцип цикличности материальных потоков.

В целом, В. Ф. Протасов определяет основные направления развития концепции безотходного производства, основанного на малоотходном производстве, как первоначальном этапе, и учитывающим показатели комплексности и безотходности.

Необходимо отметить, что в России в недостаточной степени эффективно решается проблема переработки накопленных и вновь образуемых горнопромышленных отходов (от 0 до 10 %) [278]. С целью сравнения систем управления отходами в ЕС и в РФ проведен соответствующий анализ, результаты которого показали большую степень организованности и проработки механизмов действия европейской структуры организации (рисунок 1.1.1).

Управление отходами в горной промышленности рассматривается с точки зрения использования их жизненного цикла, который базируется на сведениях о вещественном составе техногенного сырья, а также на физическом «жизненном пути» от руды до момента ее переработки и утилизации.

Следует подчеркнуть, что оценка жизненного цикла горнопромышленных отходов регламентируется ISO 14040 и ISO 14044, а также соответствующими методиками и руководствами [112; 113; 278].

Основные подходы к организации обращения с горнопромышленными отходами, с учетом возможности снижения экологических рисков для предприятий, определяются комплексной оценкой степени воздействия техногенного сырья на компоненты окружающей среды на всех стадиях «жизненного цикла» минерального сырья. Важную роль при этом играет система экологического мониторинга, внедренная на предприятии, от качества

организации которой зависит экономическое, экологическое и социальное состояние района его расположения (рисунок 1.1.2).

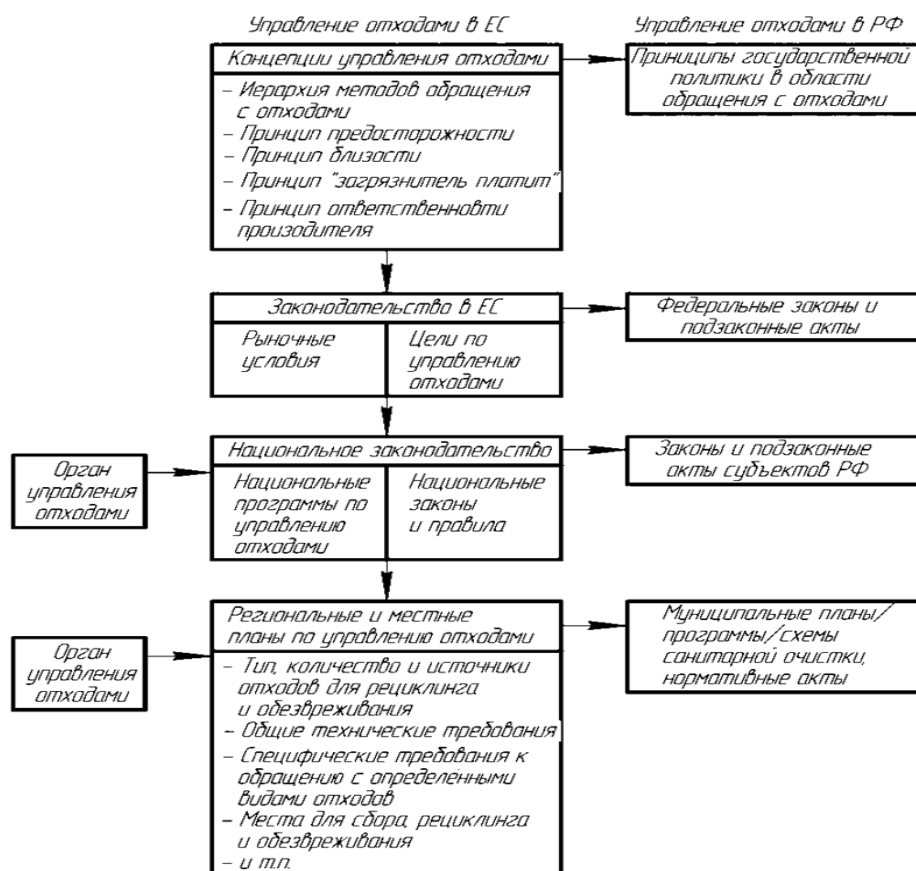


Рисунок 1.1.1 – Сравнительный анализ систем управления отходами в ЕС и в РФ [278]

При этом важной составляющей экологического мониторинга становится внедрение на горнопромышленных предприятиях НДТ, соответствующих современному развитию науки и техники. Следует отметить, что термин НДТ впервые был применен в 1984 г. в директиве рабочей группы по атмосферному воздуху (Air Framework Directive – AFD) и в большей степени относился к выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от крупных промышленных предприятий [15; 278; 324; 326; 327; 340; 341].

Директива ЕС по вопросам комплексного предотвращения и контроля загрязнений, принятая в 2008 г., определила соответствующие принципы НДТ. При этом в Европе основная действующая директива – это Директива по предотвращению и контролю загрязнений, принятая в 2010 г. и являющаяся частью Директивы промышленных выбросов, в соответствии с которой внедрены

отраслевые справочники НДТ, устанавливающие соответствующие нормы качества для промышленных отраслей [340; 341].



Рисунок 1.1.2 – Эффект внедрения системы экологического мониторинга горным предприятием

Следует отметить, что разработка и внесение дополнений и изменений в справочники НДТ производится во взаимодействии государств – членов ЕС, промышленных предприятий, Европейского Бюро по комплексному предупреждению и контролю загрязнений, а также научно-исследовательских институтов и центров. В частности, в справочниках НДТ в общем виде содержится информация о горнопромышленной отрасли, характеризующая [297]: нормативные аспекты; данные о развитии горнопромышленной отрасли в ЕС; технологическое описание рекомендуемых для внедрения процессов; сведения о выбросах и сбросах, образовании отходов; методологию для идентификации НДТ; описание НДТ; эколого-экономические показатели внедрения НДТ; информацию о современных наиболее эффективных технологиях.

Согласно [240] в России определен перечень областей применения НДТ, в соответствии с Распоряжением Правительства РФ № 2178-р от 31.10.2014 г. в редакции распоряжений Правительства РФ от 29.08.2015 г. № 1678-р, от 30.12.2015 г. № 2765-р, от 07.07.2016 г. № 1444-р разработаны информационно-технические справочники (ИТС) НДТ и методические рекомендации по их внедрению. Кроме того, утверждены меры, направленные на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий в пользу перехода на принципы НДТ [222; 240], базирующиеся на внедрении современных технологий, разработку нормативно-правовой базы, обеспечивающей переход промышленных отраслей на принципы НДТ на основе ИТС.

Согласно [240] понятие наилучшей доступной технологии в России формулируется как «технология производства продукции, выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и при наилучшем сочетании критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения». Внедрение на предприятиях НДТ является составляющей системы требований и обязательным требованием при выдаче, в соответствии с требованиями Директивы ЕС, комплексного разрешения на производственную деятельность.

Разработку экологически безопасных НДТ в области обогащения полезных ископаемых и обращения с отходами горного производства необходимо осуществлять с учетом многофакторности основных показателей работы горнопромышленных предприятий [278]. При разработке НДТ необходимо ориентироваться на критерии, заложенные в Постановлении Правительства РФ от 23.12.2014 г. № 1458 (ред. от 09.03.2019 г.) «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

Основополагающим подходом в деятельности горнопромышленных предприятий является выбор технологий на основании следующих факторов:

- комплексное использование минерального сырья, малоотходность и безотходность, уменьшающие объемы горнопромышленных отходов, складированных на поверхности земли;

- снижение пыле- и газообразования при ведении буровзрывных работ, добыче минерального сырья, его транспортировке, обогащении и складировании в отвал и хвостохранилище;

- энергосбережение при планировании добычных работ и выборе технологии;

- обратное водоснабжение с эффективной системой очистки вод;

- применение наиболее безопасных химических реагентов в технологии обогащения и гидрометаллургической переработки.

Важную роль при этом играет процесс управления отходами горной промышленности, которые могут быть расклассифицированы по их фазовому состоянию с определением источников их образования и содержащихся в них загрязняющих веществ (рисунок 1.1.3). Для организации эффективной системы обращения с техногенным сырьем необходимым условием является наличие соответствующих технологий (НДТ), позволяющих в значительной степени сократить или предотвратить образование отходов. Достижение параметров безотходного или малоотходного производств в данном случае зависит от внедрения технологических решений, направленных на обезвреживание (снижение токсичности и радиоактивности) техногенных отходов, переработку и утилизацию. Снижение класса опасности отходов в значительной степени повышает возможность их вторичного использования и получения дополнительных товарных продуктов, что, в свою очередь, продлевает жизненный цикл техногенного сырья и способствует созданию замкнутой системы обращения ним.

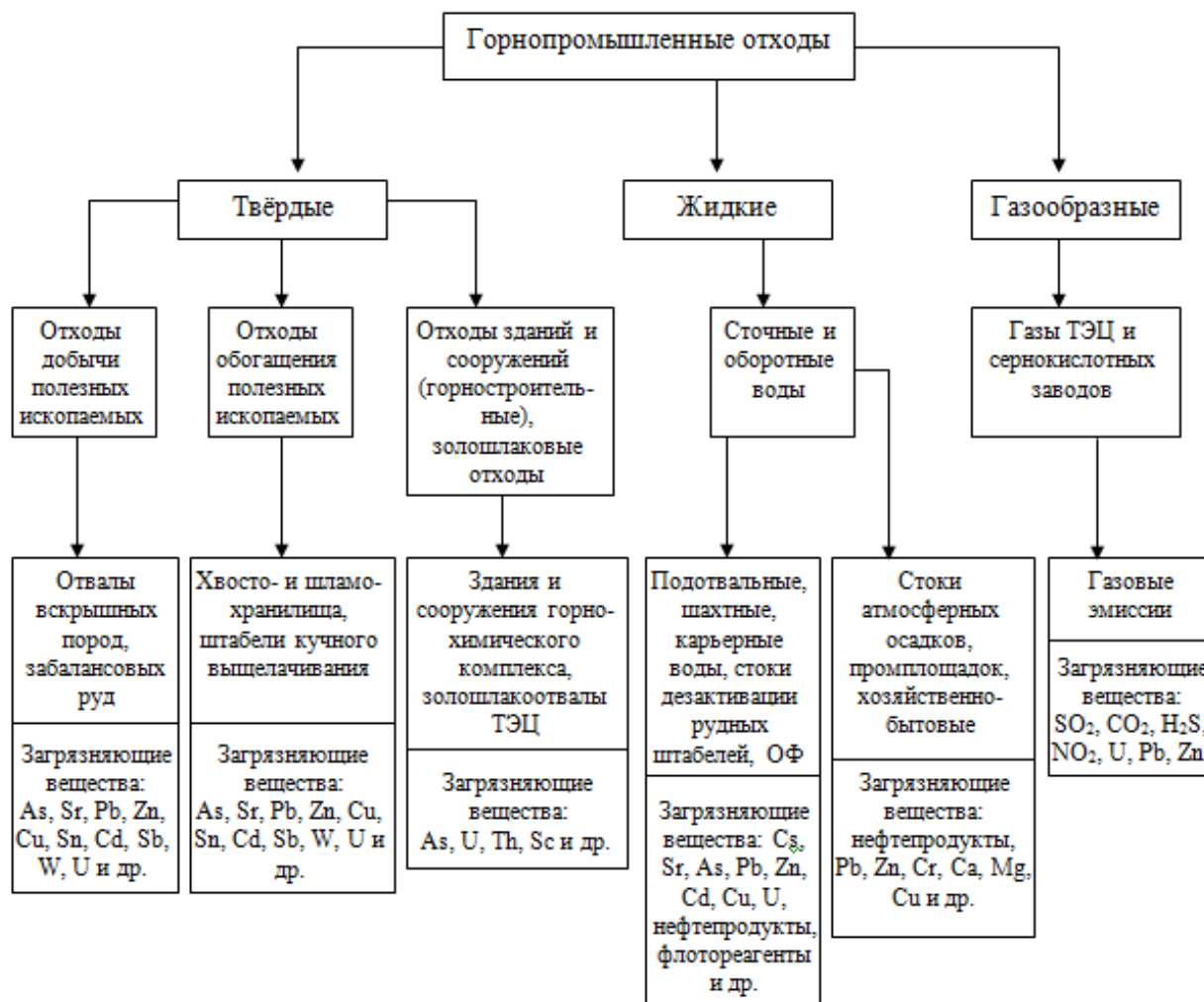


Рисунок 1.1.3 – Общая структура горнопромышленных отходов

Иерархия безотходного производства (рисунок. 1.1.4) определяется в первую очередь наличием полноценной нормативно-правовой базы с четкими механизмами ее реализации, опирающимися на наличие эффективных наилучших доступных технологий, позволяющих сократить объем образующихся отходов с получением из них товарной продукции с утилизацией оставшейся части. Утилизация части отходов должна быть связана с их практическим использованием, в частности, в качестве компонента закладочной смеси, в сфере стройиндустрии и т. д., либо сохранением техногенного сырья для переработки в будущем при наличии соответствующих технологий. Здесь важное значение приобретает наличие технологических решений для организации экологически безопасных способов размещения и хранения горнопромышленных отходов.



Рисунок 1.1.4 – Иерархия безотходного производства

В этой связи возрастает роль технологий переработки отходов горной промышленности, определяющая возможность эффективного управления ими за счет обезвреживания, рекультивации и утилизации. Важную роль играет наличие доступных и эффективных инструментов и материалов для реализации данных технологий. В настоящее время для подобных целей все более широкое применение находят сорбционные технологии, основанные на использовании синтетических и природных сорбентов. Природные сорбенты имеют ряд достоинств по отношению к их синтетическим аналогам, к которым можно отнести распространенность, доступность и дешевизну, что в значительной степени повышает их потенциал для широкого применения в технологиях

управления отходами горной промышленности. Одним из наиболее эффективных и доступных природных сорбентов являются цеолитсодержащие породы (природные цеолиты), характеризующиеся достаточно высокими технологическими показателями, в первую очередь адсорбционной и ионообменной способностями.

Таким образом, анализ применения концепций безотходного производства в горной промышленности показал интенсивное формирование нормативно-правовой и научной базы по обеспечению процесса управления отходами. Дальнейшее развитие инновационных ресурсосберегающих (малоотходных, безотходных) технологий переработки техногенного минерального сырья должно основываться на применении НДТ, в том числе за счет использования сорбентов, в частности, природных цеолитов.

1.2 Оценка уровня развития технологий переработки, обезвреживания и утилизации отходов горной промышленности с применением сорбентов

Одним из наиболее важных направлений развития науки и техники в области обращения с отходами горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей является совершенствование технологических решений по снижению объемов складированных отходов за счет их вовлечения в переработку и утилизации. Техногенные месторождения (хвостохранилища, отвалы), неостребованные в настоящее время, могут быть законсервированы на потенциальную перспективу переработки через некоторое время с учетом необходимости предотвращения их возможного негативного воздействия на окружающую среду путем проведения природоохранных мероприятий в виде захоронения, складирования и рекультивационных работ. Таким же образом могут быть размещены в отдельные могильники и насыщенные токсичными и радиоактивными элементами сорбенты, используемые для природоохранных мероприятий, в частности для очистки сточных, шахтных и дренажных вод. В дальнейшем при развитии техники и технологии до необходимого уровня, такие техногенные месторождения могут быть расконсервированы и использованы в качестве источников ценного сырья.

Снижение экологической нагрузки на окружающую среду достижимо за счет захоронения токсичных и радиоактивных отходов, а также их переработки с использованием наилучших доступных технологий (НДТ) в соответствии с современным развитием науки и техники. Накопившиеся за многие десятилетия отходы горной промышленности, содержащие в своем составе мышьяк, ртуть, цветные металлы и редкоземельные элементы, в большей степени не востребованы и зачастую не подвергались процедуре рекультивации, что определяет значительную нагрузку на окружающую среду регионов их размещения. В этой связи, наряду с государственной поддержкой выполнения работ по рекультивации и консервации хвостохранилищ, ликвидации заброшенных объектов горнопромышленного, химического и металлургического комплексов, необходимо применение в этих целях НДТ, обеспечивающих существенное снижение или предотвращение негативного воздействия на компоненты окружающей среды. Применение НДТ на горнопромышленных предприятиях способно обеспечить предотвращение и минимизацию экологического ущерба, наносимого горнопромышленным предприятием компонентам окружающей среды. Основными направлениями применения НДТ являются: водоочистка, рекультивация хвостохранилищ и отвалов пород, предотвращение пыления и очистка отходящих газов, переработка и утилизация отходов.

Необходимо отметить, что качество применяемой воды на горнопромышленных предприятиях имеет большое значение, влияя как на реализацию технологии в целом, так и на окружающую среду региона локации. В этой связи наличие НДТ в области водоочистки играет важную роль в уменьшении потребления воды, увеличении ее внутренней циркуляции (оборота) и существенной минимизации загрязнения компонентов природной среды. Сточные воды обогатительных фабрик зачастую содержат различные флотореагенты (крезолы, фенолы, дитиофосфаты и др.), кислоты, нефтепродукты, ионы тяжелых металлов (Cu, Fe, Hg, Sb, Co, Cd, Al, Zn, Ni, Pb и др.) и радионуклиды (Sr, Cs, U). Для их очистки на горнопромышленных предприятиях

применяют механические, химические, физико-химические и биохимические способы.

Выбор метода очистки сточных вод, как правило, основывается на изучении физико-химического состава очищаемых вод, оценке потенциала образования и объема загрязненных вод, определении наличия и количества содержания загрязняющих веществ в технологических водах, их количественных изменений [111; 154; 278]. Для очистки сточных и оборотных вод горнопромышленных комплексов наиболее эффективны многоэтапные активные методы. В зависимости от химического состава воды для очистки карьерных вод могут использоваться как активные, так и пассивные методы, а также их комбинации.

Активное развитие производственной деятельности в Арктической части России определяет необходимость обеспечения имеющихся и вновь создаваемых промышленных мощностей доступной электроэнергией и теплом. В этой связи становится актуальной концепция применения атомных электростанций для энергоснабжения горнопромышленных предприятий, находящихся в Арктической зоне России [89; 90; 185; 221]. Одной из основных задач является обеспечение экологически безопасной эксплуатации атомных энергетических реакторов, в том числе очистка сточных и оборотных вод от радиоактивных компонентов, в том числе радионуклидов цезия и стронция. Актуальной проблемой является очистка сточных вод горнопромышленных предприятий от радионуклидов стронция и цезия, образующихся при промывке фосфогипса, а также при переработке полиметаллических руд.

В настоящее время для извлечения радиоактивных компонентов из сточных и оборотных вод используются сорбционные, осадительные и мембранные методы, [89–92; 216; 221]. Для сорбции радионуклидов применяются органические и неорганические сорбенты, в том числе синтетические и природные. Из природных сорбентов наиболее широкое применение для очистки сточных и оборотных вод находят алюмосиликатные минералы (цеолиты, диатомиты), основными преимуществами которых являются их распространенность и низкая стоимость.

Необходимо отметить, что природные материалы существенно уступают синтетическим по сорбционным свойствам, что обусловлено, как правило, содержанием в них загрязняющих примесей, блокирующих доступ адсорбата в поры. При наличии соответствующих доступных технологий обогащения, переработки и модификации алюмосиликатов становится достижимым их достаточно высокое качество, которое позволит такому сырью, как природные цеолиты, значительно расширить спектр направлений применения, в том числе для снижения экологических воздействий горнопромышленных предприятий в регионе их расположения.

Технологии, предполагающие применение процессов очистки сточных и оборотных вод синтетическими или природными сорбентами от тяжелых металлов, радионуклидов, ртути, мышьяка и др., предусматривают получение насыщенных этими компонентами отходов. Такие отходы могут подвергаться либо регенерации, либо утилизации путем захоронения. При этом необходимо достижение предельной степени насыщения сорбентов загрязняющими воду веществами. Способ захоронения применяется, как правило, для материала, не подлежащего регенерации. Захоронение часто используют для ликвидации источников токсического и радиоактивного загрязнения, таких как заводы химической и военно-химической промышленности. К примеру, авторами [12] разработана технология захоронения отходов Ангарского мышьяковистого завода, содержащих мышьяк, она базируется на применении выщелачивания тиокарбамидом. Учеными [12] предложена специальная конструкция саркофага для захоронения мышьякосодержащих отходов, основанного на послойной укладке в емкость с гидроизоляцией отвалов завода, зараженной почвы, элементов конструкций, строительных материалов и оборудования с последующим экобетонированием известковым молоком.

Следует отметить, что одним из наиболее эффективных технологий захоронения токсичных и радиоактивных отходов является способ, разработанный авторами [136], основанный на использовании по дну и бортам котлована специального защитного слоя, а также послойной укладки и

уплотнения минеральных отходов с последующим перекрытием слоев изолирующим слоем. Верхний разделительный изолирующий слой покрывается геохимическим барьером в виде многослойной завесы, а слои отходов связываются посредством введения под давлением вспененных цементогрунтовых растворов. Данная технология является технически сложной и достаточно трудоемкой, особенно в части обустройства геохимического барьера в виде многослойной лабиринтной завесы, а также недостаточно эффективной по причине отсутствия рекультивации поверхности котлована и использования в качестве сорбционного материала гидрата окиси кальция и силиката натрия.

Проведенный анализ развития техники и технологии в вопросах захоронения токсичных и радиоактивных отходов горной промышленности показал, что большинство предлагаемых решений требуют проведения таких трудоемких и дорогостоящих работ, как устройство траншей, заполнение их глинистым раствором, возведение шпунтов из плоских элементов. Существующие технологии не в полной мере обеспечивают надежность защитных мер при захоронении токсичных и радиоактивных отходов, за счет чего не исключается миграция токсикантов и радионуклидов в почву, в водные объекты и атмосферу [137; 223].

Авторами [135] разработан способ детоксикации фрагментов разрушенных промышленных зданий, загрязненных люизитом, отравляющим веществом, представляющим особую опасность для здоровья человека. Данная технология основана на предварительном орошении разрушаемого здания раствором гидроксида кальция, что обеспечивает интенсивный перевод токсичных элементов в нерастворимую и нелетучую форму с последующим дроблением фрагментов здания и одновременным орошением для полной их детоксикации. Недостатками данной технологии являются многостадийность и трудоемкость детоксикации и удаления соединений мышьяка, высокие эксплуатационные затраты на дробление и транспортировку конструкций, подвергнутых детоксикации, высокие температуры (90–100 °С) ведения процесса щелочной

обработки раздробленных фракций, а также высокий расход реагентов при неблагоприятных погодных условиях.

Одним из наиболее интенсивных видов негативного воздействия на компоненты окружающей среды является пыление не подвергшихся рекультивации хвостохранилищ и отвалов пород, загрязняющих воздушный бассейн, почвы и водоемы. За 2020 г. в атмосферу выброшено около 133 тыс. т загрязняющих веществ, включая твердые в количестве 46,2 тыс. т, а также жидкие и газообразные, в сумме дающие значение 86,5 тыс. т [44–46]. На данный момент времени площадь отчуждаемых земель под размещение хвостохранилищ и отвалов пород достигает 4750 га [44]. Тяжелая экологическая ситуация в большей степени усугубляется пылением сухой поверхности хвостохранилищ и отвалов, загрязняются прилегающие к горнопромышленным комплексам территории посредством переноса тонкодисперсных фракций сухих хвостов воздушным потоком [100; 321; 322]. Кроме того, климатические условия районов размещения хвостохранилищ и отвалов пород зачастую характеризуются высокими скоростями ветра, достигающими более 5 м/с.

Проведенный анализ мирового и отечественного опыта рекультивации хвостохранилищ и отвалов пород с целью предотвращения их пыления показал эффективность технологий физико-химического закрепления поверхности, а также биологической рекультивации, направленной на формирование плодородного поверхностного слоя почвы. В частности, существует технология, позволяющая проводить рекультивационные работы на поверхности хвостохранилищ обогатительных фабрик с целью существенного снижения ветровой эрозии, реализуемая путем орошения водным раствором поливинилового спирта и использованием в качестве основного компонента гидросмеси бентонитовой глины [134]. Следует отметить, что основным недостатком данной технологии заключается в низкой устойчивости создаваемого поверхностного слоя к воздействию ветровой эрозии, что обуславливает неэффективность биологического этапа рекультивации.

При рекультивации хвостохранилищ и отвалов пород наиболее эффективным является комбинирование биологического и физико-химического способов, обеспечивающее формирование устойчивого почвообразующего слоя с эффективным закреплением в нем вносимых для посева семян. В частности, авторами [133] предложена технология восстановления нарушенных земель при размещении хвостохранилищ и отвалов пород, заключающаяся в высевании семян многолетних трав с обработкой водной эмульсией латекса в количестве при одновременном внесении удобрений.

На основе проведенного анализа уровня развития техники и технологии к основным недостаткам известных способов рекультивации хвостохранилищ и отвалов пород, направленных на снижение и предотвращение пыления их поверхностей, следует отнести высокие эксплуатационные и трудовые затраты, высокую стоимость применяемых материалов и реагентов, а также низкое прораствание семян, вносимых в формируемый почвообразующий слой, обусловленное его слабой устойчивостью.

В связи с тем, что зачастую на территориях районов размещения горнопромышленных комплексов отсутствуют необходимые объемы плодородного слоя почвы, в качестве потенциально плодородного грунта при рекультивации используют местные, в том числе и верхнечетвертичные грунты (суглинки, супеси), с проведением мелиоративных работ и внесением удобрений. Важную роль играют технико-экономические показатели рекультивационных работ, основными из которых являются такие как: общая площадь нарушаемых (нарушенных) земель, площадь рекультивируемых земель, мощность рекультивационного слоя (плодородного слоя почвы и потенциально плодородного слоя почвы), мощность экранизирующего слоя, углы заложения рекультивируемой поверхности, сметная стоимость рекультивации нарушенных земель, годовые эксплуатационные расходы на рекультивацию, удельные эксплуатационные расходы на 1 га рекультивируемых земель. В этой связи сбалансированность технико-экономических и экологических показателей играет крайне важную роль. Соответствующий баланс может быть достигнут

применением эффективной технологии закрепления пылящих поверхностей, сочетающей в себе физико-химическую и биологическую рекультивации с использованием доступных и не дорогостоящих компонентов, к примеру, природных алюмосиликатов (цеолитсодержащих пород). ЦСП, обладая достаточно высокой сорбционной и вяжущей способностями, все же уступают по этим показателям своим более дорогостоящим синтетическим аналогам и некоторым отходам деревообработки (лигнин). Однако наличие соответствующих технологий по обогащению цеолитового сырья от вмещающих примесей, препятствующих полноценному открытию пор, может существенно повысить эффективность применения природных цеолитов для формирования связывающего плодородного рекультивационного слоя почвы, обеспечить за счет этого отказ от необходимости использовать дорогостоящий грунт неместного происхождения, а также значительно минимизировать негативное воздействие техногенных массивов на природную среду.

Следует отметить, что одной из важнейших экологических задач является очистка промышленных выбросов, в частности, котельных и ТЭЦ горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий от SO_2 (сернистых газов). Известно [224], что количество попадающей в воздух двуокиси серы неуклонно растет. Так, в 1929 г. мировые потери SO_2 с выбросами в атмосферу составили 25,4 млн т, что эквивалентно 38,2 млн т серной кислоты и превысило количество полученной кислоты (13 млн т) почти в 3 раза. В 1970 г., по разным источникам, было выброшено 90–145 млн т двуокиси серы, при этом мировое производство в это время составило 91 млн т, что в пересчете на SO_2 – 54,4 млн т [224]. За 2018 г. произведено 220 млн т серной кислоты, или (в перерасчете на SO_2 ,) 143 млн т. При этом выбросы оцениваются почти в 200 млн т. Вместе с тем охрана окружающей среды, основанная на традиционных способах нейтрализации SO_2 щелочными агентами, является достаточно дорогостоящей, трудоемкой и сложнореализуемой в аппаратурном оформлении. Кроме того, регулярно повышаются экологические требования к эффективности систем газоочистки горнопромышленных предприятий. В этой связи становится

актуальным внедрение новых сорбционных материалов, характеризующихся низкой стоимостью и способностью к многократной регенерации. К числу таких сорбентов, несомненно, можно отнести природные алюмосиликаты высокого качества – цеолитсодержащие породы (с содержанием ценного компонента (минерала цеолита) > 85–90 %), широко применяемые во многих зарубежных странах (США, Япония, Канада, КНР).

Известно [224], что ЦСП характеризуются высокими сорбционными свойствами и могут применяться для очистки отходящих газов от различных компонентов. Применение той или иной технологии очистки основано в первую очередь на содержании диоксида серы в отходящих газах, стоимости сорбента и срока его службы. Существует два вида методов очистки газов от SO_2 – мокрые и сухие. Мокрые методы являются наиболее изученными, однако не все из них находят широкое практическое применение, так как при их использовании не гарантируется чистота промышленных стоков, требуют значительных капитальных затрат, значительных расходов на подогрев газовой смеси и строительство шламовых полей, отрицательно влияют на состояние газоочистной аппаратуры и трубопроводов, имеют технологически сложные схемы, а получаемые отходы (сульфат кальция и др.) не находят сбыта. Наряду с жидкими методами достаточно широкое развитие получают сухие методы, основанные на извлечении двуокиси серы сорбентами. Сущность методов заключается в пропускании газовой смеси через слой сорбента, в котором происходит селективное поглощение SO_2 . В качестве таких сорбентов, как правило, используют ионообменные смолы, а также углеродные и кремнийсодержащие материалы, обладающие достаточно высокими физико-химическими характеристиками [224].

Необходимо отметить, что как мокрые, так и сухие методы очистки газов от SO_2 требуют значительных капитальных и эксплуатационных затрат. На эксплуатационные расходы при этом основное влияние оказывают следующие показатели: стоимость сорбента, срок его службы и сорбционная емкость, а также возможность регенерации. Положительным эффектом при использовании сухих

методов очистки газов может являться возможность утилизации или переработки образующихся отходов, насыщенных адсорбатом. Получение побочных продуктов, в частности серной кислоты, способных найти применение в различных секторах экономики, повышает рентабельность применения сорбентов. В этой связи ЦСП высокого качества могут стать более дешевой, при этом не менее эффективной альтернативой синтетическим и углеродосодержащим сорбентам, применяемым для очистки отходящих газов от SO_2 .

Природные цеолиты находят достаточно широкое применение в различных экозащитных технологиях, снижающих негативное воздействие горнопромышленных комплексов на прилегающие к ним территории (таблица 1.2.1).

Разработка технологий обогащения, переработки и модификации ЦСП обеспечит возможность применения цеолитов природного происхождения при обращении с горнопромышленными отходами (рисунок 1.2.1).

Необходимо отметить, что рациональный подход к использованию ЦСП в технологиях снижения негативного влияния горнопромышленного техногенного сырья на компоненты окружающей среды должен учитывать требования к исходному сырью (содержание цеолита и примесей в породах) и к цеолитовым продуктам для конкретных направлений применения, достигаемым за счет обогащения, переработки или физико-химической модификации. Важную роль играет комплексность использования как самих ЦСП, так и техногенного сырья, перерабатываемого с их помощью.

Большое значение при определении направления использования природных цеолитов имеет показатель сорбционной способности цеолитов, а также их ионообменные, молекулярно-ситовые, каталитические и другие свойства [13; 214]. На возможность применения ЦСП в природоохранных технологиях оказывают влияние следующие параметры:

– характеристики техногенного сырья (гранулометрический, минеральный и химический состав, содержание извлекаемых или блокируемых компонентов, коэффициент фильтрации и др.);

- характеристики техногенного объекта (геометрические параметры, встроенность в ландшафт и др.);
- физико-химические характеристики цеолитсодержащих пород;
- наличие на период времени наиболее эффективных доступных технологий.

Таблица 1.2.1 – Применение ЦСП в технологиях защиты окружающей среды

№ п/п	Направление использования природных цеолитов	Примечание
1	Геохимические барьеры, фильтрационный слой дамбы хвостохранилищ	Фильтрационные барьеры
2	Рекультивация хвостохранилищ	Биологическая рекультивация техногенных месторождений
3	Очистка отходящих газов от CO, CO ₂ , SO ₂ , NH ₃ , N ₂ , CH ₃ OH, фреона, меркаптанов, окислов азота	Фильтры
4	Очистка сточных вод. Биоремедиация водоемов. Очистка питьевой воды. Утилизация противообледенительных жидкостей	Фильтры, очистка от флотационных реагентов и нефтепродуктов, кондиционирование закисленных стоков, сорбция катионов тяжелых металлов, катионов Pb ⁺ , K ⁺ , NH ⁴⁺ , Ag ⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , Hg ²⁺ , Ba ²⁺ , Mg ²⁺ , Co ³⁺ , Al ³⁺ , Cr ³⁺ , Fe ³⁺
5	Закладка выработанного пространства. Строительство зданий и сооружений	Заменитель части цемента, компонент тампонажных растворов, заменитель извести в вяжущих растворах
6	Отсыпка автомобильных дорог, обочин дорог, промплощадок, складов ГСМ, стояночных площадок для транспорта	Введение солей щелочноземельных или тяжелых металлов (таловое масло, синтетические жирные кислоты, алкилсульфонаты, хлорид кальция) для повышения эффективности связывания пыли с применением раствора оксигидрильного собирателя. В составах для обеспыливания дорог с использованием флотореагентов-модификаторов (жидкое стекло, известковое молоко с медным или цинковым купоросом, ксантогенатом натрия, хлоридом кальция)
7	Строительство насыпей ж/д дорог	Сорбент нефтепродуктов
8	Санация, восстановление почв	Компонент почвосмесей для повышения плодородности почв и снижения их токсичности

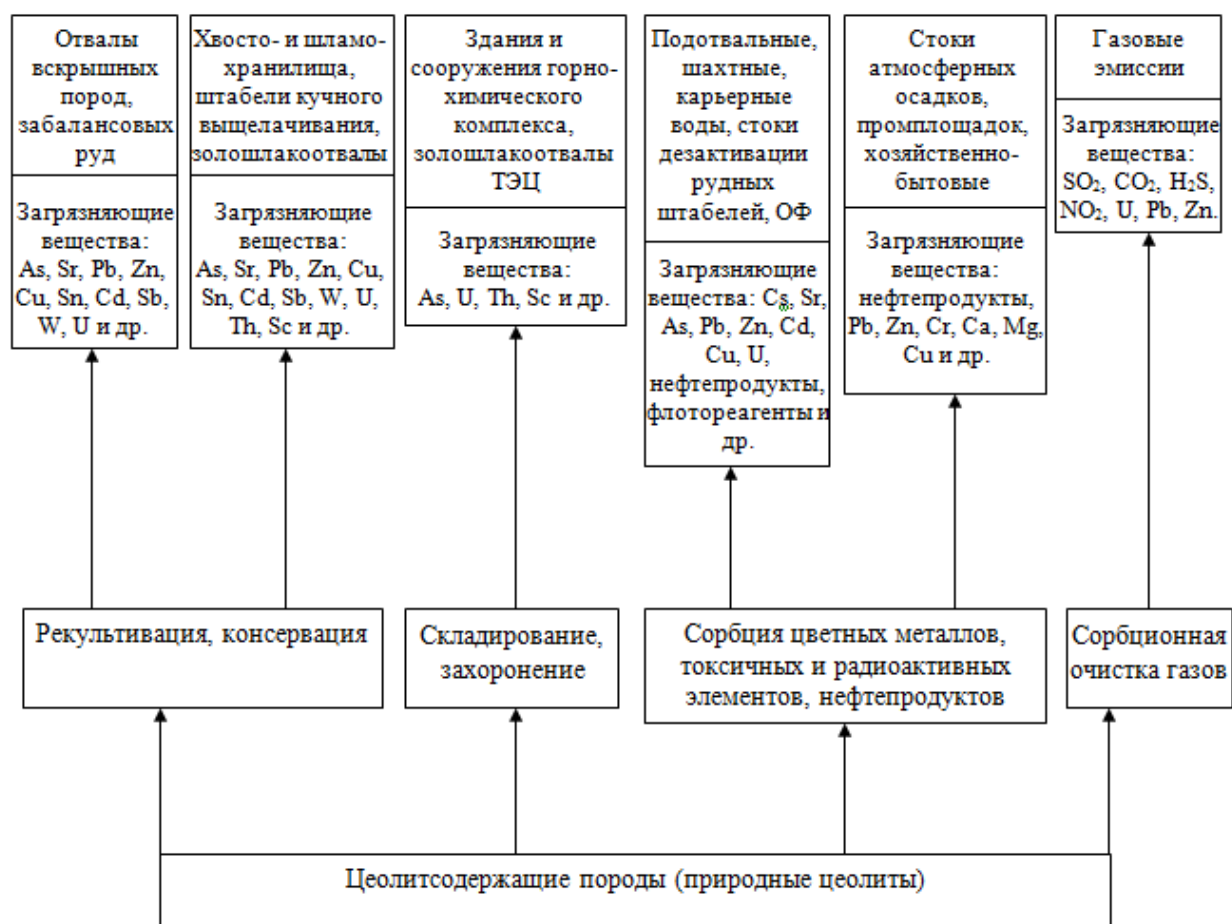


Рисунок 1.2.1 – Направления использования природных цеолитов при управлении горнопромышленными отходами

Необходимо отметить, что степень использования ЦСП в России в различных отраслях промышленности крайне далека от потенциальных возможностей. Потребность национальной экономики в цеолитовой продукции оценивается приблизительно в 8 млн т в год. Доступность и достаточно низкая стоимость природных цеолитов определяет направления их использования, к которым на данном этапе развития науки и технологии можно отнести стройиндустрию и охрану окружающей среды. Технические условия для природных цеолитов, определяющих их качество и, соответственно, направления их использования, составлены различными применяющими их ведомствами, а отсутствие единых государственных и отраслевых стандартов к качеству цеолитового сырья препятствует широкому его использованию в различных секторах экономики. Перечень существующих отечественных ТУ к ЦСП для различных направлений применения представлен в таблице 3.7.2.3. В

соответствии с данными техническими условиями природные цеолиты могут быть использованы в технологиях управления отходами горного производства, в том числе при осушке газов, адсорбции нефтепродуктов, очистке сточных вод, добавке цеолитов в качестве связующего при закладке выработанного пространства, использовании в качестве элемента плодородной почвы и др. Требования к качеству ЦСП обуславливают необходимость их очистки от вмещающих примесей с целью повышения их физико-химических характеристик, основными из которых являются высокая сорбционная емкость и способность к многократной регенерации. Содержание минералов цеолита в породах для использования в природоохранных технологиях, в соответствии с существующими требованиями, в некоторых случаях должно превышать 85–90 % (таблица 1.2.2).

Таблица 1.2.2 – Требования к качеству ЦСП при использовании в природоохранных технологиях

Сорбционная очистка газов, очистка сточных и оборотных вод от нефтепродуктов	Адсорбционная способность, мг/г	160	ТУ 113-12-98-85; ТУ 113-12-127-82; ТУ 95-400-81; ТУ 113-12-127-97; ТУ 20113–12–103–87
	Размер входных окон, А°	3-5	
	Нефтеемкость, %	180	
	Массовая доля цеолита, %	60-95	
	Массовая доля SiO ₂ , %, не более	50	
Очистка сточных вод от тяжелых, цветных металлов, токсичных и радиоактивных элементов	Адсорбционная способность, мг/г	160	ТУ 2163-001-27860096-2016; ТУ 2163-002-12763074-97; ТУ 2163-039-07621060-97; ТУ 2163-001-27860096-2016; ГОСТ 216340
	Размер входных окон, А°	3-5	
	Массовая доля цеолита, %	70-90	
	Содержание окислов железа, %	2,5-3,5	
Биологическая рекультивация	Адсорбционная способность, мг/г	160	ГОСТ 216340; ТУ 113-12-127-97
	Размер входных окон, А°	3-5	
	Массовая доля цеолита, %	40-90	
	Содержание окислов железа, %	2,5-3,5	
	Массовая доля Al ₂ O ₃ , %, не более	10	

1.3 Анализ технологий обогащения, модификации и комплексной переработки цеолитсодержащих пород

В настоящее время Россия обладает значительными запасами цеолитсодержащих пород. География расположения месторождений ЦСП в России достаточно широкая и затрагивает большую часть страны.

Минерально-сырьевая база цеолитсодержащих пород (ЦСП) России представлена более чем 70 месторождениями и рудопроявлениями, запасы которых составляют приблизительно 11 млрд т. Наиболее крупные месторождения ЦСП сосредоточены на Дальнем Востоке (Забайкальский край, Бурятия, Приморский край, Сахалин, Республика Якутия) и в Сибири (Красноярский край, Иркутская область, Кемеровская область). Карта цеолитоносности России представлена на рисунке 1.3.1, на котором показано расположение основных цеолитовых провинций [27; 38; 95; 286; 287].



– цеолитовые провинции с высокой плотностью сочетания климатических и социально-экономических факторов;
 – цеолитовые провинции со средней плотностью сочетания климатических и социально-экономических факторов.

Цифры – процент от общего объема ресурсов ЦСП

Рисунок 1.3.1 - Карта цеолитоносности России

Промышленное значение при этом имеют такие типы цеолитов как клиноптилолит, шабазит, морденит и анальцит [116–131; 246; 260; 283–286]. При этом основные запасы ЦСП сосредоточены на территории Восточного Забайкалья, где расположены четыре наиболее крупных месторождения, составляющих основную часть минерально-сырьевой базы России (Шивыртуйское, Холинское, Бадинское и Талан-Гозагорское), суммарные запасы которых составляют приблизительно 7,6 млрд т [37; 43; 51; 116–131; 235; 246; 260].

Необходимо отметить, что исходное качество ЦСП указанных месторождений не всегда удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, что связано с весьма низким содержанием цеолитов в породах. ЦСП отличаются достаточно высоким содержанием вмещающих примесей, к которым необходимо отнести кварц, полевые шпаты и оксиды железа, что ограничивает возможность широкого применения данного вида сырья в таких отраслях, как нефтегазовая промышленность, сельское хозяйство и животноводство, медицина, пищевая промышленность, а также экологические технологии, в том числе используемые для снижения экологической нагрузки от воздействия горнопромышленных предприятий и т. д.

Вопросами изучения обогащения и переработки ЦСП занимались и продолжают заниматься многие видные отечественные и зарубежные ученые: Н. Ф. Челищев, Н. В. Кельцев, В. А. Чантурия, Т. С. Юсупов, В. П. Мязин, А. Н. Хатькова, И. Ж. Бунин, Т. З. Лыгина, О. Б. Котова, Д. А. Шушков, Н. Д. Шукакаидзе, R. M. Barrer, Carmine Colella, Alberto Alberti, Richard D. Andrews, Thomas Armbruster, Robert S. Bowman, Maurizio de'Gennaro, Zelimir Gabelica, Denes Kalló, Boris Subotic, William Wise, Atsushi Yamazaki, R. Hay, A. Jijima, M. Kastner, R. Sersale, R. Sheppard, Şükrü Uçkun и др.

Анализ отечественной и зарубежной практики [34; 37; 51; 55; 67–69; 75; 77; 81–83; 85; 87; 97; 100; 101; 110; 115; 122; 126; 138; 155; 157; 158; 217; 227; 236; 243–246; 246; 269; 271; 272; 277; 280; 281; 284; 286; 287; 288; 292; 296; 306; 310; 312; 313; 314; 317; 319; 320; 335] показал, что основными операциями,

применяемыми в настоящее время для переработки и обогащения ЦСП, являются: рудоподготовка (дробление, измельчение, грохочение), сушка и затарка. При этом некоторые детали процесса могут отличаться. К примеру, на японских и кубинских предприятиях применяются как сухой, так и мокрый способы переработки ЦСП, с помощью которых удаляют примеси опала, кварца, и полевого шпата с целью повышения чистоты и степени белизны природных цеолитов.

Среди природных цеолитов, используемых мировой промышленностью, выражены три типа структур [69; 155; 277]: шабазитовая с размером входных окон от 0,26 до 0,42 нм, клиноптилолитовая с размерами входных окон от 0,42 до 0,55 нм, морденитовая (размер входных окон составляет от 0,29 до 0,70 нм).

Необходимо отметить, что породы с высоким содержанием цеолитов (97-99 %) не нуждаются в обогащении, но при необходимости могут быть подвергнуты модификации с целью обеспечения необходимых свойств. К примеру, в Иране на месторождении «Западное» добывается цеолитовая порода с содержанием клиноптилолита до 98 %, которая включает лишь рудоподготовку и рассев по классам крупности с последующей отгрузкой потребителям.

Практика применения химической обработки и модификации природных цеолитов для предварительной подготовки к использованию [11, 34, 51, 87, 142, 159, 224, 237, 312, 313] позволяет выделить как ряд их уникальных достоинств (изменение свойств цеолитов в необходимом направлении, значительное расширение сферы практического применения), так и существенных недостатков (искажение механизма действия входящих в них микро- и макроэлементов).

Получение высококачественных цеолитовых продуктов в настоящее время достигается и физико-механическими воздействиями. Так, по технологической схеме переработки ЦСП на ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (рисунок 1.3.2) возможна переработка ЦСП Шивыртуйского месторождения (Забайкальский край) с содержанием клиноптилолита и монтмориллонита не менее 50 % и крупностью 250 мм, что

позволяет получать цеолитовую продукцию достаточно высокого качества для использования в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности.

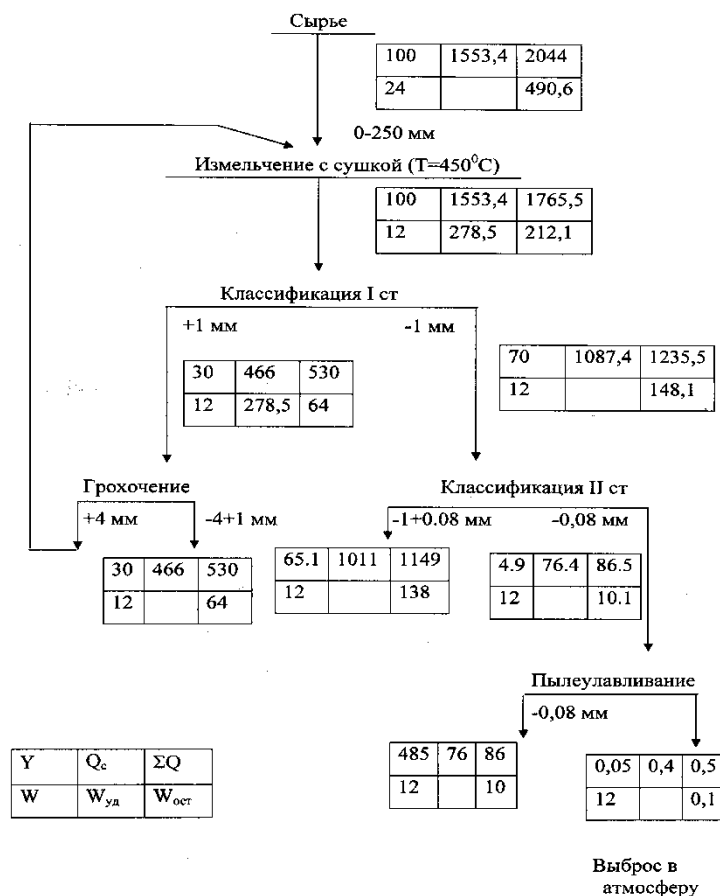


Рисунок 1.3.2 – Технологическая схема переработки ЦСП ПАО «ППГХО»
 (Y – выход, %, Q_с – масса сухого материала, т/сут, ΣQ – суммарная масса влажного материала, т/сут, W – влажность, %, W_{уд} – количество удаляемой влаги, т/сут, W_{ост} – количество остаточной влаги, т/сут)

Возможность значительного расширения сферы применения ЦСП существенно зависят от требований ТУ и ГОСТ отраслей промышленности. Для получения высококачественной цеолитовой продукции изучены возможности применения большинства классических методов обогащения, основанных на различиях минеральных компонентов в физических и физико-химических свойствах, основными из которых являются структура, крупность частиц, плотность, магнитная и электрическая восприимчивости, что определяет эффективное использование методов флотационного и гравитационного обогащения, а также магнитной и электростатической сепарации.

На основании проведенных ранее исследований [43; 110] выявлено, что использование флотационного обогащения определенных видов цеолитсодержащих пород позволяет получать достаточно высокие результаты. В частности, авторами [110] установлено, что разделение флотационным методом является наиболее эффективным при обогащении ЦСП, содержащих минералы кварца. При этом исследователями [277] выявлено, что флотация ЦСП является неэффективным способом их обогащения по причине высокой сорбционной способности к флотационным реагентам минералов, входящих в состав пород (цеолиты, монтмориллонит).

Для получения высококачественных цеолитовых продуктов возможно применение методов гравитационного обогащения, в частности, отмывка на столах, МГС – сепарация и тяжелосредное центрифугирование.

Авторами [110] исследована возможность обогащения пород Тедзамского месторождения, основанная на использовании предварительного акустического воздействия с дальнейшей магнитной сепарацией и кислотным переводом в раствор окисных форм железа. Существенным недостатком данной технологии является низкая эффективность повышения содержания клиноптилолита (на 3–4 %), а использование предлагаемых концентраций кислоты существенно нарушает структурные свойства природных цеолитов. Вместе с тем применение данной технологии не обеспечивает получение цеолитовых продуктов требуемого качества для их использования в наукоемких отраслях, в том числе в технологиях управления горнопромышленными отходами.

Следует отметить, что некоторые разработанные на данный момент схемы обогащения и переработки ЦСП предусматривают достаточно тонкое измельчение (до 0,074 мм), не обеспечивая при этом необходимое раскрытие минеральных зерен цеолита, что обусловлено их достаточно тонким взаимопроращением с вмещающими минералами. В этой связи возникает необходимость разработки технологий, позволяющих обеспечить более глубокую очистку ЦСП от примесей, что позволит существенно повысить качественные показатели цеолитовой продукции. При этом одним из наиболее эффективных

методов очистки и подготовки ЦСП к последующему обогащению является акустическая (ультразвуковая) обработка, при которой обеспечивается звуковое давление в две и более атмосферы, определяющее эффективность диспергации минеральных составляющих и возможность применения данного метода в технологиях обогащения цеолитсодержащих пород [260; 246; 277; 280].

Получение цеолитовых продуктов для применения в процессах адсорбции и ионообмена возможно по технологии, представленной на рисунке 1.3.3. Представленная технологическая схема определенно не может обеспечить соответствие цеолитовых продуктов предъявляемым требованиям по причине отсутствия в ней операций по очистке ЦСП от перечисленных примесей. В этой связи, данная технология позволяет перерабатывать ЦСП с содержанием цеолитов до 98%, что не отвечает исходному качеству большинства месторождений.

Современные требования (ТУ, ГОСТ) к цеолитовому сырью определяют содержание в нем окисных форм железа от 0,01 до 1,4% [385–388, 305], что определяет необходимость применения в технологиях обогащения и переработки ЦСП операции магнитной сепарации.

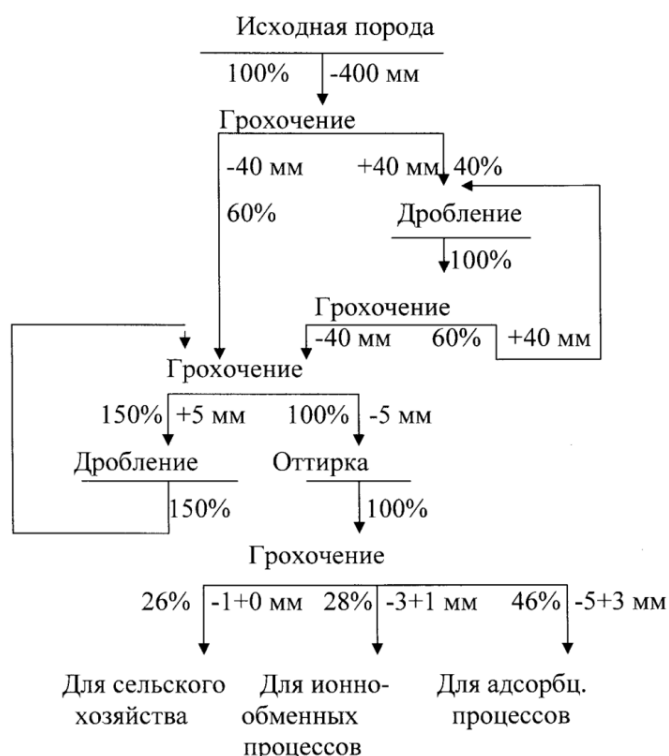


Рисунок 1.3.3 – Технологическая схема переработки ЦСП

Так, исследователями [285] изучена возможность магнитной сепарации ЦСП Шивыртуйского месторождения. Основная сложность эффективного обогащения данных пород определяется тонким взаимопроращением минералов цеолита с глинистыми компонентами (монтмориллонит), а также близостью их физических и физико-химических свойств.

При разработке технологии обогащения ЦСП Шивыртуйского месторождения использовался метод тяжелосредного разделения с использованием бромформа и диметилформамида. Результаты проведенных исследований [285] показали достаточную эффективность гравитационного обогащения ЦСП и возможность получения глинистого продукта, цеолитового концентрата и тяжелой фракции, содержащей минералы группы полевого шпата и кварца. Разработанная технология не позволяет эффективно очищать ЦСП от вмещающих примесей. Основным недостатком данного способа является использование в качестве среды разделения комбинации диметилформамида и бромформа, нарушающее уникальные свойства природных цеолитов (сорбционные и ионообменные) и отрицательно влияющее на качество получаемой продукции.

Разработанная авторами [277] гравитационно-магнитная схема обогащения представлена на рисунке 1.3.4. По данной схеме получен цеолитовый продукт с высоким содержанием цеолита (80 %), содержащий достаточно большое количество немагнитных вмещающих примесей, что не обеспечивает необходимой степени качества и существенно ограничивает сферу его практического использования.

Проведенный анализ уровня развития науки и техники позволил автору разработать обобщающую классификацию способов и методов обогащения, переработки и химической модификации ЦСП (таблица 1.3.1).

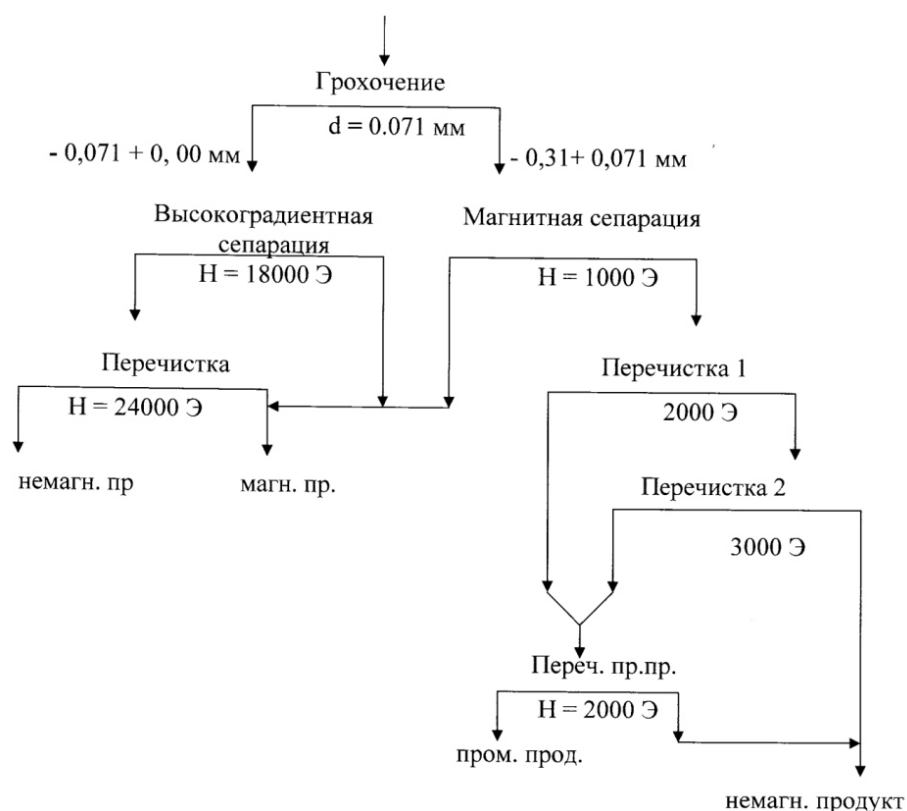


Рисунок 1.3.4 – Технологическая схема обогащения ЦСП Тедзамского месторождения (Грузия) [277]

Установлено, что основными недостатками сухого способа обогащения ЦСП являются:

- сложность удаления органических примесей из пор цеолитов;
- низкая степень раскрытия минеральных зерен цеолитов;
- высокое пылеобразование.

Достоинства сухого способа обогащения ЦСП:

- отсутствие слипаемости материала;
- высокая эффективность грохочения;
- высокая эффективность разделения электромагнитной и электростатической сепарациями.

Основным недостатком мокрого способа обогащения ЦСП является слипаемость материала, негативно влияющая на эффективность отделения цеолитов от вмещающих примесей.

Достоинства мокрого способа обогащения ЦСП:

- отсутствие пылеобразования при рудоподготовке;
- эффективное удаление органических примесей.

В этой связи, применение комбинированного способа обогащения ЦСП является наиболее эффективным и позволяет получать цеолитовую продукцию требуемого качества.

Таблица 1.3.1 - Обобщающая классификация способов и методов переработки ЦСП

Способы обогащения ЦСП	Методы и операции, используемые при обогащении ЦСП	Удаляемые вмещающие примеси
Сухой	Дробление, измельчение, грохочение, сушка, обеспыливание, магнитная сепарация, электростатическая сепарация, фасовка	Fe – содержащие примеси, кварц и полевые шпаты
Мокрый	Мокрое измельчение, обесшламливание, ультразвуковое воздействие, центрифугирование, отмучивание, флотация, обогащение на концентрационных столах, обогащение в тяжелых жидкостях, химическая обработка, сушка	Fe – содержащие примеси, органика, кварц и полевые шпаты
Комбинированный	Дробление, измельчение, ультразвуковая обработка, сушка, грохочение, обеспыливание, магнитная сепарация, электростатическая сепарация, обогащение в тяжелых жидкостях	Fe – содержащие примеси, органика, кварц и полевые шпаты

Эффективность методов обогащения и переработки определяется минеральным составом ЦСП. Так, на основе существующего уровня развития техники и технологии Т. С. Юсупов представил применимость методов разделения ЦСП в виде таблицы (таблица 1.3.2), в которой определил два варианта схем сепарации пород в зависимости от разновидностей вмещающих минералов-примесей [288].

Анализ таблицы показал, что в ней представлены данные о возможностях современной науки и техники в области обогащения ЦСП.

Таблица 1.3.2 – Методы сепарации цеолитов в зависимости от минерального состава породы [288]

Выделяемый минерал	Преобладающие минералы-спутники	Способы концентрирования
Цеолит	Полевые шпаты Слюды > 50 мкм Глауконит	Электромагнитная сепарация
		Электростатическая сепарация
		Разделение в тяжелых жидкостях
	Глинистые минералы < 50 мкм	Электромагнитная сепарация в изодинамических полях
Разделение в тяжелых жидкостях в центробежном поле		
Цеолит	Минералы группы кварца, глинистые минералы	Электромагнитная сепарация
		Флотация

Необходимость получения высококачественной цеолитовой продукции с целью расширения практического применения ЦСП определяет необходимость разработки новых эффективных технологий их обогащения, переработки и модификации, которые базируются на использовании направленных методов воздействия (термических, акустических, радиационных и энергетических), позволяющих в сочетании с классическими методами достигать высокое содержание цеолитов в конечных продуктах.

Необходимо уточнить, что научно-методологические основы применения радиационной обработки (потока ускоренных электронов) применительно к труднообогатимому минеральному сырью, в том числе и к ЦСП, заложены И. Н. Плаксиным, Р. Ш. Шафеевым, В. А. Чантурия, Г. Р. Бочкаревым, В. П. Якушкиным, С. Б. Леоновым, С. А. Богидаевым, Н. В. Руденко, В. И. Ростовцевым и другими отечественными и зарубежными учеными. В частности, В. И. Ростовцев выдвинул и обосновал три основные гипотезы разупрочнения при данном виде направленного воздействия [215]. Данные гипотезы позволяют определить возможность применения воздействия ускоренными электронами к ЦСП, а также установить необходимые направления изменения их свойств.

Анализ достижений в науке и практике обогащения и переработки ЦСП позволил установить, что низкие показатели их обогащения определяются

недостаточной эффективностью применяемых технологических режимов и используемых аппаратов, что обуславливает необходимость разработки гравитационных, флотационных и комбинированных схем обогащения природных цеолитов. Перспективным считается направление по рудоподготовке ЦСП с помощью энергетических методов. Методологической основой применения энергетических методов к труднообогащаемому минеральному сырью, в том числе и к ЦСП, являются фундаментальные исследования И.Н. Плаксина, В.И. Ревнивцева, В.А. Чантурия, Л.А. Вайсберга, Г.В. Седельниковой, И.Ж. Бунина, В.И. Ростовцева и других видных отечественных и зарубежных учёных. В частности, И.Ж. Буниным и другими учеными подробно изучены и обоснованы механизмы воздействия МЭМИ на природные минеральные среды [25, 26], раскрывающие причины высокой эффективности процесса дезинтеграции [138]. Выявлено, что одним из наиболее эффективных методов воздействия применительно к ЦСП является их обработка мощными наносекундными электромагнитными импульсами перед дроблением и измельчением.

Важное значение приобретает необходимость разработки технологий, позволяющих обеспечить комплексность использования ЦСП.

Таким образом, в процессе изучения уровня развития техники и технологии в области переработки и обогащения ЦСП установлено, что:

- существующие на данный момент времени технологии обогащения и переработки ЦСП характеризуются недостаточной эффективностью применяемого оборудования и режимных параметров обогащения, низкой степенью отделения цеолитов от вмещающих примесей, нарушением физико–химических свойств цеолитов, а также неэффективностью;

- сложность извлечения мономинералов цеолитов обусловлена тонкой вкрапленностью и близостью физических и физико–химических свойств вмещающих минералов–примесей;

- необходима разработка эффективных методов рудоподготовки, обогащения и переработки ЦСП Восточного Забайкалья, что обусловлено неэффективностью

существующих на данный момент времени технологий, не способных обеспечить получение высококачественной цеолитовой продукции.

Комплексный подход к кондиционированию качества ЦСП заключается в комбинировании классических методов рудоподготовки и обогащения с методами направленного воздействия.

1.4 Выбор и обоснование объектов исследования

В масштабах России существует проблема, связанная с наличием большого числа техногенных территорий горнопромышленного комплекса, включающих отвалы пустых пород, горные выработки (карьеры и шахты), хвостохранилища, здания и сооружения, зараженные токсичными и радиоактивными веществами, а также отработанные штабели кучного выщелачивания и отвалы разработки россыпных месторождений, которые наносят существенный вред окружающей среде прилегающих к ним населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, природных парков и т. д. Одним из способов решения данной проблемы является проведение восстановительных и рекультивационных работ таких территорий с применением НДТ, к числу которых, несомненно, можно отнести использование ЦСП, обеспечивающих возможность очистки сточных вод, отходящих газов, сорбцию проливов нефтепродуктов, мышьяка, радионуклидов, ртути и т. д. Вместе с тем природные цеолиты высокой степени чистоты (90–98 %) могут найти применение во многих наукоемких секторах экономики, к примеру, в медицине, газовой и нефтяной отраслях и др. Однако ЦСП не всегда удовлетворяют необходимым требованиям качества за счет несоответствия физико-химических свойств или наличия в них большого числа примесей кварца, полевых шпатов, оксидов железа, органических включений и глинистой составляющей. В этой связи становится актуальной фундаментальная проблема снижения экологической нагрузки за счет управления отходами действующих предприятий и восстановления заброшенных техногенных территорий горнопромышленного комплекса на основе применения высококачественных

цеолитовых материалов с заданными физико-механическими свойствами, достигаемыми путем их обогащения и модификации.

При этом существует ряд обстоятельств, заставляющих по-новому подходить к вопросам обогащения, переработки и модификации ЦСП. В первую очередь это относительно невысокое качество цеолитового минерального сырья при значительных запасах, что определяет низкие объемы его добычи и применения. Вместе с тем существенное влияние оказывают новые требования промышленности к качеству природных цеолитов, в том числе гармонизированные с международными, и связанные с членством России в различных торговых организациях, в соответствии с которыми содержание вмещающих примесей в цеолитовых продуктах должно составлять не более 10–15 %. При этом подавляющая часть запасов ЦСП России представлена средне- и низкокачественным рядовым сырьем с содержанием цеолита от 35 до 60 %. Месторождения, сложенные целиком богатыми породами, крайне редки (Хонгуруу, Республика Саха) [73; 74]. Чаще всего такое сырье встречается в отдельных пластах или участках на месторождениях бедных и рядовых пород Забайкальского края, составляющих 73,6 % от общегосударственных запасов ЦСП по стране (Шивыртуйское, Холинское, Бадинское, Бадинское).

Таким образом, выбор объектов диссертационного исследования был обусловлен ресурсным потенциалом их как источников получения высококачественного цеолитового сырья, значительными запасами, а также востребованностью эффективных и доступных сорбентов с возможностью их использования при решении задач по обезвреживанию, рекультивации и захоронению отходов горнопромышленных предприятий, отсутствием на сегодняшний день удовлетворительных технологических решений по глубокому обогащению, переработке и модификации цеолитсодержащих пород.

Выводы по главе 1

Анализ нормативно-правовой базы Российской Федерации в сфере управления отходами горной промышленности показал, что новые

законодательные подходы государства направлены на использование НДТ, характеризующихся ресурсо- и энергосбережением, экономической эффективностью их внедрения и эксплуатации, а также обеспечивающих наименьшую степень экологического воздействия на окружающую среду. Законодательство России определяет НДТ как технологии, базирующиеся на новейших достижениях науки и техники и обеспечивающие достижение высокого уровня ресурсной эффективности согласно современным экологическим требованиям.

Несмотря на устойчивое развитие нормативно-правовой базы в сфере обращения с техногенным минеральным сырьем, образование отходов горной промышленности не обеспечивается эффективной организацией управления ими, которая должна базироваться на принципах ресурсосбережения и экологичности, а также на стимулировании деятельности предприятий к внедрению НДТ по переработке, обезвреживанию, утилизации и захоронению отходов, что в значительной степени обуславливает нарушение экосистем районов их размещения. Для обезвреживания, консервации и захоронения отходов требуется применение доступных и сравнительно недорогих методов, направленных на минимизацию воздействия горной промышленности на окружающую среду и восстановление экологической обстановки в регионах размещения. При наличии большого количества отечественных и зарубежных разработок в сфере обращения с отходами горного производства, в том числе на основе использования природных сорбентов, их применение в России носит либо экспериментальный, либо разовый характер без масштабирования на уровень государства или даже региона. В большей степени причины сложившейся ситуации заключаются в отсутствии экономически рентабельных и одновременно эффективных технологий, способных обеспечить требуемый результат.

Анализ основных направлений развития науки и техники в сфере управления горнопромышленными отходами показал, что наиболее перспективным по доступности и эффективности для этих целей является применение сорбционных технологий на основе ЦСП, что обуславливает актуальность, а также научную и

экономическую значимость применения высококачественных природных цеолитов в роли инструментария в процессах очистки, переработки и утилизации техногенного минерального сырья с целью существенного сокращения техногенной нагрузки, оказываемой горно-перерабатывающими предприятиями.

Однако, исходя из неравномерного содержания минералов цеолита, эффективное использование ЦСП определяется необходимостью их обогащения и модификации, что, в свою очередь, обуславливает существенное расширение направлений применения природных цеолитов в мероприятиях по минимизации экологического воздействия горнопромышленных комплексов на прилегающие к ним территории. При этом требования к качеству ЦСП, применяемых в различных отраслях экономики, определяются соответствующими техническими условиями, устанавливающими количественное содержание минералов цеолита (80–99 %) и вмещающих примесей в них. По причине глубокого взаимопрорастания минералов цеолитов с минералами примесей требуется применение нетрадиционных направленных методов воздействия, способных подготовить породы к дальнейшей переработке путем разупрочнения межминеральных связей и повышения контрастности разделяемых минералов.

Следует отметить, что отходы переработки и обогащения ЦСП также требуют определения технологий по обращению с ними. Комплексное решение этих проблем становится возможным при разработке Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования ЦСП, основанной на применении НДТ. Разработка и реализация данной Концепции обеспечит существенное снижение негативного воздействия техногенных отходов на окружающую природную среду за счет сокращения объемов образуемых отходов, минимизации их вреда путем очистки, комплексного использования, а также перевода техногенных образований в перспективные месторождения посредством рекультивации и консервации. При этом Концепция в качестве одной из важнейших своих составляющих предполагает создание технологий управления отходами с применением в качестве инструментария ЦСП и основанных на комбинировании традиционных

методов обогащения с направленными методами воздействия, повышающими контрастные разделительные свойства и основанными на минералогических особенностях пород.

Для разработки и обоснования параметров технологий обогащения и модификации ЦСП, очистки, утилизации и захоронения на их основе горнопромышленных отходов в качестве объектов исследования приняты ЦСП основных месторождений Восточного Забайкалья (Шивыртуйское, Холинское, Бадинское, Талан-Гозагорское).

Определены основные задачи исследований:

- анализ современного состояния уровня развития теоретических основ и практических перспектив применения цеолитсодержащих пород при обезвреживании, рекультивации и захоронении горнопромышленных отходов;
- разработка Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья;
- комплексное изучение вещественного состава и технологических свойств цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья;
- выбор методов направленного воздействия на цеолитсодержащие породы и разработка технологических схем их глубокого обогащения и модификации;
- выявление закономерностей изменения фазового состава, физико-механических и физико-химических свойств цеолитсодержащих пород при использовании методов направленного воздействия и модификации;
- разработка и обоснование параметров технологий обезвреживания, рекультивации и захоронения техногенных отходов с применением природных цеолитов;
- эколого-экономическая оценка эффективности разработанных технологий обогащения цеолитсодержащих пород и управления отходами горноперерабатывающей промышленности.

2 Развитие научно-методологических основ создания инновационных ресурсосберегающих технологий управления горнопромышленными отходами на основе применения цеолитсодержащих пород

2.1 Разработка Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород

Основной вклад в общий объем образования отходов вносят хвосты обогатительных фабрик, отвалы пород, сточные воды, металлургические шлаки и золошлаки. В результате низкой степени вторичного использования, обезвреживания, переработки и утилизации основное количество накопленных техногенных отходов находится, как правило, в заскладированном виде, занимая значительные площади.

Проблема утилизации отходов техногенного происхождения является одной из ключевых в процессе развития России. В этой связи одним из направлений создания экологически безопасных условий является разработка и последующая реализация концепции управления техногенным минеральным сырьем, основанной на применении НДТ, базирующихся на рациональном и комплексном использовании ЦСП (далее – Концепция), которая позволит существенно сократить объемы горнопромышленных отходов, в том числе накопленных в результате прошлой хозяйственной деятельности. Концепция обеспечит более эффективное решение вопросов менеджмента при образовании, переработке и утилизации отходов горной промышленности, что будет способствовать значительному снижению и ликвидации экологического ущерба, наносимого под ее воздействием.

Необходимо отметить, что количество объектов, не имеющих хозяйствующего собственника в России, составляет около 190, при этом основная площадь территорий, загрязненных в результате деятельности данных предприятий, располагается, как правило, на землях, находящихся в собственности муниципалитета или Субъекта Федерации. Поэтому разработка

Концепции приобретает особую значимость и является крайне актуальным направлением. Основной целью предлагаемой Концепции является сохранение природных систем и поддержание их целостности, обуславливающее значительное снижение загрязнения окружающей среды.

Вместе с тем сохранение и восстановление ландшафтов, очистка сточных вод и отходящих газов способствует существенному снижению негативных воздействий на состояние окружающей среды. В решении данной проблемы важную роль играют ЦСП, с применением которых в природоохранных технологиях может быть достигнут значительный эффект в процессах очистки, переработки и утилизации отходов горного производства, основанный на уникальных физико-химических свойствах природных цеолитов. Применение ЦСП в мероприятиях по защите и восстановлению окружающей среды может стать частью общегосударственной концепции по рациональному и комплексному использованию минерального сырья, в том числе по управлению отходами горнопромышленного комплекса России. Такая концепция должна подразумевать обеспечение условий для разработки и внедрения НДТ в сфере обращения с отходами горного производства с применением ЦСП, гарантирующих экологическую и радиационную безопасность в районе расположения горнопромышленных предприятий.

Реализация предлагаемой Концепции направлена в первую очередь на создание современной системы применения НДТ на основе использования природных цеолитов. Целевым показателем будет эффект от применения данных технологий, выражающийся в существенном повышении комплексности использования перерабатываемого сырья, значительном снижении концентрации загрязняющих веществ в воде и отходящих газах, а также в сокращении объемов отходов, представленных материалами отвалов и хвостохранилищ. Разрабатываемая Концепция направлена на сокращение влияния техногенных отходов на окружающую среду, а также на повышение эффективности и комплексности использования минеральных ресурсов.

Внедрение Концепции позволит добиться систематизации в управлении отходами на горнопромышленных предприятиях, что обеспечит формирование единой отрасли по обращению с техногенными отходами на государственном уровне, которая обеспечит условия для внедрения комплексных систем безотходного производства. Предлагаемая Концепция подразумевает возможность использования или переработки отходов производства друг друга, иными словами, возможен обмен техногенным сырьем или его передача от одного недропользователя другому с целью доизвлечения ценных компонентов, использования в технологии обогащения, при закладке выработанного пространства и т. д., что позволяет существенно сократить объем отходов, подлежащих складированию или захоронению. В результате такого взаимодействия появляются замкнутые циклические системы, которые производят значительно меньше отходов и сокращают тем самым негативное влияние на компоненты окружающей среды.

Целью предлагаемой Концепции является не достижение полного использования минерального сырья, подвергающегося обогащению, а стремление к такому результату, который заключается в максимальном доизвлечении ценных компонентов, переработке образующихся отходов, минимизации их объемов, утилизации, захоронении, рекультивации, консервации и использовании в качестве материала для создания новой продукции. Важную роль, помимо анализа материальных потоков и оценки жизненного цикла отходов, играет создание так называемой «Дорожной карты безотходного и малоотходного производства», базирующейся на устойчивом, комплексном и профилактическом подходе к отходам. Такая система является циклической и поэтому достаточно устойчивой, в отличие от применяемой в настоящее время в горной промышленности линейной системы («от колыбели до могилы»), и может быть условно определена как движение отходов «от колыбели до колыбели» [322]. В этой связи Концепция должна учитывать необходимость преобразования линейной системы управления отходами горнопромышленного комплекса в циклическую.

В большинстве случаев горнопромышленными предприятиями применяется линейная система управления отходами, при которой отходы складываются с последующей рекультивацией. Отходы в виде отвалов и хвостохранилищ не всегда рассматриваются с точки зрения дальнейшей переработки и заканчивают свой жизненный цикл именно на этом этапе. Существующий линейный процесс движения отходов горного производства, включающий добычу и переработку минерального сырья с образованием отходов и дальнейшее складирование, представлен на рисунке 2.1.1. Циклическая система («из колыбели в колыбель»), представленная на этом же рисунке, подразумевает повторную переработку техногенного сырья на каждом этапе производства с получением дополнительной товарной продукции, в том числе за счет применения наилучших доступных технологий, основанных на принципах рациональности, экологичности, ресурсо- и энергосбережения.

Соответственно, циклическая система выглядит более рациональной для использования на предприятиях горной промышленности по причине необходимости более глубокой переработки и обогащения техногенного сырья с целью доизвлечения ценных компонентов с последующим использованием отходов в виде дополнительной продукции, в частности, в качестве основы для закладочных смесей, строительстве автодорог и т. п., продлевая таким образом жизненный цикл отходов с эколого-экономическим эффектом для предприятия.

Необходимо отметить, что целями предлагаемой Концепции являются:

- безотходность использования ресурсов (минерального сырья, воды);
- отсутствие выбросов и сбросов;
- отсутствие отходов при производстве;
- отсутствие радиоактивных и токсичных отходов.

Основными принципами внедрения Концепции в производство являются: предотвращение образования отходов путем безотходных процессов добычи, переработки и обогащения; переработка, утилизация, захоронение и использование отходов; применение циклических (безотходных) стратегий управления отходами.

Из колыбели в могилу

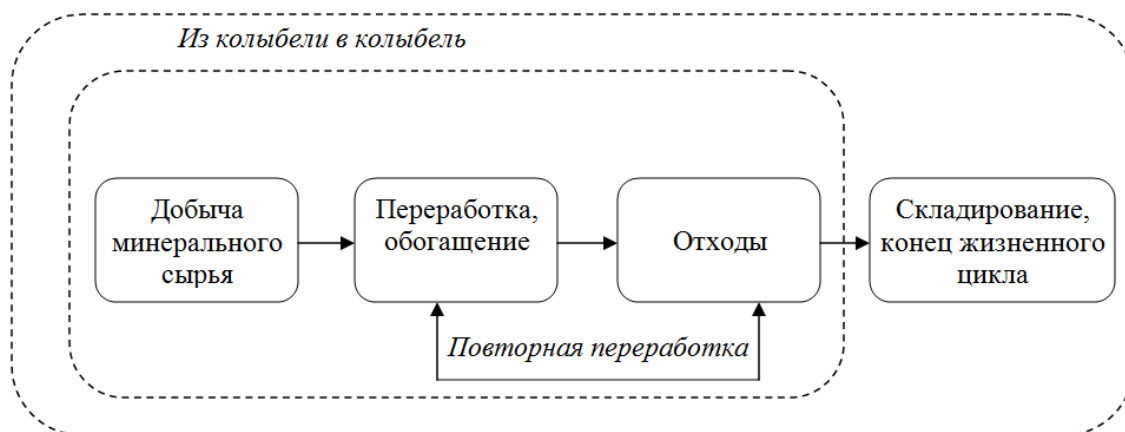


Рисунок 2.1.1 – Линейный и циклический процессы движения отходов горного производства

Принцип безотходных процессов объединяет различные методы добычи полезных ископаемых, переработки и обогащения с учетом необходимости соблюдения экологических требований и нормативов, а также применения НДТ. Наряду с рудой в переработку может вовлекаться минеральное сырье отвалов и хвостохранилищ. Таким образом, данная составляющая концепции побуждает использовать уже имеющиеся материалы в виде техногенных отходов вместо вновь добываемых ресурсов или совместно с ними.

Следует отметить, что основой предлагаемой Концепции является применение НДТ как в процессе переработки минерального сырья, так и отходов, образующихся в результате деятельности предприятия. Для обеспечения защиты окружающей среды важную роль играют ЦСП, также являющиеся неотъемлемой частью данной Концепции. Вместе с тем комплексное и рациональное применение природных цеолитов в технологиях переработки, утилизации, захоронения и очистки отходов горной промышленности является инновационным подходом, который позволяет существенно минимизировать негативное техногенное воздействие на прилегающие к горнопромышленному предприятию территории.

Необходимо отметить, что управление техногенным минеральным сырьем на основе рационального и комплексного использования ЦСП возможно на всех этапах его жизненного цикла (рисунок 2.1.2), что обусловлено их уникальными

адсорбционными свойствами. В частности, для снижения объемов образования жидких отходов цеолиты могут быть применены для очистки оборотных, сточных, карьерных и шахтных вод горнопромышленных предприятий. Достаточно эффективной считается возможность применения сорбентов при доизвлечении ценных компонентов из сточных вод и рассолов, а также при очистке отходящих газов предприятий. При транспортировке минеральных отходов ЦСП могут применяться в технологиях пылеподавления поверхностей пыления – автомобильных дорог и емкостей транспортирования. Технологии складирования, захоронения и рекультивации также реализуемы с использованием природных цеолитов. Кроме того, некоторые технологии вторичной переработки и использования горнопромышленных отходов базируются на применении ЦСП. В частности, достаточно эффективно могут быть применены свойства цеолитов при создании грунтовых смесей для рекультивации, при закреплении пылящих поверхностей, создании геотехнологических барьеров и т. д. Цеолиты выступают инструментом инфраструктуры управления отходами различных классов опасности, что обусловлено широким диапазоном возможности их применения.

В этой связи предлагаемая Концепция (рисунок 2.1.3) достигает своих целей за счет реализации стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе НДТ (рисунок 2.1.4). В этом случае достигается основная цель данной стратегии, заключающаяся в технологической и экологической эффективности работы горнопромышленных предприятий. Основным целевым ориентиром Концепции является рациональное и комплексное использование ЦСП при управлении горнопромышленными отходами, образующимися в результате добычи и переработки минерального сырья.

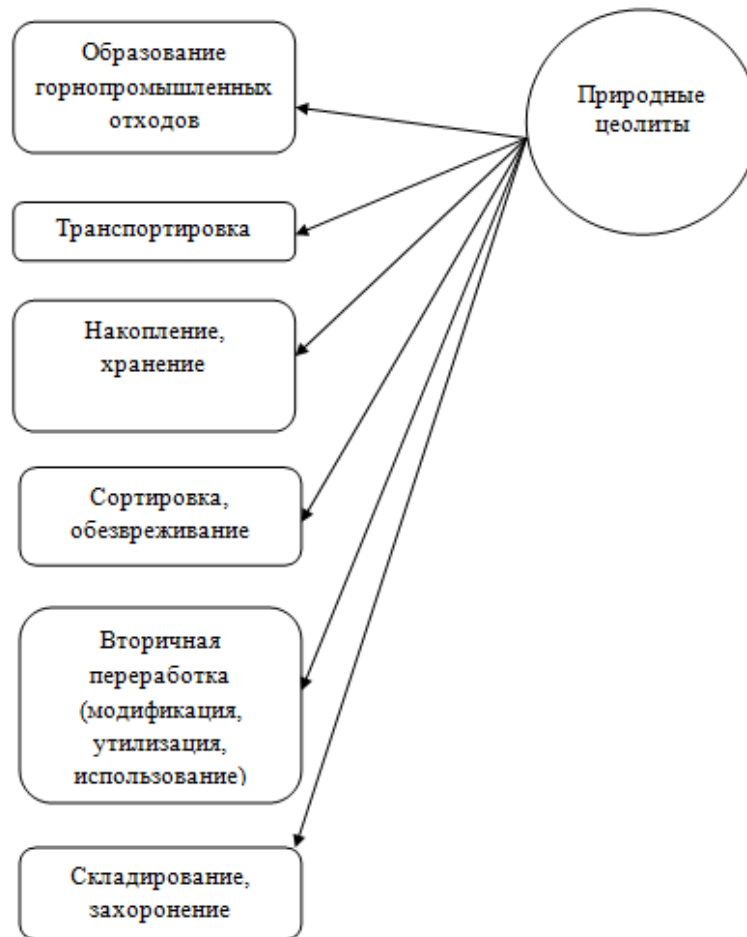


Рисунок 2.1.2 – Применение природных цеолитов в жизненных циклах горнопромышленных отходов

Реализация Концепции зависит от повышения эффективности и конкурентоспособности горных предприятий за счет применения НДТ. Применяемые в данном случае инструменты управления горнопромышленными отходами, к которым относится анализ экономической эффективности, разработка проекта внедрения НДТ, получение комплексного экологического разрешения, аналитические и научно-исследовательские работы, включающие выбор альтернативных вариантов технологий из автоматизированной системы ИТС НДТ, проведение исследований и разработку альтернативных вариантов технологий рудоподготовки, обогащения, переработки и химической модификации ЦСП, обезвреживания сточных вод, рекультивации и захоронения техногенных отходов, очистки отходящих газов с применением природных цеолитов, определяют эффективность поставленного целевого ориентира. Кроме того, предлагаемые инструменты управления техногенным сырьем позволяют

предприятию вести собственную природоохранную политику, устанавливать экологические цели и задачи, определять существующие и перспективные «точки экологического воздействия», а также совершенствовать систему управления охраной окружающей среды и адаптировать экологическую политику к изменяющимся нормативно-правовым условиям.

На основании вышеизложенного разработана блок-схема методологии повышения эффективности и конкурентоспособности горных предприятий на основе НДТ и оценки жизненного цикла отходов горного производства (рисунок 2.1.4), позволяющая существенно расширить ее функциональные возможности.

Горнодобывающие и горноперерабатывающие предприятия должны быть ориентированы на альтернативность вариантов выбора НДТ по технологическим и экономическим показателям. В этом случае требуется реализация алгоритма, предусмотренного блок-схемой, предложенной автором (рисунок 2.1.6), и следует руководствоваться принципами выбора НДТ, базирующимися на методологии их оценки воздействия на окружающую среду, стратегии экономической рациональности использования инновационных технологий и соответствующих методах анализа экономической эффективности (рисунок 2.1.7).

Большое значение при этом имеют принципы, определяющие методологию оценки НДТ по их воздействию на окружающую среду (рисунок 2.1.5 и 2.1.7) и обуславливающие область применения НДТ, инвентаризацию выбросов и сбросов, потребляемых видов сырья, материалов и энергии, последствия воздействия, а также противоречия при оценке данного воздействия.

В этой связи уникальные адсорбционные свойства природных цеолитов и их количественное содержание в ЦСП позволяют безошибочно выбрать область применения технологии, определить эффективность ее использования для нейтрализации соответствующих веществ, содержащихся в эмиссиях. Методология определения экономической рациональности применения технологий базируется на принципах, обуславливающих возможность установить области применения НДТ, а также исчерпывающие сведения о необходимых затратах на ее внедрение и защиту окружающей среды.

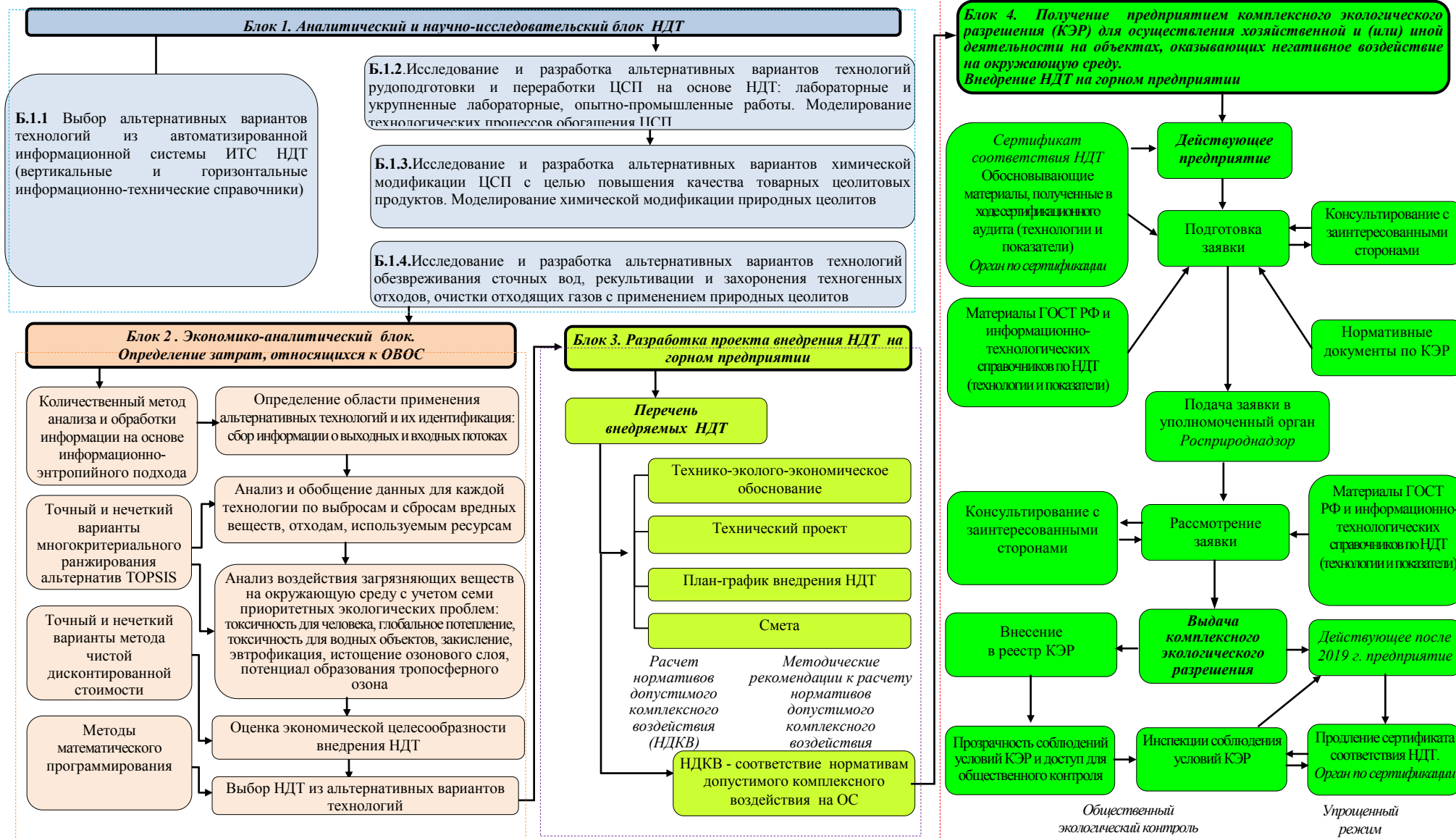


Рисунок 2.1.3 – Блок-схема Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования минерального сырья (на примере ЦСП Восточного Забайкалья)

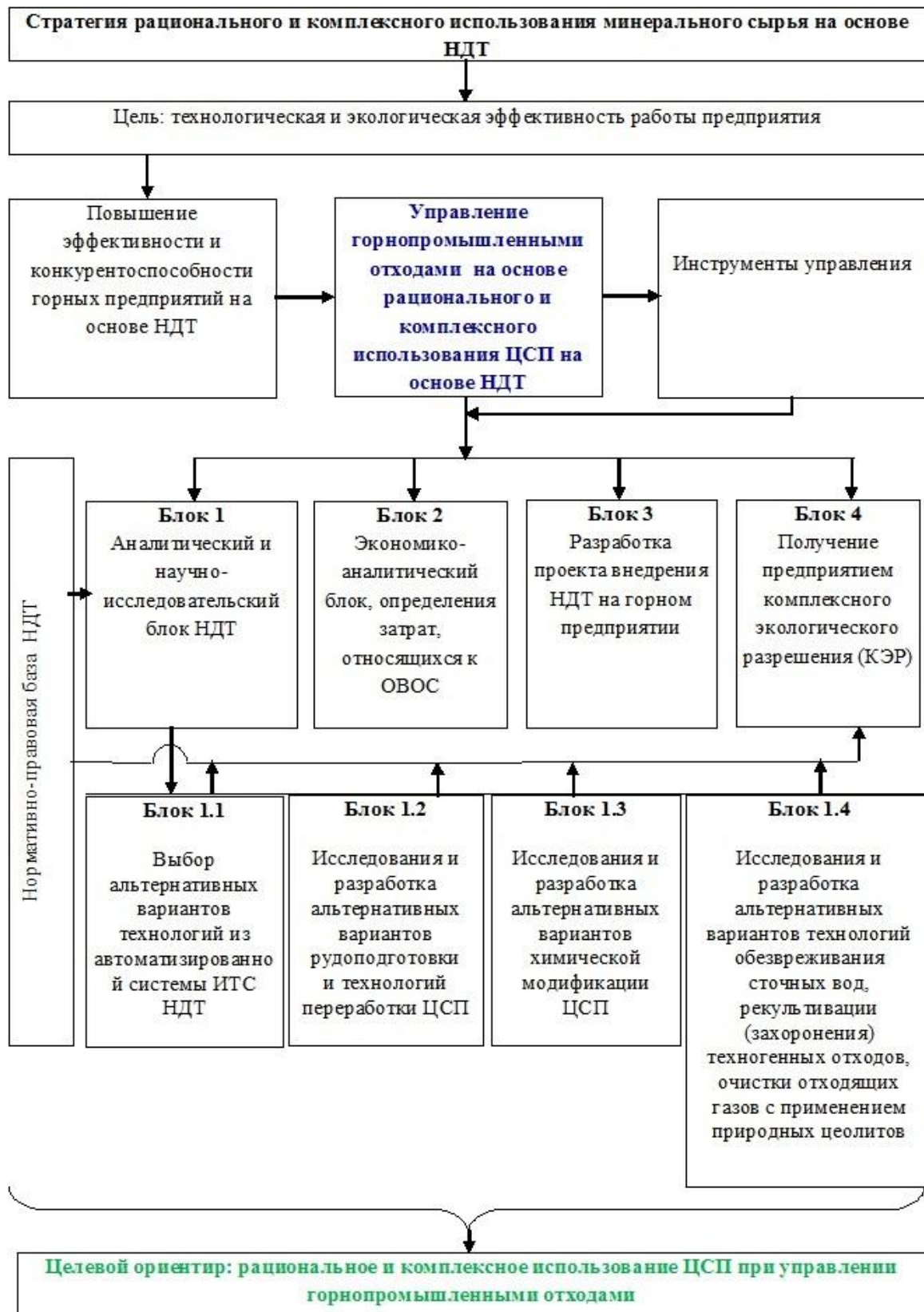


Рисунок 2.1.4 – Стратегия рационального и комплексного использования минерального сырья на основе НДТ

Методология определения экономической рациональности применения технологий базируется на принципах, обуславливающих возможность установить

области применения НДТ, а также исчерпывающие сведения о необходимых затратах на ее внедрение и защиту окружающей среды. В данном случае количественное содержание цеолитов в породах и их физико-химические свойства также играют важную роль, обуславливая эколого-экономические показатели технологий, предусматривающих их использование.

Вместе с тем значительное влияние на эффективность работы горнопромышленных предприятий, в том числе в сфере управления техногенными отходами, оказывают критерии выбора НДТ (рисунок 2.1.4), определяющие рациональное потребление ресурсов, энергоэффективность, применение малоотходных технологий, оценку воздействия технологии и применяемых опасных веществ на окружающую среду, снижение риска аварий и возможность технического метаболизма. Одним из наиболее важных параметров при этом является энергоэффективность НДТ, предусматривающая наряду с энерготехнологическим комбинированием и поиском оптимальных режимов работы предприятия синергетических эффектов интеграции, обуславливающих определение основных минералого-технологических и технологических характеристик ЦСП, к которым следует отнести изучение вещественного состава и их физико-химических свойств, выбор альтернативных (наилучших доступных) технологий рудоподготовки и переработки, а также направлений применения пород при обезвреживании сточных вод, рекультивации (захоронения) техногенных отходов и очистки отходящих газов (рисунок 2.1.7).

Следует отметить, что выбор НДТ в значительной степени зависит от реализации экономико-аналитического блока предлагаемой Концепции, предполагающего определение области применения технологий, обобщения и анализа данных по воздействиям отходов и эмиссий горнопромышленного предприятия с применением многокритериального ранжирования альтернатив TOPIS, анализ экономической рациональности применения технологии, а также выбор технологического решения методом математического программирования (рисунок 2.1.6).



Рисунок 2.1.5 – Стратегия повышения эффективности и конкурентоспособности горных предприятий на основе НДТ

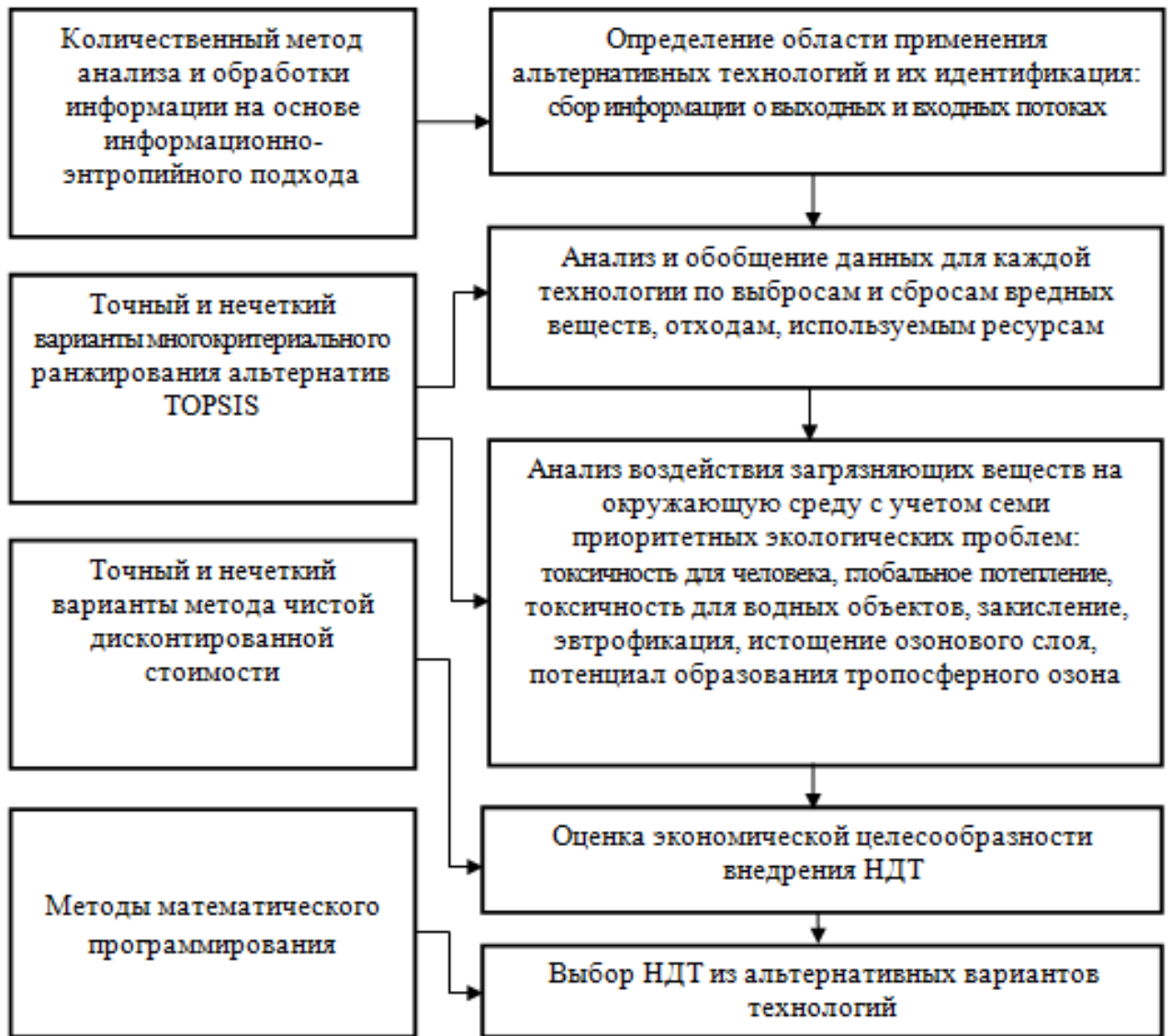


Рисунок 2.1.6 – Экономико-аналитический блок при выборе НДТ [278]

Одним из наиболее важных блоков предлагаемой Концепции является разработка проекта внедрения НДТ на горнопромышленном предприятии (рисунок 2.1.3, Блок 3), которая включает ее технико-эколого-экономическое обоснование, создание технического проекта, а также составление сметы и плана-графика реализации технологического решения. При этом производится расчет нормативов экологического воздействия технологии, влияющих на выдачу комплексного экологического разрешения (рисунок 2.1.3, Блок 4).



Рисунок 2.1.7 – Основные принципы выбора НДТ

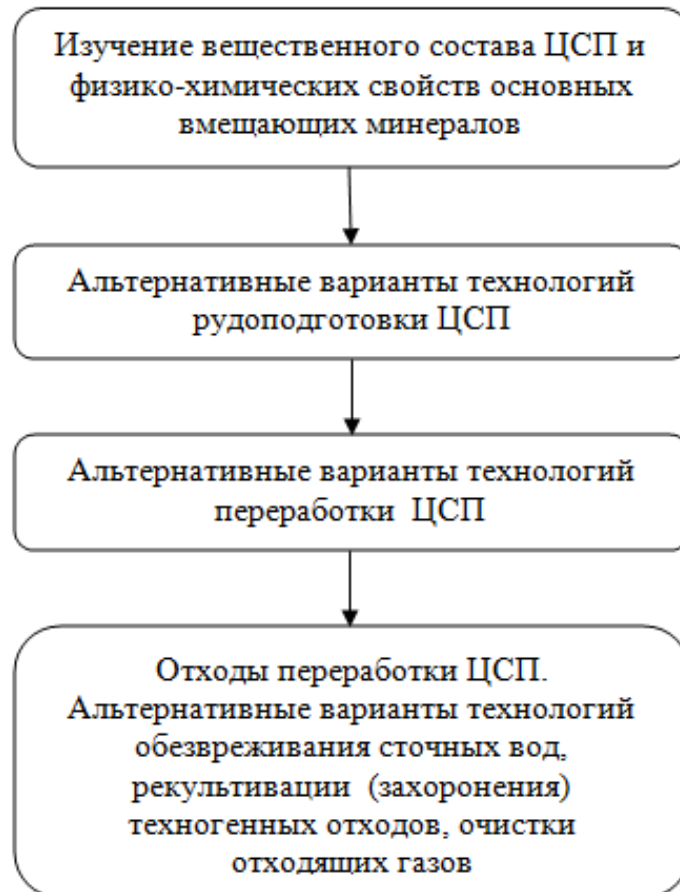


Рисунок 2.1.8 – Интеграция НДТ рационального и комплексного использования ЦСП при управлении горнопромышленными отходами

Таким образом, разработанная Концепция предполагает следующие основные блоки: аналитический и научно-исследовательский; экономико-аналитический; проект внедрения НДТ; получение КЭР, и позволяет обеспечить эффективное управление техногенным сырьем на основе рационального и комплексного использования ЦСП, реализуемого путем выбора альтернативных технологий их переработки, обогащения и модификации с последующим использованием при обезвреживании сточных и оборотных вод, очистке отходящих газов, а также при рекультивации и захоронении горнопромышленных отходов.

2.2 Обоснование рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород при управлении техногенным минеральным сырьем

Принципы рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород при управлении техногенным минеральным сырьем реализуются посредством применения определенного набора инструментов, обеспечивающих широкие потенциальные возможности для снижения степени негативного воздействия горнопромышленных предприятий на окружающую среду (рисунок 2.2.1). К инструментам обеспечения принципов комплексности и рациональности использования ЦСП при управлении отходами горного производства следует в первую очередь отнести законодательную и правовую обеспеченность данного направления, которая основывается на существующих нормативных актах и подразумевает использование автоматизированной системы информационно-технических справочников НДТ, разработку проекта внедрения соответствующей технологии, а также внедрение цикличной системы управления техногенным сырьем, что оказывает значительное влияние на планирование экологической политики предприятия. Важную роль играют организационные инструменты управления отходами, к которым следует отнести процедуру разработки экологической карты образования и движения отходов, следование которой обеспечивает предприятию эффективное снижение объемов образующегося техногенного сырья, в том числе за счет увеличения объемов его переработки и организации системы мониторинга материальных потоков и жизненного цикла. В этой связи большое значение приобретают экономические инструменты управления горнопромышленными отходами, включающие различные виды стимулирования инновационной деятельности горнопромышленных предприятий в данной сфере, экономико-аналитический блок, включающий в том числе семь основных приоритетных экономических проблем воздействия на окружающую среду (рисунок 2.2.1) в значительной степени влияющих на оценку экономической рациональности применения НДТ.

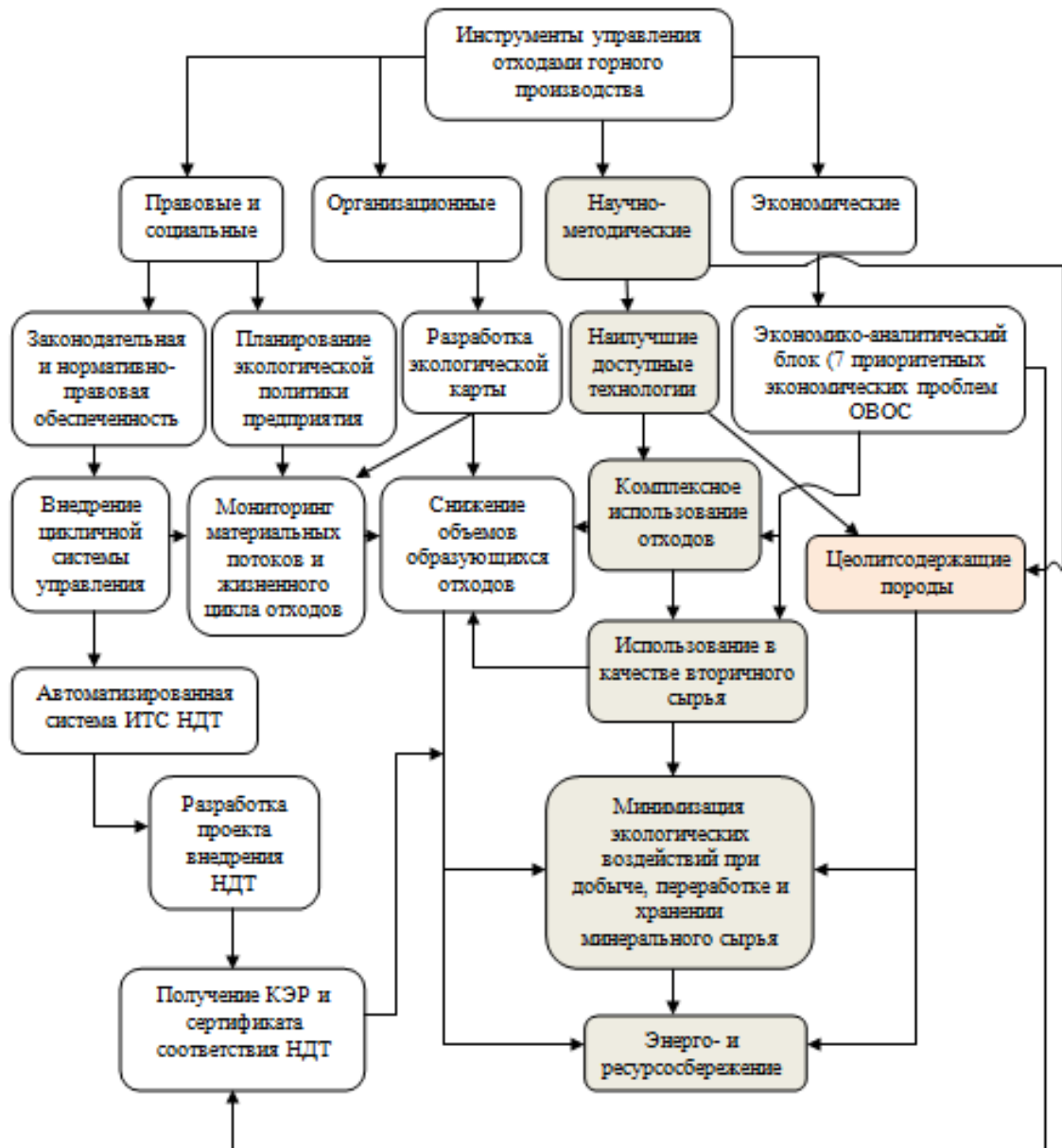


Рисунок 2.2.1 – Классификация инструментов управления отходами горного производства

Важную роль играют также социальные инструменты, действие которых направлено на внедрение системы стимулирования заинтересованности населения в организации эффективной системы обращения с отходами. Эффективность внедрения НДТ в систему обращения с отходами горнопромышленного комплекса зависит от использования научно-методических инструментов, основанных на привлечении научно-технического потенциала к разработке таких технологий. Применение данных инструментов позволяет разработать наилучшие доступные технологии, позволяющие, в свою очередь, достичь максимальной

комплексности использования техногенного минерального сырья, существенно повысить получение дополнительной продукции на его основе, значительно снизить экологическое воздействие при работе горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий с учетом требований энерго- и ресурсосбережения. В этой связи в данной работе наибольшее внимание уделено научно-методическим инструментам управления отходами во взаимосвязи с исследованиями по возможности использования ЦСП в НДТ, связанных с минимизацией воздействия техногенного сырья горнопромышленных предприятий на окружающую среду (Главы 3, 4, 5, 6).

Следует отметить, что организация применения инструментов управления техногенным минеральным сырьем лежит в зоне ответственности горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий, важнейшими задачами которых являются инвентаризация и учет отходов, изучение их химического и вещественного состава, выделение типов отходов и подсчет их запасов, выработка технологических решений по переработке, рациональному и комплексному использованию отходов, эколого-экономическая оценка технологий переработки отходов [98; 111; 154; 254].

Кроме того, к задачам по организации эффективного управления отходами на горнопромышленных предприятиях с применением ЦСП необходимо отнести:

- экспертизу потоков и запасов отходов на предприятии;
- мероприятия по предотвращению образования отходов;
- деятельность по вторичному потенциальному использованию отходов;
- соответствие действующему законодательству;
- повышение эффективности за счет внедрения НДТ;
- организацию управления отходами на предприятии;
- участие в торговых электронных площадках с базами данных отходов и наилучших доступных технологий.

В этой связи основными критериями организации рационального и комплексного использования минерального сырья являются:

- общая информация о горнопромышленном предприятии;

- описание процессов и компонентов предприятия, имеющих отношение к управлению отходами;
- характеристика отходов;
- управленческие меры;
- деятельность по внедрению НДТ;
- оценка развития системы управления отходами в перспективе.

При этом именно использование НДТ в настоящее время является основным фактором для предотвращения сдерживания комплексной и рациональной переработки минерального сырья, обеспечивает минимизацию или полную ликвидацию технологических потерь с одновременным извлечением основных и попутных ценных компонентов. Применение таких технологий определяет так называемый показатель полноты комплексности использования сырья, определяемый в том числе уровнем и степенью снижения концентраций ценных компонентов в отходах. Вместе с тем НДТ представляют собой основу реализации экологической промышленной политики горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий, включающей в себя направление реализации, заключающееся в модернизации технологий и технологических процессов, инструмент реализации, которым является внедрение соответствующих технологий, и механизмы реализации, которые обеспечиваются за счет использования информационно-технических справочников наилучших доступных технологий. Основными целями внедрения НДТ являются формирование высокотехнологичной промышленности, устойчивое развитие предприятия и переход к рациональным моделям производства (рисунок 2.2.2).

Следует отметить, что применение критериев и инструментов, используемых для реализации принципов комплексности и рациональности использования ЦСП при переработке минерального сырья, будет способствовать созданию единой комплексной системы управления в сфере обращения с техногенными отходами. В этой связи одной из важнейших задач является систематизация инструментов управления отходами горного горнопромышленного комплекса с учетом

основных критериев рационального и комплексного использования ЦСП при переработке техногенного минерального сырья.



Рисунок 2.2.2 – Цели внедрения НДТ на горнопромышленных предприятиях

Применение критериев рационального использования минерального сырья (выбора НДТ) и резервов энергоэффективности с учетом принципов оценки воздействия на окружающую среду и экономической рациональности применения технологий определяет эффективность работы горнопромышленных предприятий в современных условиях высокой конкуренции. Данные критерии и инструменты управления отходами горнопромышленного комплекса обеспечивают соблюдение принципов «ESG» (Экологическое, социальное и корпоративное управление), которые повышают эффективность устойчивого развития предприятий, предполагающего взаимосвязь экономических показателей, экологичности, ресурсо- и энергосбережения и научно-технического прогресса, одной из основных целей которых является достижение безотходности производства.

При этом в соответствии с [227] при выборе и обосновании НДТ необходимо учитывать критерии предупреждения негативного экологического воздействия на окружающую среду:

- минимально возможный уровень негативного воздействия на окружающую среду, предусмотренный международными договорами Российской Федерации;
- экономическая эффективность применения и эксплуатации технологии;
- внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий;
- неоднократное промышленное внедрение технологии.

При разработке НДТ необходимо ориентироваться на критерии, заложенные в Постановлении Правительства РФ от 23.12.2014 г. № 1458 (ред. от 09.03.2019 г.) «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по НДТ».

Таким образом, решение сложной и многогранной проблемы снижения отрицательного воздействия отходов горнопромышленных предприятий на экосистемы прилегающих к ним районов кроется не только в применении принципов комплексного и рационального использования минерального сырья, но и в применении НДТ по рекультивации, обезвреживанию и консервации тех отходов, которые не могут быть в настоящее время переработаны, однако представляют собой ценное сырье в перспективе.

При этом достаточно эффективным инструментом для реализации таких задач являются цеолитсодержащие породы, обладающие набором уникальных свойств, в частности, высокой сорбционной способностью, которая может быть применена в различных технологиях экологической защиты от воздействия горной промышленности на компоненты окружающей среды (таблица 2.2.1).

Однако для полноценного понимания возможностей использования природных цеолитов в природоохранных мероприятиях требуется проведение исследований по изучению влияния их качества на эффективность применения соответствующих технологий и при необходимости разработка технологий и

обоснование параметров переработки, обогащения и модификации ЦСП с целью улучшения их физико-химических свойств.

Таблица 2.2.1 – Воздействие отходов горнопромышленного комплекса на окружающую среду

Отходы горно-технологического производства	Воздействие на элементы окружающей среды	Результаты воздействия	Способ стабилизации экологической обстановки
Отвалы вмещающих и вскрышных пород Хвосты обогатительных фабрик	Стоки, выбросы пыли в атмосферу	Загрязнение атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, нарушение ландшафта	Рекультивация, консервация, переработка, утилизация
Технологическая пыль	Выбросы пыли в атмосферу	Загрязнение атмосферы, почвы, водных ресурсов	Пылеулавливание, фильтрация, орошение и т. д.
Отходящие газы	Выбросы в атмосферу	Загрязнение атмосферы, почвы	Очистка газов

Предполагая, что высокое качество цеолитов, заключающееся в первую очередь в содержании основного минерала (клиноптилолита, шабазита, морденита), напрямую влияет на их сорбционную способность, отметим, что для получения цеолитовых продуктов, удовлетворяющих требованиям ТУ (таблица 1.2.2, таблица 4.2.5), необходимо применение НДТ с использованием методов направленной рудоподготовки в сочетании с традиционными методами обогащения. В этой связи разработка и обоснование технологий и параметров рудоподготовки, переработки, обогащения и химической модификации ЦСП потребует применения принципов ресурсо- и энергосбережения, а также комплексности использования минерального сырья, основанных на вещественном составе пород и их технологических свойствах.

2.3 Комплексная оценка вещественного состава и технологических свойств цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья

Технологическо-минералогические исследования ЦСП Восточного Забайкалья проводились с целью изучения физико-химических свойств и форм нахождения цеолитов и вмещающих компонентов. Следует отметить, что технолого-

минералогические свойства ЦСП Восточного Забайкалья в достаточно полной мере изучены доктором техн. наук, профессором А. Н. Хатьковой [96; 201; 260; 246]. Автором данной диссертационной работы эти исследования приняты за основу и дополнены в рамках предложенной Концепции, в том числе выполнен гранулометрический анализ ЦСП, определены формы нахождения кремния и алюминия в структуре ЦСП с целью изучения возможности получения модифицированной цеолитовой продукции путем деалюминирования, изучен размер, геометрия и связность пор минералов цеолита (клиноптилолита), разработаны трехмерные молекулярные модели методом визуализации и рендеринга, определены физические свойства вмещающих минералов (микротвердость, плотность, удельная магнитная восприимчивость, электропроводность). В процессе проведения исследований применялись такие методы анализа, как гранулометрический, минералогический, химический и фазовый рентгенографический, также использовалась ИК-спектроскопия, растровая электронная микроскопия и оптико-геометрический анализ изображений.

Исследование ЦСП проводилось с применением аналитического электронного микроскопа Jeol-5300 с энергодисперсионной приставкой Link-ISIS, позволяющей определить химический состав входящих в ЦСП минералов. Минеральный состав ЦСП исследован путем количественного рентгенофазового анализа с применением дифрактометра АДРОН-1. Исследование минералогических характеристик ЦСП включало определение минерального состава с установлением особенностей включения минералов цеолита, их срастания с породообразующими минералами, свойств входящих в состав пород минералов, извлеченных посредством применения направленной рудоподготовки в комбинации с классическими методами обогащения (гравитационные, магнитные и электрические), выявление форм оксида алюминия в ЦСП.

В настоящее время посредством оптической микроскопии определены текстурно-структурные характеристики ЦСП Восточного Забайкалья, выявлены особенности фазового их состава, исследованы свойства, состав и формы

входящих в состав минералов, установлен характер раскрытия минералов [284]. Для рентгенографического анализа использовался дифрактометр АДП-1,5. Технологическая оценка ЦСП, изучение характера распределения в них и продуктах их переработки минералов осуществлялись путем анализа изображений, базирующегося на методике оптико-геометрического исследования с применением комплекса «Видео-Мастер».

По причине того, что железосодержащие примеси в ЦСП Восточного Забайкалья находятся в виде механических микровключений и изоморфных примесей, для их анализа применялась мессбауэровская спектроскопия (ЯГРС). Проведенный анализ мессбауэровских спектров позволил определить минеральный состав ЦСП, исследовать их свойства и структуру с проведением фазового анализа, а также изучить валентные состояния резонансных элементов ЦСП, а также установить значения их теплоемкости и объяснить изменение магнитных характеристик железосодержащих минералов. Данные исследования проводились в ООО «Новые металлургические технологии» (резидент Сколково). Результаты исследований стали основой при разработке и обоснованию рациональных и комплексных технологий обогащения, переработки и химической модификации свойств ЦСП.

В процессе изучения особенностей ЦСП при обогащении и переработке изучались их технологические свойства, в первую очередь физические, физико-химические и термические. При разработке технологий обогащения, переработки и модификации ЦСП Восточного Забайкалья исследовались особенности и определялись зависимости и специфика поведения минералов в технических процессах с учетом их состава и свойств сырья, исследовался вещественный состав продуктов переработки и обогащения, устанавливались закономерности изменения свойств цеолитовых и породообразующих минералов.

Термические свойства ЦСП Восточного Забайкалья исследовались на термогравиметрическом анализаторе Paulik методом комплексного термического анализа. При этом масса пробы составляла 500 мг, скорость нагрева - 10 °С в

минуту, чувствительность потенциометров ДТА находилась на уровне 250 мА, ДТГ – 500 мА.

Элементный анализ (электронно-микроскопический) ЦСП осуществлялся с применением растровом электронного микроскопа Jeol JSM-5300VL.

Оптическая микроскопия проводилась на микроскопе Leica-DM (Германия). Для энергодисперсионного анализа использовался электронный сканирующий микроскоп JSM-5300. Сорбционные характеристики ЦСП изучались посредством метода адсорбции азота на приборе ASAP-2400 (США) при 77° К. Для визуализации и рендеринга виртуальных трехмерных молекулярных моделей цеолита использовали программу Java Applet Jmol.

Необходимо отметить, что типизация ЦСП Восточного Забайкалья по минералого-технологическому признаку характеризуется наличием трех минеральных типов природных цеолитов: клиноптилолит, морденит и шабазит. Вместе с тем некоторые пласты ЦСП рассматриваемых в данной работе месторождений, за исключением Талан-Гозагорского, могут относиться к полицеолитовому типу.

Характеристика месторождений ЦСП Восточного Забайкалья в полной мере представлена в работах Ю. В. Павленко [116–131], в которых автор утверждает, что ресурсы Шивыртуйского месторождения оцениваются в 4,5 млрд т со средним содержанием цеолита 16–54 %. Основные минералы, входящие в состав пород: кварц, полевой шпат, кристобалит, карбонаты, сульфиды (до 15 %), а также монтмориллонит (до 90 %). Преобладающий минеральный вид цеолита в Шивыртуйском месторождении – клиноптилолит, связанный с глинистыми минералами группы монтмориллонита [201; 260]. Вместе с тем по количественному содержанию цеолита породы данного месторождения представлены тремя сортами:

- цеолитовые (содержание цеолита > 50 %);
- монтмориллонит-цеолитовые (содержание < 50 %, Σ содержаний > 50 %);
- монтмориллонитовые (содержание монтмориллонита > 50 %).

Содержание цеолита в ЦСП Шивыртуйского месторождения изменяется по отдельным пластам, что характеризует его как достаточно неоднородное. В этой связи технолого-минералогическая оценка ЦСП Шивыртуйского месторождения включала в себя их распределение по сортам (таблица 2.3.5). Данные химического анализа ЦСП Шивыртуйского месторождения представлены в таблице 2.3.1.

Холинское месторождение ЦСП находится в Забайкальском крае, в 45 км севернее станции Могзон. Месторождение состоит из четырех пластов ЦСП с неоднородным содержанием цеолитов (от 10 до 60 %) и мощностями пластов от 10 см до 150 м [93; 116–131; 201; 260]. Ресурсы Холинского месторождения составляют 650 млн т клиноптилолита. Основные минералы, входящие в состав ЦСП: кварц, полевые шпаты, монтмориллонит, кальцит, кристобалит, гематит и магнетит. Основными сортами ЦСП Холинского месторождения являются (таблица 2.3.5): клиноптилолитовый (80–96 %), монтмориллонит-клиноптилолитовый (содержание клиноптилолита 65, монтмориллонита 35 %), селадонит-клиноптилолитовый (содержание клиноптилолита 50–65 %).

На рисунке 2.3.1 представлена микрофотография ЦСП Холинского месторождения, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Литологический анализ микрофотографии показывает, что цеолитовая минерализация, т. е. образование минерала клиноптилолита произошло из нераскристаллизовавшихся продуктов быстро остывшей лавы, образующихся при быстром остывании магматического расплава, достигшего земной поверхности. При этом следует отметить преобладание в породе цеолитовой фазы, частицы которой имеют размеры от 5 до 30 мкм.

На рисунке 2.3.2 видны частицы цеолитовой фазы, размер которых составляет 5–6 мкм. Микрожеода представляет собой образование в виде замкнутой полости в цеолитовой фазе.

Помимо физико-химического строения, важную роль играют геометрические размеры пор природных цеолитов, определяющие параметры поглощаемых ими молекул [13; 14; 28; 69; 74].

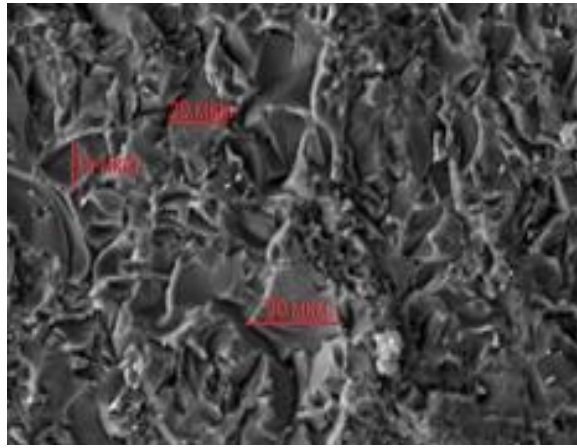


Рисунок 2.3.1 – Микрофотография ЦСП Холинского месторождения

Микрофотография цеолитовой фазы ЦСП Холинского месторождения представлена на рисунке 2.3.2.

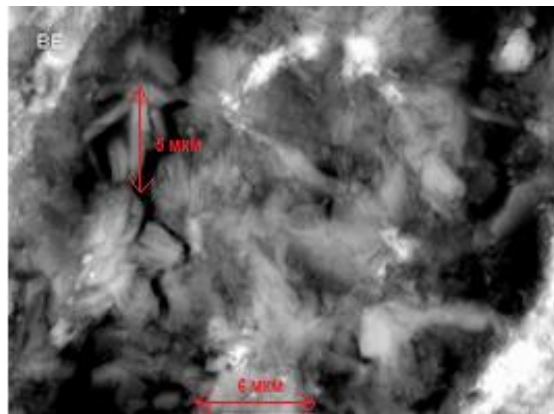


Рисунок 2.3.2 – Микрофотография цеолитовой фазы ЦСП Холинского месторождения

Для изучения сорбционных характеристик применялся метод компьютерного моделирования систем цеолитовых минералов, базирующийся на квантово-химическом взаимодействии частиц и позволяющий получить сведения о структуре цеолитов [14]. Кроме того, данный метод определяет возможность исследования многокомпонентных цеолитовых систем, представляющих собой комплекс из цеолита, воды и органических и неорганических ионов, которые крайне сложны для изучения экспериментальными методами по причине неупорядоченности систем [13; 14; 324].

Для изучения размера, геометрии и связности пор клиноптилолита применили метод визуализации и рендеринга виртуальных трехмерных молекулярных моделей цеолита в проекциях X, Y и Z. Построение модели

цеолита выполняли с использованием программы Java Applet Jmol и базы данных типов цеолитовых каркасов, разработанной в рамках международной цеолитной ассоциации (<https://asia.iza-structure.org/>) [283]. Уточнение проводилось исходя из предположения состава SiO_2 и со следующими предписанными межатомными расстояниями: $d_{\text{Si-O}} = 1,61 \text{ \AA}$, вес = 2,0, $d_{\text{O-O}} = 2,629 \text{ \AA}$, вес = 0,41, $d_{\text{Si-Si}} = 3,07 \text{ \AA}$, вес = 0,23. В каждом случае координаты сначала оптимизировались в пределах приблизительной элементарной ячейки, а затем уточнялся размер элементарной ячейки. Рассчитан результативный индекс надежности, показывающий, насколько хорошо предполагаемые геометрические параметры соответствуют структуре каркаса. На рисунке 2.3.3 представлена модель минерала клиноптилолита Холинского месторождения во фронтальной проекции X.

На рисунке заметны шесть восьмичленных X-каналов, расположенных вдоль оси X. Согласно первой сорбционной характеристике по геометрии пор, X-каналы являются истинными молекулярно-ситовыми порами, так как в топологии каркаса цеолита любой канал, имеющий отверстие больше, чем шестичленное, считается порой независимо от своего фактического геометрического отверстия.

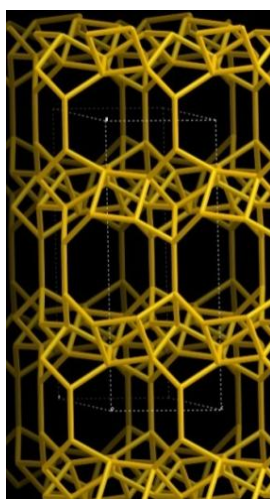


Рисунок 2.3.3 – Модель минерала клиноптилолита Холинского месторождения, фронтальная проекция X

Согласно второй сорбционной характеристике, учитываются направления каналов, которые имеют отверстие поры больше, чем $3,4 \text{ \AA}$. Значение $3,4 \text{ \AA}$ выбрано таким, чтобы оно являлось достаточно малым для обеспечения определенных изменений в фактических отверстиях пор материала, но не

слишком малым, чтобы быть нереалистичным. Таким образом, сорбционные характеристики модели минерала клиноптилолита Холинского месторождения во фронтальной проекции X говорят о возможности диффундирования небольших органических молекул вдоль направления канала. Тип каркаса не зависит от химического состава. Поэтому идеализированные рамочные данные (параметры ячеек, координаты Т-атомов) были получены из DLS-уточнения симметрии рамочного типа.

На рисунке 2.3.4 представлена модель минерала клиноптилолита Холинского месторождения во фронтальной проекции Y.

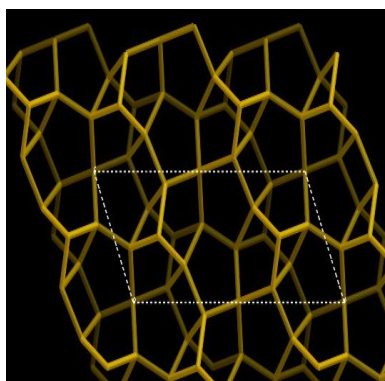


Рисунок 2.3.4 – Модель минерала клиноптилолита Холинского месторождения, фронтальная проекция Y

На рисунке 2.3.5 представлена модель минерала клиноптилолита Холинского месторождения во фронтальной проекции Z. Данная модель сложна для восприятия и построения визуализации.

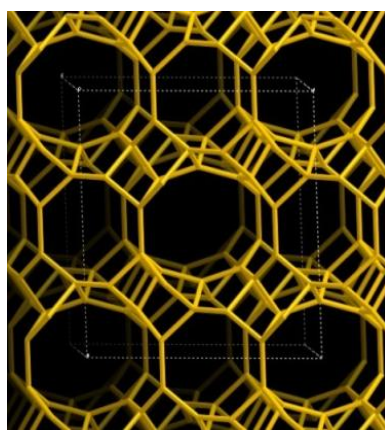


Рисунок 2.3.5 – Модель минерала клиноптилолита Холинского месторождения, фронтальная проекция Z

На рисунке 2.3.5 представлены пять десятичленных Z-каналов и четыре восьмичленных Z-каналов, расположенных вдоль оси Z. На наш взгляд, данная проекция является наиболее выгодной для построения модели клиноптилолита с визуальным эффектом «молекулярного сита».

На рисунке 2.3.6 представлена визуализация минерала клиноптилолита Холинского месторождения, фронтальная проекция Z с каналами «молекулярного сита» с наложением эффекта изменения размера пор во времени.

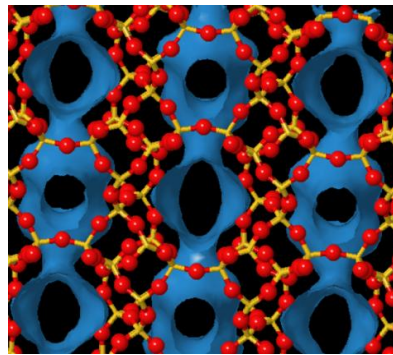


Рисунок 2.3.6 – Визуализация минерала клиноптилолита Холинского месторождения, фронтальная проекция Z с каналами «молекулярного сита»

Полученные визуализация и рендеринг минерала клиноптилолита позволили выявить следующие его сорбционные характеристики: удельная поверхность $1096,31 \text{ м}^2/\text{г}$ ($1916,34 \text{ м}^2/\text{см}^3$), параметры ячейки: $a - 17,5230 \text{ \AA}$, $b - 17,6440 \text{ \AA}$, $c - 7,4010 \text{ \AA}$, угол $\alpha - 90,000^\circ$, угол $\beta - 116,104^\circ$, угол $\gamma - 90,000^\circ$, объем – $2054,8 \text{ \AA}^3$. Максимальный диаметр сферической молекулы для адсорбции в порах составил $5,97 \text{ \AA}$ [14]. Кристаллохимическая формула клиноптилолитовых ЦСП $(\text{Ca}, \text{Na}_2) [\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Структура клиноптилолита Холинского месторождения представляет собой систему каналов и полостей, насыщенных катионами различных химических элементов и молекулами воды, характеризующимися возможностью свободного удаления и поглощения. Объемная плотность тетраэдров TO_4 в клиноптилолите составила $17,5\text{T}$ на 1000 \AA^3 . Характерные для клиноптилолита циклы из 10 атомов имеют средний размер $5,5 \text{ \AA}$, максимальный – $5,97 \text{ \AA}$, что указывает на размер молекул, способных адсорбироваться на клиноптилолите. Объем пор в цеолите Холинского месторождения составляет около 50 % его объема. При этом поры

цеолита, сообщающиеся по трем взаимно перпендикулярным направлениям между собой через «окна», способны сорбировать не только воду, но и многие низкомолекулярные вещества. Благодаря этому образуется уникальная внутрикристаллическая система пор и полостей, обеспечивающих окклюзию и адсорбцию молекул соответствующего размера [13; 14].

Для ЦСП Бадинского месторождения характерны основные минералы – клиноптилолит и кристобалит, которые слагают около 80 % породы, также существенно развит морденит, составляющий около 10 % от общей массы [116–131]. При этом основными сортами ЦСП Бадинского месторождения являются клиноптилолитсодержащие; морденитсодержащие (таблица 2.3.2).

Технологическо-минералогические исследования ЦСП Бадинского месторождения позволили определить, что основными минералами, содержащими оксид алюминия (65 %), являются клиноптилолит и морденит.

Визуализация и рендеринг минерала морденита (рисунок 2.3.7), входящего в состав ЦСП Бадинского месторождения, позволили выявить следующие его сорбционные характеристики: удельная поверхность $1096,31 \text{ м}^2/\text{г}$ ($1916,34 \text{ м}^2/\text{см}^3$), параметры ячейки: $a - 18,2560 \text{ \AA}$, $b - 20,5340 \text{ \AA}$, $c - 7,54210 \text{ \AA}$, угол $\alpha - 90,000^\circ$, угол $\beta - 90,000^\circ$, угол $\gamma - 90,000^\circ$, объем – $2827,3 \text{ \AA}^3$. Максимальный диаметр сферической молекулы для адсорбции в порах составил $6,7 \text{ \AA}$.



Рисунок 2.3.7 – Модель минерала морденита ЦСП Бадинского месторождения

Кристаллохимическая формула морденитовых ЦСП Бадинского месторождения: $(\text{Na}_2\text{K}_2\text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot 6,7\text{H}_2\text{O}$.

Рентгеновские карты распределения алюминия и кремния в шлифах Бадинского, Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений, позволяющие диагностировать минералы цеолита (клиноптилолит, морденит, шабазит) и кварца, представлены соответственно на рисунках 2.3.9, 2.3.10 и 2.3.11.

Таблица 2.3.1 – Химический состав ЦСП Восточного Забайкалья [201; 260]

Компоненты	Месторождения, среднее содержание компонентов, %			
	Шивыртуйское	Бадинское	Холинское	Талан-Гозагорское
SiO ₂	62,90	68,50	65,62	53,12
P ₂ O ₅	0,08	0,08	0,0004	0,33
Al ₂ O ₃	13,61	10,57	12,21	16,63
TiO ₂	0,34	0,18	0,07	1,50
Fe ₂ O ₃	3,00	0,68	1,25	11,40
FeO	0,14	0,07	0,06	0,32
CaO	0,61	2,52	2,07	5,82
MgO	1,51	0,88	0,64	1,97
Na ₂ O	1,36	0,24	1,90	3,45
K ₂ O	4,04	3,12	4,14	1,78
S _{общ.}	0,007	<0,05	0,016	0,041
MnO	0,11	0,03	0,14	0,08
H ₂ O	3,88	5,10	3,82	1,08
п.п.п.	9,16	7,70	8,22	3,28

Установлено, что основным минералом, содержащим оксид алюминия (70 %), в ЦСП Холинского месторождения является клиноптилолит.

Основная масса пород, по данным РФА, представлена клиноптилолитом (65 %) и морденитом (15 %), размеры кристаллитов которых составляют менее 5 мкм и характеризуются тесным срастанием. Анализ данных РФА позволил установить, что в цементирующей массе ЦСП в виде вкраплений, размер которых составляет от 0,05 до 0,15 мм, находятся кварц, полевые шпаты и мусковит.

На основании анализа рентгеновских карт распределения алюминия и кремния в шлифах ЦСП определено, что оксид алюминия (Al₂O₃) в основном (до 80 %) находится в цеолитовых минералах (клиноптилолит и морденит) [201].

Талан-Гозагорское месторождение, расположенное в Забайкальском крае, представлено цеолитовым минералом – шабазитом, среднее содержание которого составляет 16 %. Основными вмещающими породами данного месторождения

являются монтмориллонит, алевролит, андезитобазальт и базальт. При этом шабазиты находятся в ЦСП в виде миндалин, размер которых составляет 0,1–2 см. Андезитобазальт характеризуется высоким содержанием гематита, содержащим до 13,02 % окиси железа [201; 233; 260].

Визуализация и рендеринг минерала шабазита (рисунок 2.3.8), входящего в состав ЦСП Талан-Гозагорского месторождения, позволили выявить следующие его сорбционные характеристики: удельная поверхность 1096,31 м²/г (1916,34 м²/см³), параметры ячейки: а – 13,6750 Å, b – 13,6750 Å, с – 14,7670 Å, угол α – 90,000°, угол β – 90,000°, угол γ – 120,000°, объем – 2391,6 Å³. Максимальный диаметр сферической молекулы для адсорбции в порах составил 4,37 Å.

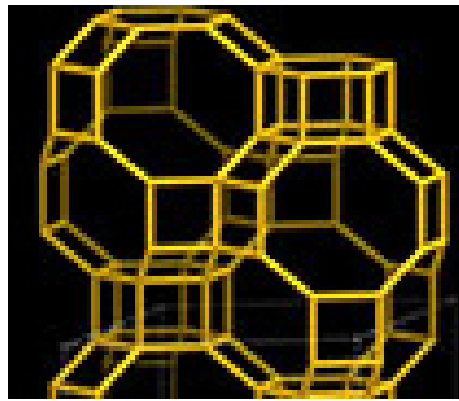


Рисунок 2.3.8 – Модель минерала шабазита ЦСП Талан-Гозагорского месторождения

Кристаллохимическая формула шабазита Талан-Гозагорского месторождения $(\text{Na}_2\text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

ЦСП Талан-Гозагорского месторождения представлены кальцитом, монтмориллонитом и полевыми шпатами. Цеолитовая минерализация, по данным РФА, представлена шабазитом. Алюминий и кремний в породах данного месторождения содержатся как в шабазите, так и в плагиоклазе, содержание которого в ЦСП составляет 55–60 %.

Установлено, что помимо минералов группы цеолитов и плагиоклаза оксид алюминия содержится в монтмориллоните и микроклине (до 18,35 % Al_2O_3 в минерале). Кремнезем (SiO_2) входит в состав как минералов цеолитовой группы, так и микроклина (до 64,72 % в минерале), кристобалита, кварца, гидрослюд,

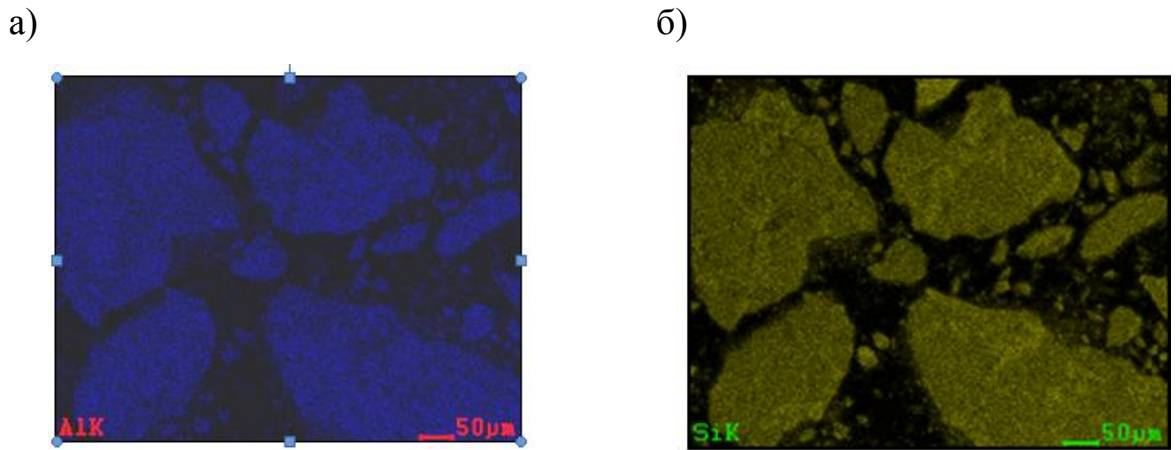


Рисунок 2.3.9 – Распределение алюминия (а) и кремния (б) по площади шлифа ЦСП Бадинского месторождения

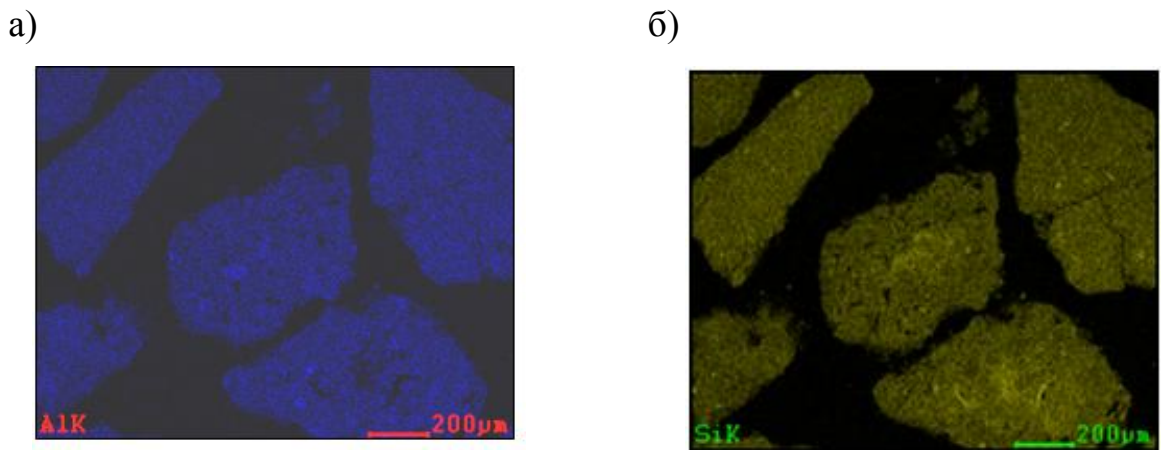


Рисунок 2.3.10 – Распределение алюминия (а) и кремния (б) по площади шлифа ЦСП Шивыртуйского месторождения

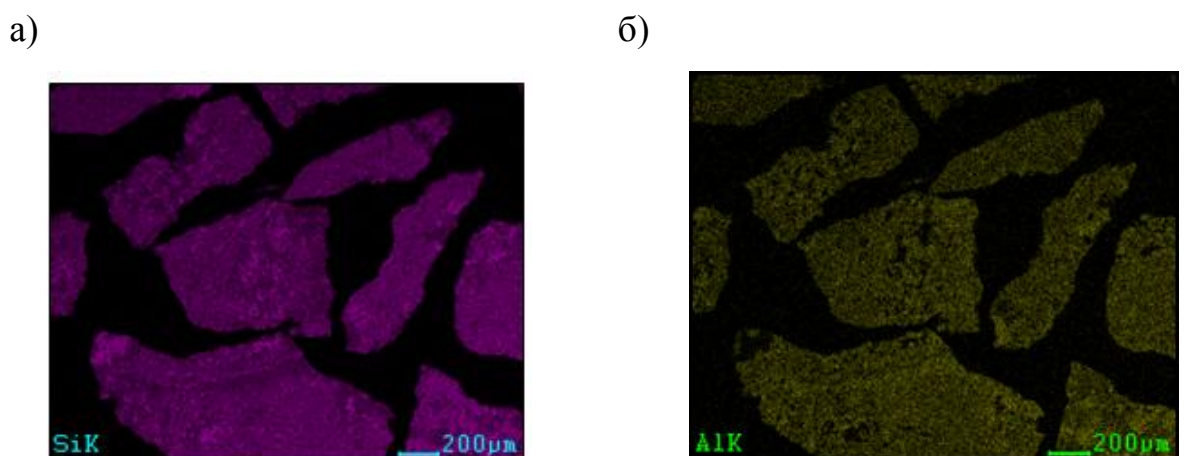


Рисунок 2.3.11 – Распределение кремния (а) и алюминия (б) по площади шлифа ЦСП Талан-Гозагорского месторождения

Анализ минерального и химического составов позволил установить, что к основным вмещающим примесям в ЦСП относятся оксиды железа и кремнезем,

образующие тесные сростки как с породообразующими минералами, так и с минералами цеолитов. Вмещающие примеси могут находиться в ЦСП в виде включений, что, так же как и образование сростков, отрицательным образом влияет на технологический процесс и, как следствие, качество продуктов обогащения, переработки и химической модификации. Вместе с тем процесс селективного разделения цеолитов и породообразующих минералов затрудняется схожестью физических свойств (таблица 2.3.3). Кроме того, нестабильность значений показателя магнитной восприимчивости входящих в состав ЦСП гематита и гётита ($\chi = 14 \cdot 10^{-8} - 600 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), а также оливина ($\chi = 1 \cdot 10^{-8} - 180 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) определяет необходимость повышения контрастности с целью создания возможности глубокой очистки ЦСП от магнитных примесей методом магнитной сепарации.

Таблица 2.3.3 – Физические свойства вмещающих минералов ЦСП [201; 260]

Минерал	Микро- твёрдость, кГс/мм ²	Плотность, кг/м ³	Удельная магнитная восприимчивость, $\text{н} \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Электропроводность, $98 \text{ м}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$
Монтмориллонит	50–76	2000–2100	15–60	$10^{-5} - 10^{-6}$
Кальцит	103–202	2710–2750	5–16	$10^{-10} - 10^{-14}$
Плагиоклазы	735–922	2740–2760	5–10	$10^{-8} - 10^{-14}$
Микроклин	764–894	2540–2570	5–10	$10^{-10} - 10^{-14}$
Кварц	1023–1236	2650–2660	15–25	$10^{-13} - 10^{-16}$
Пироксен	–	3200–3380	70–80	–
Оливин	897–1290	3210–4140	1–180	$2 \cdot 10^{-12}$
Гематит	920–1062	4900–5300	14–600	$10^{-3} - 10^{-4}$
Гидрогетит	300–590	3600–4000	30–45	–
Цеолитовые агрегаты:				
Клиноптилолитовый	143–174	2180–2220	4–10	$8 \cdot 10^{-6}$
Морденитовый	277–307	2150–2180	2–12	$6 - 7 \cdot 10^{-6}$
Шабазитовый	174–208	2040–2170	10–89	$5 \cdot 10^{-6}$

Анализ свойств входящих в состав ЦСП Восточного Забайкалья минералов показал, что большинство из них характеризуются значительными колебаниями

показателя их электропроводности, что обуславливает необходимость проведения исследований по изучению направленного изменения естественных электрических свойств минералов путем предварительной (химической, термической и др.) подготовки вмещающих пород цеолитовой фракции перед их обогащением, в частности методом электростатической сепарации.

Установлено, что содержащийся в ЦСП Восточного Забайкалья кремнезем представлен в виде кварца, опала и кристобалита, а также является составной частью полевых шпатов и силикатов. При этом основными окислами в цеолитовых породах являются кремнезем, глинозем, окись железа, окись кальция и окись магния, а также окислы щелочных металлов, такие как Na_2O и K_2O . Кремний в ЦСП Холинского и Бадинского месторождений в большей степени содержится в кристобалите, полево шпате и кварце.

Результаты гранулометрического анализа ЦСП Шивыртуйского месторождения показали их высокую шламуемость при дроблении до -2 мм (42 % класса -0,074+0,05 мм), при этом основная масса дробленого материала (52,4 %) ЦСП Талан-Гозагорского месторождения сосредоточена в интервале крупности – 0,3+0,1, ЦСП Холинского месторождения (47,4 % в интервале крупности – 0,3+0,1), ЦСП Бадинского месторождения (39,9 % интервале крупности – 0,1+0,074) (таблица 2.3.4).

Таблица 2.3.4 – Результаты гранулометрического анализа ЦСП Восточного Забайкалья

Месторождение	Классы крупности, мм	Выход, %
1	2	3
Шивыртуйское	-2+1	1,2
	-1+0,5	8,6
	-0,5+0,3	13,4
	-0,3+0,1	15,2
	-0,1+0,074	19,6
	-0,074+0,05	42
Талан-Гозагорское	-2+1	4,6
	-1+0,5	4,5
	-0,5+0,3	16,3
	-0,3+0,1	52,4
	-0,1+0,074	13,1

1	2	3
	-0,074+0,05	9,1
Холинское	-2+1	5,8
	-1+0,5	7,3
	-0,5+0,3	21,9
	-0,3+0,1	47,4
	-0,1+0,074	22,5
	-0,074+0,05	12,9
Бадинское	-2+1	6,2
	-1+0,5	7,1
	-0,5+0,3	18,4
	-0,3+0,1	23,3
	-0,1+0,074	39,9
	-0,074+0,05	5,1

Таким образом, проведенный анализ вещественного состава и свойств ЦСП основных месторождений Восточного Забайкалья позволил разработать классификацию с выделением типа, подтипа, группы подгруппы и с определением направлений их использования в различных отраслях экономики (таблица 2.3.5).

Таблица 2.3.5 – Классификация ЦСП Восточного Забайкалья для оценки их использования в различных отраслях экономики

Название месторождения /проявления	Тип основного вмещающего минерала цеолитов	Подтип, преобладающий минеральный тип	Основные области применения	Источники информации
Шивиртуйское	Монтмориллонит-клиноптилолитовый	Клиноптилолит	Сельское хозяйство, строительство, адсорбционные процессы, охрана окружающей среды	[69; 116–131, 201; 245; 246; 260; 314; 377]
Холинское	Клиноптилолит-морденитовый	Морденит с примесью клиноптилолита	Адсорбционные, ионообменные процессы, сельское хозяйство, строительство, охрана окружающей среды	[69; 116–131; 201; 245; 246; 260; 314]
Бадинское	Морденитовый	Морденит		[69; 116–131; 201; 245; 246; 260; 314]
Талан-Гозагорское	-	Шабазит	Адсорбционные, ионообменные процессы, охрана окружающей среды, строительство	[69; 116–131; 201; 245; 246; 260; 314; 337]

Анализ полученных данных позволил установить, что перспективы расширения направлений рационального и комплексного использования ЦСП, в том числе в технологиях управления отходами горного производства, связаны с их минеральным видом, обуславливающим физико-химические свойства, а также с соответствующими критериями, определяющими эффективное применение природных цеолитов, представляющих собой уникальное сырье особого типа с эффектом молекулярных сит.

Выводы по главе 2

Разработана концепция управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования ЦСП, включающая следующие основные блоки: аналитический и научно-исследовательский; экономико-аналитический; проект внедрения НДТ; получение комплексного экологического разрешения, обеспечивающая эффективное управление техногенным сырьем. Эффективность реализации данной Концепции базируется на выборе альтернативных технологий переработки, обогащения и модификации ЦСП с последующим их использованием при обезвреживании сточных и оборотных вод, очистке отходящих газов, а также при рекультивации и захоронении горнопромышленных отходов.

Определено, что в процессе управления горнопромышленными отходами рациональнее использовать цикличную систему («из колыбели в колыбель»), подразумевающую повторную переработку техногенного сырья на каждом этапе производства с получением дополнительной товарной продукции, в том числе за счет применения НДТ, основанных на принципах рациональности, экологичности, ресурсо- и энергосбережения и продлевающих жизненный цикл отходов с эколого-экономическим эффектом для предприятия.

Установлено, что реализация Концепции зависит от повышения эффективности и конкурентоспособности горных предприятий за счет применения инструментов управления горнопромышленными отходами: анализ экономической эффективности НДТ, разработка проекта внедрения НДТ,

получение комплексного экологического разрешения, аналитические и научно-исследовательские работы, включающие выбор альтернативных вариантов технологий из автоматизированной системы информационно-технических справочников НДТ, проведение исследований и разработку альтернативных вариантов технологий рудоподготовки, обогащения, переработки и химической модификации цеолитсодержащих пород, обезвреживания сточных вод, рекультивации и захоронения техногенных отходов и очистки отходящих газов.

Разработана стратегия повышения эффективности и конкурентоспособности горных предприятий на основе НДТ, определяющая их роль и взаимосвязь с методологией оценки экономической целесообразности и внедрения, а также с принципами оценки воздействия на окружающую среду с учетом критериев выбора технологий и резервов энергоэффективности.

Установлено, что управление техногенным минеральным сырьем на основе рационального и комплексного использования ЦСП возможно на всех этапах его жизненного цикла, что обусловлено их уникальными адсорбционными свойствами.

Разработана классификация инструментов управления отходами горного производства, основанная на применении научно-методических инструментов, позволяющих разработать НДТ на основе применения ЦСП, достичь максимальной комплексности использования техногенного минерального сырья, а также значительно снизить экологическое воздействие при работе горнопромышленных предприятий с учетом требований энерго- и ресурсосбережения.

На основе применения метода визуализации и рендеринга виртуальных трехмерных молекулярных моделей получены модели минерала клиноптилолита Холинского месторождения в проекциях X, Y и Z, позволяющие определить его основные сорбционные характеристики: удельная поверхность $1096,31 \text{ м}^2/\text{г}$ ($1916,34 \text{ м}^2/\text{см}^3$), параметры ячейки: $a - 17,5230 \text{ \AA}$, $b - 17,6440 \text{ \AA}$, $c - 7,4010 \text{ \AA}$, объем – $2054,8 \text{ \AA}^3$, максимальный диаметр сферической молекулы для адсорбции

в порах – $5,97 \text{ \AA}$, и характеризующие параметры молекул, способных адсорбироваться на цеолите.

Установлено, что помимо минералов группы цеолитов и плагиоклаза оксид алюминия содержится в монтмориллоните и микроклине (до $18,35 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$ в минерале). При этом кремнезем (SiO_2) входит в состав как минералов цеолитовой группы, так и микроклина (до $64,72 \%$ в минерале), кристобалита, кварца, гидрослюд, плагиоклазов и пироксенов. При этом среднее содержание Al_2O_3 составляет $13,61$, $10,57$ и $12,21 \%$ в породе Шивыртуйского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений соответственно. Наибольшая доля в содержании оксида алюминия принадлежит глинистым минералам и группе цеолитов (до $95 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$ от общего содержания), что обеспечивает возможность модификации их сорбционных свойств посредством деалюминирования.

Выявлено, что основные вмещающие примеси в ЦСП, представляющие собой минеральные фазы кремнезема и железа, могут содержаться в них в виде различного рода включений с размером от $0,05$ до $0,15$ мм. При этом сложность селективного извлечения минералов цеолита из пород Восточного Забайкалья обусловлена их тонким взаимопроращением с породообразующими минералами, что определяет необходимость раскрытия таких сростков и обуславливает проведение исследований по изучению возможности селективного выделения минералов цеолитов путем применения специальных методов разупрочнения (дезинтеграции) по границам срастания минералов в сочетании с комплексом традиционно используемых методов переработки и обогащения.

Определено, что являющиеся железосодержащими примесями и обладающие нестабильной магнитной восприимчивостью минералы оливина ($\chi=1 \cdot 10^{-8} - 180 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), гематита и гетита ($\chi=14 \cdot 10^{-8} - 600 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), входящие в состав цеолитсодержащих пород, предопределяют проведение исследований по изучению возможности их эффективного извлечения магнитной сепарацией с применением специальных направленных методов повышения контрастности минералов.

Большинство входящих в состав ЦСП минералов характеризуются значительными колебаниями показателя их электропроводности, что

обуславливает необходимость проведения исследований по изучению направленного изменения естественных электрических свойств минералов путем предварительной (химической, термической и др.) подготовки вмещающих пород цеолитовой фракции перед их обогащением, в частности методом электростатической сепарации.

3 Разработка и исследование альтернативных вариантов рудоподготовки цеолитсодержащих пород на основе направленных акустических, энергетических и термических воздействий

Для получения высококачественных цеолитовых продуктов, удовлетворяющих требованиям существующих и разрабатываемых технических условий, из средне- и низкосортного минерального сырья требуется направленное концентрирование минералов цеолитов за счет применения НДТ обогащения. Такие технологии должны быть основаны на эффективных методах рудоподготовки, отделения минералов цеолита от вмещающих примесей, а также модификации технологических свойств цеолитов в необходимом направлении. В этой связи для оценки возможности существенного расширения областей применения природных цеолитов, в том числе в природоохранных мероприятиях, требуется проведение исследований по изучению обогатимости и химической модификации ЦСП Восточного Забайкалья с учетом их минералогических особенностей. Железосодержащие и другие вмещающие примеси в ЦСП в основном являются тонковкрапленными и их эффективное раскрытие с помощью традиционных методов рудоподготовки (дробления, измельчения) не всегда представляется возможным. В связи с этим возникает необходимость разработки технологий, основанных на применении направленных методов воздействия, целью которых является повышение контрастности минералов, слагающих породы, а также достижение необходимых степеней дезинтеграции и разупрочнения ЦСП [276; 293]. К наиболее эффективным методам направленного воздействия в настоящее время следует отнести методы, базирующиеся на

физико-химических, химических, энергетических и термических явлениях (химическая модификация, термическая, акустическая и радиационная обработки, воздействие мощными электромагнитными импульсами). Проведенные технолого-минералогические исследования ЦСП определяют необходимость применения данных методов в технологиях их переработки с целью достижения наиболее высокой контрастности магнитных и немагнитных минералов, максимального их разупрочнения по границам срастания, а также очистки пор цеолитов от вмещающих примесей. Определение параметров использования методов направленного воздействия позволит разработать технологии получения высококачественных цеолитовых продуктов, востребованных в различных секторах экономики, в том числе в технологиях управления горнопромышленными отходами.

Ранее установлено [107; 201; 260], что обогатимость ЦСП зависит от сходства и различия технологических свойств цеолитовых и породообразующих минералов, их текстуры и структуры, а также от минеральных форм вмещающих примесей железа и кремнезема, которые содержатся в породах в виде изоморфных включений и собственных минералов. Отделение минералов цеолитов от немагнитных примесей достигается с использованием электростатической сепарации. Нестабильность и широкий диапазон значений электропроводности основных породообразующих минералов ЦСП Восточного Забайкалья определяют технологическую сложность их разделения. В этой связи возникает необходимость повышения эффективности электростатической сепарации пород за счет изменения электрических свойств минералов путем направленной рудоподготовки с дальнейшим применением комплекса традиционных методов обогащения и переработки.

3.1 Влияние ультразвукового воздействия на эффективность отделения цеолитов от минералов-примесей

Акустическое (ультразвуковое) воздействие на ЦСП обеспечивается за счет глубокого проникновения и схлопывания кавитационных пузырьков воздуха в порах с диаметром входных окон от 0,3 до 0,6 нм, что определяет возникновение в их полости избыточного давления и обуславливает разупрочняющий эффект, существенно повышающий интенсивность процесса отделения минералов цеолита от примесей.

На основе проведенных минералого-технологических исследований ЦСП Восточного Забайкалья разработана технология их обогащения, базирующаяся на применении акустической (ультразвуковой) обработки с последующим использованием магнитной и электростатической сепараций. Методика проведения исследований, результаты которых послужили основой для разработки данной технологии, заключалась в следующем. Навески расклассифицированных на классы крупности ЦСП массой по 20 грамм заливались дистиллированной водой (200 мл), продолжительность нагрева на водяной бане при этом составляла один час. После чего суспензию охлаждали и подвергали воздействию ультразвука на генерирующей ультразвуковые волны установке УЗДН-1, продолжительность воздействия составила от 0,5 до 7 минут, частоты ультразвука изменялась в пределах от 20 до 44 кГц. Далее проводилась декантация с последующим анализом осадка и слива на содержание мономинералов цеолита. Результаты эксперимента отражены в таблице 3.1.1. После акустической (ультразвуковой) обработки ЦСП подвергались дроблению и измельчению, сушке, с дальнейшей магнитной сепарацией на электромагнитном сепараторе (138-СЭ) и сепараторе с изодинамическим полем высокой напряженности СИМ-1 (класс крупности - 0,1 мм). При этом содержание глинистого компонента в ЦСП определялось с помощью термохимического анализа (метод ТХА). Результаты экспериментальных исследований подвергались математической обработке с построением соответствующих функций и графиков.

Увеличение продолжительности ультразвуковой обработки (более 7 минут) приводит к снижению сорбционной эффективности на 20–25 %, что происходит в первую очередь вследствие укрупнения частиц, а также, по всей вероятности, из-за присутствия коагуляционных явлений [31; 64; 94; 169; 177; 201].

В первые минуты ультразвуковой обработки наблюдается разрушение природных структурных элементов, представляющих собой агрегаты цеолитов с глинистыми частицами монтмориллонита. Посредством акустического воздействия происходит разрушение тонкодисперсных монтмориллонитовых «рубашек» на поверхности минералов цеолитов (клиноптилолит, шабазит, морденит) и вмещающих минералов (гематит, кальцит, кварц, полевой шпат), существенным образом лимитирующих адсорбционную емкость природных цеолитов, а также снижающих контрастность входящих в состав ЦСП минералов, что существенным образом влияет на эффективность процессов переработки, обогащения и модификации ЦСП.

В этой связи особо важной задачей при изучении механизма воздействия ультразвука на ЦСП является определение рациональных параметров процесса, т. е. времени воздействия, частоты и крупности материала.

В первое время ультразвуковой обработки (2 и 3 минуты) происходит диспергация структурных элементов поверхностных и приповерхностных слоев ЦСП, с максимальным эффектом при 5 минутном воздействии. Поверхность входящих в состав ЦСП минералов очищается от пленок, образованных оксидами железа, что способствует существенному повышению показателя магнитной восприимчивости Fe-содержащих минералов и увеличивает эффективность их извлечения посредством магнитной сепарации. Увеличение продолжительности ультразвуковой обработки до 7 и 9 минут вызывает агрегацию диспергированных частиц. Установлено, что эффективной продолжительностью акустической обработки ЦСП является воздействие в течение 5 минут, обуславливающей достижение наибольшего эффекта отделения цеолитов от вмещающих примесей.

Представленные в таблице 3.1.1 данные показали, что в результате ультразвуковой обработки содержание минералов цеолитов увеличивается на 8–38 % (табл. 2.1.2).

Таблица 3.1.1 – Влияние ультразвукового воздействия на ЦСП Восточного Забайкалья

Класс крупности, мм	Продукты	Выход, %	Ценный компонент (цеолит), %	
			содержание	извлечение
1	2	3	4	5
–2+1	Цеолитовая фракция	67	71	82
	Полиминеральная фракция	33	34	18
	Исходная проба 1	100,0	63	100,0
–1+0,5	Цеолитовая фракция	73	78	83
	Полиминеральная фракция	27	27	17
	Исходная проба 2	100,0	62	100,0
–0,5+0,3	Цеолитовая фракция	67	84	89
	Полиминеральная фракция	33	13	11
	Исходная проба 3	100,0	47	100,0
–0,3+0,1	Цеолитовая фракция	60	92	91,9
	Полиминеральная фракция	40	11	8,1
	Исходная проба 4	100,0	54	100,0
–0,1+0,074	Цеолитовая фракция	70	84	85
	Полиминеральная фракция	30	16	15
	Исходная проба 3	100,0	68	100,0
–0,074+0,05	Цеолитовая фракция	67	91	91
	Полиминеральная фракция	33	11	9
	Исходная проба 4	100,0	62	100,0
<i>Холинское месторождение</i>				
–2+1	Цеолитовая фракция	65	69	80
	Полиминеральная фракция	35	36	20
	Исходная проба 1	100,0	62	100,0
–1+0,5	Цеолитовая фракция	73	78	83
	Полиминеральная фракция	27	27	17
	Исходная проба 2	100,0	62	100,0
–0,5+0,3	Цеолитовая фракция	67	84	89
	Полиминеральная фракция	33	17	11
	Исходная проба 3	100,0	51	100,0
–0,3+0,1	Цеолитовая фракция	58	90	89,9
	Полиминеральная фракция	42	13	10,1
	Исходная проба 4	100,0	52	100,0
–0,1+0,074	Цеолитовая фракция	68	82	83
	Полиминеральная фракция	32	18	17
	Исходная проба 3	100,0	66	100,0
–0,074+0,05	Цеолитовая фракция	65	89	89
	Полиминеральная фракция	35	13	11
	Исходная проба 4	100,0	60	100,0

1	2	3	4	5
<i>Бадинское месторождение</i>				
-2+1	Цеолитовая фракция	69	73	84
	Полиминеральная фракция	31	32	16
	Исходная проба 1	100,0	65	100,0
-1+0,5	Цеолитовая фракция	75	80	85
	Полиминеральная фракция	25	25	15
	Исходная проба 2	100,0	64	100,0
-0,5+0,3	Цеолитовая фракция	78	83	88
	Полиминеральная фракция	22	22	12
	Исходная проба 3	100,0	67	100,0
-0,3+0,1	Цеолитовая фракция	80	85	90
	Полиминеральная фракция	20	20	10
	Исходная проба 4	100,0	69	100,0
-0,1+0,074	Цеолитовая фракция	70	84	85
	Полиминеральная фракция	30	16	15
	Исходная проба 3	100,0	68	100,0
-0,074+0,05	Цеолитовая фракция	72	86	87
	Полиминеральная фракция	28	14	13
	Исходная проба 4	100,0	70	100,0
<i>Талан-Гозагорское месторождение</i>				
-2+1	Цеолитовая фракция	87	17	85
	Полиминеральная фракция	13	1,6	15
	Исходная проба 1	100,0	15	100,0
-1+0,5	Цеолитовая фракция (осадок)	84	21	87
	Полиминеральная фракция (слив)	16	1,3	13
	Исходная проба 2	100,0	16	100,0
-0,5+0,3	Цеолитовая фракция (осадок)	85	27	91
	Полиминеральная фракция (слив)	15	1,2	9
	Исходная проба 3	100,0	16	100,0
-0,3+0,1	Цеолитовая фракция	80	32	94
	Полиминеральная фракция	20	1	6
	Исходная проба 4	100,0	16	100,0
-0,1 +0,074	Цеолитовая фракция	68	67	88
	Полиминеральная фракция	32	15	12
	Исходная проба 3	100,0	49	100,0
-0,074+0,05	Цеолитовая фракция	60	79	94,9
	Полиминеральная фракция	40	9	5,1
	Исходная проба 4	100,0	59	100,0

Проведенные исследования по изучению акустического воздействия на извлечение вмещающих примесей от времени обработки и от частоты волн показали значительный рост их концентрации в продукте декантации с увеличением времени воздействия до 5-7 минут и частоты волн до 40 кГц (рисунок 3.1.1 и 3.1.2) [201].

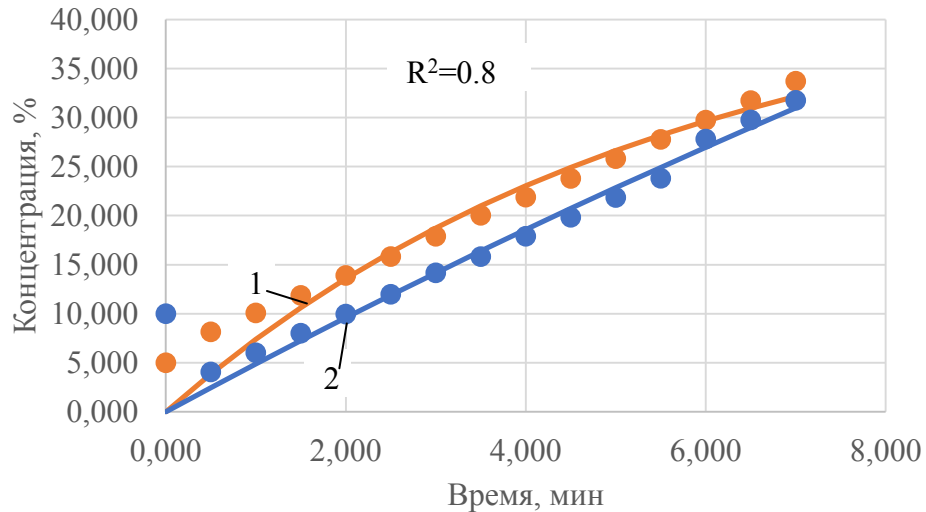


Рисунок 3.1.1 – Зависимость концентрации вмещающих примесей от времени акустического воздействия (1 – ЦСП Шивыртуйского месторождения; 2 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения)

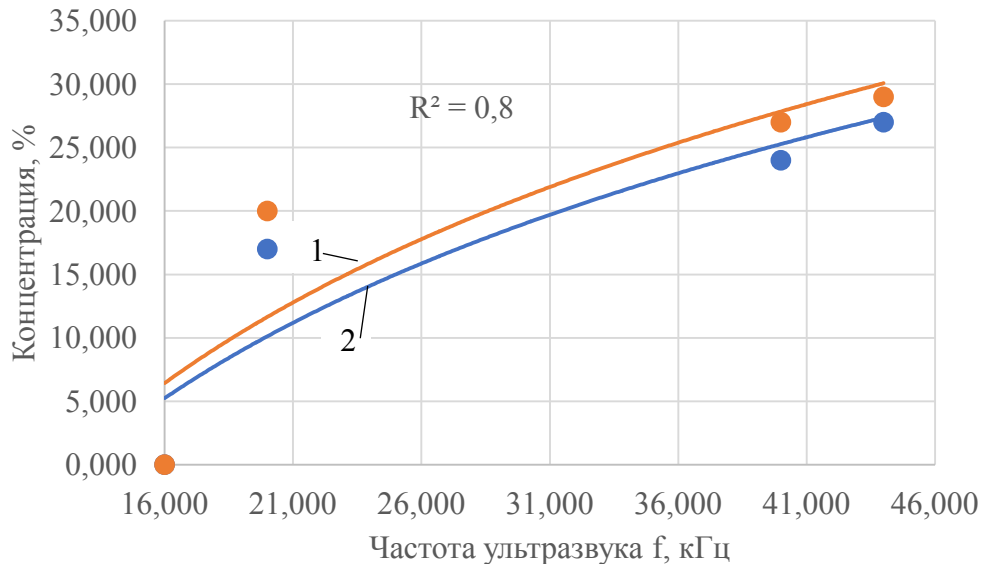


Рисунок 3.1.2 – Зависимость концентрации вмещающих примесей от частоты ультразвука (1 – ЦСП Шивыртуйского месторождения; 2 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения)

В результате проведения исследований получена зависимость содержания мономинералов цеолита от крупности сырья в результате акустической обработки при частоте ультразвуковой волны 40 кГц, которая показала снижение содержания минералов цеолита с увеличением крупности ЦСП (рисунок 3.1.3) [177].

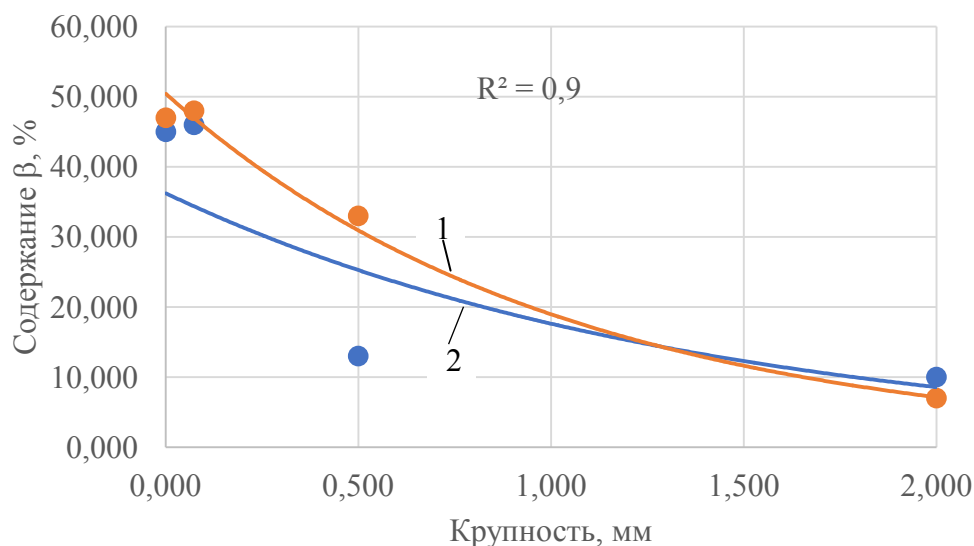


Рисунок 3.1.3 – Зависимость содержания мономинералов шабазита (1 – Талан-Гозагорского месторождения) и клиноптилолита (2 – Шивыртуйского месторождения) в концентрате от крупности пород после акустической обработки при частоте 40 кГц

Экспериментальное исследование зависимости концентрации минералов примесей в сливе от времени воздействия ультразвуком позволило получить соответствующие функции, характеризующие данный параметр:

1. $y = -3705,4x^2 + 594,82x + 71,6$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения);
2. $y = 3839,3x^2 + 163,21x + 38,9$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

Получены функции зависимости концентрации минералов примесей в декантационном сливе от частоты ультразвука вида:

1. $y = -0,000048 \cdot (x - 44)^4$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения);
2. $y = -0,000045 \cdot (x - 44)^4$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

Определены функции зависимости содержания минералов цеолита от крупности ЦСП после акустической обработки при частоте волн 40 кГц вида:

1. $y = -13,34 \cdot \ln(x) + 19,7$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения);
2. $y = -11,50 \cdot \ln(x) + 10,6$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

Установлено, что акустическое воздействие посредством использования энергии ультразвукового поля в значительной степени увеличивает эффект диспергации за счет возникновения эрозии поверхности ЦСП на границе фаз твердое-жидкость, а также существенно повышает степень отделения глинистой

составляющей (эффект удаления монтмориллонитовой «рубашки») и скорость концентрирования минералов цеолитов, что обуславливает эффективность последующего применения магнитной сепарации, результаты которой представлены в таблицах 4.1.1–4.1.4. Приведенные в таблицах данные экспериментальных исследований показали, что наиболее эффективной для извлечения железосодержащих минералов примесей из тонкодисперсных цеолитовых пород является электромагнитная сепарация на сепараторе СИМ-1, характеризующимся наличием изодинамического поля высокой напряженности и позволяющим снижать содержание примесей в классе $-0,1+0,05$ мм с 3,14–11,72 до 0,9–1,1 %. Установлено, что применение электромагнитной сепарации к классу $-0,3+0,5$ мм ЦСП Шивыртуйского месторождения является наиболее эффективным способом получения высококачественного цеолитового продукта с содержанием минералов цеолита до 88,9 %. Наибольший эффект применения магнитной сепарации в комплексе с предварительной акустической обработкой достигнут при обогащении ЦСП Талан-Гозагорского месторождения, который обусловлен значительными различиями в магнитной восприимчивости минерала цеолита и породообразующих минералов, в большей степени гематита, пироксена и оливина, что позволило получить концентраты с содержанием шабазита 95–98 % (класс крупности $-0,2+0,05$ мм) с общим его извлечением 70 %.

Определено, что применение к породам Талан-Гозагорского и Шивыртуйского месторождений акустического воздействия при частоте ультразвуковой волны 40 кГц в течение 5 минут в комплексе с электромагнитной сепарацией является достаточно эффективным методом их обогащения и позволяет получать концентраты с содержанием мономинералов цеолита 88,9–98 %. При этом ультразвуковая обработка ЦСП интенсифицирует процесс отделения минералов цеолита от минералов примесей, обусловленный диспергирующим и звукокапиллярным эффектами, возникающими за счет протекающих кавитационных процессов. Достижимый эффект позволяет управлять технологическими свойствами ЦСП и рассматривать их в качестве сырья для использования в таких наукоемких отраслях, как химическая и коксохимическая

промышленность, водоснабжение, бумажная промышленность, медицина и здравоохранение, нефтяная и нефтехимическая промышленность, атомная промышленность, а также в технологиях управления горнопромышленными отходами путем значительного снижения негативного влияния на окружающую среду (таблица 3.7.2.3).

3.2 Влияние предварительного обжига на физико-химические и технологические свойства цеолитсодержащих пород

Высокотемпературный обжиг ЦСП может проводиться с целью дегидратации, достижения расклинивающего и диспергирующего эффектов, направленного изменения физико-химических свойств входящих в состав пород минералов для повышения эффективности последующего применения различных методов обогащения, в частности магнитной сепарации [201; 260; 275].

Обжиг ЦСП Восточного Забайкалья проводился в атмосфере аргона в диапазоне температур 200–1400 °С на установке STA 449С (Германия), масса навесок составляла 200 мг. Изучение свойств ЦСП проводилось методом мессбауэровской спектроскопии [6]. Исследовалось влияние термического воздействия (обжига) на показатели их сернокислотной и солянокислотной модификации цеолитовых пород. Определение образования и развития высокотемпературных кристаллических фаз в ЦСП Восточного Забайкалья осуществлялось методом РФА с применением ионизационной рентгеновской установки УРС-50И. Результаты экспериментальных исследований подвергались математической обработке с построением соответствующих функций и графиков.

В результате проведенных исследований определено, что обжиг ЦСП влияет на изменение физико-химических параметров поверхности пород. При температуре 200 °С практически не происходит химических изменений в молекулах природных цеолитов. Установлено, что в результате обжига ЦСП при температуре 500 °С изменяется их структура, что подтверждается результатами мессбауэровской спектроскопии (рисунок 3.2.1–3.2.3), наблюдается дегидратация (удаление химически связанной воды). Обжиг существенным образом

способствует отделению цеолитов от породообразующих минералов за счет дегидратации и возникновения напряжений в породах при нагреве и, как следствие, образованию трещин и микротрещин по границам их срастания [204]. Дальнейшее повышение температуры обжига до 700–800 °С приводит к разрушению кристаллической решетки минералов цеолитов (клиноптилолита, шабазита и морденита), входящих в состав ЦСП, однако обеспечивает укрупнение частиц гематита (размеры частиц увеличиваются в 6 раз), что обуславливает возможность применения метода электромагнитной сепарации для его эффективного извлечения.

В результате проведения анализа результатов мессбауэровской спектроскопии ЦСП выявлено наличие в них нормального и тонкодисперсного гематита. При этом обжиг ЦСП существенным образом повлиял на содержание обоих видов гематита, что подтверждается данными, представленными таблице 3.2.1.

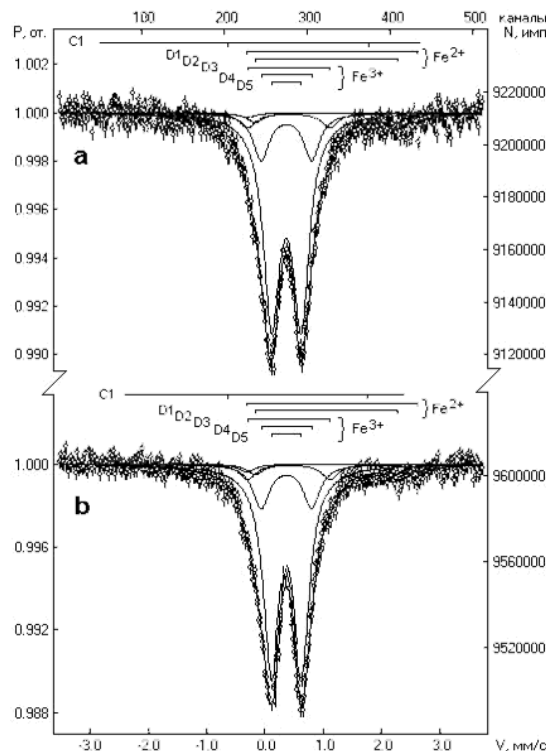


Рисунок 3.2.1 – Мессбауэровские спектры образца ЦСП Шивыртуйского месторождения (ЦШ): а – исходного; б – после обжига

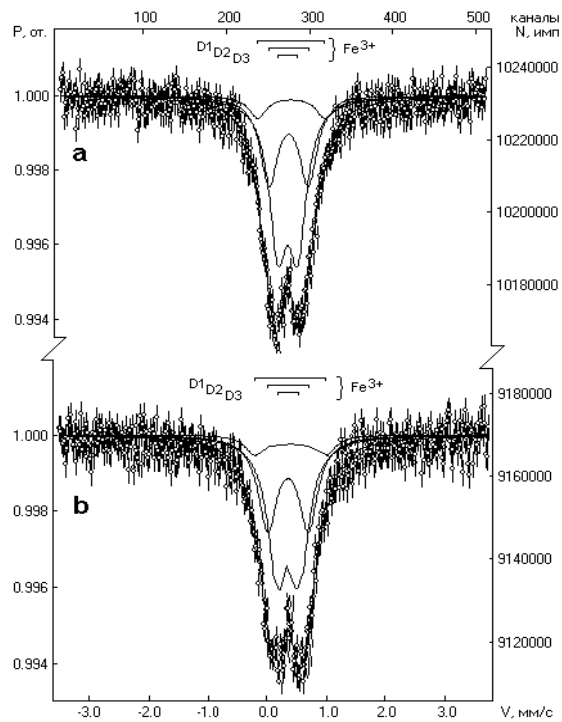


Рисунок 3.2.2 – Мессбауэровские спектры ЦСП Холинского месторождения (ЦХ):
а – исходного; б – после обжига

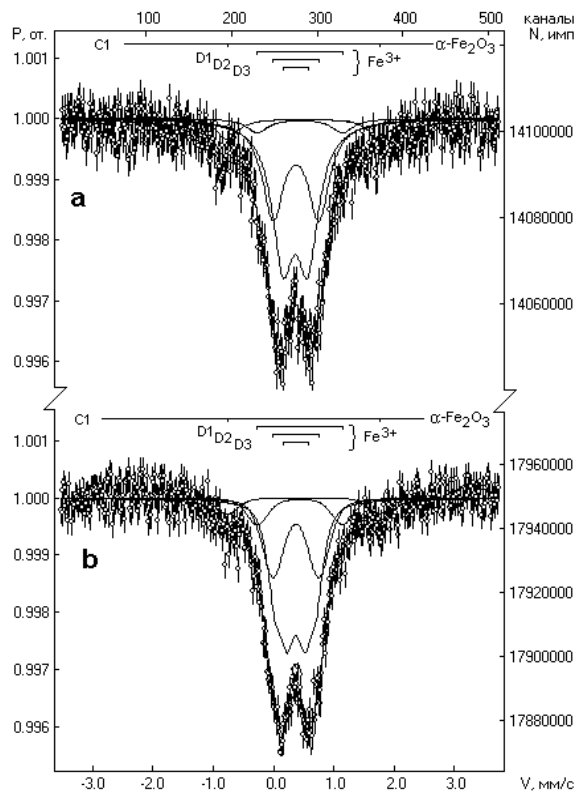


Рисунок 3.2.3 – Мессбауэровские спектры образца ЦСП Бадинского месторождения (ЦБ): а – исходного; б – после обжига

Анализ данных таблицы 3.2.1 позволил установить, что состав ЦСП Восточного Забайкалья является достаточно сложным, при этом основным Fe –

содержащим минералом в них является гематит, содержание которого в ЦСП Восточного Забайкалья, согласно значению резонансного эффекта (ЦСП Бадинского месторождения (0,432), ЦСП Шивыртуйского месторождения (1,069), в ЦСП Холинского месторождения гематит практически отсутствует) [204]. Необходимо отметить, что величина резонансного эффекта при обжиге для ЦСП Бадинского и Шивыртуйского месторождений увеличилась (с 0,432 до 0,473 и с 1,069 до 1,250 соответственно), что свидетельствует об увеличении крупнокристаллического гематита. Для ЦСП Холинского месторождения данный показатель характеризует железистость монтмориллонитов, который при термическом воздействии уменьшился (с 0,689 до 0,668).

Таблица 3.2.1 – Результаты мессбауэровских исследований ЦСП Бадинского, Шивыртуйского и Холинского месторождений до и после обжига

Образец	Компонента спектра	Изомерный сдвиг δ , мм/с	Квадрупольное расщепление Δ , мм/с	Магнитные поля на ядрах $Fe^{57}Fe$, кЭ	Площади компонент S, %	Величина эффекта ϵ , %	Интерпретация
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦБ, исх	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	512	29,6	0,432	Гематит Монтмориллонит, гидрослюда
	D1(Fe^{3+})	0,39	1,28	0	3,3		
	D2(Fe^{3+})	0,38	0,78	0	23,8		
	D3(Fe^{3+})	0,36	0,44	0	43,3		
ЦБ после обжига	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	512	36	0,473	Гематит Монтмориллонит, гидрослюда
	D1(Fe^{3+})	0,46	1,39	0	7,4		
	D2(Fe^{3+})	0,39	0,78	0	20,2		
	D3(Fe^{3+})	0,36	0,39	0	36,8		
ЦШ, исх	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	513	6,8	1,069	Гематит Оливин Хлорит Монтмориллонит, гидрослюда
	D1(Fe^{2+})	1,16	2,98	0	1,8		
	D2(Fe^{2+})	1,07	2,57	0	4,5		
	D3(Fe^{3+})	0,43	1,28	0	7,7		
	D4(Fe^{3+})	0,37	0,94	0	12,8		
	D5(Fe^{3+})	0,37	0,51	0	66,4		
ЦШ после обжига	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	512	6,1	1,250	Гематит Оливин Хлорит Монтмориллонит, гидрослюда
	D1(Fe^{2+})	1,16	2,98	0	1,9		
	D2(Fe^{2+})	1,07	2,47	0	4,6		
	D3(Fe^{3+})	0,42	1,32	0	7,3		
	D4(Fe^{3+})	0,37	1,1	0	8,9		
	D5(Fe^{3+})	0,37	0,50	0	67,4		
ЦХ, исх	D1(Fe^{3+})	0,41	1,14	0	7,1	0,689	Монтмориллонит, гидрослюда
	D2(Fe^{3+})	0,37	0,67	0	37,0		
	D3(Fe^{3+})	0,35	0,34	0	55,9		
ЦХ после обжига	D1(Fe^{3+})	0,37	1,22	0	6,3	0,668	Монтмориллонит, гидрослюда

Величина резонансного эффекта пропорциональна содержанию общего железа в ЦСП, что характеризует железистость входящих в состав ЦСП монтмориллонитов (рисунок 3.2.4).

Установлено, что обжиг приводит к увеличению содержания железа в ЦСП за счет частичного сплавления зерен гематита, удаления летучих компонентов при дегидратации и разрыхления структуры цеолита.

Таким образом, в результате проведения исследований по изучению влияния обжига на физико–химические и технологические свойства ЦСП выявлены химические преобразования на поверхности и в объеме пород, обуславливающие необходимость оценки эффективности извлечения из них железосодержащих примесей.

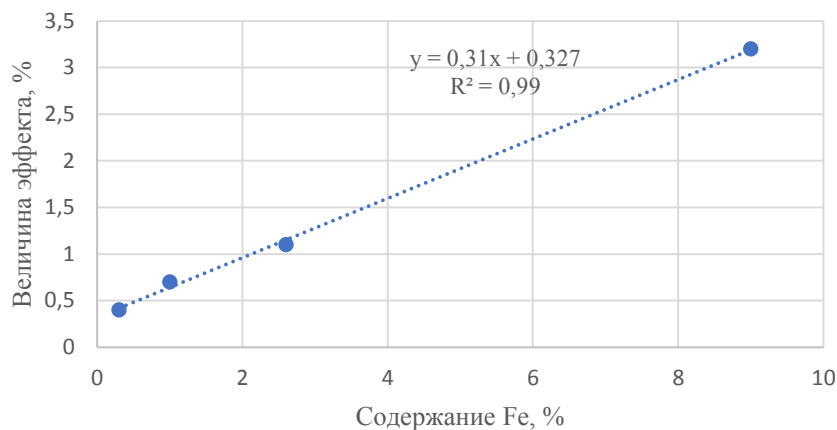


Рисунок 3.2.4 – Зависимость величины резонансного эффекта от содержания общего железа в ЦСП

Результаты исследований по изучению эффективности извлечения железосодержащих примесей методом магнитной сепарации из ЦСП месторождений Восточного Забайкалья представлены в таблицах 4.1.1–4.1.4. Наибольшим содержанием гематита (до 89% от общей массы), по сравнению с другими ЦСП, характеризуются породы Талан-Гозагорского месторождения. В этой связи, посредством мессбауэровской спектроскопии выполнена оценка влияния термического воздействия (обжига) на магнитные свойства ЦСП Талан-Гозагорского месторождения (рисунок 3.2.5). Установлено, что ЦСП Талан-Гозагорского месторождения содержат железосодержащие примеси,

представленные минералами гематита, характеризующегося различной дисперсностью, гидрогетита и железистого кварца. Термическое воздействие приводит к существенному повышению (таблица 4.1.5) магнитной восприимчивости (до $450 \cdot 10^{-8}$ – $680 \cdot 10^{-8}$ м³/кг), частичное спекание мелкодисперсных частиц гематита, обуславливающее образование его крупнокристаллических фаз возможность эффективного извлечения методом электромагнитной сепарации.

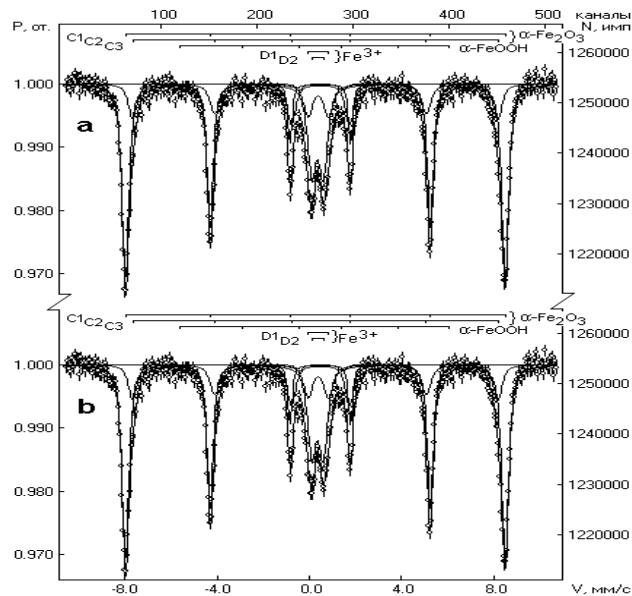


Рисунок 3.2.5 – Мессбауэровские спектры ЦСП Талан-Гозагорского месторождения (ЦТГ): а – исходного; б – после обжига

В таблице 3.2.2 сведены параметры и интерпретация исследованных ЦСП Талан-Гозагорского месторождения.

Таким образом, достигнутые результаты позволили установить, что применение обжига в сочетании с традиционными методами обогащения позволяет управлять качеством цеолитовых продуктов, которое обуславливает расширение возможности их использования в таких отраслях как химическая и коксохимическая промышленность, водоснабжение, бумажная промышленность, медицина и здравоохранение, нефтяная и нефтехимическая промышленность, атомная промышленность, а также в технологиях управления отходами горного производства (таблица 4.2.4).

Таблица 3.2.2 – Результаты мессбауэровских исследований
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения до и после обжига

Образец	Компонента спектра	Изомерный сдвиг δ , мм/с	Квадрупольное расщепление Δ , мм/с	Магнитные поля на ядрах $Fe^{57}Fe$, кЭ	Площади компонент S , %	Величина эффекта ϵ , %	Интерпретация
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦТГ, исх	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	512	55,9	3,185	Гематит
	C2(Fe^{3+})	0,39	-0,23	491	18,4		
	C3(Fe^{3+})	0,36	-0,28	362	0,6		Гетит-гидрогетит
	Д1(Fe^{3+})	0,38	0,78	0	10,1		Монтмориллонит, гидрослюда
	Д2(Fe^{3+})	0,38	0,54	0	15,0		
ЦТГ после обжига	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,24	512	52,7	3,251	Гематит
	C2(Fe^{3+})	0,38	-0,21	492	23,8		
	C3(Fe^{3+})	0,36	-0,28	362	1,3		Гетит-гидрогетит
	Д1(Fe^{3+})	0,38	0,84	0	9,2		Монтмориллонит, гидрослюда
	Д2(Fe^{3+})	0,35	0,52	0	13,7		

3.3 Влияние мощных наносекундных электромагнитных импульсных воздействий на изменение технологических свойств цеолитсодержащих пород

Исследования, проведенные в ИПКОН РАН [25; 26; 270–272], показали эффективность использования мощных наносекундных электромагнитных импульсных воздействий (МЭМИ) в технологиях переработки руд, обеспечивающих направленное изменение их технологических свойств и способствующих интенсификации вскрытия минералов посредством разупрочнения минеральных комплексов.

Проведенные исследования по применению МЭМИ в качестве операции рудоподготовки для ЦСП Восточного Забайкалья базировались на научных трудах выдающихся ученых, таких как В. А. Чантурия, И. Ж. Бунин, Т. А. Иванова, А. Н. Хатькова и др., которыми произведена оценка влияния МЭМИ на изменение технологических свойств ЦСП Восточного Забайкалья. Результаты проведенных исследований позволили установить, что воздействие МЭМИ при напряжении 44 кВт позволяет достичь пробойного состояния поверхности ЦСП, которое обеспечивает образование дефектов и каналов пробоя вблизи

естественных микротрещин и границ срастания минералов, что способствует увеличению удельной поверхности, объема и радиуса пор цеолитов, а также их адсорбционной емкости [270; 271].

Автором данной диссертационной работы с применением метода мессбауэровской спектроскопии и термического анализа проведены исследования по изучению влияния МЭМИ на вещественный состав ЦСП и их физические свойства. Дальнейшим этапом исследований являлось изучение влияния МЭМИ на технологические показатели обогащения ЦСП Восточного Забайкалья с применением электростатической и магнитной сепараций.

Методика исследований включала в себя изучение влияния МЭМИ на состав и физические свойства ЦСП с помощью мессбауэровской спектроскопии после их обработки в течение 5 минут в электроимпульсном поле с использованием следующих параметров: частота следования 125 Гц, напряжение 44 кВт, длительность фронта импульса 1–50 нс, напряженность электрической компоненты поля – 1010 МВ/м. Измерения мессбауэровских спектров осуществлялись на спектрометре Ms-1104Em. Крупность исследуемых пород в пробах составляла 0,05–0,07 мм при массе навесок 50–70 мг. Обработка мессбауэровских спектров проводилась в программе «Univem MS». Термические исследования ЦСП Восточного Забайкалья после обработки МЭМИ велись в атмосфере аргона в диапазоне температур 20–1400 °С на установке STA 449С (Германия). Определение теплоемкости осуществлялось в диапазоне 40–400 °С по базовой линии, стандарту (сапфир) и образцу.

Мессбауэровские спектры исходных и обработанных МЭМИ ЦСП представлены на рисунках 3.3.1–3.3.4, а полученные параметры после разложения спектра на составляющие в таблице 3.3.1.

Мессбауэровские спектры исходных и обработанных пород Талан-Гозагорского месторождения представлены на рисунке 3.3.1. Параметры после разложения спектра на составляющие представлены в таблице 3.3.1. Спектр исходного образца (рисунок 3.3.1а) был разложен на три секстета и два дублета. При этом секстет С1 по мессбауэровским параметрам соответствует гематиту, а

секстет С2 – тонкодисперсному гематиту. Вместе с тем дублеты Д1 и Д2 относятся к монтмориллониту. Мессбауэровский спектр обработанных пород Талан-Гозагорского месторождения представлен на рисунке 3.3.1b. Результаты исследований методом мессбауэровской спектроскопии приведены в таблице 3.3.1 [181; 249; 254].

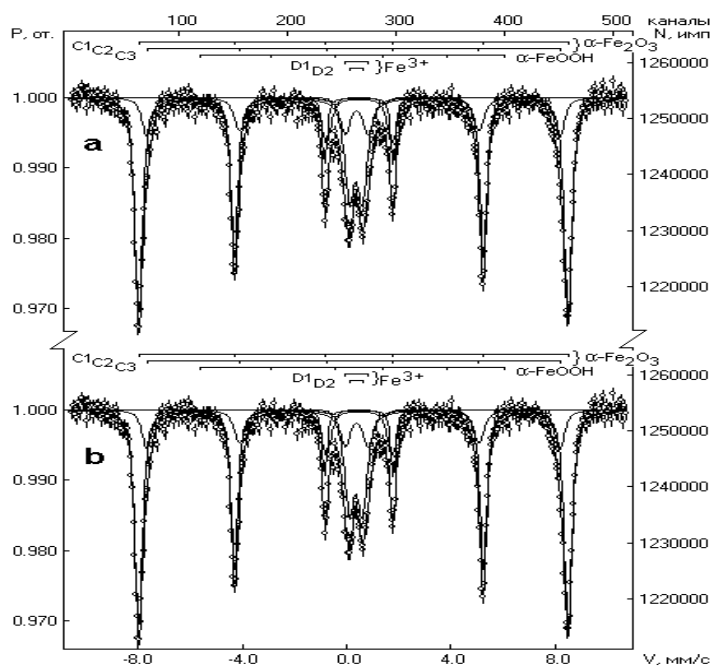


Рисунок 3.3.1 – Мессбауэровские спектры ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: а – исходного; б – после воздействия МЭМИ

Анализ результатов мессбауэровской спектроскопии и данных таблицы 3.3.1 показал, что воздействием МЭМИ достигнуто увеличение содержания крупнокристаллического гематита при снижении содержания тонкодисперсного. Выявлено существенное изменение величины резонансного эффекта, связанного с общим содержанием железа, что объясняется удалением летучих компонентов из ЦСП и повышением содержания железа в результате воздействия МЭМИ. Термогравиметрический анализ данных ЦСП (рисунок 3.3.2) показал отсутствие существенных отличий в кривых дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) [214].

На рисунке 3.3.2 приведены мессбауэровские спектры ЦСП Бадинского месторождения. Результаты мессбауэровской спектроскопии (таблица 3.3.1) позволили установить, что дублеты относятся к монтмориллониту.

При сравнении площадей дублетов и секстета, определено, что при обработке МЭМИ происходит увеличение содержания гематита в ЦСП (с 0,432 до 0,461). Значение величины резонансного эффекта для ЦСП Бадинского месторождения существенно меньше по сравнению с ЦСП Талан–Гозагорского месторождения (3,262), что говорит о более низком содержании в них железа и подтверждается спектральным анализом.

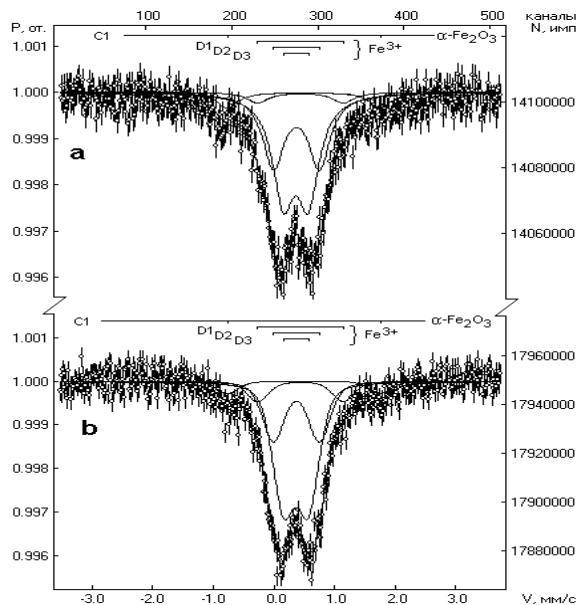


Рисунок 3.3.2 – Мессбауэровские спектры ЦСП Бадинского месторождения (ЦБ): а – исходного; б – после воздействия МЭМИ

Рост значений резонансного эффекта ЦСП Бадинского месторождения после воздействия МЭМИ определяется удалением летучих компонентов в процессе дегидратации, по аналогии с ЦСП Талан–Гозагорского месторождения, что существенным образом влияет на повышение содержания железа в породах [201].

Мессбауэровский спектр ЦСП Холинского месторождения (ЦХ) до и после воздействия МЭМИ представлен на рисунке 3.3.3.

В обоих спектрах ЦСП Холинского месторождения было выделено по 3 дублета, параметры которых приведены в таблице 3.3.1. Дублеты согласно параметрам соответствуют ионам железа (Fe^{3+}) октаэдрической координации и относятся к монтмориллониту. Следовательно, состав данного монтмориллонита отличается от монтмориллонита в составе ЦСП Бадинского месторождения, что определяет отличие в локальных искажениях октаэдров. Установлено, что высокие значения величины резонансного эффекта ЦСП Холинского

месторождения по сравнению с породами Бадинского месторождения, свидетельствуют о большем содержании железа [201].

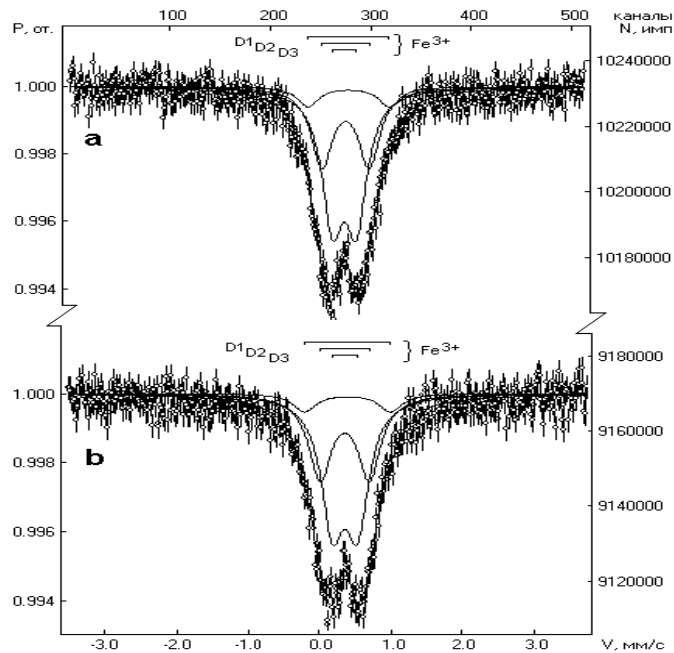


Рисунок 3.3.3 – Мессбауэровские спектры ЦСП Холинского месторождения (ЦХ): а – исходного; б – после воздействия МЭМИ

На рисунке 3.3.4 представлены мессбауэровские спектры исходных и после воздействия МЭМИ ЦСП Шивыртуйского месторождения. Данные интерпретации параметров спектра приведены в таблице 3.3.1. Спектр исходных ЦСП Шивыртуйского месторождения разложен на 1 секстет и 5 дублетов (рисунок 3.4.4а).

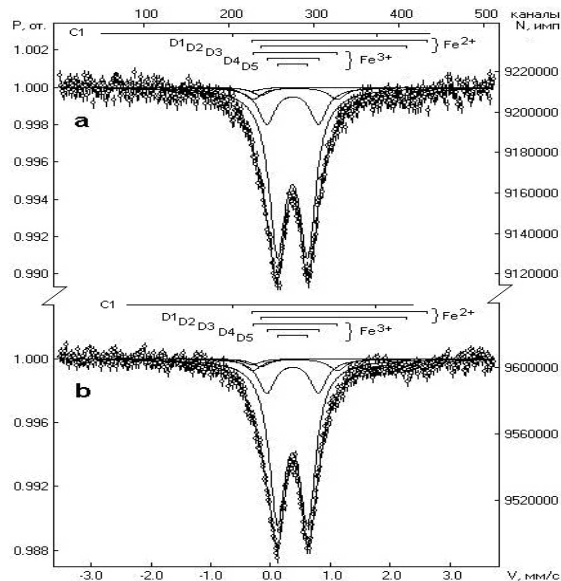


Рисунок 3.3.4 – Мессбауэровские спектры ЦСП Шивыртуйского месторождения (ЦШ): а – исходных; б – после воздействия МЭМИ

Установлено, что секстет С1 соответствует гематиту, дублиеты Д1 и Д2 – железистым силикатам, а дублиеты Д3–Д5 – монтмориллониту.

На рисунке 3.3.5 представлены термограммы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и потери массы (ТГ) ЦСП Талан-Гозагорского месторождения. Приведенные эндотермические пики в диапазоне до 200–208 °С на обеих кривых термогравиметрии (ТГ) свидетельствуют об удалении основного количества воды. Процесс дегидратации, судя по кривым потери массы, продолжается при 800–1400 °С, что является причиной потери массы, которая составляет у исходных пород 4,25%, а у обработанных МЭМИ – 5,52 %.

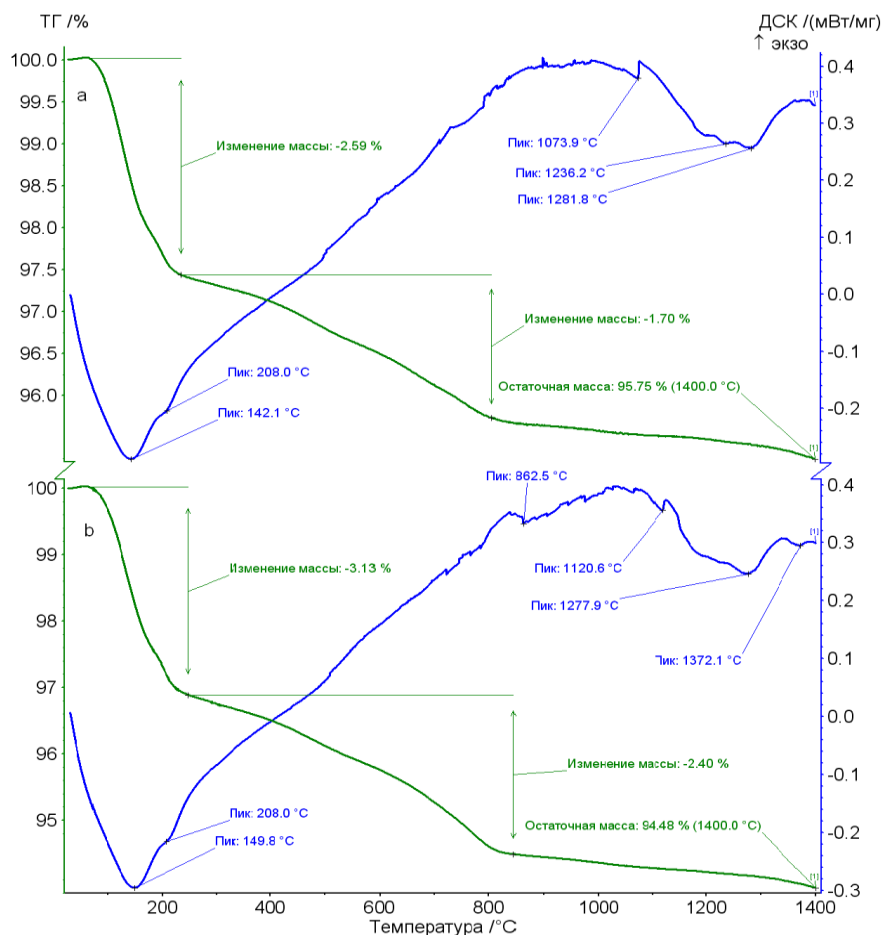


Рисунок 3.3.5 – Термограмма ДСК и потери массы ТГ ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: а – исходного; б – после воздействия МЭМИ

Полное разрушение структуры цеолита и его аморфизация достигается при температуре 900–1000 °С, что подтверждается мелкими изломами

эндотермического характера, отображенными на термограмме (рисунок 3.3.5).

Установлено, что данные эффекты наиболее выражены у обработанных МЭМИ ЦСП (рисунок 3.3.5b).

МЭМИ в значительной степени способствует изменению структуры минерала цеолита и повышению эффективности извлечения вмещающих примесей из его полостей. Представленные на термограмме эндотермические эффекты при 1200–1280 °С свидетельствуют о плавлении силикатных фаз железа.

На рисунке 3.3.6 представлены термограммы исходных и обработанных МЭМИ ЦСП Бадинского месторождения.

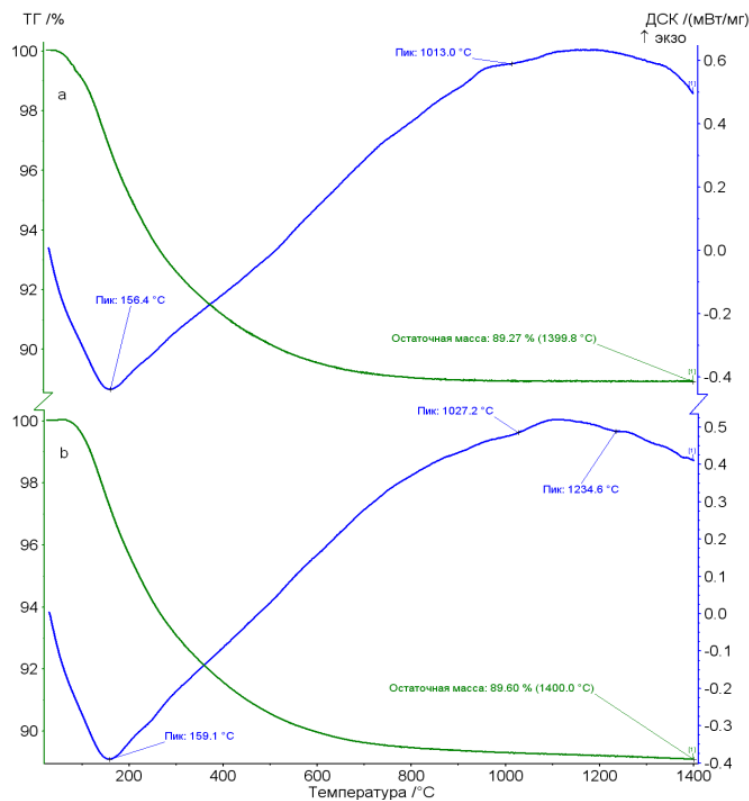


Рисунок 3.3.6 – Термограмма ДСК и потери массы ТГ ЦСП Бадинского месторождения (ЦБ): а – исходного; б – после воздействия МЭМИ

Приведенные на рисунке 3.3.6 эндотермические пики в диапазоне до 156–159 °С на обеих кривых термогравиметрии (ТГ) свидетельствуют об удалении основного количества воды. Процесс дегидратации продолжается при дальнейшем повышении температуры до 800–1400 °С, что обуславливает общую потерю массы исходных ЦСП Бадинского месторождения на уровне 10,73 %, а после воздействия МЭМИ – 10,4 %. Полное разрушение структуры цеолита

Бадинского месторождения и его аморфизация достигается при температуре 1000–1100 °С (рисунок 3.3.6).

Термограммы исходных ЦСП Холинского месторождения и обработанных идентичны (рисунок 3.3.7). Потеря сорбционной воды сопровождается потерей массы. При нагреве до 1400 °С потеря массы в исходных ЦСП составила 10,5 % и 10,34% в ЦСП, подвергшихся обработке МЭМИ.

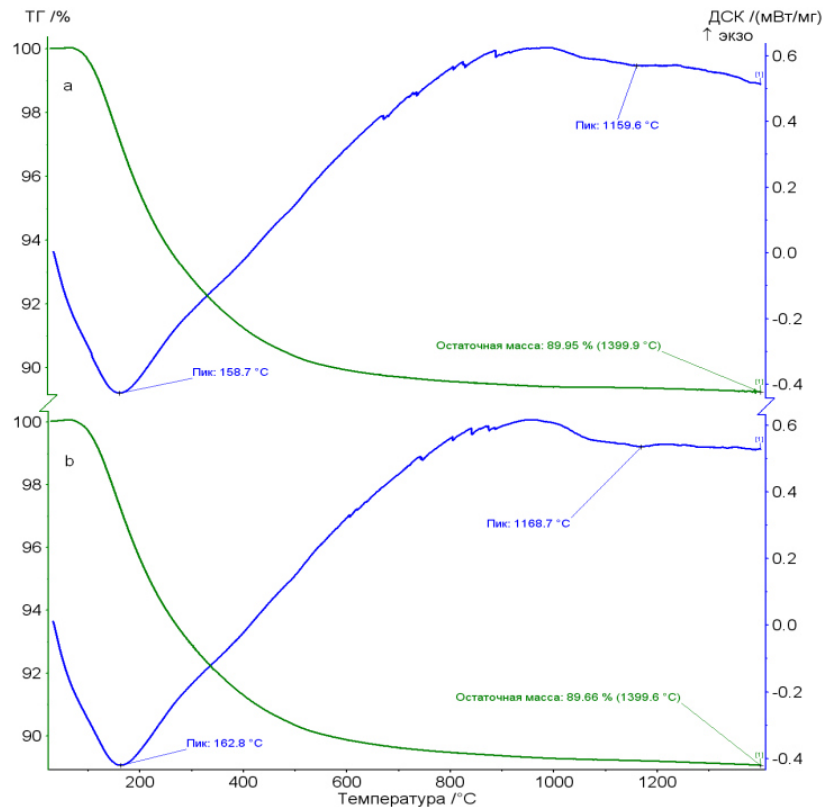


Рисунок 3.3.7 – Термограмма ДСК и потери массы ТГ ЦСП Холинского месторождения (ЦХ): а – исходного; б – после воздействия МЭМИ

При этом особенностью термограммы исходных и подвергнутых воздействию МЭМИ ЦСП Шивыртуйского месторождения является кристаллизация новообразования при температуре от 700 до 900 °С, определяющая в дальнейшем экзотермический эффект при 1300 °С (рисунок 3.3.8), который не наблюдается у ЦСП Талан–Гозагорского, Бадинского и Холинского месторождений, что говорит об ином составе и структуре данных пород. Общая потеря массы у исходных ЦСП Шивыртуйского месторождения 10,5 %, у подвергшихся обработке МЭМИ 10,34%.

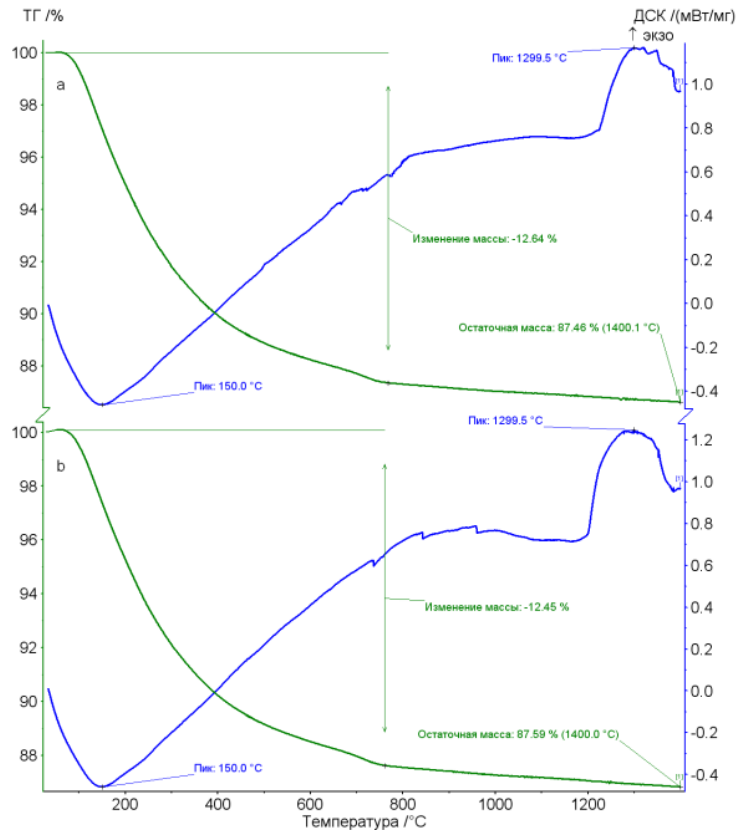


Рисунок 3.3.8 – Термограмма ДСК и потери массы ТГ ЦСП Шивыртуйского месторождения (ЦШ): а – исходного; б – после обработки МЭМИ

На рисунке 3.3.9 приведены зависимости изменения теплоемкости исходного и обработанных ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от температуры. В результате исследований теплоемкости пород установлено, что воздействие МЭМИ на ЦСП оказывает существенное влияние на данный параметр.

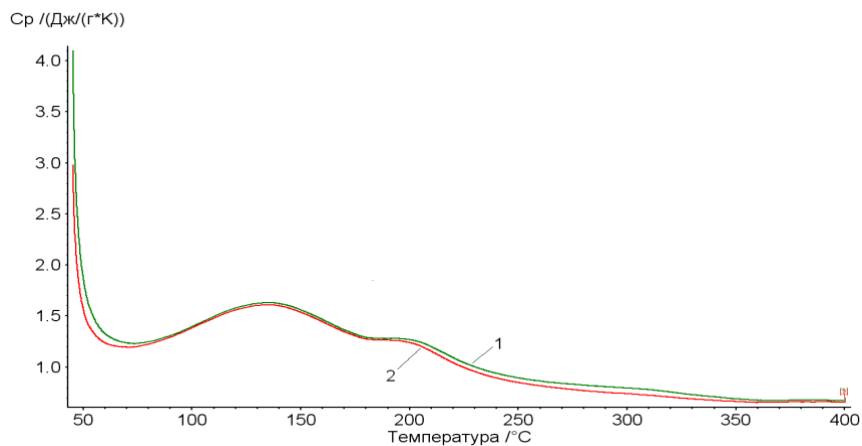


Рисунок 3.3.9 – Зависимость теплоемкости ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от температуры: 1 – исходного, 2 – после воздействия МЭМИ

Кривые зависимости теплоемкости исходных и обработанных ЦСП Бадинского месторождения (рисунок 3.3.10) от температуры отличаются от

таковых ЦСП Талан-Гозагорского месторождения. Анализ графика показал, что значения теплоемкости при низких температурах имеют существенные отличия, которые исчезают при повышении температуры до 300 °С. Значения теплоемкости исходных ЦСП Бадинского месторождения на 15 градусов ниже по сравнению с ЦСП, подвергшимся воздействию МЭМИ.

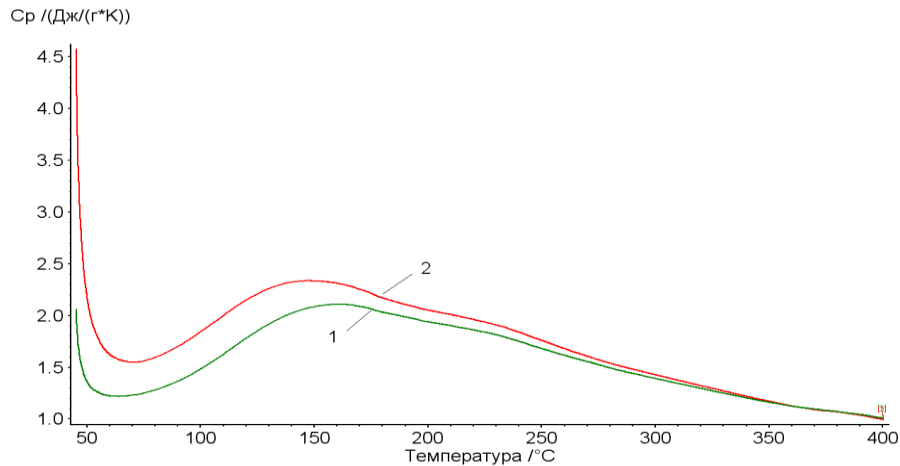


Рисунок 3.3.10 – Зависимость теплоемкости ЦСП Бадинского месторождения от температуры: 1 – исходного, 2 – после воздействия МЭМИ

Измерения теплоемкости ЦСП Холинского месторождения исходного и обработанного (рисунок 3.3.11) показали, что обработка цеолитов МЭМИ слабо влияет на данный теплофизический параметр. При этом небольшое уменьшение теплоемкости обработанных ЦСП отмечается после достижения максимума при 160 °С.

Результаты исследований показали, что с повышением температуры происходит снижение теплоемкости ЦСП, при этом скорость уменьшения теплоемкости пород, подвергшихся обработке МЭМИ, несколько выше по сравнению с исходными. Установлено, что абсолютная величина теплоемкости ЦСП Холинского месторождения значительно выше данного теплофизического параметра ЦСП Талан-Гозагорского месторождения и составляет порядка 2,4 Дж/г, что обусловлено высоким содержанием в последних минералов гематита.

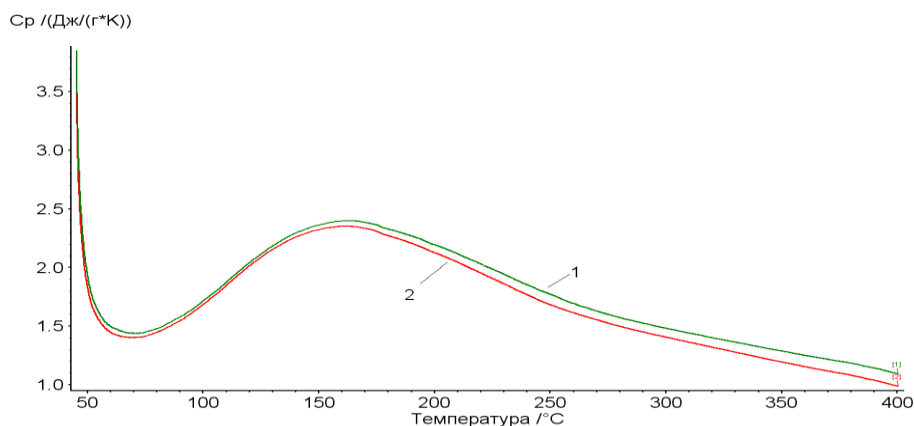


Рисунок 3.3.11 – Зависимость теплоемкости ЦСП Холинского месторождения от температуры: 1 – исходного, 2 – после воздействия МЭМИ

Результаты проведенных исследований по измерению теплоемкости исходных и после воздействия МЭМИ ЦСП Шивыртуйского месторождения показали, что данный вид воздействия в значительной степени не оказал влияния на ее величину (рис. 3.3.12).

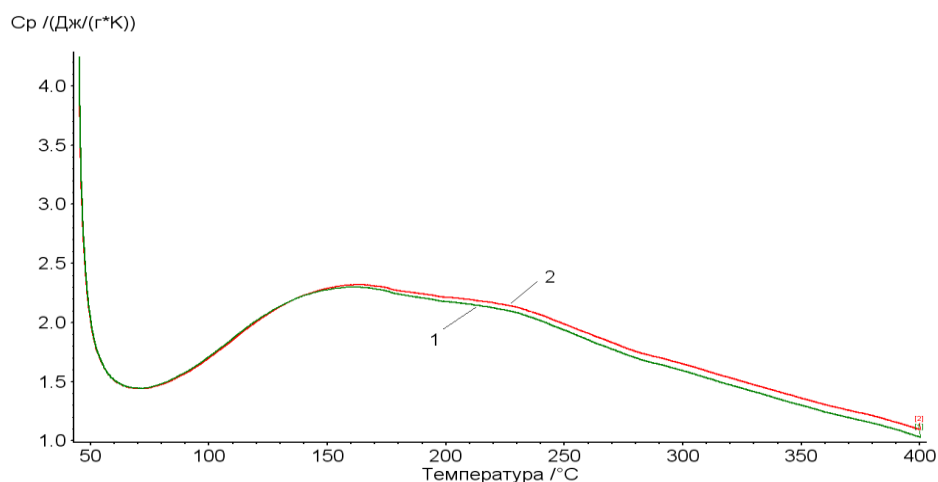


Рисунок 3.3.12 – Зависимость теплоемкости ЦСП Шивыртуйского месторождения от температуры: 1 – исходных, 2 – после воздействия МЭМИ

Теплоемкость исходных и после воздействия МЭМИ ЦСП Шивыртуйского месторождения имеет максимум при 160 °C. При повышении температуры происходит уменьшение теплоемкости ЦСП.

В результате проведения исследований определены функции зависимости теплоемкости ЦСП Восточного Забайкалья от температуры, характеризующие эффективность применения МЭМИ вида:

– ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y=3,86e^{-0,1x}$ (без обработки МЭМИ); $y=3,31e^{-0,1x}$ (с воздействием МЭМИ).

– ЦСП Бадинского месторождения: $y=3,87e^{-0,1x}$ (без обработки МЭМИ); $y=3,31e^{-0,1x}$ (с обработкой МЭМИ).

– ЦСП Холинского месторождения:

$y=-4 \cdot 10^{-11}x^5+5 \cdot 10^{-8}x^4-2 \cdot 10^{-5}x^3+0,004x^2-0,38x+13,18$ (без обработки МЭМИ);

$y=-4 \cdot 10^{-11}x^5+4 \cdot 10^{-8}x^4-2 \cdot 10^{-5}x^3+0,003x^2-0,32x+11,77$ (с обработкой МЭМИ).

– ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y=3,87e^{-0,1x}$ (без обработки МЭМИ); $y=3,31e^{-0,1x}$ (с обработкой МЭМИ).

Установлено, что во всех изучаемых породах повысилось содержание крупнокристаллического гематита, при этом содержание тонкодисперсного снизилось (таблица 3.3.1). Кроме того, обобщающим фактором для ЦСП является наличие в них монтмориллонита. Результаты определения параметров исследования ЦСП и их интерпретация представлены в таблице 3.3.1.

Анализ полученных данных подтвердил достаточно сложный состав ЦСП Восточного Забайкалья, в которых железосодержащие примеси представлены гематитом. Вместе с тем, в ЦСП Талан-Гозагорского месторождения (ЦТГ) отмечено высокое содержание гематита, в ЦСП Бадинского месторождения (ЦБ) – низкое содержание, в ЦСП Шивыртуйского месторождения (ЦШ) – еще более низкое содержание гематита, в ЦСП Холинского месторождения (ЦХ) – практически полное его отсутствие [201, 267].

Определено, что воздействие МЭМИ на ЦСП обуславливает значительное увеличение в них содержания железа, что является следствием удаления летучих в процессе дегидратации и изменения структуры цеолита. Величина резонансного эффекта пропорциональна содержанию общего железа в ЦСП, что характеризует железистость входящих в состав ЦСП Восточного Забайкалья монтмориллонитов (рисунок 3.3.13).

Таблица 3.3.1 – Результаты мессбауэровских исследований ЦСП Восточного Забайкалья

Образец	КомпONENTА спектра	Изомерный сдвиг δ , мм/с	Квадрупольное расщепление Δ , мм/с	Магнитные поля на ядрах $Fe^{57}Fe$, кЭ	Площади компонент S, %	Величина эффекта ϵ , %	Интерпретация
1	2	3	4	5	6	7	8
ЦТГ, исх	C1(Fe^{3+})	037	-0,22	512	55,9	3,185	Гематит
	C2(Fe^{3+})	0,39	-0,23	491	18,4		
	C3(Fe^{3+})	0,36	-0,28	362	0,6		Гетит-гидрогетит
	D1(Fe^{3+})	0,38	0,78	0	10,1		Монтмориллонит, гидрослюда
	D2(Fe^{3+})	0,38	0,54	0	15,0		
ЦТГ, обр.	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,21	512	51,4	3,262	Гематит
	C2(Fe^{3+})	0,37	-0,22	492	24,5		
	C3(Fe^{3+})	0,36	-0,28	362	1,5		Гетит-гидрогетит
	D1(Fe^{3+})	0,38	0,89	0	9,4		Монтмориллонит, гидрослюда
	D2(Fe^{3+})	0,36	0,50	0	13,2		
ЦБ, исх	C1(Fe^{3+})	037	-0,22	512	29,6	0,432	Гематит
	D1(Fe^{3+})	0,39	1,28	0	3,3		
	D2(Fe^{3+})	0,38	0,78	0	23,8		Монтмориллонит, гидрослюда
	D3(Fe^{3+})	0,36	0,44	0	43,3		
ЦБ, обр.	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	512	35	0,461	Гематит
	D1(Fe^{3+})	0,44	1,41	0	7,1		
	D2(Fe^{3+})	0,37	0,76	0	20,5		Монтмориллонит, гидрослюда
	D3(Fe^{3+})	0,36	0,41	0	37,4		
ЦШ, исх	C1(Fe^{3+})	037	-0,22	513	6,8	1,069	Гематит
	D1(Fe^{2+})	1,16	2,98	0	1,8		Оливин
	D2(Fe^{2+})	1,07	2,57	0	4,5		Хлорит
	D3(Fe^{3+})	0,43	1,28	0	7,7		Монтмориллонит, гидрослюда
	D4(Fe^{3+})	0,37	0,94	0	12,8		
	D5(Fe^{3+})	0,37	0,51	0	66,4		
ЦШ, обр.	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,22	512	5,5	1,250	Гематит
	D1(Fe^{2+})	1,16	2,98	0	1,7		Оливин
	D2(Fe^{2+})	1,07	2,43	0	4,4		Хлорит
	D3(Fe^{3+})	0,41	1,38	0	9,3		Монтмориллонит, гидрослюда
	D4(Fe^{3+})	0,37	1,0	0	7,6		
	D5(Fe^{3+})	0,37	0,52	0	71,5		
ЦХ, исх	D1(Fe^{3+})	0,41	1,14	0	7,1	0,689	Монтмориллонит, гидрослюда
	D2(Fe^{3+})	0,37	0,67	0	37,0		
	D3(Fe^{3+})	0,35	0,34	0	55,9		
ЦХ, обр.	D1(Fe^{3+})	0,39	1,19	0	6,0	0,661	Монтмориллонит, гидрослюда

В таблице 3.3.2 приведены некоторые теплофизические характеристики ЦСП на основе измерений теплоемкости и ее зависимости от температуры. Здесь же представлена общая потеря массы при нагревании образцов до 1400 °С.

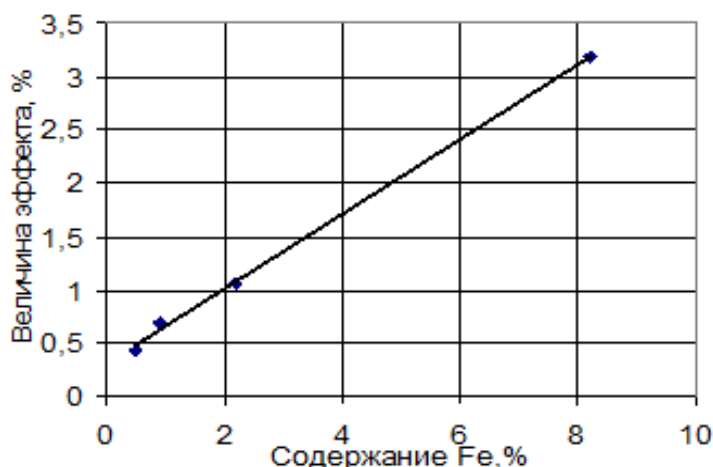


Рисунок 3.3.13 – Зависимость величины резонансного эффекта от содержания железа в ЦСП Восточного Забайкалья

Результаты исследований по определению влияния МЭМИ на эффективность электромагнитной сепарации ЦСП Восточного Забайкалья приведены в таблицах 4.1.1–4.1.4.

Таблица 3.3.2 – Результаты исследования теплоемкости ЦСП

Образец	Общая потеря массы, %	Экстремум теплоемкости C_p , °C	Величина теплоемкости, Дж/г	Характер кривой C_p (t)
ЦТГ, исх	4,25	130	1,6	Максимум, точка перегиба
ЦТГ, обр., 5 мин	5,22	130	1,6	Максимум, точка перегиба
ЦБ, исх	10,73	150	2,2	Максимум, слабый перегиб
ЦБ, обр., 5 мин	10,40	140	2,4	Максимум, слабый перегиб
ЦШ, исх	12,54	160	2,3	Максимум, слабый перегиб
ЦШ, обр., 5 мин	12,41	160	2,3	Максимум, слабый перегиб
ЦХ, исх	10,50	160	2,4	Максимум
ЦХ, обр. 5 мин	10,34	160	2,35	Максимум

Установлено (таблица 3.3.2), что наименьшую теплоемкость имеют ЦСП Талан-Гозагорского месторождения, содержащие наибольшее количество гематита, содержание которого в данном случае определяет минимум теплоемкости. При этом наибольшую теплоемкость имеют ЦСП с максимальным содержанием воды. В целом, термические исследования ЦСП (эндотермические эффекты на термограмме, различная потеря массы при нагревании, различная величина значений теплоемкости) подтвердили их сложный состав.

В результате проведенных исследований выявлено, что ЦСП Восточного Забайкалья содержат оксиды, монтмориллонит различного состава, а также гидроксиды железа. При этом железо в ЦСП содержится не в полостях цеолита, а в виде самостоятельных примесей.

Сопоставление ЦСП исходных и после обработки МЭМИ показало, что данный вид воздействия увеличивает дисперсность частиц и удаляет летучие из состава пород, что является причиной увеличения значений резонансного эффекта и повышения содержания железа (таблица 3.3.1). Установлено, что воздействие МЭМИ способствует повышению величины магнитной восприимчивости гематита с до $520-690 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, что определяет возможность применения магнитной сепарации для его эффективного извлечения. Подтверждено предположение о том, что воздействие МЭМИ на ЦСП приводит к образованию систем трещин и микротрещин по границам срастания цеолитовых и породообразующих минералов, обуславливающих их эффективную дезинтеграцию и обогащение.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют об эффективности и целесообразности применения МЭМИ в сочетании с традиционными методами обогащения при переработке ЦСП Восточного Забайкалья, что позволит обеспечить управление качеством цеолитовых продуктов с возможностью их использования в водоснабжении, медицине, а также в бумажной, химической, коксохимической, атомной, нефтяной и нефтехимической промышленности, а также в технологиях управления горнопромышленными отходами (таблица 4.2.5).

3.4 Воздействие ускоренными электронами на технологические свойства цеолитсодержащих пород

Ранее проведенными исследованиями установлено, что применение предварительного воздействия ускоренными электронами на минеральное сырье является достаточно эффективным методом направленного изменения его физико-химических и механических свойств, обеспечивающим снижение прочностных характеристик руд, повышение их селективной дезинтеграции, а

также значительное сокращение продолжительности последующих рудоподготовительных операций (измельчение). Воздействие ускоренными электронами способствует селективному раскрытию сростков минералов и повышает эффективность последующего обогащения руд [17–21, 208–215].

Следует отметить, что необходимость применения воздействия ускоренными электронами и определение оптимальных режимов радиационной обработки заключается в направленном изменении свойств ЦСП Восточного Забайкалья с целью повышения эффективности их очистки от вмещающих примесей, в частности методом магнитной сепарации, и увеличения адсорбционной способности минералов цеолитов (клиноптилолита, морденита, шабазита).

Методическая и теоретическая основа исследований в данной области науки заложена в трудах известных ученых: И. Н. Плаксина, В. А. Чантурия, И. Ж. Бунина, С. Б. Леонова, В. И. Ростовцева, Р. Ш. Шафеева, С. А. Богидаева, Г. Р. Бочкарева и др.

Методика проведения исследований включала воздействие на ЦСП ускоренными электронами в ускорителе электронов ИЛУ, разработанном в Институте ядерной физики СО РАН. ЦСП подавались в ускоритель посредством бункера–дозатора и транспортера, где подвергались воздействию пучком ускоренных электронов. Величина дозы облучения варьировалась от 2 до 5 кГр. Измерения мессбауэровских спектров, их обработка, а также термические исследования проводились на аналогичном оборудовании и при тех же параметрах, что и для МЭМИ. Определение теплоемкости проводилось в диапазоне 40–400 °С.

Определение коэффициента раскрытия минералов цеолита осуществлялось с применением лабораторной шаровой мельницы МШЛ в двух режимах: 1 – обычное измельчение ЦСП и с предварительной обработкой ускоренными электронами. Полученные в результате экспериментальных исследований данные подвергались математической обработке с построением соответствующих функций и графиков [256, 261].

Результаты определения коэффициента раскрытия мономинералов цеолита

при измельчении ЦСП исследуемых месторождений без радиационного воздействия (а) и с воздействием (б) приведены на рисунке 3.4.1. Крупность пород после измельчения определялась графиками 1 и 1.1, при этом крупность минералов цеолитов выражается графиками 2 и 2.2, а коэффициент раскрытия минералов цеолитов определяется отношением площадей под функциями (рисунок 3.4.1).

В результате проведения исследований установлено, что посредством использования направленного воздействия ускоренными электронами перед измельчением в диапазоне малых доз (2–4 кГр) увеличивается коэффициент раскрытия минералов цеолитов клиноптилолита Шивыртуйского месторождения (с 38 до 54%), и шабазита Талан-Гозагорского месторождения (с 46 до 62%), что подтверждает эффективность данного метода рудоподготовки [201, 237, 256].

Получены функции зависимости извлечения от крупности минеральных частиц при измельчении ЦСП Восточного Забайкалья, позволяющие определить увеличение значений коэффициента раскрытия минералов цеолита при предварительной обработке ускоренными электронами:

– измельчение без обработки ускоренными электронами: ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y = -24,08 \ln(x) + 77,6$ (крупность измельченной породы); $y = -19,67 \ln(x) + 100,1$ (крупность цеолита в измельченной породе); ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y = -19,13 \ln(x) + 100,5$ (крупность измельченной породы); $y = -25,46 \ln(x) + 88,7$ (крупность цеолита в измельченной породе).

– измельчение с обработкой ускоренными электронами: ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y = 0,027x^2 - 3,2307x + 97,4$ (крупность измельченной породы); $y = 0,0223x^2 - 2,9383x + 97,5$ (крупность цеолита в измельченной породе); ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y = 0,0028x^2 - 1,0157x + 95,2$ (крупность измельченной породы); $y = 0,0022x^2 - 0,9164x + 95$ (крупность цеолита в измельченной породе).

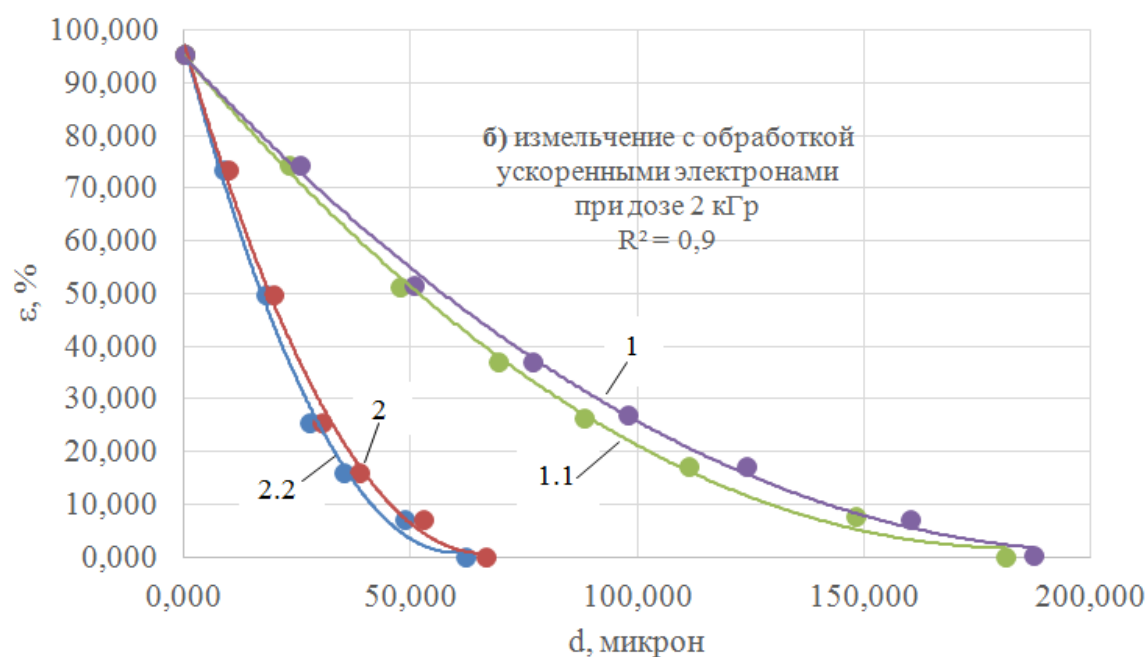
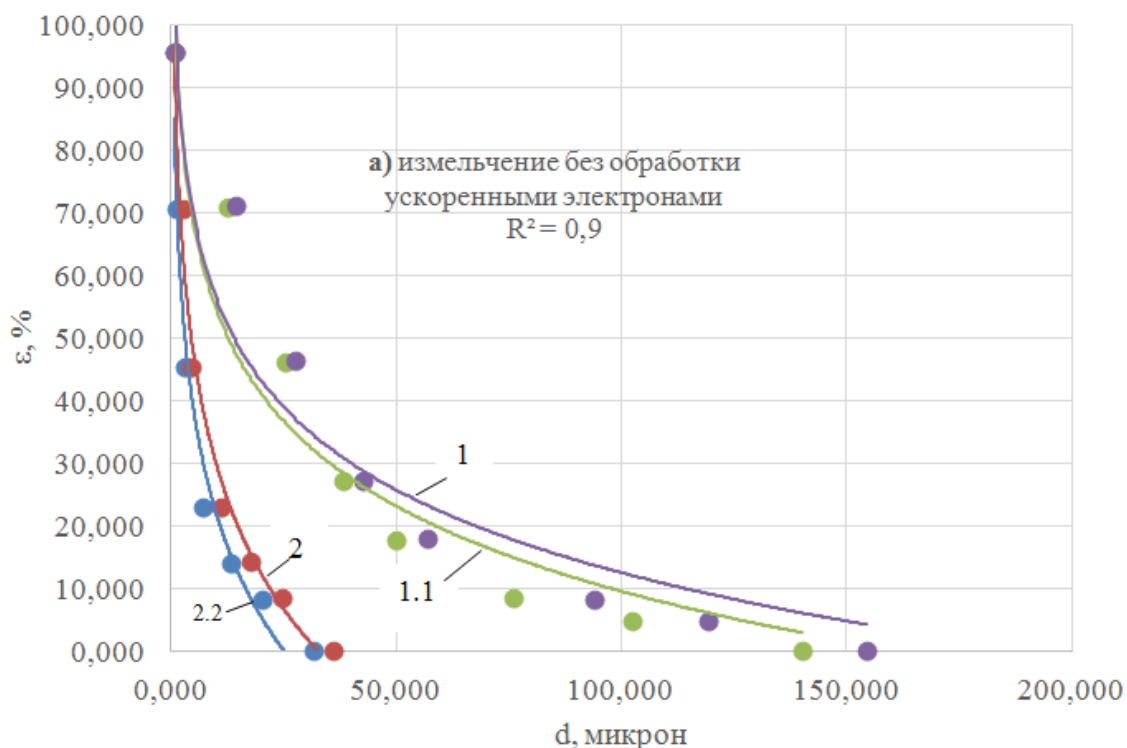


Рисунок 3.4.1 – Влияние воздействия ускоренными электронами на гранулометрический состав ЦСП (1) и минералов цеолитов в них (2) и на коэффициент раскрытия (f) цеолитов (клиноптилолита и шабазита): а) измельчение без обработки ускоренными электронами; б) измельчение с обработкой при дозе 2 кГр

На рисунке 3.4.2 представлены мессбауэровские спектры ЦСП Шивыртуйского месторождения до и после воздействия ускоренными электронами. Установлено, что секстет согласно параметрам исследований

соответствует гематиту, а дублеты на спектрах железистым силикатам и монтмориллониту.

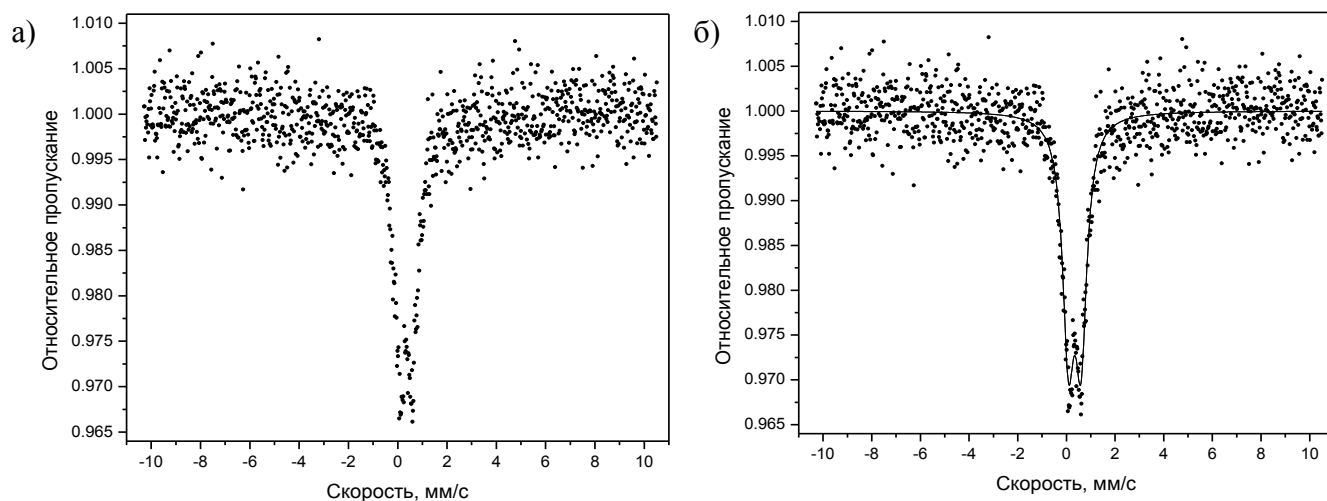


Рисунок 3.4.2 – Мессбауэровские спектры ЦСП Шивыртуйского месторождения: а – до воздействия; б – после воздействия ускоренными электронами

Термогравиметрический анализ исходных и подвергшихся воздействию ускоренными электронами ЦСП Шивыртуйского месторождения показал появляющийся в диапазоне температур 1200–1390 °С экзотермический эффект, связанный с возникновением новообразования, вызванного процессом кристаллизации при 700–900 °С.

Результаты измерения теплоемкости исходных и подвергшихся обработке ускоренными электронами ЦСП Шивыртуйского месторождения позволили установить, что начальная теплоемкость исходных и подвергшихся воздействию ускоренными электронами ЦСП Шивыртуйского месторождения имеет идентичные значения (1,6 Дж/г) с максимумом при температуре 130 °С. Установлено, что максимальное значение абсолютной величины теплоемкости ЦСП Шивыртуйского месторождения существенно ниже по сравнению с ЦСП Талан–Гозагорского месторождения, теплоемкость которых составляет 2,3 Дж/г, что объясняется более высоким содержанием гематита в породах Талан–Гозагорского месторождения [291].

Полученные в результате мессбауэровской спектроскопии спектры исходных и подвергшихся воздействию ускоренными электронами ЦСП Талан–

Гозагорского месторождения представлены на рисунке 3.4.3 (а; б). Анализ спектров показал, что секстеты соответствуют гематиту, а дублеты – монтмориллониту [256].

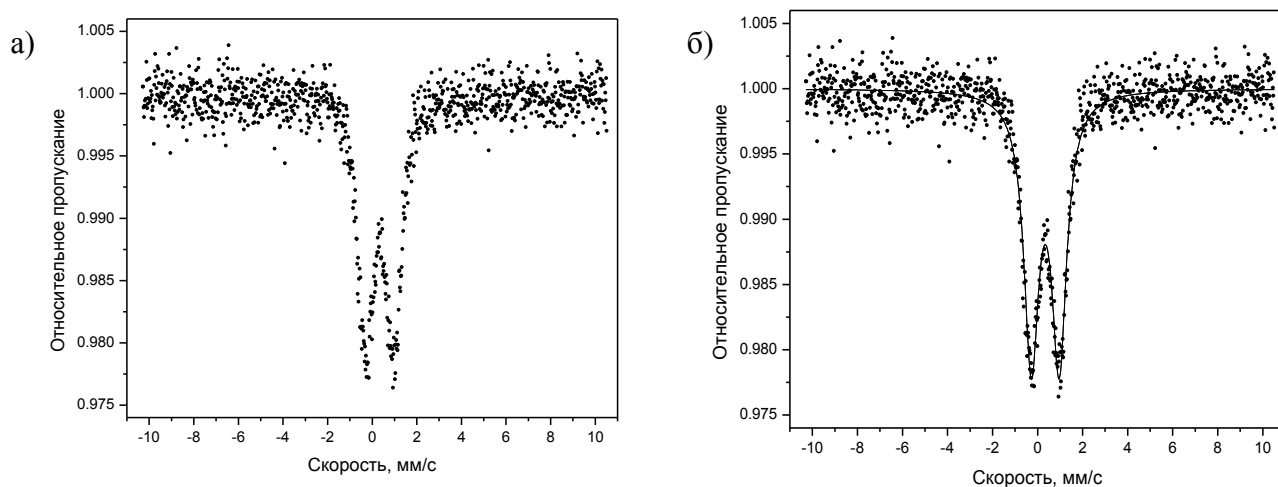


Рисунок 3.4.3 – Мессбауэровские спектры ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: а – до воздействия; б – после воздействия ускоренными электронами

Необходимо отметить, что по аналогии с обработкой МЭМИ, воздействие ускоренными электронами на ЦСП оказывает существенное влияние на уменьшение доли тонкодисперсного гематита и увеличение крупнокристаллического. Установлено, что воздействие ускоренными электронами приводит к повышению содержания железа в ЦСП за счет удаления летучих компонентов, изменению величины резонансного эффекта, связанного с общим содержанием железа [256, 260].

На основании полученных результатов экспериментальных исследований определено, что воздействие ускоренными электронами на ЦСП интенсифицирует процесс раскрытия сростков и разделения цеолитовых и породообразующих минералов. Установлено, что наибольший эффект по изменению технологических свойств ЦСП Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений наблюдается в диапазоне малых доз воздействия ускоренными электронами (2–4 кГр). Определено, что при обработке ЦСП потоком ускоренных электронов в режиме невысоких плотностей тока достигается образование дефектов в них (рисунок 3.4.4). На рисунке 3.4.4 (б), полученном методом

электронной микроскопии отчетливо видны образованные при воздействии ускоренными электронами трещины на ЦСП Шивыртуйского месторождения, а также результат сплавления гематита, образовавшего агрегат. Аналогичный эффект достигнут при исследовании ЦСП Талан-Гозагорского месторождения. С дальнейшим повышением величины поглощенной энергии (с 1 до 10 Дж/г) аккумулируется заряд, который определяет возникновение электрических пробоев в ЦСП. В данном случае разряд имеет пульсирующий характер, что приводит к возникновению систем микротрещин, обуславливающих значительное разупрочнение пород, в частности по границам срастания минералов цеолитов и вмещающих примесей, определяя эффективность последующей селективной дезинтеграции [201, 256, 260].

а)



б)



Рисунок 3.4.3 – Изображения ЦСП Шивыртуйского месторождения до (а) и после (б) воздействия ускоренными электронами

В процессе проведения исследований выявлено, что воздействие ускоренными электронами на ЦСП Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений существенно изменяет гранулометрический состав при их измельчении и позволяет более селективно раскрывать минералы цеолитов (клиноптилолита и шабазита), в значительной степени интенсифицируя последующие процессы магнитной и электростатической сепараций. Расход электроэнергии составил 0,6 кВт·ч/т. Применение радиационной обработки в качестве операции рудоподготовки в сочетании с методами электромагнитной и электростатической сепараций способствует снижению содержания Fe–

содержащих примесей в концентратах как для ЦСП Шивыртуйского месторождения с 3,14 до 0,36 %, так и для ЦСП Талан-Гозагорского месторождения с 11,2 до 0,12 % (таблицы 4.1.1–4.1.4). Выявлено, что радиационная обработка определяет увеличение содержания крупнокристаллического гематита и к увеличению показателя магнитной восприимчивости гематита с $14\text{--}25\cdot 10^{-8}$ до $460\text{--}660\cdot 10^{-8}$ м³/кг, что определяет эффективное применение электромагнитной сепарации при обогащении ЦСП и получение высококачественных цеолитовых продуктов, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности, а также в технологиях по управлению отходами горного производства (таблица 4.2.4).

Выводы по главе 3

Установлено, что предварительная акустическая (ультразвуковая) обработка ЦСП в заданных режимах частоты 40 кГц и времени 5 минут интенсифицирует процесс их последующего обогащения за счет звукокапиллярного и диспергирующего эффектов, обусловленных создаваемыми кавитационными процессами и способствующих эффективному отделению цеолита от минералов примесей, а дальнейшее сочетание технологического метода с магнитной сепарацией позволяет повысить содержание цеолита в цеолитовом концентрате до 85–98 %.

Выявлено, что акустическая (ультразвуковая) обработка ЦСП повышает эффективность извлечения Fe–содержащих примесей электромагнитной сепарацией за счет увеличения показателя магнитной восприимчивости гематита до $215\text{--}220\cdot 10^{-8}$ м³/кг, достигаемого посредством удаления пленок железосодержащих оксидов и тонкодисперсного монтмориллонита с его поверхности.

Впервые выявлено, что термическая обработка ЦСП Восточного Забайкалья в диапазоне температур от 400 до 700 °С приводит к частичному спеканию зерен гематита. Увеличение температуры обжига ЦСП до 700–1400 °С обеспечивает

укрупнение частиц гематита (размеры частиц увеличиваются в 6 раз) с одновременным повышением значений его магнитной восприимчивости до $450 \cdot 10^{-8}$ – $680 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, что повышает эффективность применения извлечения гематита методом электромагнитной сепарации (до 89,5 до 99,7 %).

Обработка ЦСП мощными электромагнитными наносекундными импульсами приводит к укрупнению зерен гематита с увеличением значений резонансного эффекта и показателя магнитной восприимчивости до 520 – $690 \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Применением электромагнитной сепарации для ЦСП достигается извлечение железосодержащих примесей в пределах 89,5–99,7%.

Впервые установлена закономерность увеличения коэффициента раскрытия (по минералам цеолит и шабазит) при использовании предварительной обработки ЦСП ускоренными электронами в диапазоне малых доз облучения (2–4 кГр) для ЦСП Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений с 38 до 54 % и с 46 до 62 % соответственно, обусловленная образованием систем трещин и микротрещин по границам минеральных сростков за счет возникновения каналов пробоя, обеспечивающим последующую селективную дезинтеграцию цеолитов и породообразующих минералов.

Установлено, что предварительное воздействие на ЦСП ускоренными электронами обеспечивает укрупнение зерен гематита и увеличивает значения показателя магнитной восприимчивости до 460 – $660 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, а также повышает извлечение железосодержащих примесей до 89,7–99,6%.

4. Научное обоснование и разработка альтернативных вариантов технологий переработки и химической модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья

4.1. Научно–методические подходы и принципы обоснования и разработки технологических схем обогащения и переработки цеолитсодержащих пород

Результаты научных исследований по изучению химического, элементного и минерального составов ЦСП, их физических свойств, альтернативных способов рудоподготовки (акустические, радиационные, энергетические термические, воздействия) являются базовыми для разработки научно-методических основ создания технологий обогащения, переработки и модификации ЦСП Восточного Забайкалья.

Основной задачей при обогащении ЦСП является отделение цеолита от вмещающих примесей железа, кварца и полевых шпатов, содержание которых регламентировано большинством ТУ и ГОСТов на цеолитовую продукцию. Установлено, что примеси железа в ЦСП Восточного Забайкалья представлены оксидами железа (Fe_2O_3 , FeO), содержание которых ЦСП Шивыртуйского месторождения варьируется в пределах 2,14–4,15 %, а в ЦСП Талан-Гозагорского месторождения достигает 11,72 %. Высокое содержание примесей железа оказывает негативное влияние на качество ЦСП, в том числе снижает эффективность химической модификации их свойств в необходимом направлении, в частности, при деалюминировании, загрязняя раствор выщелачивания оксидами железа. При этом требуется максимальное извлечение железосодержащих примесей из ЦСП наряду с примесями кварца и полевых шпатов, которые также являются загрязняющими компонентами с точки зрения ТУ и ГОСТов. Электромагнитная и электростатическая сепарации, в настоящее время, представляют собой наиболее эффективные методы извлечения магнитных

и немагнитных примесей. Проведена оценка возможности применения данных методов обогащения при переработке ЦСП.

Методика проведения эксперимента включала следующие этапы: рудоподготовка ЦСП (дробление и измельчение до крупности от 2 до 0,05 мм), воздействие ультразвуком при частоте волны 40 кГц (или ускоренными электронами при дозе 2–4 кГр, МЭМИ (частота следования 125 Гц, напряжение 44 кВт, длительность фронта импульса 1–50 нс, напряженность электрической компоненты поля – 1010 МВ/м), обжигом при температуре 500–700 °С) проводилась магнитная сепарация на лабораторном электромагнитном сепараторе 138–СЭ и на сепараторе с изодинамическим полем СИМ–1 (при напряженности от 600 до 1450 кА/м). Повышение эффективности извлечения электростатической сепарацией немагнитных примесей (полевые шпаты, кварц) из мелкодисперсных ЦСП (–0,074 мм) достигалось посредством электризации пород парами салициловой кислоты с концентрацией от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $0,4 \cdot 10^{-3}$ кг/см³. Нагревание кислоты происходило при температуре от 20 до 100 °С.

В таблице 4.1.1– 4.1.4 приведены результаты электромагнитной сепарации ЦСП Восточного Забайкалья по классам крупности. Установлено, что наибольший эффект при обогащении ЦСП достигается электромагнитной сепарацией класса –0,5+0,3мм, позволяющей получать концентрат с содержанием цеолита 88,6–88,9 %. При этом данные, представленные в таблицах 4.1.3 и 4.1.4 свидетельствуют о том, что электромагнитная сепарация тонкодисперсных цеолитовых пород в изодинамическом поле представляет собой эффективный метод извлечения железосодержащих примесей из ЦСП крупностью –0,1+0,05 мм, позволяющий снизить их содержание до 0,9–1,1 %.

Таблица 4.1.1 – Результаты сухой электромагнитной сепарации ЦСП Восточного Забайкалья крупностью –2+0,1 мм

Месторождение	Класс крупности, мм	Среднее содержание примесей железа в исх. материале, %	Содержание цеолитов в продукте, %	Содержание примесей железа в цеолитовом продукте, %	Содержание иных примесей, %
<i>Ультразвуковая обработка</i>					
Шивыртуйское	–2+1	3,14	72,30	2,93	24,77
	–1+0,5		83,10	2,21	14,69
	–0,5+0,3		85,70	1,98	19,32
	–0,3+0,1		88,90	1,81	9,73
Талан-Гозагорское	–2+1	11,2	69,10	4,12	20,78
	–1+0,5		75,20	3,74	21,06
	–0,5+0,3		83,70	3,21	13,09
	–0,3+0,1		88,60	2,09	9,31
<i>Обжиг</i>					
Шивыртуйское	–2+1	3,14	72,40	2,0	25,60
	–1+0,5		83,50	1,19	15,31
	–0,5+0,3		85,30	0,92	13,78
	–0,3+0,1		88,70	0,55	10,75
Талан-Гозагорское	–2+1	11,2	70,00	8,09	21,91
	–1+0,5		74,80	3,25	21,95
	–0,5+0,3		83,90	1,00	15,10
	–0,3+0,1		88,90	0,08	11,02
<i>МЭМИ</i>					
Шивыртуйское	–2+1	3,14	72,25	1,76	25,99
	–1+0,5		83,10	1,05	15,85
	–0,5+0,3		85,20	0,80	14,00
	–0,3+0,1		88,60	0,31	11,09
Талан-Гозагорское	–2+1	11,2	70,00	8,15	21,85
	–1+0,5		74,90	3,70	21,40
	–0,5+0,3		84,10	1,01	14,89
	–0,3+0,1		89,50	0,06	10,44
<i>Обработка ускоренными электронами</i>					
Шивыртуйское	–2+1	3,14	73,50	1,78	24,72
	–1+0,5		84,20	1,11	14,69
	–0,5+0,3		85,90	0,88	13,22
	–0,3+0,1		88,90	0,36	10,74
Талан-Гозагорское	–2+1	11,2	70,10	8,17	21,73
	–1+0,5		75,20	3,74	21,06
	–0,5+0,3		84,90	1,08	14,02
	–0,3+0,1		89,60	0,12	10,28

Таблица 4.1.2 – Результаты сухой электромагнитной сепарации ЦСП Восточного Забайкалья крупностью –2+0,1 мм в изодинамическом поле

Сырье	Напряжен. магн. поля Н, кА/м	Уд. магн. сила в изодин. зоне, Н/с ²	Ширина изодин. зоны	Сила тока, А	Класс крупн., мм	Извлеч. примесей Fe, в магн. продукте, %	Масс. доля Fe в магн. прод.
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Ультразвуковая обработка</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–2+1	86,5	58,9
					–1+0,5	87,8	65,2
					–0,5+0,3	91,1	70,4
					–0,3+0,1	95,4	78,1
	950	0,0103	7,5	1,0	–2+1	87,4	60,2
					–1+0,5	91,1	63,7
					–0,5+0,3	93,7	72,7
	1450	0,0153	8,0	1,57	–0,3+0,1	96,2	84,3
					–2+1	87,7	60,7
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–1+0,5	93,8	65,4
					–0,5+0,3	94,1	73,1
					–0,3+0,1	97,2	84,6
					–2+1	89,7	90,5
	950	0,0103	7,5	1,0	–1+0,5	92,5	91,1
					–0,5+0,3	95,4	94,4
					–0,3+0,1	98,2	95,1
	1450	0,0153	8,0	1,57	–2+1	91,8	90,7
					–1+0,5	92,4	91,4
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,5+0,3	96,2	95,0
					–0,3+0,1	98,7	96,2
					–2+1	92,1	91,5
					–1+0,5	93,8	94,3
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,5+0,3	96,9	95,1
					–0,3+0,1	99,1	96,4
					–2+1	87,2	63,1
					–1+0,5	88,1	71,3
	950	0,0103	7,5	1,0	–0,5+0,3	91,5	76,1
					–0,3+0,1	95,9	84,2
					–2+1	87,9	64,7
	1450	0,0153	8,0	1,57	–1+0,5	91,3	71,9
					–0,5+0,3	92,8	76,7
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,3+0,1	96,7	85,0
					–2+1	88,2	65,1
					–1+0,5	93,9	73,1
					–0,5+0,3	95,2	77,4
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,3+0,1	97,9	85,5
					–2+1	90,1	91,3
					–1+0,5	93,9	93,4
					–0,5+0,3	96,2	95,6
	950	0,0103	7,5	1,0	–0,3+0,1	98,9	97,8
					–2+1	88,2	65,1
					–1+0,5	93,9	73,1
	1450	0,0153	8,0	1,57	–0,5+0,3	95,2	77,4
					–0,3+0,1	97,9	85,5
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–2+1	87,2	63,1
					–1+0,5	88,1	71,3
					–0,5+0,3	91,5	76,1
					–0,3+0,1	95,9	84,2
950	0,0103	7,5	1,0	–2+1	87,9	64,7	
				–1+0,5	91,3	71,9	
				–0,5+0,3	92,8	76,7	
1450	0,0153	8,0	1,57	–0,3+0,1	96,7	85,0	
				–2+1	88,2	65,1	
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–1+0,5	93,9	93,4
					–0,5+0,3	96,2	95,6
					–0,3+0,1	98,9	97,8
					–2+1	87,2	63,1
	950	0,0103	7,5	1,0	–1+0,5	92,4	91,4
					–0,5+0,3	96,2	95,0
					–0,3+0,1	98,7	96,2
	1450	0,0153	8,0	1,57	–2+1	92,1	91,5
					–1+0,5	93,8	94,3
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,5+0,3	96,9	95,1
					–0,3+0,1	99,1	96,4
					–2+1	87,2	63,1
					–1+0,5	88,1	71,3
950	0,0103	7,5	1,0	–0,5+0,3	91,5	76,1	
				–0,3+0,1	95,9	84,2	
				–2+1	87,9	64,7	
1450	0,0153	8,0	1,57	–1+0,5	91,3	71,9	
				–0,5+0,3	92,8	76,7	
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,3+0,1	96,7	85,0
					–2+1	88,2	65,1
					–1+0,5	93,9	73,1
					–0,5+0,3	95,2	77,4
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,3+0,1	97,9	85,5
					–2+1	90,1	91,3
					–1+0,5	93,9	93,4
					–0,5+0,3	96,2	95,6
	950	0,0103	7,5	1,0	–0,3+0,1	98,9	97,8
					–2+1	88,2	65,1
					–1+0,5	93,9	73,1
	1450	0,0153	8,0	1,57	–0,5+0,3	95,2	77,4
					–0,3+0,1	97,9	85,5

1	2	3	4	5	6	7	8
	950	0,0103	7,5	1,0	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	92,6 93,1 97,0 98,9	92,1 93,9 95,8 98,1
	1450	0,0153	8,0	1,57	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	92,9 94,1 97,5 99,4	92,3 94,9 95,9 98,6
<i>МЭМИ</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	87,9 88,4 91,9 96,2	63,1 71,3 76,1 84,2
	950	0,0103	7,5	1,0	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	88,2 91,7 93,5 97,7	64,7 71,9 76,7 85,0
	1450	0,0153	8,0	1,57	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	88,8 94,3 95,9 98,3	65,1 73,1 77,4 85,5
ЦСП Талан- Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	90,7 94,2 97,0 99,0	91,6 93,8 96,1 98,0
	950	0,0103	7,5	1,0	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	92,8 93,6 97,6 99,1	92,6 94,9 96,0 98,7
	1450	0,0153	8,0	1,57	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	92,9 94,4 97,9 99,5	93,1 95,4 96,7 98,8
<i>Обработка ускоренными электронами</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	87,9 88,4 91,9 96,2	63,9 72,1 77,0 85,1
	950	0,0103	7,5	1,0	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	88,2 91,7 93,5 97,7	64,9 72,9 78,3 85,5
	1450	0,0153	8,0	1,57	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	88,8 94,3 95,9 98,3	65,2 73,7 77,9 86,0
ЦСП Талан- Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-2+1 -1+0,5 -0,5+0,3 -0,3+0,1	90,7 94,2 97,0 99,0	91,9 94,2 96,8 98,9

1	2	3	4	5	6	7	8
	950	0,0103	7,5	1,0	-2+1	92,8	93,0
					-1+0,5	93,6	95,2
					-0,5+0,3	97,6	96,9
					-0,3+0,1	99,1	98,9
	1450	0,0153	8,0	1,57	-2+1	92,9	93,2
					-1+0,5	94,4	95,9
					-0,5+0,3	97,9	97,0
					-0,3+0,1	99,5	98,9

Таблица 4.1.3 – Результаты сухой электромагнитной сепарации ЦСП крупностью -0,1+0,05 мм

Месторождение	Класс крупности, мм	Среднее содержание примесей железа в исх. материале, %	Содержание цеолитов в продукте, %	Содержание примесей железа в цеолитовом продукте, %	Содержание иных примесей, %
<i>Ультразвуковая обработка</i>					
Шивыртуйское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	3,14	87,90 89,75	1,98 1,81	10,12 8,44
Талан-Гозагорское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	11,2	85,60 89,00	2,77 1,98	11,63 9,02
<i>Обжиг</i>					
Шивыртуйское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	3,14	89,10 89,95	0,81 0,45	10,09 9,6
Талан-Гозагорское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	11,2	95,80 96,40	0,92 0,07	3,28 3,53
<i>МЭМИ</i>					
Шивыртуйское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	3,14	89,20 89,97	0,75 0,24	10,05 9,79
Талан-Гозагорское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	11,2	95,85 96,70	0,86 0,05	3,29 3,25
<i>Обработка ускоренными электронами</i>					
Шивыртуйское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	3,14	89,55 90,00	0,88 0,36	13,22 10,74
Талан-Гозагорское	-0,1+0,074 -0,074+0,05	11,2	95,90 97,00	1,08 0,12	14,02 10,28

Результаты исследований позволили установить, что электромагнитная сепарация наиболее эффективна при обогащении ЦСП Талан-Гозагорского месторождения вследствие значительного различия показателей магнитной восприимчивости шабазита и породообразующих минералов (гематита, оливина, пироксена).

Таблица 4.1.4 – Результаты сухой электромагнитной сепарации тонкодисперсных ЦСП в изодинамическом поле

Сырье	Напряжен. магн. поля Н, кА/м	Уд. магн. сила в изодин. зоне, Н/с ²	Ширина изодин. зоны	Сила тока, А	Класс крупн., мм	Извлеч. примесей Fe, в магн. продукте, %	Масс. доля Fe в магн. прод.
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Ультразвуковая обработка</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	89,9 96,2	92,2 94,2
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074 -0,074+0,05	92,1 97,8	94,7 96,1
	1450	0,0153	8,0	1,57	-0,1+0,074 -0,074+0,05	94,5 98,8	95,6 96,2
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	98,5 99,1	95,1 96,8
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074 -0,074+0,05	98,2 99,2	96,0 97,3
	1450	0,0153	8,0	1,57	-0,1+0,074 -0,074+0,05	98,3 99,3	96,4 97,7
<i>Обжиг</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	89,5 96,1	92,3 94,2
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074 -0,074+0,05	93,8 97,7	95,9 96,4
	1450	0,0153	8,0	1,57	-0,1+0,074 -0,074+0,05	95,8 98,6	97,1 97,4
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	98,9 99,2	96,7 96,9
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074 -0,074+0,05	99,0 99,3	97,1 98,4
	1450	0,0153	8,0	1,57	-0,1+0,074 -0,074+0,05	99,3 99,7	98,0 98,8
<i>МЭМИ</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	89,1 96,0	92,0 94,1
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074 -0,074+0,05	93,4 97,3	95,1 95,8
	1450	0,0153	8,0	1,57	-0,1+0,074 -0,074+0,05	95,5 98,5	96,9 97,2
ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	98,5 98,9	96,7 96,8
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074 -0,074+0,05	98,6 99,0	96,4 98,2
	1450	0,0153	8,0	1,57	-0,1+0,074 -0,074+0,05	99,1 99,7	98,3 98,9
<i>Обработка ускоренными электронами</i>							
ЦСП Шивыртуйского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	-0,1+0,074 -0,074+0,05	89,7 96,4	92,4 94,4
	950	0,0103	7,5	1,0	-0,1+0,074	93,3	95,6

1	2	3	4	5	–0,074+0,05	97,9	96,2
					6	7	8
	1450	0,0153	8,0	1,57	–0,1+0,074 –0,074+0,05	95,4 98,2	96,7 97,1
ЦСП Талан- Гозагорского месторождения	600	0,0091	7,0	0,50	–0,1+0,074 –0,074+0,05	98,7 99,1	96,3 96,8
	950	0,0103	7,5	1,0	–0,1+0,074 –0,074+0,05	98,5 99,2	96,2 98,1
	1450	0,0153	8,0	1,57	–0,1+0,074 –0,074+0,05	98,3 99,6	97,4 98,7

Использование сухой электромагнитной сепарации при обогащении ЦСП крупностью $-0,2+0,05$ мм позволило получить цеолитовые концентраты с достаточно высоким содержанием шабазита (95–98 %) при общем его извлечении 70 %. Значения магнитной восприимчивости исходных минералов, входящих в состав ЦСП, и после рудоподготовки направленными воздействиями приведены в таблице 4.1.5.

На рисунке 4.1.1 представлена зависимость извлечения железосодержащих примесей из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности.

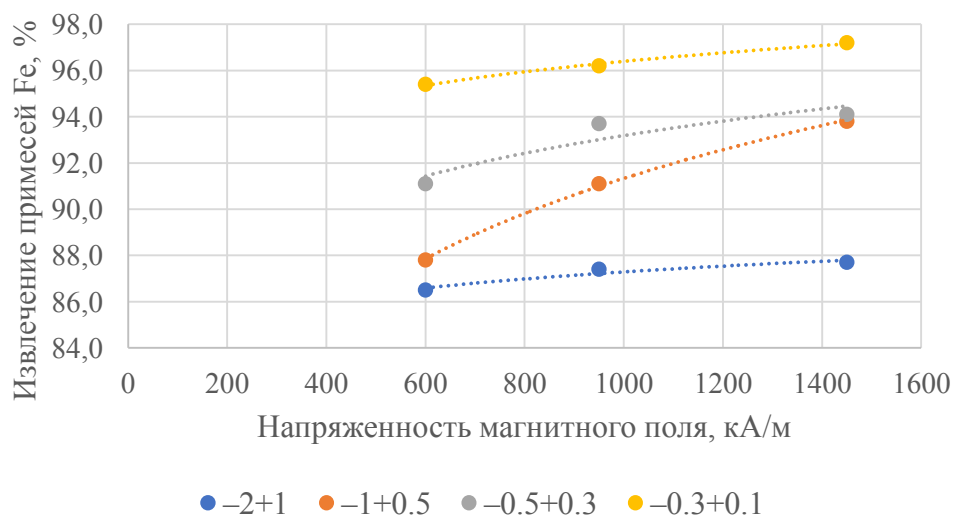


Рисунок 4.1.1 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

На рисунке 4.1.2 приведена зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

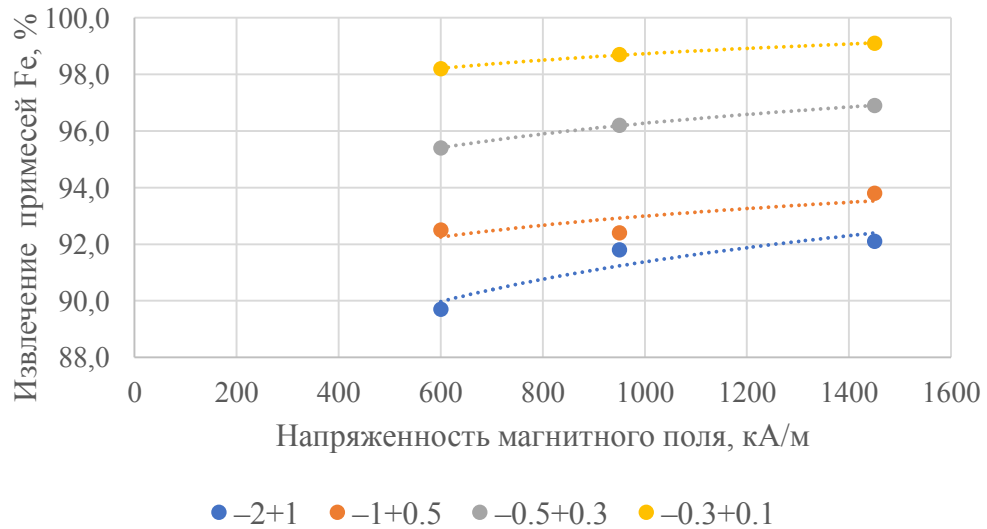


Рисунок 4.1.2 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

Зависимость извлечения примесей Fe магнитной сепарацией от крупности ЦСП (после ультразвуковой обработки): 1 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения, 2 – ЦСП Шивыртуйского месторождения представлена на рисунке 4.1.3.

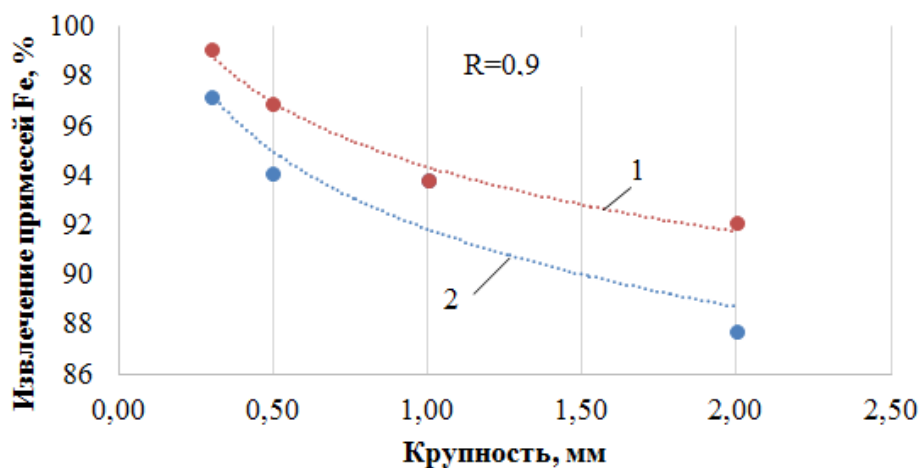


Рисунок 4.1.3 – Зависимость извлечения примесей Fe магнитной сепарацией от крупности ЦСП (после ультразвуковой обработки): 1 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения, 2 – ЦСП Шивыртуйского месторождения

На рисунке 4.1.4 представлена зависимость содержания железосодержащих примесей от крупности обработанных ультразвуком ЦСП (после магнитной сепарации).

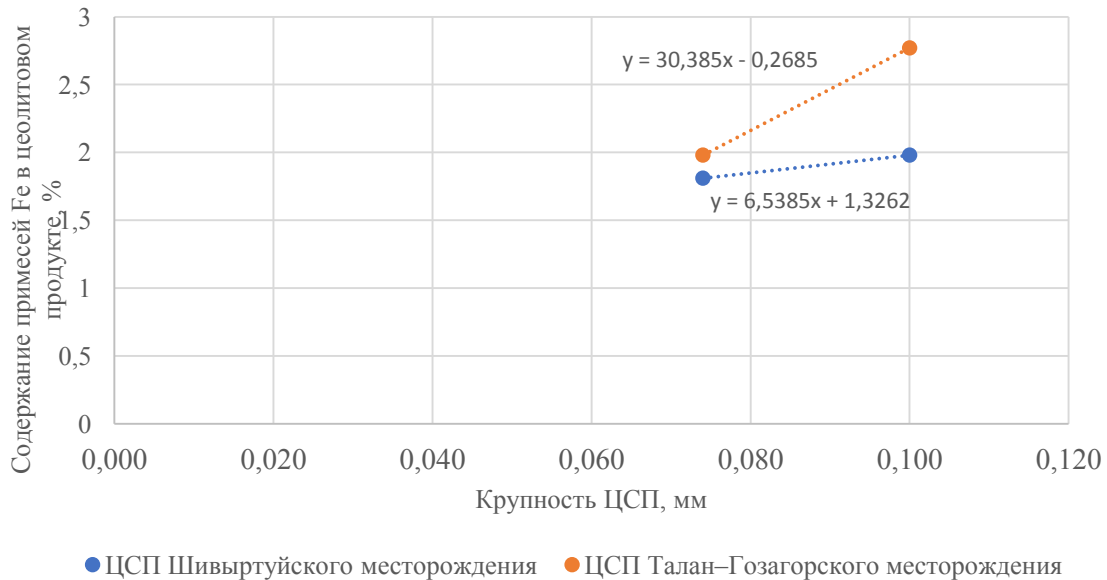


Рисунок 4.1.4 – Зависимость содержания железосодержащих примесей от крупности обработанных ультразвуком ЦСП (после магнитной сепарации)

Установлены зависимости извлечения примесей Fe из пород Талан-Гозагорского и Шивыртуйского месторождений, подвергшихся ультразвуковой обработке, от напряженности магнитного поля сепаратора при различных классах крупности (рисунки 4.1.1 и 4.1.2), представленные в виде соответствующих функций вида:

– ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y = 1,36 \ln(x) + 77,83$ (класс крупности - 2+1 мм); $y = 6,80 \ln(x) + 44,323$ (класс крупности - 1+0,5 мм); $y = 3,43 \ln(x) + 69,47$ (класс крупности - 0,5+0,3 мм); $y = 2,03 \ln(x) + 82,33$ (класс крупности - 0,3+0,1 мм).

– ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y = 2,74 \ln(x) + 72,41$ (класс крупности - 2+1 мм); $y = 1,45 \ln(x) + 82,98$ (класс крупности - 1+0,5 мм); $y = 1,71 \ln(x) + 84,52$ (класс крупности - 0,5+0,3 мм); $y = 1,0209 \ln(x) + 91,68$ (класс крупности - 0,3+0,1 мм).

Установлены зависимости извлечения железосодержащих примесей из ЦСП от крупности пород (рисунок 4.1.3) и определены соответствующие функции вида:

- ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y = -3,755\ln(x)+94,3$;
- ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y = -4,517\ln(x) + 91,8$.

Исследования возможности извлечения железосодержащих примесей из тонкодисперсных ЦСП Восточного Забайкалья крупностью $-0,1+0,074$ мм методом магнитной сепарации в изодинамическом поле, после ультразвуковой обработки, позволили получить зависимости содержания примесей железа в цеолитовых (немагнитных) продуктах от их крупности (рисунок 4.1.4). При этом определены соответствующие функции, характеризующие параметры полученной зависимости вида:

- ЦСП Шивыртуйского месторождения $y=6,5385x+1,3262$;
- ЦСП Талан-Гозагорского месторождения $y=30,385x-0,2685$.

Выявлено, что ультразвуковая обработка ЦСП повышает извлечение из них Fe-содержащих примесей электромагнитной сепарацией до 97,9–99,4 %. При этом наибольший эффект достигается при напряженности магнитного поля сепаратора 1450 кА/м и при крупности ЦСП $-0,3+0,1$ мм, а магнитная сепарация ЦСП в изодинамическом поле характеризуется наивысшими показателями извлечения примесей железа при крупности 0,1 мм (таблица 4.1.4).

Аппаратурная реализация ультразвуковой обработки может быть осуществлена применением аппаратов проходного типа, в частности, МО–156 разработки компании ООО «Александра–Плюс».

Наряду с акустическими, радиоактивными и энергетическими воздействиями достаточно эффективным способом изменения контрастных свойств ЦСП является обжиг, в результате которого достигаются физико–химические изменения поверхности цеолитовых пород. Разделение цеолита и вмещающих минералов обусловлено возникновением при нагреве напряжений в породах, приводящих к дегидратация ЦСП. Кроме того, в процессе обжига изменяется структура цеолитовых пород, происходит укрупнение зерен гематита с

повышением его магнитной восприимчивости, что позволяет эффективно извлекать железосодержащие примеси. В этой связи, обжиг рационально проводить в качестве операции рудоподготовки перед дроблением или измельчением ЦСП. При этом обжиг ЦСП можно проводить в печах кипящего слоя или электрических печах.

На рисунке 4.1.5 представлена зависимость извлечения железосодержащих примесей из ЦСП Шивыртуйского месторождения после обжига от напряженности магнитного поля при различных классах крупности.

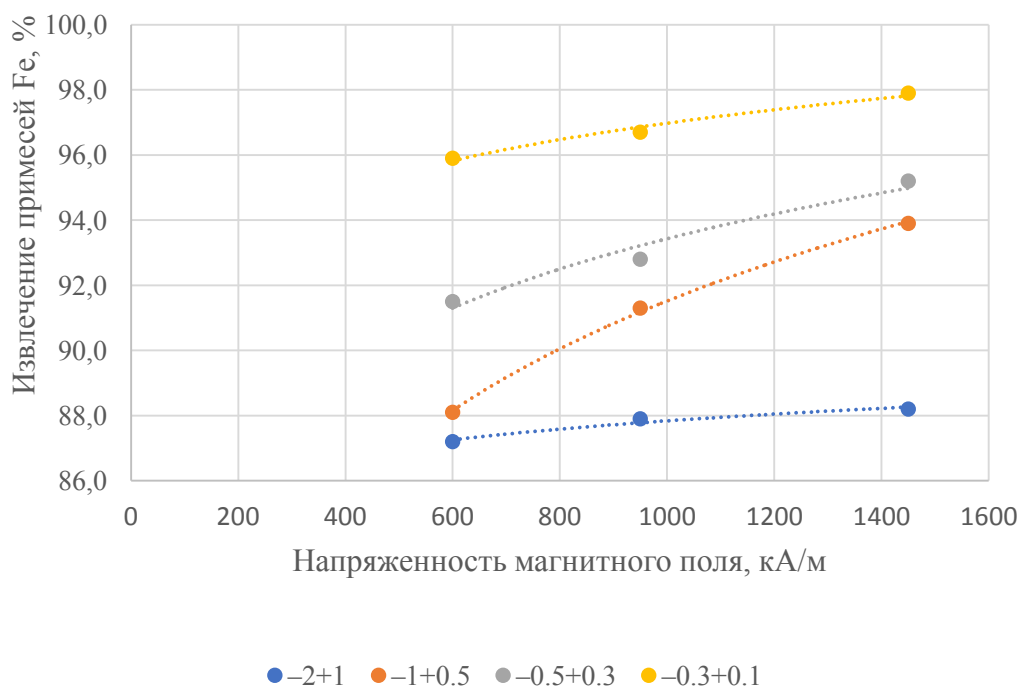


Рисунок 4.1.5 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности после обжига

Установленная зависимость извлечения железосодержащих примесей из ЦСП Талан–Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности приведена на рисунке 4.1.6.

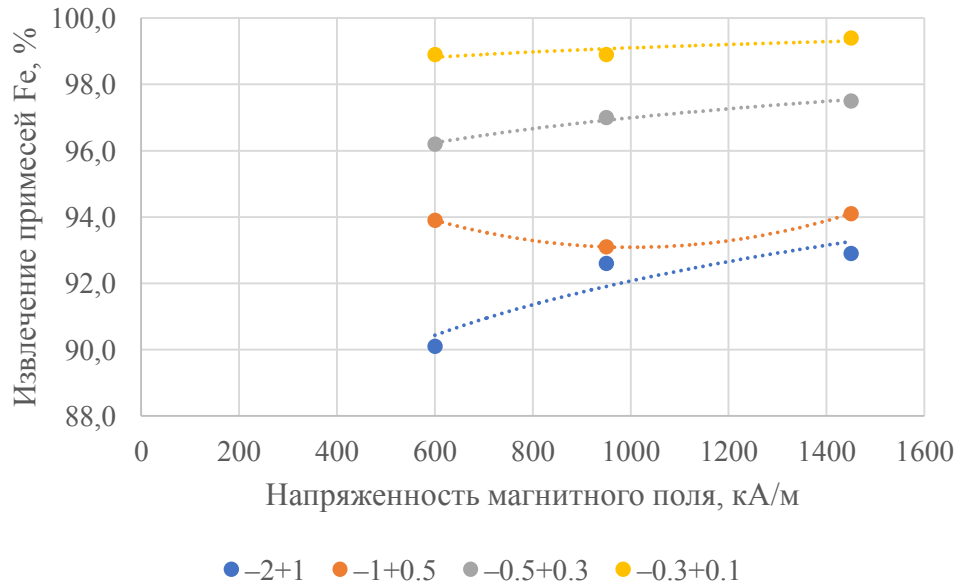


Рисунок 4.1.6 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

На рисунке 4.1.7 представлена зависимость извлечения железосодержащих примесей магнитной сепарацией от крупности ЦСП (после обжига).

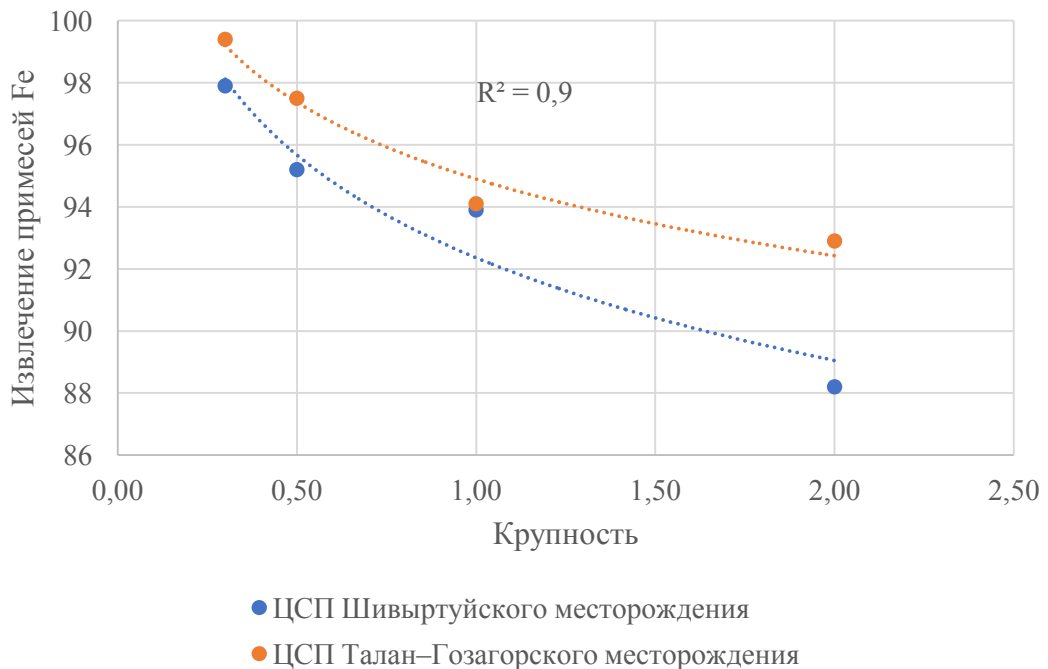


Рисунок 4.1.7 – Зависимость извлечения примесей Fe магнитной сепарацией от крупности ЦСП (после обжига)

Зависимость содержания железосодержащих примесей от крупности обработанных ультразвуком ЦСП (после обжига) приведена на рисунке 4.1.8

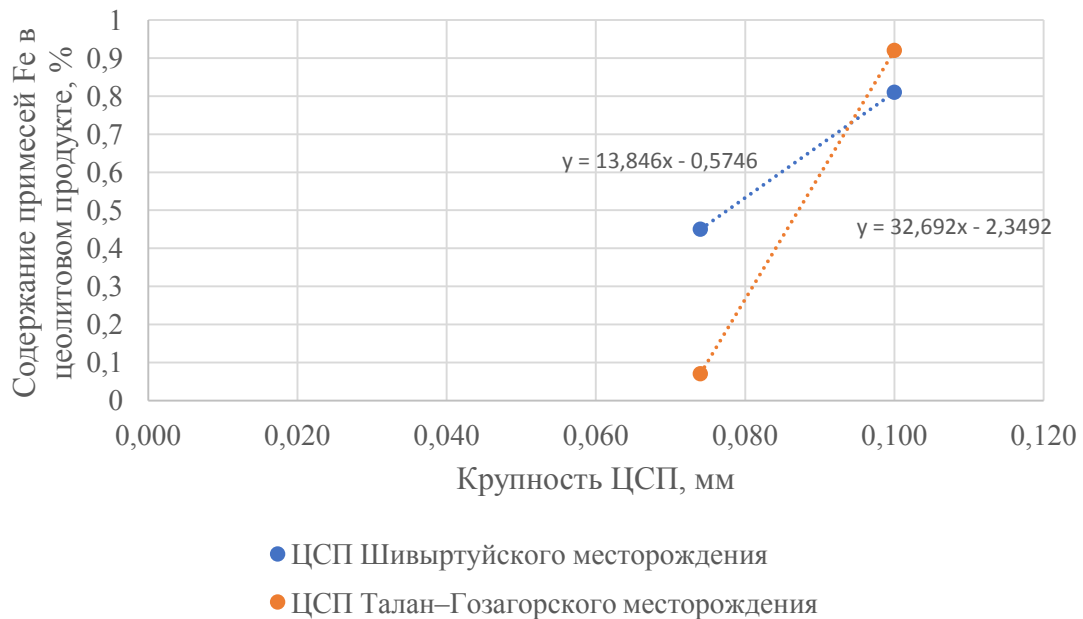


Рисунок 4.1.8 – Зависимость содержания железосодержащих примесей от крупности обработанных ультразвуком ЦСП (после обжига)

Установлены зависимости извлечения примесей Fe из ЦСП после обжига от напряженности магнитного поля сепаратора при различных классах крупности (рисунки 4.1.5 и 4.1.6), представлены соответствующие функции вида: для ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y=1,138\ln(x)+79,97$ (класс крупности $-2+1$ мм); $y=6,578\ln(x)+46,07$ (класс крупности $-1+0,5$ мм); $y=4,173\ln(x)+64,60$ (класс крупности $-0,5+0,3$ мм); $y=2,259\ln(x)+81,37$ (класс крупности $-0,3+0,1$ мм); для ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y=3,206\ln(x)+69,92$ (класс крупности $-2+1$ мм); $y=5E-06x^2-0,01x+98,14$ (класс крупности $-1+0,5$ мм); $y=1,477\ln(x)+86,79$ (класс крупности $-0,5+0,3$ мм); $y=0,558\ln(x)+95,24$ (класс крупности $-0,3+0,1$ мм).

Установлены зависимости извлечения железосодержащих примесей из ЦСП от крупности пород (рисунок 4.1.7) и определены соответствующие функции (после обжига) вида: для ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y=-3,57\ln(x)+94,9$; для ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y=-4,779\ln(x)+92,3$

Результаты изучения возможности извлечения железосодержащих примесей из тонкодисперсных ЦСП крупностью $-0,1+0,074$ мм методом магнитной

сепарации в изодинамическом поле и после обжига, позволили установить зависимости содержания примесей железа в цеолитовых (немагнитных) продуктах от их крупности (рисунок 4.1.8), а также определить функции, характеризующие параметры данной зависимости вида: для ЦСП Шивыртуйского месторождения $y=13,846x-0,57$; для ЦСП Талан-Гозагорского месторождения $y=32,692x-2,35$.

Таким образом, выявлено, что обжиг ЦСП повышает извлечение из них Fe-содержащих примесей электромагнитной сепарацией до 98 и 99,5 % соответственно. Наибольший эффект достигается при напряженности магнитного поля сепаратора 1450 кА/м и при крупности ЦСП $-0,3+0,1$ мм. Магнитная сепарация ЦСП в изодинамическом поле характеризуется максимальными показателями извлечения примесей железа при крупности 0,1 мм.

При анализе результатов исследований, полученных при обработке ЦСП Восточного Забайкалья ускоренными электронами получены технологические зависимости, представленные на рисунках 4.1.9–4.1.12. На рисунке 4.1.9 приведена зависимость извлечения железосодержащих примесей из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности.

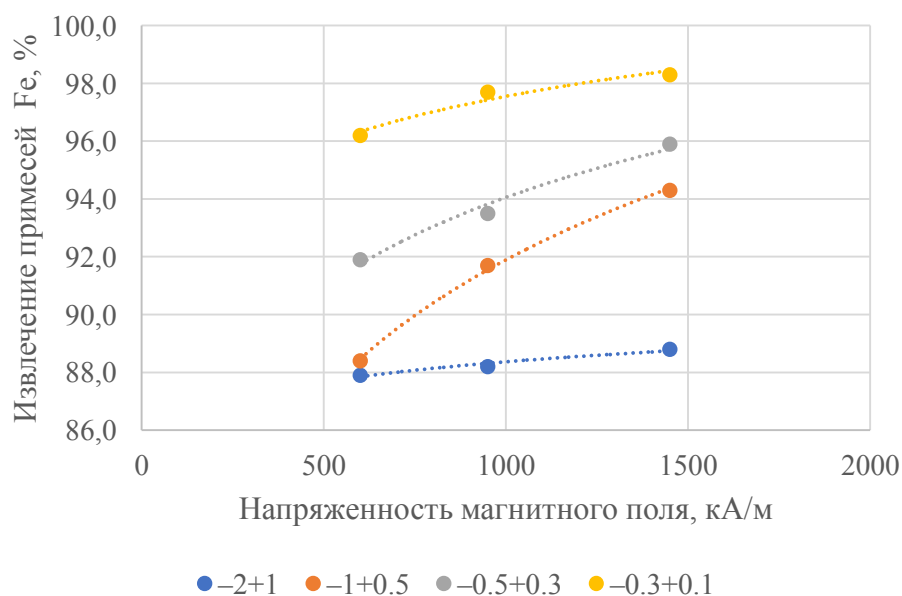


Рисунок 4.1.9 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности ($-2+1$ мм; $-1+0,5$ мм; $-0,5+0,3$ мм; $-0,3+0,1$ мм)

Установленная зависимость извлечения железосодержащих примесей из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности приведена на рисунке 4.1.10.

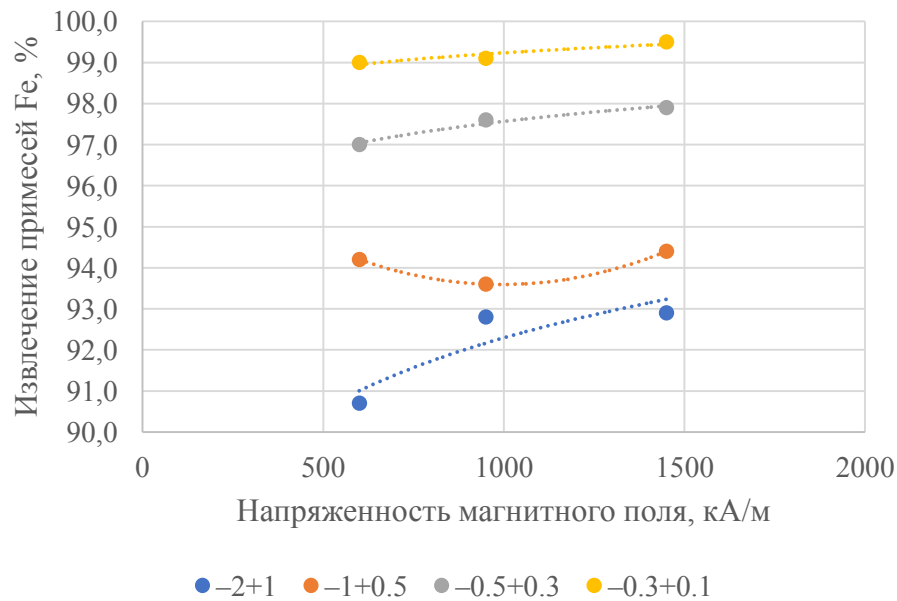


Рисунок 4.1.10 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности (-2+1 мм; -1+0,5 мм; -0,5+0,3 мм; -0,3+0,1 мм)

На рисунке 4.1.11 приведена зависимость извлечения железосодержащих примесей электромагнитной сепарацией от крупности ЦСП (при обработке ускоренными электронами).

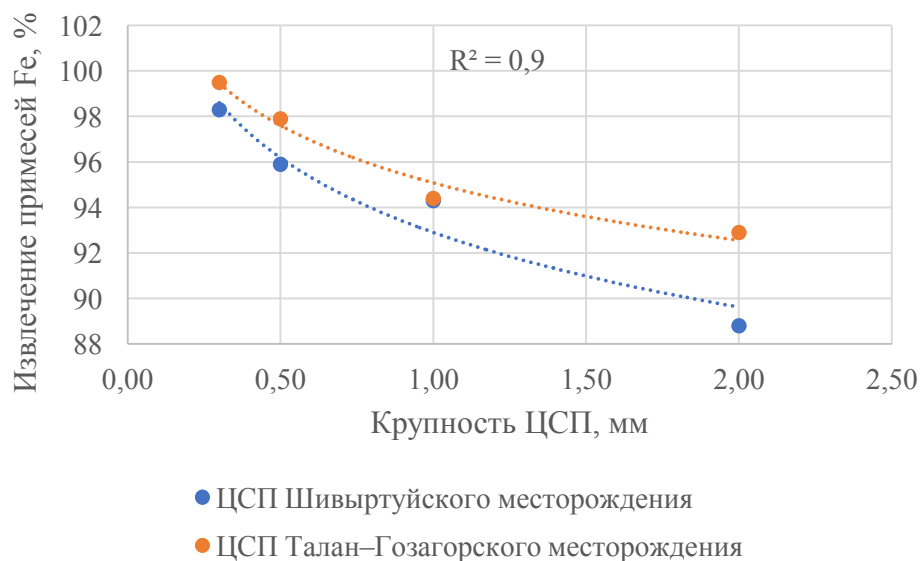


Рисунок 4.1.11 – Зависимость извлечения примесей Fe электромагнитной сепарацией от крупности ЦСП (при обработке ускоренными электронами)

Зависимость содержания железосодержащих примесей от крупности обработанных ускоренными электронами ЦСП (после магнитной сепарации) приведена на рисунке 4.1.12.

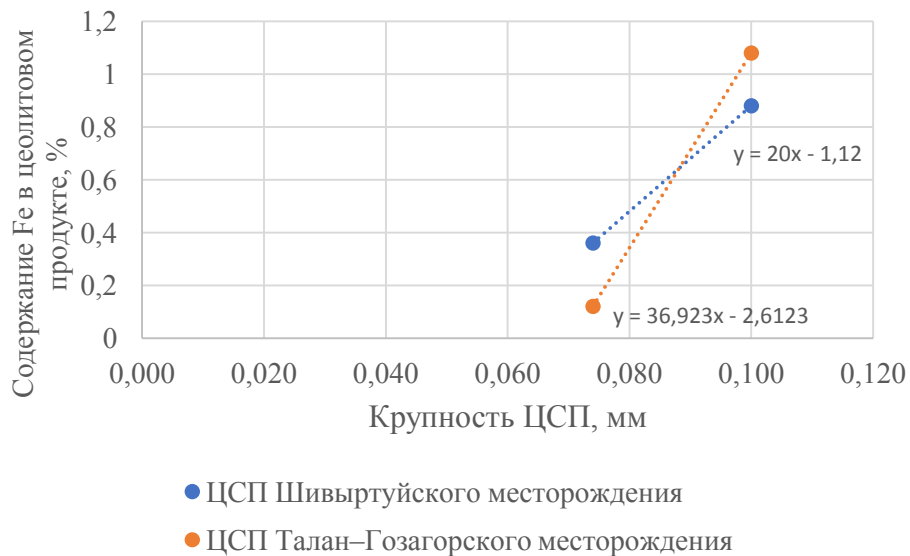


Рисунок 4.1.12 – Зависимость содержания железосодержащих примесей от крупности обработанных ускоренными электронами ЦСП (после магнитной сепарации)

Установлены зависимости извлечения железосодержащих примесей из ЦСП, подвергшихся обработке ускоренными электронами, от напряженности магнитного поля сепаратора при различных классах крупности (рисунки 4.1.9 и 4.1.10), определены представленные следующими функции вида: ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y=1,015\ln(x)+81,35$ (класс крупности $-2+1$ мм); $y=6,693\ln(x)+45,65$ (класс крупности $-1+0,5$ мм); $y=4,518\ln(x)+62,84$ (класс крупности $-0,5+0,3$ мм); $y=2,393\ln(x)+81,02$ (класс крупности $-0,3+0,1$ мм). ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y=2,5232\ln(x)+74,86$ (класс крупности $-2+1$ мм); $y=4E-06x^2 - 0,01x + 97,45$ (класс крупности $-1+0,5$ мм); $y=1,0241\ln(x)+90,49$ (класс крупности $-0,5+0,3$ мм); $y=0,561\ln(x) + 95,35$ (класс крупности $-0,3+0,1$ мм).

Определены зависимости извлечения железосодержащих примесей из ЦСП от крупности пород (рисунок 4.1.11), описываемые следующими функциями (после обработки потоком ускоренных электронов): ЦСП Шивыртуйского

месторождения: $y = -3,647\ln(x) + 95,07$; ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y = -4,74\ln(x) + 92,89$.

Исследования возможности извлечения железосодержащих примесей из тонкодисперсных ЦСП Восточного Забайкалья крупностью $-0,1+0,074$ мм методом магнитной сепарации в изодинамическом поле, после обработки ускоренными электронами, позволили получить зависимости содержания примесей железа в цеолитовых (немагнитных) продуктах от их крупности (рисунок 4.1.12). При этом определены соответствующие функции, характеризующие параметры полученной зависимости: 1. $y = 6,539x + 1,3262$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); 2. $y = 30,385x - 0,2685$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

Выявлено, что радиационная обработка потоком ускоренных электронов ЦСП Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений повышает извлечение из них железосодержащих примесей электромагнитной сепарацией до 98,3 и 99,5 % соответственно. Наибольший эффект достигается при напряженности магнитного поля сепаратора 1450 кА/м и при крупности ЦСП $-0,3+0,1$ мм. Обогащение ЦСП в изодинамическом поле характеризуется высокими показателями извлечения примесей железа при крупности 0,1 мм.

При обработке ЦСП потоками ускоренных электронов может применяться такое оборудование как ИЛУ–6 разработки ИЯФ СО РАН [215, 226], либо ионный имплантер ИЛМ–1 с ионным источником ПУЛЬСАР–1М.

В результате анализа экспериментальных данных, полученных при обработке ЦСП Восточного Забайкалья МЭМИ установлены технологические зависимости, представленные на рисунках 4.1.13–4.1.16. Зависимость извлечения железосодержащих примесей из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности приведена на рисунке 4.1.13. На рисунке 4.1.14 представлена зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

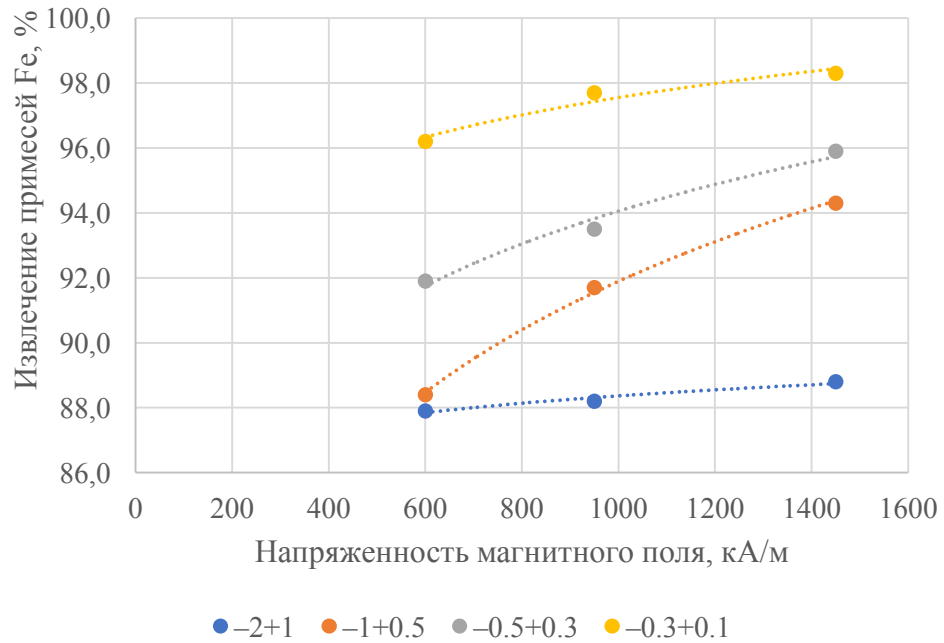


Рисунок 4.1.13 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Шивыртуйского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

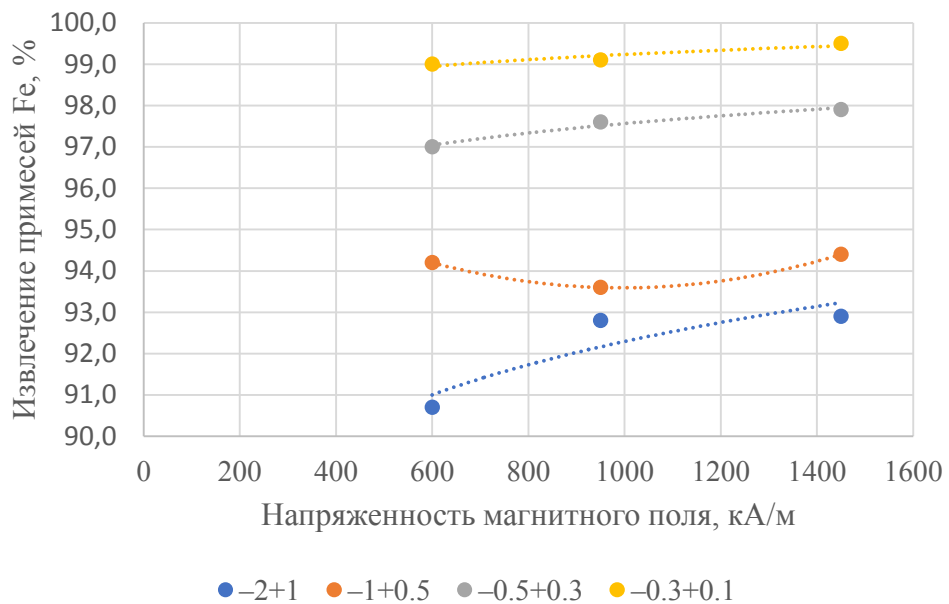


Рисунок 4.1.14 – Зависимость извлечения примесей Fe из ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от напряженности магнитного поля при различных классах крупности

Зависимость извлечения примесей Fe магнитной сепарацией от крупности ЦСП (после воздействия МЭМИ) приведена на рисунке 4.1.15. На рисунке 4.1.16 представлена зависимость содержания железосодержащих примесей в

цеолитовом (немагнитном) продукте от крупности обработанных МЭМИ ЦСП (после магнитной сепарации).

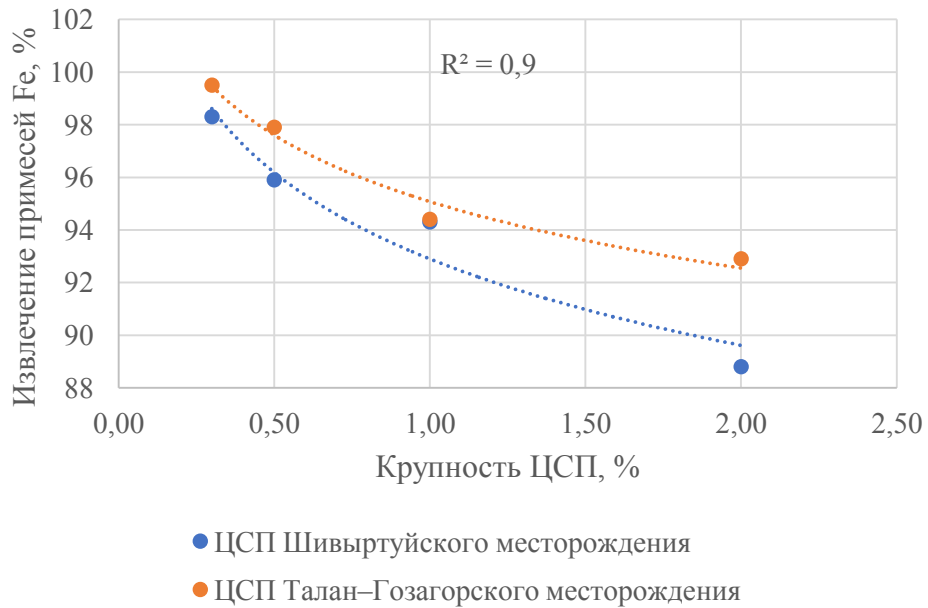


Рисунок 4.1.15 – Зависимость извлечения примесей Fe магнитной сепарацией от крупности ЦСП (после воздействия МЭМИ)

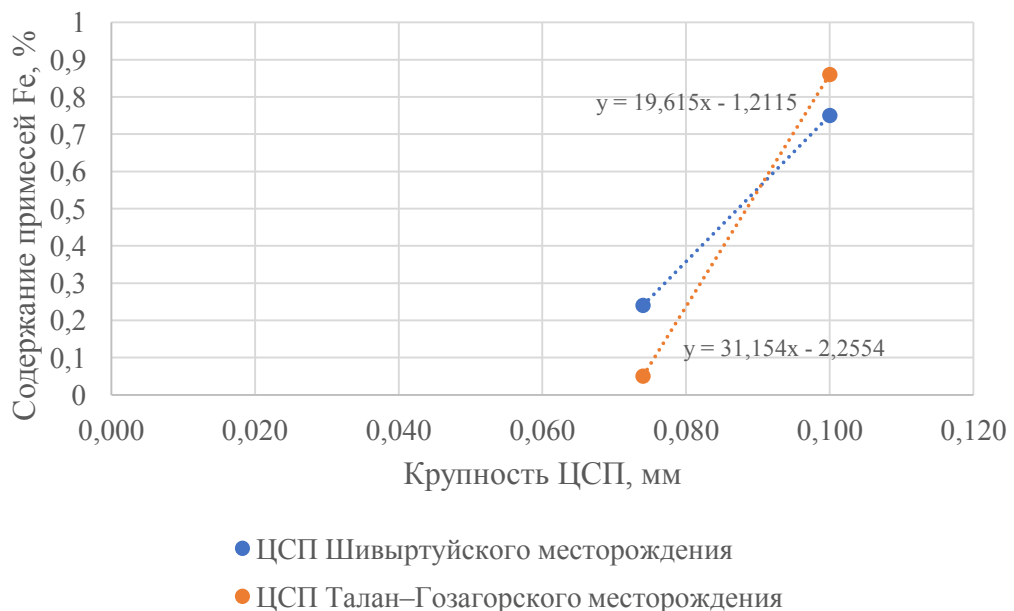


Рисунок 4.1.16 – Зависимость содержания железосодержащих примесей в цеолитовом (немагнитном) продукте от крупности обработанных МЭМИ ЦСП (после магнитной сепарации)

Установлены зависимости извлечения примесей Fe из ЦСП, подвергшихся обработке МЭМИ, от напряженности магнитного поля сепаратора при различных классах крупности (рисунки 4.1.13 и 4.1.14), определены соответствующие функции вида:

– ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y=1,01\ln(x) + 81,35$ (класс крупности $-2+1$ мм); $y=6,69\ln(x)+45,65$ (класс крупности $-1+0,5$ мм); $y=4,51\ln(x)+62,84$ (класс крупности $-0,5+0,3$ мм); $y=2,03\ln(x)+82,33$ (класс крупности $-0,3+0,1$ мм).

– ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y=2,52\ln(x)+74,86$ (класс крупности $-2+1$ мм); $y=4E-06x^2-0,01x+97,45$ (класс крупности $-1+0,5$ мм); $y=1,02\ln(x)+90,49$ (класс крупности $-0,5+0,3$ мм); $y=0,566\ln(x)+95,356$ (класс крупности $-0,3+0,1$ мм).

Установлены зависимости извлечения железосодержащих примесей из ЦСП от крупности пород (рисунок 4.1.15) и определены соответствующие функции (после обработки МЭМИ) вида:

– ЦСП Шивыртуйского месторождения: $y = -3,647\ln(x) + 95,077$;

– ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: $y = -4,74\ln(x) + 92,898$.

Исследования возможности извлечения железосодержащих примесей из тонкодисперсных ЦСП Восточного Забайкалья крупностью $-0,1+0,074$ мм методом магнитной сепарации в изодинамическом поле, после обработки МЭМИ, позволили получить зависимости содержания примесей железа в цеолитовых (немагнитных) продуктах от их крупности (рисунок 4.1.16), определены функции, характеризующие параметры полученной зависимости вида:

– ЦСП Шивыртуйского месторождения $y = 19,615x - 1,2115$;

– ЦСП Талан-Гозагорского месторождения $y = 31,154x - 2,2554$.

Предварительная обработка МЭМИ ЦСП повышает извлечение из них Fe-содержащих примесей электромагнитной сепарацией до 98,3–99,5 %.

Следует отметить, что аппаратная реализация МЭМИ возможна на основе модульного образца опытной экспериментальной установки для обработки минеральных продуктов разработки УРАН ИПКОН РАН [26].

Полученный после электромагнитной сепарации немагнитный продукт

подвергался обогащению с применением электростатической сепарации с целью извлечения примесей кварца, полевых шпатов и слюды. Эксперимент проводился при напряженности электрического поля от $2,7 \cdot 10^{-5}$ до $4,0 \cdot 10^{-5}$ В/м. Показатели электростатической сепарации ЦСП приведены в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.5 – Результаты определения показателя магнитной восприимчивости минералов до и после направленных воздействий

Метод воздействия	Минерал	Магнитная восприимчивость до обработки, $\text{н} \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Магнитная восприимчивость после обработки, $\text{н} \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$
	Гематит		
Обжиг		14–25	450–680
МЭМИ		–	520–690
Обработка ускоренными электронами		–	460–660
Ультразвуковая обработка		–	215–220
	Оливин		
Обжиг		1–12	140–160
МЭМИ		–	145–170
Обработка ускоренными электронами		–	140–150
Ультразвуковая обработка		–	30–45

Таблица 4.1.6 – Результаты электростатической сепарации ЦСП Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений крупностью 0,1–2 мм

Месторождение	Класс крупности, мм	Выход, %	
		Цеолитовый продукт	Непроводящая фракция
1	2	3	4
<i>Ультразвуковая обработка</i>			
Шивыртуйское	–2+1	81,55	18,45
	–1+0,5	91,38	8,62
	–0,5+0,3	95,60	4,40
	–0,3+0,1	96,70	3,30
Талан-Гозагорское	–2+1	78,20	21,80
	–1+0,5	85,70	14,30
	–0,5+0,3	91,80	8,20
	–0,3+0,1	96,55	3,45
<i>Обжиг</i>			

1	2	3	4
Шивыртуйское	-2+1	80,75	19,25
	-1+0,5	91,10	8,90
	-0,5+0,3	94,95	5,05
	-0,3+0,1	96,33	3,67
Талан-Гозагорское	-2+1	79,14	20,86
	-1+0,5	86,23	13,77
	-0,5+0,3	92,55	7,45
	-0,3+0,1	96,70	3,30
<i>МЭМИ</i>			
Шивыртуйское	-2+1	80,90	19,10
	-1+0,5	91,53	8,47
	-0,5+0,3	95,67	4,33
	-0,3+0,1	97,20	2,8
Талан-Гозагорское	-2+1	78,60	21,40
	-1+0,5	86,12	13,88
	-0,5+0,3	92,27	7,73
	-0,3+0,1	97,15	2,85
<i>Обработка ускоренными электронами</i>			
Шивыртуйское	-2+1	80,55	19,45
	-1+0,5	91,17	8,83
	-0,5+0,3	95,10	4,90
	-0,3+0,1	96,28	3,72
Талан-Гозагорское	-2+1	77,85	22,15
	-1+0,5	84,53	15,47
	-0,5+0,3	90,21	9,79
	-0,3+0,1	95,37	4,63

Для повышения эффективности извлечения немагнитных примесей из тонкодисперсных ЦСП ($-0,074$ мм) электростатическую сепарацию проводили с предварительной электризацией парами салициловой кислоты с концентрацией от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $0,4 \cdot 10^{-3}$ кг/см³. При нагревании кислоты до 80 °С происходит её возгонка и адсорбция паров поверхностью минералов, которые придают им объемные заряды одного знака. Получившие заряд минералы кварца и полевых шпатов осаждаются на электроде с положительным потенциалом, что позволяет отделить их от минералов цеолита. Показатели электростатической сепарации ЦСП крупностью $-0,074$ мм приведены в таблице 4.1.7.

Анализ данных таблиц 4.1.6 и 4.1.7, а также рисунка 4.1.17 позволил установить, что электростатическая сепарация ЦСП крупностью $-0,074+0,05$ мм, в том числе, с использованием паров салициловой кислоты в течение от 30 до 60

минут для зарядки поверхности входящих в состав пород минералов, обеспечивает эффективное извлечение основных немагнитных примесей.

Таблица 4.1.7 – Результаты электростатической сепарации тонкодисперсных ЦСП Восточного Забайкалья

Месторождение	Класс крупности, мм	Выход, %		
		Цеолитовый продукт	Непроводящая фракция	Содержание мономинералов цеолита в цеолитовом продукте, %
Ультразвуковая обработка				
Шивыртуйское	-1+0,5	90,22	9,78	98,90
	-0,5+0,074	91,70	8,30	99,01
	-0,074+0,05	93,20	6,80	99,80
Талан-Гозагорское	-1+0,5	80,20	16,06	99,01
	-0,5+0,074	92,70	8,21	99,25
	-0,074+0,05	95,60	4,40	99,87
Обжиг				
Шивыртуйское	-1+0,5	91,08	8,92	98,95
	-0,5+0,074	92,15	7,85	99,12
	-0,074+0,05	93,05	6,95	99,80
Талан-Гозагорское	-1+0,5	81,22	18,78	99,09
	-0,5+0,074	90,09	9,91	99,26
	-0,074+0,05	96,00	4,00	99,88
МЭМИ				
Шивыртуйское	-1+0,5	91,55	8,45	98,15
	-0,5+0,074	92,30	7,70	98,78
	-0,074+0,05	93,45	6,55	99,23
Талан-Гозагорское	-1+0,5	80,63	19,37	98,64
	-0,5+0,074	90,95	9,05	99,01
	-0,074+0,05	95,81	4,19	99,53
Обработка ускоренными электронами				
Шивыртуйское	-1+0,5	90,74	9,26	98,02
	-0,5+0,074	91,34	8,66	98,46
	-0,074+0,05	93,31	6,69	99,15
Талан-Гозагорское	-1+0,5	80,45	19,55	98,22
	-0,5+0,074	90,85	9,15	98,61
	-0,074+0,05	95,64	4,36	99,05

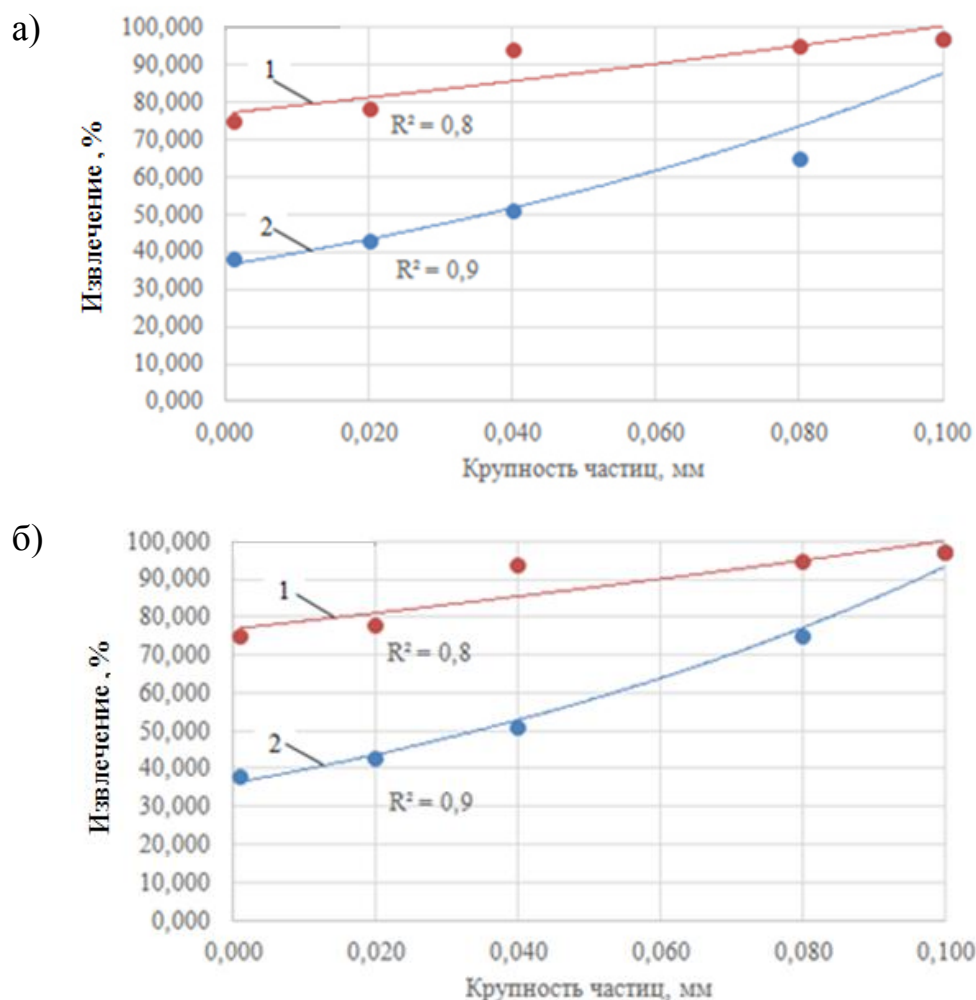


Рисунок 4.1.17 – Зависимость эффективности извлечения немагнитных примесей из ЦСП Шивыртуйского (а) и Талан-Гозагорского (б) месторождений электростатической сепарацией от крупности пород (1 – с контрастным зарядом; 2 – без контрастного заряда)

Получены функции, характеризующие эффективность применения подогрев-электризации перед операцией электростатической сепарации ЦСП Восточного Забайкалья от их крупности (рис. 3.5.5 и 3.5.6) вида: ЦСП Шивыртуйского месторождения: 1. $y = -3169,6x^2 + 555,54x + 72,6$ (с использованием подогрев-электризации); 2. $y = 6160,7x^2 - 117,5x + 41,7$ (без подогрев-электризации). ЦСП Талан-Гозагорского месторождения: 1. $y = -3705,4x^2 + 594,82x + 71,6$ (с использованием подогрев-электризации); 2. $y = 3839,3x^2 + 163,21x + 38,9$ (без подогрев-электризации).

Процесс электростатической сепарации рекомендуется осуществлять на сепараторах марки ЭКС, СЭС, Элкрон ЭСС и др. В случае необходимости применения подогрев-электризации для возгонки кислот следует использовать

электронагревательные элементы (тэны) и предусматривать применение кислотоустойчивой аппаратуры.

Полученные результаты исследований позволили разработать несколько вариантов схем обогащения ЦСП (рисунок 4.1.18).

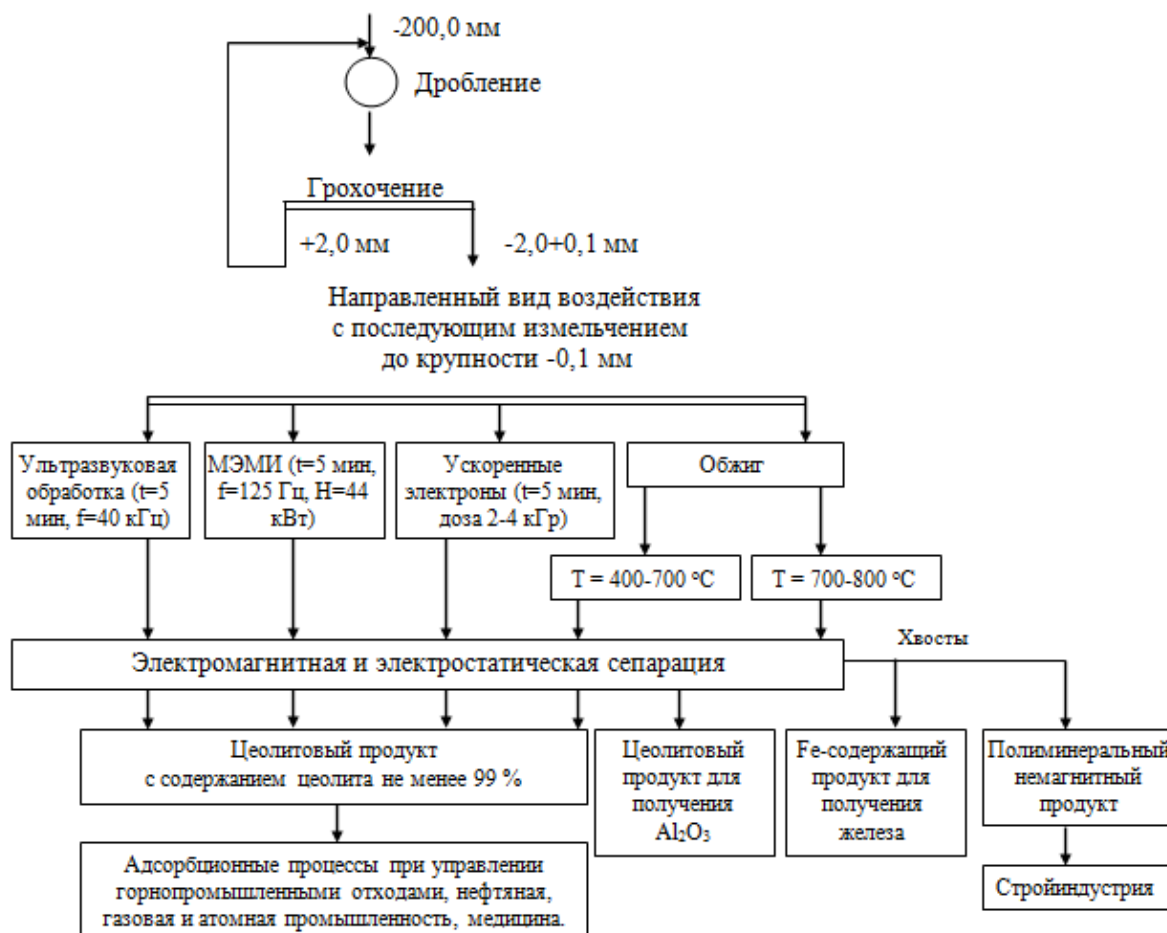


Рисунок 4.1.18 – Альтернативные варианты технологий рудоподготовки и обогащения ЦСП Восточного Забайкалья

После дробления до крупности -2 мм породы подвергаются направленному воздействию, выбор которого обусловлен требуемым качеством конечного цеолитового продукта. В результате последующего измельчения и применения магнитной и электростатической сепараций происходит удаление железосодержащих и немагнитных примесей с получением цеолитовой продукции, содержащей 99,15–99,8 % цеолитов. Установлено, что наиболее эффективной для извлечения Fe-содержащих примесей из ЦСП является электромагнитная сепарация в изодинамическом поле, в частности, с применением патентозащищенного автором магнитного сепаратора [139], а

электростатическую сепарацию следует проводить при обработке пород парами салициловой кислоты с концентрацией $(0,2-0,4) \cdot 10^{-3}$ кг/см³ для повышения контрастности разделяемых минералов, за счет чего происходит удаление примесей кварца и полевых шпатов. Термическая возгонка кислоты обеспечивает направленное придание заряда минеральным частицам полевых шпатов и кварца, интенсифицируя процесс их извлечения из ЦСП.

При высокотемпературном обжиге (> 700 °С) достигается разрушение структуры цеолитов, а с повышением температуры до 1400 °С начинается процесс плавления гематита, что приводит к значительному повышению его магнитной восприимчивости, приводящему к почти полному его удалению посредством магнитной сепарации. Однако при данных температурах использование адсорбционных свойств природных цеолитов становится невозможным по причине полной их аморфизации. В этой связи, подвергнутые высокотемпературному обжигу и обогащенные ЦСП могут служить альтернативным источником сырья для получения оксида алюминия [24; 182; 201; 260; 266; 287].

Применение таких видов направленного воздействия, как акустическая обработка, МЭМИ и обработка ускоренными электронами, в технологических схемах обогащения ЦСП в значительной степени повышает адсорбционную способность природных цеолитов Восточного Забайкалья (таблица 4.1.8).

Таблица 4.1.8 – Сравнительные данные цеолитов Восточного Забайкалья по их адсорбционной способности до и после обогащения

Месторождение (тип)	Адсорбционная способность, мг/г	
	Исходный	Обогащенный
Шивыртуйское, Холинское (клиноптилолит)	147	164
Бадинское (морденит)	109	133
Талан-Гозагорское (шабазит)	246	287

Установлено, что повышение сорбционной емкости ЦСП достигается за счет извлечения железосодержащих примесей, а также очистки порового пространства природных цеолитов от органики, что определяется применением

предварительной рудоподготовки направленными методами воздействия в сочетании с магнитной и электростатической сепарациями.

Выявлено, что определяющим фактором для методологии создания технологических схем обогащения и переработки ЦСП является возможность их комплексной переработки и очистки от вмещающих примесей. Полученные автором закономерности при переработке и обогащении ЦСП Восточного Забайкалья позволили определить рациональную последовательность операций в технологической схеме: дробление, повышение контрастности и изменение физико-химических свойств направленным воздействием (ультразвуковая обработка, обжиг, МЭМИ, обработка потоком ускоренных электронов), измельчение, магнитная и электростатическая сепарации с получением высококачественного цеолитового концентрата, железосодержащего и полиминерального продуктов, направляемых на дальнейшую переработку или практическое использование. В частности, железосодержащий продукт является потенциальным источником для получения железа, а полиминеральный продукт – в качестве вяжущего в составе для закладки выработанного пространства.

Возможно применение направленных методов воздействия перед операцией дробления, если достигнуто соответствие ЦСП по гранулометрическому составу (необходимой крупности), которые учитываются разработанной автором поцикловой реализацией методов обогащения и переработки ЦСП (рисунок 4.1.19).

Принципы создания технологических схем обогащения ЦСП заключаются в следующем:

- направленное воздействие перед дроблением и измельчением материала с целью дезинтеграции и изменения контрастности свойств минералов;
- максимальное извлечение Fe-содержащих примесей электромагнитной сепарацией с применением сепараторов с изодинамическим полем [49; 102–106; 139; 201];
- извлечение немагнитных примесей посредством применения электростатической сепарации.



Рисунок 4.1.19 – Поцикловая реализация методов обогащения и переработки ЦСП

Таким образом, с целью интенсификации раскрытия минеральных комплексов и отделения зерен цеолитов от вмещающей породы рекомендуется применять методы направленного воздействия (акустическая обработка, МЭМИ, обработка ускоренными электронами) в сочетании с традиционными операциями рудоподготовки (дробление и измельчение).

Большое значение имеет аппаратное оформление разработанных технологий обогащения и переработки ЦСП. Применение наиболее эффективного и производительного оборудования должно базироваться на принципах НДТ, что позволит обеспечить максимально возможное извлечение ценных компонентов из ЦСП и комплексность их использования. Как указывалось выше, наиболее рациональным для дробления ЦСП является применение роторных дробилок ударного действия, позволяющих уменьшить выход зерен лещатой формы, что является необходимым требованием для таких направлений применения цеолитов, как медицина и пищевая промышленность. В этой связи при дроблении ЦСП могут быть рекомендованы, в частности, такие дробилки роторного типа,

как HC/HSI, особенно эффективно применяющиеся при тонком дроблении. Для уменьшения размеров кусков ЦСП могут эффективно применяться дробилки СМД–5, PF1315 и т.д., с использованием которых достигается крупность ЦСП на уровне –10 мм, что дает возможность подвергать разделенное по классам (-2+1; -1+0,5; -0,5+0,3; -0,3+0,1; -0,1+0,05 мм) минеральное сырье, в частности, ультразвуковой обработке с последующей магнитной и электростатической сепарациями [201; 256; 267; 271].

Схема цепи аппаратов по реализации предлагаемой технологии обогащения ЦСП Восточного Забайкалья включает основное рекомендуемое оборудование (Рис. 4.1.20). Направленные воздействия (обработка ускоренными электронами, МЭМИ, обжиг) объединены в блок I и применяются перед операцией измельчения. Ультразвуковая обработка, входящая в блок II, предполагает, в случае использования, воздействие на ЦСП перед их измельчением, после которого минеральное сырье подвергается дешламации и сушке.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволили определить основные методы обогащения и рудоподготовки ЦСП (таблица 4.1.9), которые являются определяющими при разработке алгоритма выбора технологии обогащения ЦСП Восточного Забайкалья (рисунок 4.1.21).

В предложенной автором систематизации заложена возможность определения количества стадий рудоподготовки, выбора необходимого вида воздействия на ЦСП и рациональных процессов их обогащения и переработки, что определяет эффективность отделения мономинералов цеолитов от породообразующих минералов с учетом технологических свойств (электропроводность, магнитная восприимчивость) и значений технологических показателей. Результаты экспериментальных исследований по обогатимости ЦСП являются основой для разработки технологических схем их обогащения.

Таблица 4.1.9 – Методы сепарации ЦСП в зависимости от минерального состава

Выделяемый минерал	Преобладающие минералы-спутники	Способы концентрирования
Цеолит, шабазит	Полевые шпаты, Слюды > 50 мкм	Дробление в роторных дробилках и измельчение в шаровых мельницах
		Направленные воздействия (обжиг, ускоренные электроны, МЭМИ)
		Магнитная сепарация (для тонкодисперсных цеолитсодержащих пород на электромагнитном сепараторе с изодинамическим полем)
		Электростатическая сепарация
Цеолит, шабазит	Глинистые минералы < 50 мкм	Направленные воздействия (обжиг, ускоренные электроны, МЭМИ)
		Магнитная сепарация на электромагнитном сепараторе с изодинамическим полем
		Электростатическая сепарация с подогрев-электризацией
Цеолит, шабазит	Минералы группы кварца, глинистые минералы	Дробление в роторных дробилках и измельчение в шаровых мельницах
		Ультразвуковая обработка
		Электростатическая сепарация



Рисунок 4.1.21 – Алгоритм выбора технологии обогащения ЦСП Восточного Забайкалья

Разработанные автором научно-методологические основы переработки и обогащения ЦСП прошли апробацию в промышленных условиях. В этой связи

исследовалась возможность внедрения разработанной автором технологии обогащения ЦСП Талан-Гозагорского и Шивыртуйского месторождений на производственном комплексе ООО «Научное производственно-внедренческое общество “Цеолит”» (Россия, г. Краснокаменск) с получением высококачественных цеолитовых продуктов. С целью достижения требуемых параметров качества цеолитовой продукции, соответствующей критериям ТУ, в технологическую схему следует ввести:

- операцию направленного воздействия на ЦСП перед измельчением;
- с целью максимального извлечения железосодержащих примесей операцию электромагнитной сепарации в изодинамическом поле;
- после операции электромагнитной сепарации операцию электростатической сепарации;
- электризацию ЦСП парами салициловой кислоты с целью повышения контрастности разделяемых электростатической сепарацией минералов.

Технологическая схема обогащения ЦСП приведена на рисунке 4.1.22. Практическая значимость результатов исследований подтверждается актом внедрения разработанной автором технологии обогащения ЦСП в технико-экономический расчет ООО «Научное производственно-внедренческое общество “Цеолит”» (Приложение В).

Таким образом, полученная по данной технологии высококачественная цеолитовая продукция, обладающая размером входных окон 0,7–0,75 нм, может эффективно применяться при управлении горнопромышленными отходами путем их селективной очистки и обезвреживания от радионуклидов, мышьяка, нефтепродуктов, а также при захоронении и рекультивации техногенного сырья. Параметры возможного использования обогащенных природных цеолитов Восточного Забайкалья приведены в таблице 4.2.5.

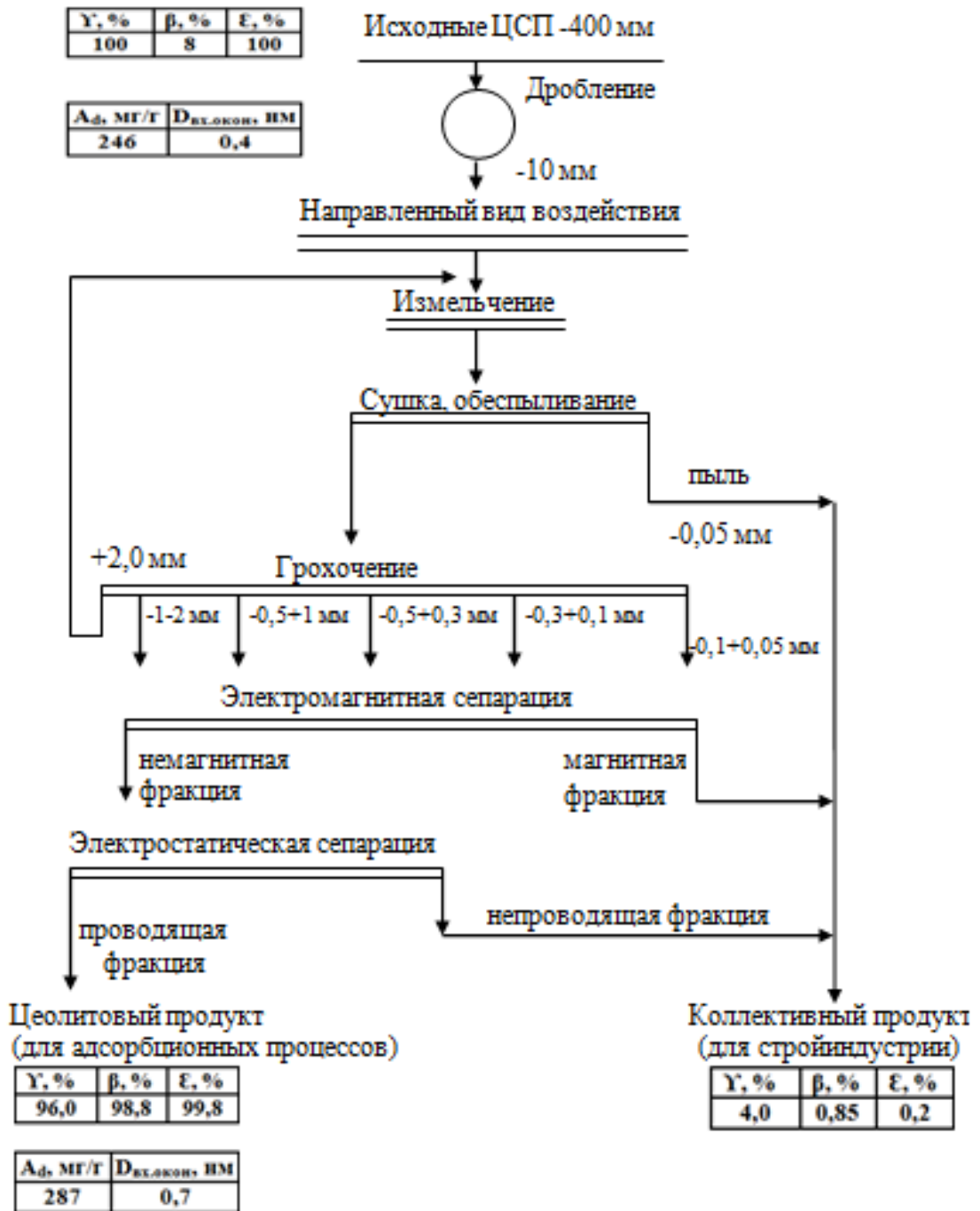


Рисунок 4.1.22 – Технологическая схема переработки ЦСП на обогатительном комплексе ООО «Научное производственно-внедренческое общество “Цеолит”»

4.2 Технологии химической модификации цеолитсодержащих пород

4.2.1 Исследование химической устойчивости вмещающих минералов цеолитсодержащих пород

Обработка ЦСП слабыми растворами кислот приводит к их декатионированию, что определяет возможность деалюминирования природных цеолитов с целью получения модифицированной продукции с высокими показателями адсорбции. При воздействии на ЦСП высококонцентрированными растворами кислот, процесс деалюминирования характеризуется получением на первой стадии высококремнистого сырья, с последующим разрушением кристаллической структуры природных цеолитов [63; 76; 79; 87; 153; 201; 260]. Модификация природных цеолитов обуславливает повышение сорбционных свойств цеолитов за счет значительного увеличения адсорбционного объема микропор и развития переходных пор.

Нейтрализующее действие природных цеолитов (клиноптилолита, шабазита, морденита) связано с ионообменным поглощением протона [87; 153; 201; 260; 274; 275].

При разработке технологии деалюминирования ЦСП и определении её рациональных параметров должна учитываться химическая устойчивость входящих в состав пород минералов, зависящая в большей степени от величины энергии их кристаллических решеток [201]. Возможность направленной химической модификации ЦСП деалюминированием определяется их вещественным составом. Данные о вещественном составе ЦСП и о способностях взаимодействия входящих в их состав минералов с кислотами позволяют установить природу процесса и определить перспективность направленной химической модификации с выработкой соответствующих режимных параметров ее осуществления.

Первым этапом растворения минералов, входящих в состав ЦСП, является подвод кислоты к их поверхности, после чего происходит взаимодействие минералов с кислотой, диффузия и последующее получение продуктов реакции.

Рассчитаны энергии кристаллических решеток минералов клиноптилолита, морденита, шабазита, монтмориллонита и микроклина, входящих в состав ЦСП, с целью изучения их степени разложения в серной кислоте. Величина энергии кристаллических решеток окислов вычислена по универсальному уравнению А.Ф. Капустинского [69]:

$$U_L = K \cdot \frac{\nu \cdot |z^+| \cdot |z^-|}{r^+ + r^-} \cdot \left(1 - \frac{d}{r^+ + r^-} \right),$$

где $K = 1,20200 \cdot 10^{-4}$ Дж·м·моль⁻¹, $d = 3,45 \cdot 10^{-11}$, ν – количество ионов; z^+ и z^- – числа элементарного заряда на катионе и анионе соответственно; r^+ и r^- – радиусы катиона и аниона соответственно, м.

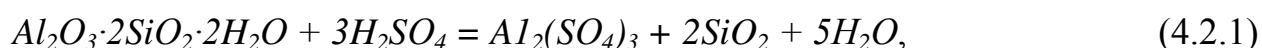
Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее эффективно в серной кислоте разлагаются минералы цеолита (шабазит, клиноптилолит, морденит), энергия кристаллической решетки которых составляет 1429,5–1452,1 ккал/моль; энергия кристаллической решетки монтмориллонита имеет значение 1458,2–1547,2 ккал/моль. Наибольшую кислотоустойчивость проявил микроклин с энергией кристаллической решетки – 1615,0–1643,0 ккал/моль.

В ходе проведения исследований изучалось взаимодействие алюминий- (клиноптилолит, шабазит, морденит) и железосодержащих (микроклин, гематит) минералов, входящих в состав ЦСП, с серной кислотой. Методика проведения исследований включала: химическое разложение минералов цеолитов проводилось серной кислотой с концентрацией от 2 до 30 % на материале крупностью –1,0+0,05 мм при температуре от 20 до 1400 °С, растворение микроклина, входящего в состав ЦСП, велось на материале крупностью –1,0+0,5 мм с удельной поверхностью 100 см²/г с применением серной кислоты с концентрацией от 5 до 30 % при нагревании от 0 до 110 °С. Разложение гематита крупностью –1,0+0,5 мм и удельной поверхностью 80 г/см² осуществлялось также серной кислотой, продолжительность обработки при этом составила от 5 до 60 мин. Деалюминирование морденита проводилось раствором серной кислоты в течение от 1 до 9 часов при нагреве от 0 до 750 °С и пропарке до 650 °С.

Предварительный обжиг исследуемых минералов ЦСП проводился при температуре 300–1400 °С.

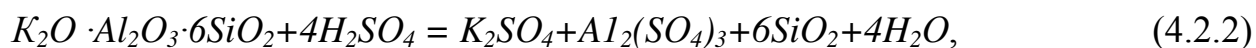
Эффективность и полнота разложения минералов, входящих в состав ЦСП Восточного Забайкалья, серной кислотой оценена с помощью свободной энергии Гиббса, которая определялась с учетом теплоемкости и температуры процесса разложения (4.2.1).

Установлено, что реакция разложения природных цеолитов кислотой выглядит следующим образом:



с энергией $\Delta G = 50\text{--}70$ ккал/моль.

Микроклин с трудом разлагается серной кислотой по реакции [96; 214; 284]:



так как его $-\Delta G$ находится в пределах 7–10 ккал/моль.

Следует отметить, что с повышением температуры процесса до 1200–1400 °С наблюдается существенное увеличение степени разложения минералов. При этом выводы о взаимодействии минералов цеолитов, гематита и микроклина, входящих в состав ЦСП Восточного Забайкалья, с кислотами, согласуются с результатами, полученными при расчетном определении величин энергии их кристаллических решеток (таблица 4.2.1).

Установлено, что энергии кристаллических решеток входящих в состав ЦСП минералов взаимосвязаны с их химической устойчивостью. Выявлено, что более устойчивый к воздействию кислот микроклин ($5,01 \cdot 10^{-3}$), обладают более высокой энергией кристаллических решеток в сравнении с менее устойчивыми $1,36 \cdot 10^{-2}$ – $4,9 \cdot 10^{-2}$. Однако с повышением температуры с 70 до 90 °С значение константы скорости разложения минералов группы цеолита увеличивается до $6,85 \cdot 10^{-2}$, а микроклина до $6,2 \cdot 10^{-3}$, что свидетельствует о возможности направленного регулирования процесса разложения необходимых компонентов посредством изменения температуры.

Таблица 4.2.1 – Взаимодействие минералов, входящих в состав ЦСП, с серной кислотой

Минерал	Энергия решетки, отнесенная к одному атому кислорода, ккал/моль	Константа скорости [г/см ³ ·ч] разложения минералов при T, °C		Величина кажущейся энергии активации (У, ккал/моль) при T, °C
		70	90	
Цеолит (клиноптилолит, морденит, шабазит)	1429,5	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$6,85 \cdot 10^{-2}$	34,0
Микроклин	1615,0	$5,01 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	7,15
Гематит	–	$1,36 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	6,8

Взаимодействие природных цеолитов с серной кислотой выглядит следующим образом:



Проведенные экспериментальные исследования и дифракционный анализ исходных и обработанных серной кислотой природных цеолитов Восточного Забайкалья (клиноптилолит, шабазит, морденит) позволили установить, что предварительный обжиг природных цеолитов при температуре >400 °C интенсифицирует процесс их dealюминирования при воздействии серной кислотой, что обусловлено дегидратацией и частичным разрушением структуры цеолитов.

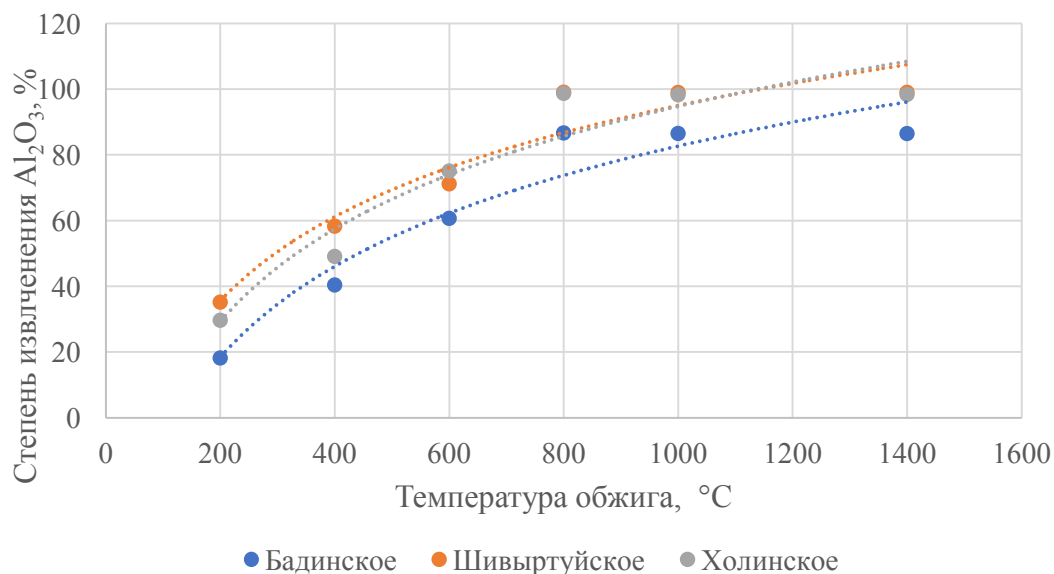


Рисунок 4.2.1 – Зависимость степени извлечения Al_2O_3 от температуры обжига ЦСП Бадинского, Шивиртуйского и Холинского месторождений

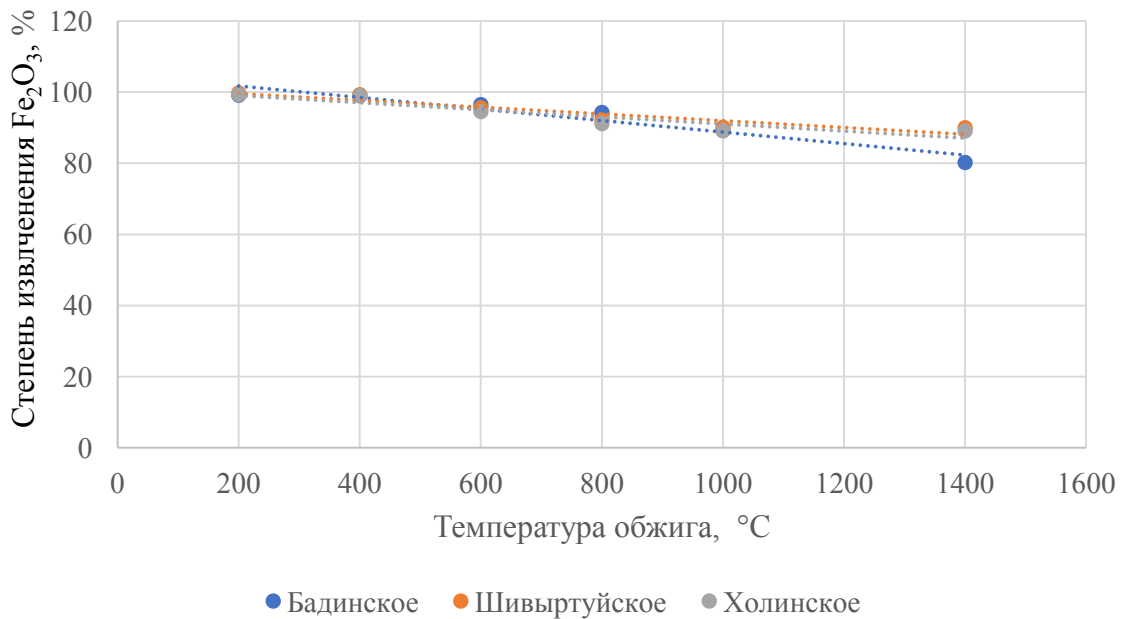


Рисунок 4.2.2 – Зависимость степени извлечения Fe_2O_3 от температуры обжига ЦСП Бадинского, Шивыртуйского и Холинского месторождений

Зависимости степени извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 сернокислотным способом от температуры обжига ЦСП Бадинского, Шивыртуйского и Холинского месторождений (рисунки 4.2.1 и 4.2.2): извлечение Al_2O_3 из ЦСП Восточного Забайкалья имеют вид: 1. $y=39.957\ln(x)-193.35$ (ЦСП Бадинского месторождения); 2. $y=40.681\ln(x)-186.28$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); 3. $y=36.944\ln(x)-160.2$ (ЦСП Холинского месторождения). Извлечение Fe_2O_3 из ЦСП Восточного Забайкалья: 1. $y= -0.016x+105.01$ (ЦСП Бадинского месторождения); 2. $y=-0.016x+105.01$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); 3. $y= -0.009x+101.45$ (ЦСП Холинского месторождения).

Эффективность деалюминирования ЦСП сернокислотным методом зависит от температуры обжига (рисунок 4.3.2). При этом определены функции, характеризующие данную зависимость: $y = 39.957\ln(x) - 193.35$ (ЦСП Бадинского месторождения); $y = 40.681\ln(x) - 186.28$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); $y = 36.944\ln(x) - 160.2$ (ЦСП Холинского месторождения).

Установлено, что с увеличением температура обжига повышается извлечение оксида алюминия из ЦСП, и снижется степень извлечения Fe_2O_3 . Наиболее

эффективными параметрами для удаления Fe_2O_3 и Al_2O_3 из природных цеолитов являются: $t = 200\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$ и $t > 1200\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно.

Кислотное растворение микроклина. Микроклин следует относить к входящим в состав ЦСП Восточного Забайкалья полевым шпатам. Режимные параметры растворения микроклина: концентрация серной кислотой 5–30 %, крупность минералов $-1,0+0,5$ мм, удельная поверхность $100\text{ см}^2/\text{г}$, температура процесса $90\text{--}110\text{ }^\circ\text{C}$, время обработки 5–60 мин (рис. 4.2.3). При данных условиях из микроклина извлечено в раствор 2,6–3,4 % Al_2O_3 . Необходимо отметить, что растворение микроклина серной кислотой с концентрацией 5 % протекает достаточно интенсивно. Последующее повышение концентрации кислоты до 30 %, а также увеличение ее температуры до $100\text{ }^\circ\text{C}$, не приводит к повышению эффективности процесса разложения минералов микроклина.

Обжиг микроклина ($>400\text{ }^\circ\text{C}$) не позволяет интенсифицировать процесс его разложения, а наоборот, в некоторой степени снижает эффективность химического извлечения из него оксидов алюминия, натрия и калия (2,6 % Al_2O_3 , 2,8 % Na_2O и K_2O).

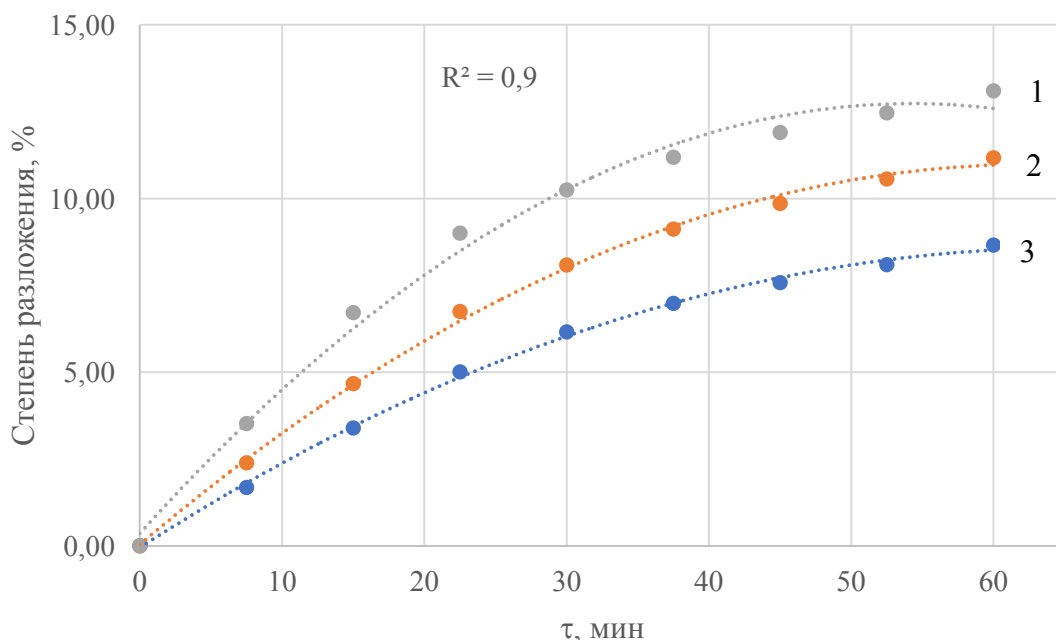


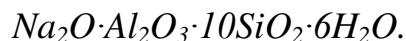
Рисунок 4.2.3 – Взаимодействие микроклина с серной кислотой (1 – микроклин ЦСП Шивыртуйского месторождения; 2 – микроклин ЦСП Холинского месторождения; 3 – микроклин ЦСП Бадинского месторождения)

Функции зависимости степени растворения микроклина, входящего в состав ЦСП Восточного Забайкалья, от времени воздействия серной кислотой имеют вид: $y = -0,0041x^2 + 0,471x + 0,191$ (микроклин ЦСП Шивыртуйского месторождения); $y = -0,026x^2 + 0,348x + 0,074$ (микроклин ЦСП Холинского месторождения); $y = -0,0020x^2 + 0,265x + 0,0072$ (микроклин ЦСП Бадинского месторождения).

Рентгеноструктурным и кристаллооптическим анализами установлено, что при разложении серной кислотой микроклин никаких изменений не претерпевает.

Кислотное растворение гематита. Режимные параметры процесса: крупность минералов гематита $-1,0+0,5$ мм, удельная поверхность 80 г/см^2 , время обработки 30 минут, температура процесса $80 \text{ }^\circ\text{C}$. В результате разложения гематита серной кислотой из минералов гематита извлечено в раствор от 50 до 60 % окислов железа. Установлено, что переход окислов железа в раствор наиболее интенсивно происходит в течение первых 30 мин, последующее увеличение продолжительности обработки до 60 минут не влияет на интенсификацию процесса.

Необходимо отметить, что основным цеолитовым минералом ЦСП Бадинского месторождения является морденит, характеризующийся кислотостойкостью и достаточно высоким отношением кремнезема к оксиду алюминия. Минерал морденита Бадинского месторождения имеет следующую химическую формулу:



Адсорбционная способность морденита ЦСП Бадинского месторождения ограничена размером молекул диаметром $0,4$ нм. При этом минералы морденита являются достаточно кислотостойкими и термостойкими. Определено, что обработка морденита 5 %-ным раствором серной кислоты при температуре от 100 до $200 \text{ }^\circ\text{C}$ не приводит к значительному изменению его адсорбционных свойств. При продолжительном воздействии кислоты на морденит происходит постепенное деалюминирование, которое приводит к изменению кремниевого модуля ($\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$) до 30. Установлено, что при деалюминировании минерала

морденита в значительной степени повышается его адсорбционная способность, обусловленная образованием вторичных пор радиусом 1,5–1,9 нм.

Минералы группы цеолитов (клиноптилолит, морденит, шабазит) имеют достаточно высокие константы скорости разложения $(4,9–6,85) \cdot 10^{-2}$; минерал гематита – от $1,36 \cdot 10^{-2}$ до $3,4 \cdot 10^{-2}$; минерал микроклин – от $5,01 \cdot 10^{-3}$ до $6,2 \cdot 10^{-3}$, что определяет наиболее рациональные параметры эффективной химической модификации ЦСП Восточного Забайкалья, обуславливающей получение цеолитовых продуктов высокого качества и необходимого состава [201, 257–259].

Следует отметить, что кислотная обработка природных цеолитов в достаточной степени повышает их адсорбционную способность, однако данное правило действует лишь для кислотостойких типов (морденит, клиноптилолит), при этом менее кислотоустойчивые цеолиты (шабазит) существенно ухудшают свои адсорбционные свойства. Сравнительные данные адсорбционной способности природных цеолитов Восточного Забайкалья до и после кислотной обработки приведены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – Сравнительные данные адсорбционной способности природных цеолитов Восточного Забайкалья до и после кислотной обработки

Месторождение (тип)	Адсорбционная способность, мг/г	
	необработанный	обработанный
Шивыртуйское, Холинское (клиноптилолит)	147	154
Бадинское (морденит)	109	123
Талан-Гозагорское (шабазит)	246	79

Таким образом, установлено, что применение химических методов модификации природных цеолитов Восточного Забайкалья позволяет получать продукцию, качество которой соответствует требованиям для использования в атомной, нефтяной, нефтехимической, химической и коксохимической промышленности, а также в технологиях по обращению с отходами горного производства.

4.2.2 Деалюминирование в технологиях модификации цеолитсодержащих пород

Управление физико-химическими свойствами природных цеолитов в необходимом направлении может осуществляться посредством деалюминирования [24; 50; 87; 201; 257–259; 260; 287]. Одним из основных факторов необходимости применения деалюминирования цеолитсодержащих пород является возможность получения продукции с повышенной адсорбционной способностью. Модификация природных цеолитов деалюминированием позволяет существенно расширить возможности их применения, в том числе в мероприятиях по защите окружающей среды от воздействия горнопромышленных комплексов. В частности, данное свойство модифицированных природных цеолитов может быть использовано при сорбции радионуклидов цезия и стронция и последующим их захоронении или переработке. Деалюминирование ЦСП позволит существенно повысить срок их безопасного использования в сорбционных процессах, а также гарантировать их устойчивость при захоронении за счет снижения скорости десорбции поглощенных элементов. В этой связи проведены исследования по применению операции деалюминирования ЦСП Восточного Забайкалья в сочетании с традиционными методами обогащения. Разработанная автором принципиальная схема обогащения ЦСП, включающая рудоподготовку, акустическую обработку, электромагнитную и электростатическую сепарации с контрастной электризацией парами салициловой кислоты ($C_7H_6O_3$), а также операцию деалюминирования серной кислотой 5 %-ной концентрации, приведена на рисунке 4.2.4 [149; 171–184; 201].

Методика проведения исследований по предложенной принципиальной схеме обогащения цеолитсодержащих работ заключается в следующем. Измельчение ЦСП осуществляли в стержневой мельнице с последующим разделением по классам крупности ($-0,1+0,044$ мм) и обесшламливанием с удалением минеральных частиц размером менее 0,05 мм. ЦСП подвергались акустическому воздействию с использованием ультразвукового низкочастотного

диспергатора УЗДН-1 при частоте волн 40 кГц и продолжительности воздействия 5 мин.

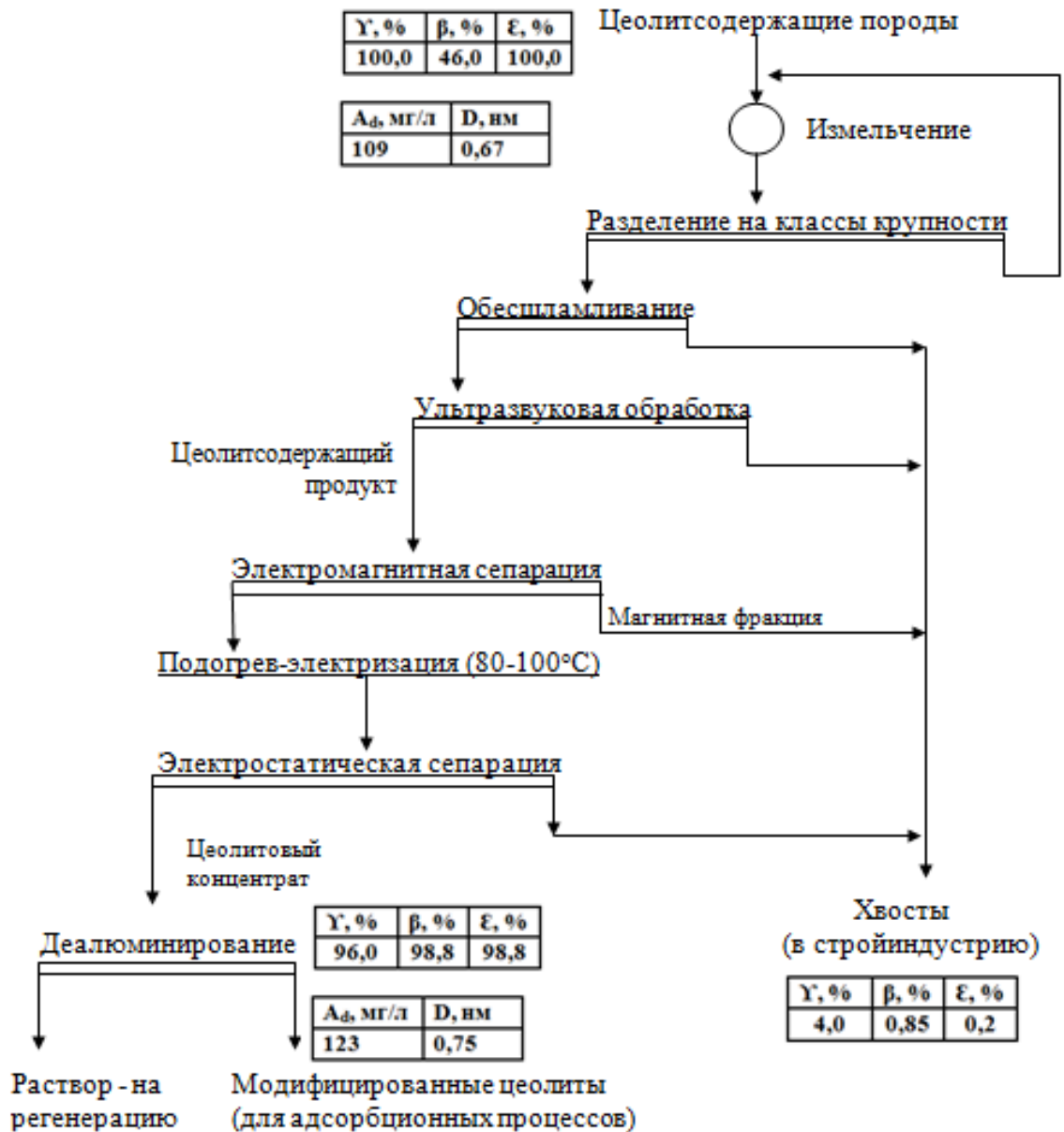


Рисунок 4.2.4 – Патентозащищенная принципиальная схема обогащения и химической модификации тонкодисперсных ЦСП

Осадок высушивался и подвергался электромагнитной сепарации в изодинамическом поле, с применением которой извлекались Fe-содержащие примеси (гематит, оливин). Продукт, получаемый при отмучивании, объединялся с продуктом обесшламливания, немагнитный продукт подвергался электростатической сепарации с предварительной обработкой парами салициловой кислоты (концентрация от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $0,4 \cdot 10^{-3}$ кг/см³), в результате которой извлекались минералы кварца и полевых шпатов. Непроводящий продукт

электростатической сепарации объединялся с продуктами отмучивания и обесшламливания. Полученная в результате электростатической сепарации проводящая фракция является цеолитовым концентратом, который может быть подвергнут направленному деалюминированию посредством 5–20 %-го раствора серной кислоты (альтернативный вариант 5–20 %-й раствор HCl) и температуре процесса 70–75 °С с целью получения цеолитового продукта с высокими сорбционными и ионообменными свойствами. Для комплексного использования ЦСП, в рамках предлагаемой автором технологии, продукты отмучивания, обесшламливания и непроводящая фракция могут быть также подвергнуты деалюминированию или найти практическое применение, в частности, при закладке выработанного пространства. В результате проведения исследований установлено, что разработанная автором технология обеспечивает получение высококачественных цеолитовых продуктов с содержанием цеолитовых минералов 98,8 %, обуславливая эффективность последующего процесса деалюминирования. За счет деалюминирования природных цеолитов повышается их адсорбционная способность, увеличивается диаметр входных окон цеолитов до ~0,6–0,75 нм и существенно повышается значение модуля Si/Al [149].

В данной работе апробирован кислотный метод модификации свойств природных цеолитов месторождений Восточного Забайкалья и предложено новое сочетание технологических процессов, позволяющих существенно улучшить сорбционные характеристики этого вида сырья.

Анализ данных рентгеноструктурного анализа позволил определить, что сернокислотная модификация не нарушает параметры кристаллической решетки цеолитовых минералов Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений (клиноптилолит и шабазит соответственно). В результате кислотной модификации наблюдается появление переходных пор и увеличение количества микропор, что существенно повышает адсорбционную емкость природных цеолитов.

С учетом существующего механизма взаимодействия ЦСП с кислотами проведена кислотная активация ЦСП Восточного Забайкалья в режиме кипения.

Химический состав исходных и кислотоактивированных цеолитов Восточного Забайкалья в режиме кипения представлен в таблице (Приложение Б), анализ которой показал, что при кислотной модификации происходит переход катионов металлов в раствор деалюминирования.

В результате кислотной обработки минералов клиноптилолита Шивыртуйского и Холинского месторождений наблюдается частичное деалюминирование, частичное удаление катионов и декатионирование, что обуславливает увеличение диаметра входных окон клиноптилолита до ~0,6-0,75 нм. Кислотная обработка шабазита $((\text{Na}_2\text{Ca})\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O})$, входящего в состав ЦСП Талан-Гозагорского месторождения, увеличивает размеры входных окон с 0,37–0,5 до 0,6–0,7 нм, а морденит $(\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O})$ с 0,67–0,70 до 0,75 нм. Параметры использования в технологиях управления горнопромышленными отходами цеолитовой продукции с приобретенными в результате обогащения и химической модификации ЦСП Восточного Забайкалья характеристиками приведены в таблице 4.2.5.

Декатионирование с ростом концентраций серной кислоты от 0,25 до 2N в природных цеолитах месторождений Восточного Забайкалья приводит к значительному повышению значений кремниевого модуля Si/Al (таблица 4.2.3). При увеличении концентрации кислоты происходит разрушение кристаллической решетки и образование аморфной фазы.

Таблица 4.2.3 – Зависимость степени деалюминирования и кремниевого модуля природных цеолитов Восточного Забайкалья от концентрации соляной кислоты

Концентрация H_2SO_4 , N	ЦСП Шивыртуйского месторождения		ЦСП Холинского месторождения		ЦСП Бадинского месторождения	
	Al_2O_3 , %	Si/Al	Al_2O_3 , %	Si/Al	Al_2O_3 , %	Si/Al
–	13,61	4,62	12,21	5,37	10,57	6,48
0,25	11,22	5,60	8,31	7,90	8,32	8,23
0,5	9,74	6,45	6,74	9,74	6,74	10,16
1	6,21	10,13	6,42	10,22	6,28	10,90
2	2,05	29,26	2,15	32,00	3,45	19,85

4.2.3 Моделирование технологических процессов химической модификации цеолитсодержащих пород

Моделирование технологий обогащения и переработки ЦСП с использованием методов направленной рудоподготовки возможно проводить с использованием метода термодинамического анализа, который характеризуется необходимостью составления большого массива уравнений с расчетом активностей на их основе.

Моделирование процесса dealюминирования обосновано при учете коэффициента скорости реакции k и концентрации насыщения $C_{\text{насAl}}$, которые зависят от концентрации кислоты $C_{\text{H}_2\text{SO}_4}$. Проведенный анализ теории и практики физико–химического моделирования процессов обогащения и переработки минерального сырья позволил определить, что возможно применение существующих методов разработки моделей для цеолитсодержащих пород. В частности, могут быть эффективно использованы для этих целей методы топографического моделирования, программные комплексы СЕЛЕКТОР, АСТРА, АРБИТР и др. [17–21, 101].

Отличительной особенностью АРБИТРа, по сравнению с другими банками информации, является минимальное количество вводимой в программу информации о системе моделирования с возможностью получения широкого спектра ее характеристик. При моделировании процессов направленной рудоподготовки, обогащения и переработки ЦСП возможно использование программного комплекса АСТРА и методов физико-математического моделирования. Вместе с тем для получения сведений о процессах обогащения и переработки ЦСП может эффективно использоваться метод термодинамического анализа, позволяющий определять показатели процессов за счет учета большого количества зависимостей и факторов. Данные методы моделирования позволяют с большой долей достоверности получать данные не только о процессах обогащения и переработки ЦСП, но и процессах их химической модификации, в частности, о механизме протекания химических реакций, переходе компонентов

ЦСП в раствор, а также о физико-химических параметрах деалюминирования и среды, в которой оно протекает.

Большое значение для понимания и последующей реализации технологий химической модификации ЦСП имеет моделирование происходящих при деалюминировании процессов. В этой связи проведено физико-химическое моделирование процесса деалюминирования ЦСП Восточного Забайкалья, основой которого являлась методика, предложенная О.Н. Тихоновым и программный комплекс АСТРА. Экспериментально подтверждено, что [32; 49; 220; 253–255; 230–232] баланс по извлекаемому Al_2O_3 для емкости модификации:

$$V \frac{dC(t)}{dt} = Q_1 C_1(t) - Q_2 C_2(t) + V f_{хим}(C), \quad (4.2.3)$$

$$\frac{dV}{dt} = Q_1 - Q_2, \quad (4.2.4)$$

где V – объем ЦСП в емкости, m^3 ; Q_1, Q_2 – производительность, $m^3/ч$; C, C_1, C_2 – содержание оксида алюминия соответственно в рабочей зоне емкости, исходных и деалюминированных ЦСП, об. доли; $f_{хим}(C)$ – скорость деалюминирования, m^3 серноокислотного раствора с $1 m^3$ ЦСП в час.

В области диффузии скорость деалюминирования ЦСП будет определяться по формуле [230–232]:

$$f_{хим} = f(\theta, S_{уд}) [C_{нас Al}(\theta) - C(t)], \quad (4.2.5)$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность:

$$S_{уд} = \int_0^{l_{max}} \frac{6\gamma(l)dl}{\rho l}, \quad (4.2.6)$$

где ρ – плотность деалюминируемой твердой фазы; $\gamma(l)dl$ – весовая доля частиц природных цеолитов крупностью $[l, l+dl]$; масса данного класса крупности природных цеолитов в 1 т суспензии $\gamma(l)dl \cdot 1 т$.

При этом количество частиц природных цеолитов определяется:

$$\frac{\gamma(l)dl}{\rho(\pi l^3)}, \quad (4.2.7)$$

их поверхность определяется по формуле [230–232]:

$$\gamma(l)dl \cdot \frac{\pi l^2}{\rho \left(\frac{\pi l^3}{6}\right)} = \frac{6\gamma(l)l^6}{\rho l}. \quad (4.2.8)$$

Определение поверхности твердой фазы в 1 м^3 суспензии деалюминирования рассчитывается как $m_{цн} S_{y\partial}$, где $m_{цн}$ – масса природных цеолитов в 1 м^3 суспензии.

В этой связи для процесса деалюминирования природных цеолитов месторождений Восточного Забайкалья скорость извлечения Al_2O_3 определяется по следующей формуле [230–232]:

$$V \frac{dC}{dt} = V \frac{nDm_{ТВ}}{\sigma_{пл}} \int_0^{l_{max}} \frac{6\gamma(l)dl}{\rho l} [C(t) - C_{нас}], \quad (4.2.9)$$

где V – объем пульпы в емкости, м^3 .

При условии, если входом считать $C_1(t)$ по О. Н. Тихонову ($C_2(t)=C(t)$; $Q_1=Q_2=Q$), модель деалюминирования будет линейной и определится по формуле [230–232]:

$$V \frac{dC(t)}{dt} = QC_1(t) - QC(t) + Vk[C_{насAl} - C(t)] \quad (4.2.10)$$

или

$$\frac{V}{Q+kV} \frac{dC(t)}{dt} + C(t) = \frac{Q}{Q+kV} C_1(t) + \frac{VkC_{насAl}}{Q+kV}, \quad (4.2.11)$$

$$k = \frac{nDm_{ТВ}}{\sigma_{пл}} \int_0^{l_{max}} \frac{6\gamma(l)dl}{\rho l}. \quad (4.2.12)$$

Основной задачей управления процессом деалюминирования ЦСП является стабилизация на заданном уровне концентраций алюминия в растворе, что достигается за счет управления технологическими параметрами процесса, в частности, изменением времени воздействия и расхода кислоты. Процесс деалюминирования, проводимый в емкости, может быть описан с помощью математической модели. По причине достижения в технологии обогащения и модификации оптимальных параметров измельчения, а также с учетом способности частиц природных цеолитов к разрушению в процессе деалюминирования установлено, что ограничивающей стадией данного процесса является внешняя диффузия. Поэтому особое внимание при деалюминировании ЦСП следует уделить этому процессу. Базовой является математическая модель процесса деалюминирования, предложенная авторами [230–232]:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{D}{\beta} \cdot S_{y\partial} \cdot (A_{нас} - A), \quad (4.2.13)$$

где $A_{нас}$ – концентрация оксида алюминия в сернокислотном растворе, (%); A – текущая концентрация оксида алюминия в сернокислотном растворе, (%); $S_{уд}$ – удельная площадь поверхности природных цеолитов, (1/м); β – толщина диффузионного слоя, (м); D – коэффициент диффузии, (м²/с).

Коэффициент диффузии D определяется по формуле [230–232]:

$$D = \frac{RT}{N_A} \cdot \frac{1}{3\pi d\mu}, \quad (4.2.14)$$

где R – газовая постоянная (Дж/(кмольК)); N_A – число Авогадро (молекул/кмоль); T – температура процесса деалюминирования (К); μ – вязкость кислоты (Па·с); d – диаметр частиц природных цеолитов (м).

Формулы (4.2.13) и (4.2.14) определяют влияние температуры на процесс деалюминирования. При этом вязкость растворов деалюминирования с нагреванием достаточно быстро убывает, что, в свою очередь, интенсифицирует процесс диффузии, т. е. происходит увеличение коэффициента D , следовательно, в значительной степени ускоряется реакция химического процесса.

Концентрация оксида алюминия в растворе $A_{нас}$ зависит от температуры раствора деалюминирования и концентрации кислоты [230–232]:

$$A_{нас} = a_0 + a_1T + a_2N \quad (4.2.15)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ коэффициенты регрессии; T – температура раствора (К); N – концентрация кислоты (кмоль/м³).

Диффузионная модель, учитывающая мелкодисперсность цеолитсодержащих пород и перемешивание с кислотным раствором, дает возможность описать гидродинамику процесса [230-232]:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} - u \frac{\partial C_i}{\partial z}, \quad (4.2.16)$$

где C_i – концентрация i -го компонента (кмоль/м³), z – продольная координата (м), u – средняя скорость потока раствора деалюминирования (м/с):

$$u = u_{np} - u_{обр}, \quad (4.2.17)$$

Параметр D_L характеризует перемешивание цеолитсодержащих пород с кислотой и определяется экспериментальным путем. В данном случае модель с учетом химических реакций при деалюминировании ЦСП будет определяться по формуле [230–232]:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u \frac{\partial C_i}{\partial z} + D_L \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} \pm \sum_{j=1}^m W_{ij}, \quad (4.2.18)$$

где m – количество химических реакций с i -м компонентом; $i=1 \dots N$ – количество компонентов.

Таким образом, математическое моделирование процессов химической модификации ЦСП (по О. Н. Тихонову), учитывающее сепарационную характеристику процесса деалюминирования, влияние концентрации кислоты и фракционного состава ЦСП на параметры химического воздействия и скорость химической реакции, является в значительной степени эффективным при определении соответствующих технологических параметров. Эффективная технология химической модификации ЦСП Восточного Забайкалья определяет возможность достижения высоких качественных характеристик цеолитов (адсорбционная способность), обуславливающих их широкое применение при управлении горнопромышленными отходами.

Результаты компьютерного моделирования цеолитовых минералов ЦСП Восточного Забайкалья, основанного на квантово-химическом взаимодействии частиц, позволили получить данные о структуре цеолитов до и после кислотной модификации (деалюминирования), а также определить параметры их входных окон (рисунки 4.2.5–4.2.7), для чего использовалась база данных типов цеолитовых каркасов, разработанная в рамках международной цеолитной ассоциации (<https://asia.iza-structure.org/>) [283].

Моделирование цеолитовых минералов показало, что кислотное деалюминирование содержащегося в ЦСП Шивыртуйского и Холинского месторождений клиноптилолита обуславливает увеличение диаметра его входных окон до $\sim 0,6$ нм, шабазита ЦСП Талан-Гозагорского месторождения с $0,37$ – $0,50$ до $0,6$ – $0,7$ нм, морденита ЦСП Бадинского месторождения с $0,67$ – $0,70$ до $0,75$ нм,

что определяет возможность применения цеолита для сорбции компонентов жидких и газообразных отходов: радионуклидов (цезий, стронций, торий), мышьяка, тяжелых нефтепродуктов, диоксида серы и т. д. (таблица 4.2.4).

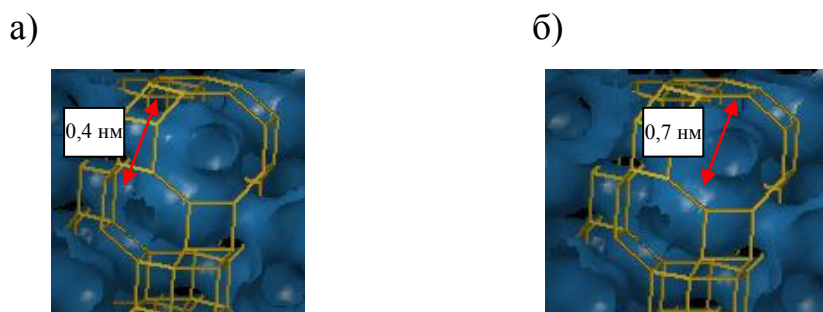


Рисунок 4.2.5 – Визуализация минерала шабазита ЦСП Талан-Гозагорского месторождения до (а) и после (б) кислотного деалюминирования

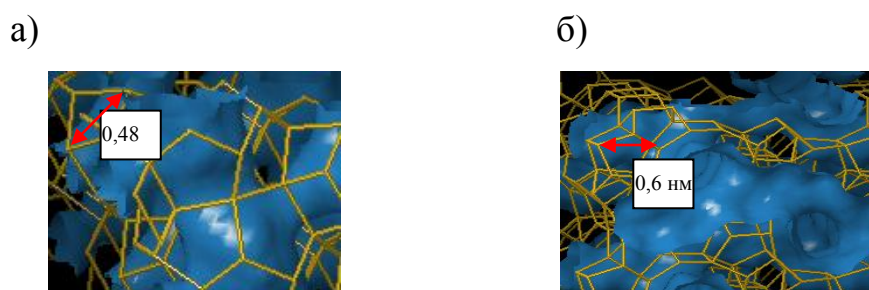


Рисунок 4.2.6 – Визуализация минерала клиноптилолита ЦСП Шивыртуйского месторождения до (а) и после (б) кислотного деалюминирования

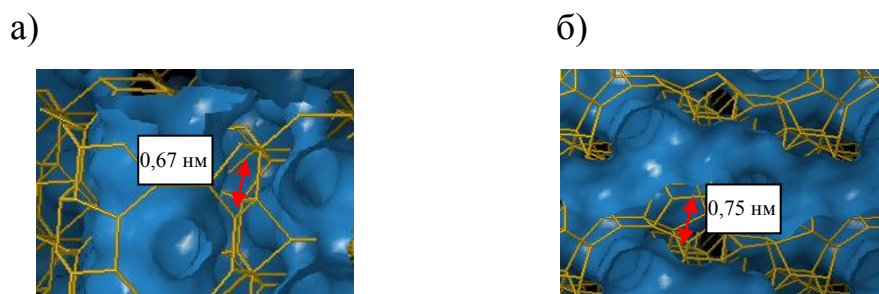


Рисунок 4.2.7 – Визуализация минерала морденита ЦСП Шивыртуйского месторождения до (а) и после (б) кислотного деалюминирования

Моделированием технологических процессов кислотной модификации ЦСП и достигаемых при этом результатов установлено, что получаемая в результате реализации разработанных автором технологий цеолитовая продукция соответствует предъявляемым требованиям для использования при управлении горнопромышленными отходами путем их селективной очистки и

обезвреживания, а также посредством применения цеолитов в качестве материала для рекультивации и захоронения техногенного сырья.

Таблица 4.2.4 – Параметры использования высококачественной цеолитовой продукции в технологиях управления горнопромышленными отходами

Основной цеолитовый минерал	Размер входных окон, нм	Сорбируемые вещества
Клиноптилолит	0,6–0,75	Cs ¹³⁷ , Sr ⁹⁰ , мышьяк, торий, нефтепродукты
Шабазит	0,6–0,7	
Морденит	0,75	

4.2.4 Алгоритм создания технологии химической модификации цеолитсодержащих пород

Процесс создания технологий переработки ЦСП зависит от выявления рациональных условий проведения процессов их химической модификации. На основании представленных в предыдущих главах результатах исследований установлено, что химические методы модификации ЦСП Восточного Забайкалья базируются на избирательном растворении железо- и алюмосодержащих минералов в водных растворах кислот с последующим выделением извлекаемого компонента из раствора. Установлено, что для наиболее эффективного деалюминирования необходимо применять серную кислоту. При этом применение серной кислоты схоже с традиционным обогащением минерального сырья в части необходимости проведения рудоподготовки и извлечения заданного количества компонентов из ЦСП.

Схема цепи аппаратов для реализации технологии химической модификации природных цеолитов Восточного Забайкалья (рисунок 4.2.7) включает обработку серной кислотой в емкости для деалюминирования (1), с мешалкой, фильтрацию перекаченных насосом (2) растворов в фильр-прессе (4) с дальнейшим извлечением из них алюминия в электролизере (5). Осадок фильтрования направляется в сушилку (6) для сушки и последующим получением гранул силиката в грануляторе (7). Насыщение растворов деалюминирования

осуществляется в емкости (3).

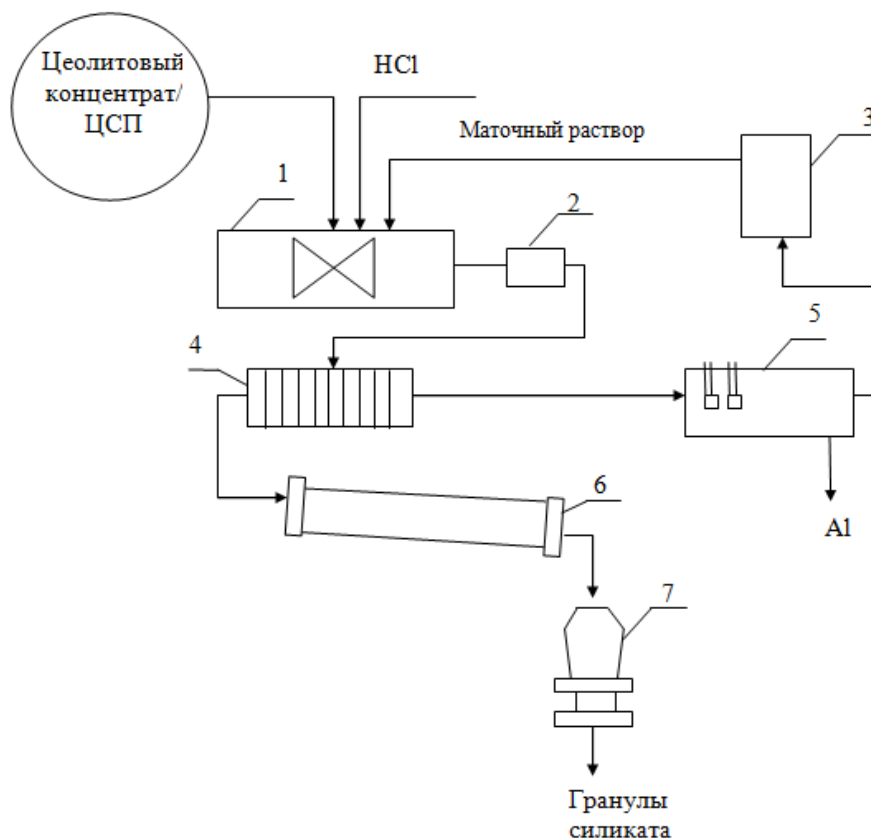


Рисунок 4.2.8 – Схема цепи аппаратов для реализации технологии химической модификации цеолитов (1 – емкость с мешалкой; 2 – поршневой насос; 3 – емкость для насыщения раствора; 4 – фильтр-пресс; 5 – электролизер; 6 – сушилка; 7 – гранулятор)

Установлено, что одним из основных преимуществ химической модификации ЦСП является возможность извлечения необходимых компонентов в раствор без затрат на измельчение для полного раскрытия зерен минералов. Химическая модификация измельченных (тонкодисперсных) ЦСП протекает с более высокой скоростью за счет увеличения активной части поверхности минералов. На определение необходимой крупности ЦСП для эффективного ведения процесса химической модификации влияет заданная степень dealюминирования, расход кислоты, а также микроструктура пород. Степень измельчения ЦСП в этом случае должна обеспечивать частичное вскрытие минералов, содержащих извлекаемый компонент, с целью доступа к ним кислоты. Негативным фактором высокой степени измельчения ЦСП является возникновение эффекта сцепления частиц между собой, что приводит к

увеличению их размеров (агрегации) и отсутствию изменений удельной поверхности.

Алгоритм создания технологии химической модификации ЦСП основан на следующих принципах:

1. Отсутствие фактора высокой степени измельчения ЦСП, который предотвращает возникновение эффекта сцепления частиц между собой, что приводит к увеличению их размеров (агрегации) и отсутствию изменений удельной поверхности.

2. Применение направленных акустических (ультразвуковая обработка), термических (обжиг), радиоактивных (обработка ускоренными электронами) и энергетических воздействий (МЭМИ) при химической модификации ЦСП обеспечивает не только диспергирующий эффект и повышение контрастности свойств, а также увеличивает степень воздействия модифицирующих растворов и глубину их проникновения в объем минеральных компонентов за счет наличия, в том числе, образованных с применением направленной рудоподготовки, микроскопических трещин и каналов.

3. Осуществление химической модификация (деалюминирования) ЦСП с применением предварительного обжига при температуре от 400 до 600⁰С, продолжительности термического воздействия 60 минут и концентрации серной кислоты от 5 до 20 масс %.

4. Выбор реагента деалюминирования зависит производится исходя из экономических параметров, селективности действия, влияния на скорость реакции, продолжительности воздействия, а также коррозионного действия на применяемое оборудование.

5. Выбор способов модификации определяется данные исследований минералогического и вещественного состава ЦСП, физическими, химическими и текстурно–морфологическими свойствами цеолитовых и вмещающих минералов, невысоким содержанием в них оксида алюминия, близостью свойств разделяемых компонентов, а также степенью химической устойчивости, входящих в состав пород минералов.

6. Наибольший эффект кислотной модификации (деалюминирования) ЦСП Восточного Забайкалья достигается при крупности частиц 0,1 мм, концентрации серной кислоты от 3 до 5 %, температуре процесса 70 °С и продолжительности воздействия 100 минут.

7. Полученные при кислотной модификации ЦСП растворы, с целью достижения необходимого уровня рентабельности производства, необходимо подвергать очистке (регенерации) от железа, кремния и от окиси кальция для повторного использования.

8. Технологические и экономические показатели химической модификации ЦСП определяются соотношением SiO_2 и Al_2O_3 (таблица 4.2.3).

9. Следует учитывать возможность извлечения входящих в их состав примесей путем предварительного обогащения пород традиционными методами (электромагнитная и электростатическая сепарации), что позволяет предотвратить попадание в раствор оксидов железа, кремния и кальция.

10. Рациональными параметрами кислотной модификации ЦСП Восточного Забайкалья являются: применение емкостей с механическими мешалками, содержание твердого 70%, температура процесса до 60 °С, обеспечивающие постоянный подогрев пород, а также предотвращение затрат времени на загрузку и разгрузку емкостей деалюминирования.

11. Применение оборудования, трубопроводной арматуры и отдельных деталей из кислотостойких материалов (нержавеющая и высоколегированная сталь), в частности марки X10CrAl 18 и др.

12. Альтернативой емкостям с механической мешалкой при химической модификации ЦСП является кислотное перколяционное деалюминирование в колоннах, рентабельность которого определяется значительным энергосбережением за счет отсутствия необходимости измельчения пород и перемешивания в емкости, высокой пористостью пород.

13. Технологические показатели химической модификации в перколяционных колоннах зависят от крупности ЦСП, их вещественного состава, типа взаимосвязи минеральных компонентов, удельной поверхности

минеральных частиц, температуры и концентрации кислотного раствора, а также продолжительности и гидродинамических условий процесса.

14. Для модификации ЦСП Восточного Забайкалья рекомендуется использовать серную кислоту, производство которой обеспечено ПАО Приаргунским производственным горно–химическим объединением (г. Краснокаменск), что в значительной степени определяет экономическую целесообразность процесса для цеолитного кластера, локализованного в регионе.

15. Извлечение компонентов из кислотных растворов модификации ЦСП осуществляется по технологии упаривания с последующим фильтрованием и грануляцией.

Алгоритм выбора технологии химической модификации ЦСП представлен на рисунке 4.2.8. и включает получение сведений геолого-минералогического опробования, анализа минерального комплекса, вещественного состава и текстурно–морфологических свойств с дальнейшим определением химической устойчивости минералов, входящих в состав ЦСП, выбором основного метода модификации, влияющего на разработку технологии, ее прогнозом и проведением исследований лабораторных, укрупненных и опытно–промышленных с учетом вышеизложенных принципов.



Рисунок 4.2.9 – Алгоритм выбора технологии химической модификации ЦСП

Проведенные исследования позволили определить наиболее эффективные технологии рудоподготовки, обогащения, переработки и модификации ЦСП, применение которых позволит получить цеолитовые продукты высокого качества. При этом известными на данный момент времени направлениями практического использования природных цеолитов являются сельское хозяйство, стройиндустрия и водоснабжение, применение в которых регламентировано ТУ и ГОСТами. В этой связи расширение сферы применения цеолитов возможно за счет управления их качеством, основанным на применении рассмотренных выше направленных методов воздействия (таблица 4.2.5).

Из анализа таблицы 4.2.5 следует, что возможность использования природных цеолитов в наукоемких отраслях обуславливается управлением качеством ЦСП путем изменения таких параметров как адсорбционная способность, размер входных окон, массовая доля цеолита в продукции, содержание окислов железа. Определены основные отрасли применения высококачественной цеолитовой продукции: атомная, химическая, коксохимическая, нефтяная и нефтехимическая, бумажная промышленности, водоснабжение, медицина, сельское хозяйство и управление отходами горнопромышленными отходами. Кондиционирование качества ЦСП Восточного Забайкалья до установленных требований определенных технических условий и ГОСТов как по содержанию минералов цеолитов и вмещающих примесей, так и по технологическим свойствам пород, достигается посредством применения комбинирования технологий с использованием направленных методов воздействия (ультразвуковое, радиационное, энергетическое воздействия, обжиг, химическая модификация) и традиционных переделов обогащения (электростатическая и электромагнитная сепарации).

Результаты исследований по изучению эффективности химической модификации и процессов физико–химического обогащения внедрены в научную и производственную деятельность промышленных предприятий, научно–исследовательских и проектных организаций (таблица 4.2.6). По указанным в таблице 4.2.6 внедрениям существуют соответствующие акты (Приложение В).

Таблица 4.2.5 – Управление качеством цеолитсодержащих пород по основным направлениям использования

Месторождение / тип цеолита	Виды направленных воздействий	Управляемые параметры	Достижимые показатели	Норма	Область применения	ТУ (технические условия)
1	2	3	4	5	6	7
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит; Бадинское / морденит	Ультразвуковое воздействие, хим. модификация	Адсорбционная способность, мг/г	164	160	Химическая, коксохимическая промышленность	ТУ 95-0106-12-90; ТУ 205.11.82-93-91; ТУ 205.11.82-94-91; 205.11.82-100-92; ГОСТ 216340; ТУ 2161-126-05766575-2005
		Размер входных окон, А°	4-7,5	3-7,5		
	Обжиг, МЭМИ, радиационное воздействие, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-97	70-90		
		Содержание окислов железа, %	0,01-0,7	2,5-3,5		
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит	Ультразвуковое воздействие	Адсорбционная способность, мг/г	164	150	Водоснабжение	ТУ 2163-002-12763074-97; ТУ 2163-039-07621060-97; ТУ 2163-001-27860096-2016; ГОСТ 216340
		Размер входных окон, А°	4-7,5	4-7,5		
	Обжиг, МЭМИ, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-97	60-70		
		Содержание окислов железа, %	0,01-0,7	1,0		
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит	Ультразвуковое воздействие	Адсорбционная способность, мг/г	164	130-140	Сельское хозяйство	ТУ 0106-6-89; ТУ 113-12-76-170-89; ТУ 407-629-90; ТУ 10-359-91; ТУ 95-0106-17-92; ТУ 2163-001-52123114-99; ТУ 2189-001-52020851-99
		Размер входных окон, А°	4-7,5	3-5		
	Обжиг, МЭМИ, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-97	50-75		
		Содержание окислов железа, %	0,01-0,7	1,0		
		Крупность помола, мм	0,05-1,0	1,0		

Продолжение таблицы 4.2.5

1	2	3	4	5	6	7
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит; Бадинское / морденит	Ультразвуковое, радиационное воздействие, обжиг, МЭМИ, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-97	90	Бумажная промышленность, пленочные материалы	ТУ 40-029-91; ТУ 40-030-91; ГОСТ 216340
		Содержание окислов железа, %	0,01-0,7	1,0- 2,0		
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит	Ультразвуковое воздействие, обжиг, МЭМИ, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-98	90-95	Медицина и здравоохранение	ТУ 9197-001- 16925875-97; ТУ 6-12-5-80; ФС 42-1269-79; ГОСТ 216340
		Содержание окислов железа, %	0,01	0,01		
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит	Ультразвуковое воздействие, обжиг, МЭМИ, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-98	70-80	Товары бытового назначения	ТУ 95-0106-12-90; ТУ 6-00-00209645- 46.0-93; ТУ 2383-034- 07621060-95
Талан-Гозагорское / шабазит; Шивыртуйское / клиноптилолит	Ультразвуковое воздействие, хим. модификация	Адсорбционная способность, мг/г	164	160	Газовая, нефтяная, нефтехимическая промышленность	ТУ 113-12-98-85; ТУ 113-12-127-82; ТУ 95-400-81; ТУ 113-12-127-97; ТУ 20113-12-103-87; ГОСТ 216340
		Размер входных окон, А°	4-7,5	3-7,5		
		Нефтеемкость, %	228-282	180		
	Обжиг, МЭМИ, радиационное воздействие, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-97	60-95		
	Хим. модификация	Массовая доля SiO ₂ , %, не более	50	50		

1	2	3	4	5	6	7
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит; Бадинское / морденит	Ультразвуковое воздействие, хим. модификация	Адсорбционная способность, мг/г	164	160	Атомная промышленность	ТУ 2163-001- 27860096-2016; ТУ 2163-002- 12763074-97; ТУ 2163-039- 07621060-97; ТУ 2163-001- 27860096-2016; ГОСТ 216340
		Размер входных окон, А°	4-7,5	3-7,5		
	Обжиг, МЭМИ, радиационное воздействие, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-97	70-90		
		Содержание окислов железа, %	0,01-0,7	2,5- 3,5		
Шивыртуйское / клиноптилолит; Холинское / клиноптилолит; Талан-Гозагорское / шабазит; Бадинское / морденит	Ультразвуковое воздействие, хим. модификация	Адсорбционная способность, мг/г	164	160	Управление отходами горной промышленности	ТУ 2163-001- 27860096-2016; ГОСТ 216340; ТУ 113-12-127-97; ТУ 2163-039- 07621060-97
		Размер входных окон, А°	4-7,5	3-7,5		
	Обжиг, МЭМИ, радиационное воздействие, магнитная и электростатическая сепарации	Массовая доля цеолита, %, не менее	90-98	40-90		
		Содержание окислов железа, %	0,01-0,7	2,5- 3,5		
	Хим. модификация	Массовая доля Al ₂ O ₃ , %, не более	9,5	10		

Таблица 4.2.6 – Внедрение результатов исследований

Предприятие (организация)	Область внедрения	Объект внедрения
ООО «Забайкалзолотопроект»	Проектная деятельность	Технологии обогащения, переработки и модификации ЦСП, технологии управления горнопромышленными отходами на основе ЦСП
ООО «Диатомитовый комбинат» (г. Ульяновск)	Проектно-конструкторская деятельность и технико-экономический расчет (обоснование)	Методики проведения экспериментальных исследований по обогащению и кислотной переработке ЦСП; экспериментальные данные по обогащению ЦСП и кислотной переработке ЦСП
Центральная научно-исследовательская лаборатория ОАО «ППГХО» (г. Краснокаменск)	Научно-исследовательская деятельность	Методики проведения экспериментальных исследований по обогащению и кислотной переработке ЦСП; экспериментальные данные по обогащению и кислотной переработке ЦСП
Институт экологических технологий Вьетнамской академии наук (Вьетнам, г. Ханой)	Научно-исследовательская деятельность	Методики проведения экспериментальных исследований по обогащению и кислотной переработке ЦСП; экспериментальные данные по обогащению и кислотной переработке ЦСП
НПВО «Цеолит» (г. Краснокаменск, Забайкальский край)	ТЭО работы предприятия	Технологическая схема обогащения ЦСП
ООО «Проектно-изыскательский научно-исследовательский институт» (ООО «Майнинг Про»)	Проектная и научно-исследовательская деятельность	Технологии обогащения, переработки и модификации ЦСП, технологии управления горнопромышленными отходами на основе использования ЦСП
Европейская комиссия в рамках проекта Tempus; ЗабГУ, ИрНИТУ, ДВФУ, Технический университет Дрездена, Венский университет прикладных наук, Датский технический университет Копенгагена, Технический университет Крита	Tempus (543962-1-2013-1-DE-Tempus-JPHES) «Комплексное устойчивое управление отходами»	Модульные программы курсов «Комплексное устойчивое управление отходами». Учебное пособие (Комплексное устойчивое управление отходами. Металлургическая промышленность. М.: ИД Академии Естествознания, 2016. 494 с.)

Результаты проведенных исследований и реализация технологии деалюминирования ЦСП позволили получить высококачественные природные цеолиты для применения в различных отраслях промышленности, в том числе при управлении горнопромышленными отходами (таблица 4.2.5). Среди

альтернативных вариантов переработки после применения методов направленного акустического, энергетического и термического воздействий, а также химической модификация возможно использование рудоподготовки ЦСП.

В числе этапов исследований, согласно предлагаемой Концепции потребовалось оценить возможность управления горнопромышленными отходами за счет рационального и комплексного использования ЦСП, в частности, снижения негативного воздействия на основе применения природных цеолитов, таких как обезвреживание сточных вод, рекультивация и захоронение отходов горнопромышленного комплекса, а также очистка отходящих дымовых газов.

Выводы по главе 4

Установлено, что использование салициловой кислоты с концентрацией $(0,2-0,4) \cdot 10^{-3}$ кг/см³ для контрастного заряжения поверхности цеолитовых и породообразующих минералов в течение 30 минут с одновременным подогревом ЦСП до 80–100 °С интенсифицирует извлечение из пород крупностью $-0,074+0,05$ мм немагнитных примесей (кварца, полевого шпата) методом электростатической сепарации при напряженности поля $(2,7-4,0) \cdot 10^{-5}$ В/м с получением концентрата с содержанием цеолитов до 99,23–99,88 %.

Определено, что к принципам создания технологических схем обогащения ЦСП относятся: направленное воздействие перед дроблением и измельчением материала с целью дезинтеграции и изменения контрастности свойств минералов; максимальное извлечение Fe-содержащих примесей электромагнитной сепарацией с применением сепараторов с изодинамическим полем; извлечение немагнитных примесей посредством применения электростатической сепарации.

На основании экспериментально обоснованных рациональных параметров исследований разработан алгоритм выбора технологии обогащения ЦСП Восточного Забайкалья, основанный на комбинировании направленных воздействий в стадии рудоподготовки с классическими методами обогащения.

Анализ полученных функций, характеризующих технологические показатели обогащения и модификации ЦСП, подтвердил эффективность применения

направленных воздействий (обработка ускоренными электронами, МЭМИ, ультразвуковая обработка, обжиг, подогрев-электризация, кислотная обработка) и позволил определить необходимые параметры управления процессом получения цеолитовых продуктов требуемого качества.

Обоснован алгоритм выбора и разработки технологии химической модификации цеолитсодержащих пород, базирующийся на систематизации данных анализа вещественного состава, химической устойчивости и степени разложения минералов, входящих в состав пород, а также содержания оксида алюминия в исходном сырье и продуктах модификации.

Результаты исследований минералогического и вещественного состава ЦСП, физических, химических и текстурно-морфологических свойств цеолитовых и пороодообразующих минералов, определяют эффективность и рациональность разработки и выбора технологий химической модификации. Данные о химической устойчивости входящих в состав ЦСП минералов, их степени разложения, содержании оксида алюминия в исходных породах и в продуктах модификации обуславливают выбор кислоты-модификатора и режимных параметров процесса, что позволяет произвести систематизацию информации для разработки соответствующей технологии.

Комбинирование направленной рудоподготовки ЦСП с электромагнитной и электростатической сепарациями позволяет максимально извлечь из них вмещающие примеси и повысить их сорбционную емкость на 24–26 %.

Установлена взаимосвязь кислотостойкости цеолитовых минералов (морденит, клиноптилолит) с повышением их адсорбционной способности.

На основании результатов определения изменения свободной энергии Гиббса и энергии кристаллической решетки цеолитовых и пороодообразующих минералов при их растворении серной кислотой, установлены значения их химической устойчивости, влияющей на скорость модификации. Константы скорости разложения минералов группы цеолитов $(4,9–6,85) \cdot 10^{-2}$; гематита – $(1,36–3,4) \cdot 10^{-2}$ и микроклина – $(5,01–6,2)10^{-3}$, обуславливают возможность селективной модификации свойств ЦСП в необходимом направлении.

Установлено, что размеры входных окон цеолитов, получаемые в результате обогащения и химической модификации ЦСП Восточного Забайкалья, позволяют использовать их в технологиях управления горнопромышленными отходами, основанных на селективной очистке и обезвреживании от радионуклидов, мышьяка и нефтепродуктов, а также при рекультивации и захоронении техногенного сырья.

На основе научно-методологического подхода к обоснованию технологии направленного изменения адсорбционных свойств природных цеолитов создана модель и разработан алгоритм выбора технологии химической модификации цеолитсодержащих пород, основанной на выявлении химической устойчивости и степени разложения входящих в состав пород минералов, а также на определении содержания оксида алюминия в исходном сырье и в продуктах модификации.

Результаты проведенных исследований послужили основой для разработки инновационных технологий:

– *способ обогащения цеолитсодержащего сырья* (Патент РФ № 2455073), включающий рудоподготовку, акустическую обработку, электромагнитную и электростатическую сепарации с электризацией кислотой и позволяющий получать высококачественный цеолитовый концентрат с возможностью деалюминирования как непроводящей фракции (хвостов), так и цеолитов;

– *способ обогащения цеолитсодержащего сырья*, включающий рудоподготовку с применением направленного воздействия (акустическая обработка, МЭМИ, обжиг, обработка ускоренными электронами), электромагнитную и электростатическую сепарации;

– *устройство для обогащения магнитосодержащего сырья* (Патент РФ № 2278737) с изодинамическим магнитным полем;

– *способ обогащения цеолитсодержащих туфов* (Патент РФ № 2229342), включающий рудоподготовку, акустическую обработку, электромагнитную и электростатическую сепарации с электризацией салициловой кислотой при 80 °С.

5. Разработка технологий управления горнопромышленными отходами на основе использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья

5.1 Природные цеолиты в системе комплексного использования отходов горного производства

Основной целью переработки отходов горного производства является достижение максимального экономического эффекта от их использования. Максимальное извлечение основных и попутных компонентов из отходов определяется, как правило, выбором технологий обогащения. Часть отходов после доизвлечения ценных компонентов будет малостребованной и может быть применена в ограниченном спектре направлений. Как правило, горнопромышленные отходы после повторного обогащения могут найти применение в качестве закладочного материала для выработанного пространства, а также в стройиндустрии, в частности, для изготовления различных видов бетона, щебня, гравия, керамзита, кирпича, извести, цемента, песка, при строительстве железнодорожных путей и автомобильных дорог.

При рассмотрении отходов горного производства с позиции техногенных месторождений становится рациональной аналогия применения принятой при добыче и переработке минерального сырья системы показателей экономической эффективности, которая включает в себя такие показатели, как рентабельность, срок окупаемости капитальных затрат, прибыль, себестоимость, экономический эффект и др. В случае переработки техногенного сырья может быть получено достаточно большое число продуктов (концентратов), каждый из которых напрямую влияет на экономические показатели. Поэтому зачастую процесс комплексной переработки отходов горного производства, с экономической точки зрения, выглядит гораздо более сложным по сравнению с обогащением минерального сырья. В процессах переработки техногенного сырья большое значение имеет его потенциальная ценность, отражающая стоимость всех

компонентов, входящих в состав отходов. Идеализированно данный показатель рассчитывается следующим образом [16; 94]:

$$C_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P, \quad (5.1.1)$$

где α_i – содержание компонентов в техногенном сырье;

P – стоимость компонентов.

При расчете показателя потенциальной ценности техногенного сырья предлагается использовать только те компоненты, которые возможно извлечь из отходов с учетом применения существующих на данный момент малоотходных и безотходных технологий. Кроме того, следует подчеркнуть, что максимально возможное извлечение ценных компонентов зачастую не обеспечивает достижение необходимого экономического эффекта по причине непромышленных содержаний некоторых компонентов, входящих в состав отходов. Оставшуюся часть техногенного сырья после доизвлечения ценных металлов необходимо рассматривать либо как сырье для закладки выработанного пространства или компонента для применения в стройиндустрии, либо подвергать консервации для последующей переработки при достижении необходимого уровня развития науки и техники [16; 94; 109; 234].

В этом случае при переработке отходов горнопромышленного комплекса необходимо учитывать степень эффективности извлечения ценных компонентов, определяемой содержанием их в природном сырье. Для достижения рационального уровня комплексности использования техногенных образований необходимо предусматривать извлечение тех компонентов, производство которых эффективно на данный момент.

Повышение комплексности использования горнопромышленных отходов определяет не только получение дополнительной продукции и прибыли, но и величину предотвращенного эколого-экономического ущерба в связи с существенным снижением уровня загрязнения компонентов окружающей среды. Данное обстоятельство необходимо учитывать при оценке эффективности и выборе ресурсосберегающей технологии для переработки и утилизации

техногенного сырья. Комплексное использование отходов горного производства предполагает, что значение соответствующего коэффициента будет равно 1. Важную роль при этом играет минералого-технологическая оценка отходов, обуславливающая разработку, выбор и обоснование тех или иных технологий.

Основными задачами комплексного использования отходов являются:

- проведение общей экономической оценки техногенного образования;
- выявление потребности рынка в попутной продукции;
- определение экономической целесообразности производства попутной продукции в условиях комплексного использования техногенного сырья;
- определение эколого-экономического эффекта от дополнительного извлечения попутных ценных компонентов;
- снижение ущерба от выбросов, загрязняющих компоненты окружающей среды.

Эффективность решения в том числе и экономических вопросов обращения с отходами горного производства определяется используемым техническим и управленческим инструментарием. Основным инструментом для организации комплексного использования отходов являются наилучшие доступные технологии, обеспечивающие полноту извлечения ценных компонентов, утилизации, обезвреживания техногенного сырья и при необходимости его сохранения для переработки в перспективе. На рисунке 5.1.1 приведена схема обращения с горнопромышленными отходами.



Рисунок 5.1.1 – Схема комплексного использования отходов горного производства

Основными критериями рациональности и комплексности использования отходов являются:

- внедрение НДТ обезвреживания, переработки и утилизации горнопромышленных отходов на основе применения природных цеолитов;
- максимальное снижение количества образуемых отходов на каждой стадии добычи и переработки минерального сырья;
- наиболее полное и комплексное использование отходов с получением металлов и других продуктов переработки (строительные материалы, закладочная смесь, материал для отсыпки ж/д насыпей и автомобильных дорог);
- консервация хвостохранилищ и отвалов пород для дальнейшей переработки с целью извлечения из них ценных компонентов.

В этой связи приобретают значение технологии, при которых достигается высокая эффективность использования методов очистки и обезвреживания отходов, консервации техногенных месторождений, захоронения токсичных и радиоактивных отходов с перспективой их последующего использования при одновременном снижении экологической нагрузки на окружающую среду. Выявлено [12; 15; 40; 47; 238; 239; 265; 266], что для разработки, обоснования и внедрения таких технологий наиболее подходящим инструментом могут быть сорбенты, обладающие комплексом свойств, способным обеспечить сорбцию элементов из сточных вод, создание структурообразующего эффекта грунта при рекультивации и консервации, а также возможности внедрения геохимических барьеров для захоронения токсичных и радиоактивных отходов. Наиболее доступными сорбентами природного происхождения являются цеолитсодержащие породы с уникальным сочетанием физико-химических свойств, основным из которых можно считать адсорбционную способность [201; 224; 260]. Использование ЦСП, в том числе и обогащенных до необходимого качества, в технологиях по управлению техногенным сырьем в данном случае является составной частью комплексного использования горнопромышленных отходов (рисунок 5.1.2).

Схема «продления» жизненного цикла отходов с применением ЦСП выглядит следующим образом (рисунок 5.1.3). В данном случае минеральное сырье и горнопромышленные отходы подвергаются максимальной переработке, очистке, а при необходимости захоронению и утилизации с применением НДТ, базирующимся на применении природных цеолитов, что создает необходимые условия для реализации цикличной системы управления отходами, обеспечивая в большей степени принцип «из колыбели в колыбель».

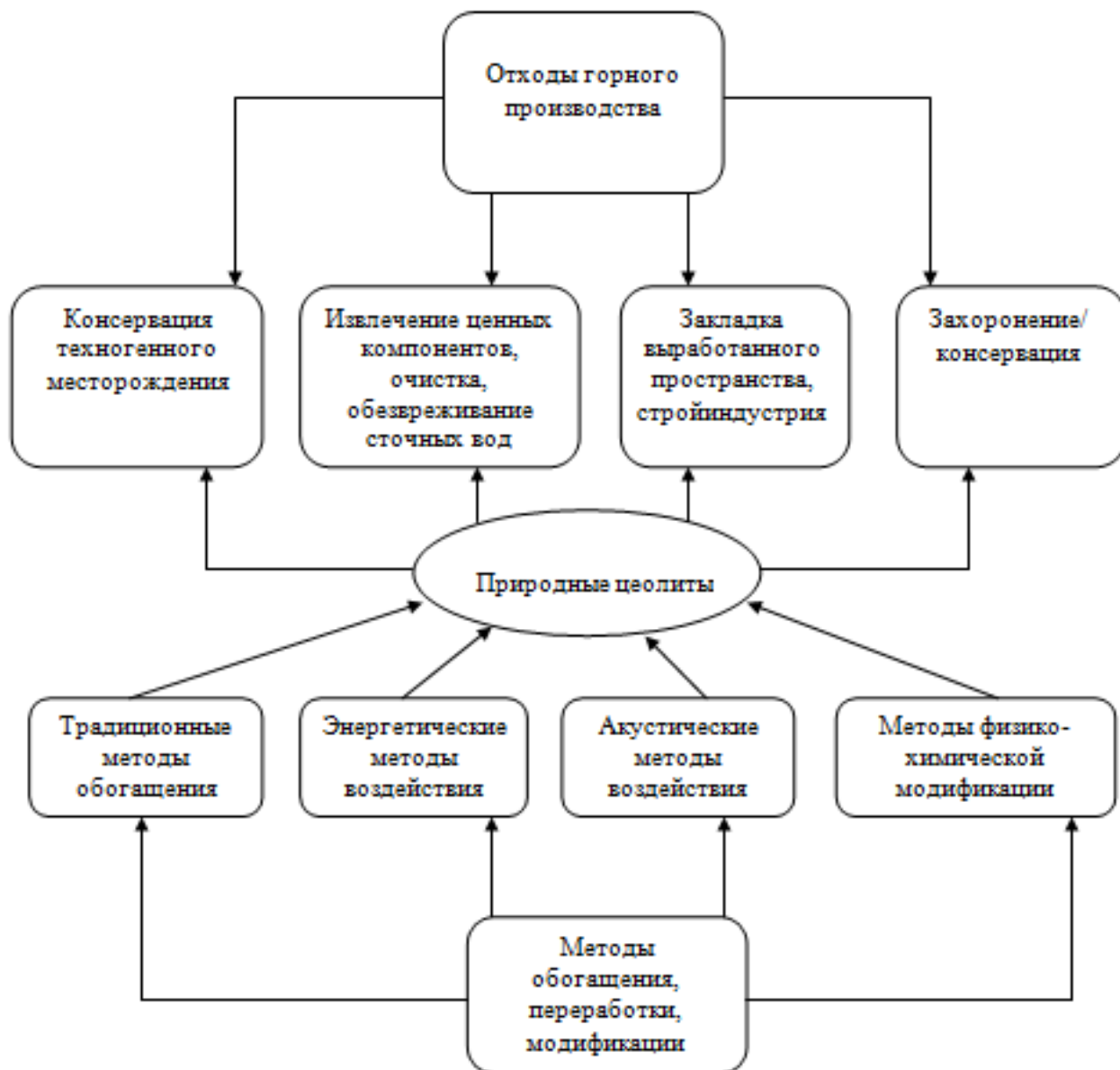


Рисунок 5.1.2 – Применение природных цеолитов в системе комплексного использования отходов горного производства

Применение универсального инструмента в виде ЦСП и реализация с их помощью природозащитных технологий позволит существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду до уровня, установленного законодательством РФ. В этой связи, использование природных цеолитов высокого качества, обеспеченного применением к ним методов обогащения и модификации, повысит их эффективность в мероприятиях по снижению негативной нагрузки на экосистемы районов деятельности горнопромышленных предприятий.



Рисунок 5.1.3 – Схема движения отходов горного производства с применением природных цеолитов

5.2 Разработка инновационных технологий обезвреживания, рекультивации и захоронения техногенных отходов с применением цеолитсодержащих пород

Разработка наиболее эффективных доступных технологий использования ЦСП в экозащитных мероприятиях основывается на использовании сочетаний традиционных технологий обогащения с инновационными методами повышения качества цеолитов, их переработки и модификации свойств. Применение ресурсосберегающих технологий на основе природных цеолитов обеспечивает их конкурентоспособность по отношению к синтетическим аналогам при существенной стоимостной доступности, обуславливающей значительный экономический эффект. Расширение направлений использования ЦСП за счет их

обогащения и повышения качества может позволить более эффективно использовать их при сорбции цезия и стронция из сточных и оборотных вод, в том числе вод промывки фосфогипса, очистке отходящих газов ТЭЦ, котельных и других промышленных объектов от меркаптана, оксидов серы и углерода, декарбонизации производства, извлечении или блокировании содержащихся в техногенных отходах мышьяка и ртути, снижении пыления хвостохранилищ и отвалов пород, а также при консервации, захоронении и утилизации отходов. Предложенная методология выделения главных методов и взаимосвязи обеспечивает комплексность использования техногенного сырья, существенно снижая негативное воздействие на компоненты окружающей природной среды.

Использование ЦСП, в том числе и обогащенных, в качестве предлагаемого инструмента по управлению отходами горного производства обеспечивает решение следующих стратегических задач:

- совершенствование системы управления отходами в горнопромышленном секторе экономики;
- разработка и внедрение наилучших доступных технологий;
- комплексность использования отходов горнопромышленного комплекса и ЦСП;
- внедрение ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий;
- повышение степени утилизации отходов;
- консервация (сохранение) техногенных месторождений;
- сохранение экосистем и ландшафтов.

Негативное влияние на расширение областей применения природных цеолитов имеет отсутствие систематизированной информации о возможностях их применения в технологиях защиты окружающей природной среды горнопромышленных комплексов, в том числе для утилизации и переработки отходов, рекультивации и консервации хвостохранилищ и отвалов пород, очистки сточных вод, создания геохимических барьеров и т. д. С развитием науки и технологии и созданием инновационных методов переработки и модификации

минерального сырья возможно достижение особых характеристик физико-химических свойств природных цеолитов, в том числе сопоставимых с синтетическими аналогами, при сохранении достаточно низкой стоимости.

Таким образом, расширение направлений применения цеолитов обусловлено обеспечением их высоких качественных характеристик, в том числе за счет применения методов их обогащения и направленной модификации, соответствующим образом систематизированных. Расширение и систематизация направлений применения природных цеолитов и наилучших доступных технологий повышения их качества обеспечит, в свою очередь, развитие сектора экономики по добыче и переработке цеолитсодержащих пород, а также их эффективное и оперативное использование в природоохранных технологиях.

5.2.1 Развитие технологий очистки сточных и оборотных вод с использованием природных цеолитов

Основные технико-экономические показатели современных горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий зависят от применяемых схем и технологий оборотного водоснабжения и водоочистки, выбор которых обуславливается наличием водных ресурсов, физико-химическими свойствами минерального сырья, технологиями его добычи и обогащения, а также химическим составом вод. Большое значение имеет показатель степени очистки сточных вод, влияющий на уровень загрязнения рек, водоемов и прилегающей к промышленному предприятию территории. Нанесение экологического ущерба происходит в том числе за счет сброса шахтных и карьерных сточных вод, стоков обогатительных фабрик, а также фильтрационных вод хвостохранилищ и техногенных отходов, загрязненных радионуклидами, ионами металлов, нефтепродуктами и токсичными элементами. В этой связи важную роль играет наличие НДТ по очистке сточных вод горнопромышленных предприятий, обеспечивающих решение проблемы загрязнения окружающей среды.

К одной из наиболее эффективных технологий настоящего времени относятся сорбционные, осадительные и мембранные процессы, применяемые для извлечения из сточных вод ионов металлов, нефтепродуктов и радионуклидов [100; 101; 159]. Технологии очистки сточных вод горнопромышленных предприятий могут быть реализованы за счет применения доступного сырья, обладающего уникальными сорбционными свойствами, а также имеющего высокую распространенность, доступность и низкую стоимость. Всем перечисленным требованиям в полной мере удовлетворяют различные алюмосиликатные минералы, в частности цеолитсодержащие породы. Отсюда вытекает необходимость разработки научно-методических основ применения ЦСП в технологиях очистки сточных вод с целью глубокого понимания процесса и определения рациональных параметров его осуществления.

Наиболее рациональными направлениями реализации технологий ресурсосбережения относительно водных ресурсов являются:

- 1) очистка сточных вод предприятий горноперерабатывающей промышленности с целью их безопасного сброса в водоемы;
- 2) повторное использование сточных вод (принцип системы оборотного водоснабжения).

Автором данной диссертационной работы проведены исследования по определению сорбционных характеристик ЦСП Восточного Забайкалья и возможности использования данного вида минерального сырья при обезвреживании загрязненных радионуклидами цезия и стронция сточных и оборотных вод, в том числе используемых в процессах обогащения минерального сырья.

Извлечение радионуклидов стронция и цезия из сточных и оборотных вод горнопромышленных предприятий является одной из наиболее остро стоящих проблем, определяющих обеспечение радиозэкологической безопасности и состояние окружающей среды на многие десятилетия. Методика проведения исследований включала изучение сорбционных характеристики ЦСП путем сорбции радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в статических условиях при непрерывном

перемешивании в течение 48 часов с последующим определением удельной активности радионуклидов. Расчет значений коэффициента распределения (K_d) производился по формуле 5.2.1:

$$K_d = \frac{A_0 - A_p}{A_p} \times \frac{V_p}{m_c}, \quad (5.2.1)$$

где A_0 , A_p – соответственно удельная активность радионуклида в исходном растворе и в фильтрате, Бк/дм³; V_p – объем жидкой фазы, см³; m_c – масса сорбента, г.

Удельная активность стронция и цезия определялась методом радиометрии на спектрометре СКС-50М с использованием программы Spectraline. При этом значения статической обменной емкости определялись по формулам 5.2.2 и 5.2.3 соответственно:

$$COE = (C_0 - C_p) \times V_p / m_c, \quad (5.2.2)$$

$$D_{Sr/Ca} = (K_d \times C_p) / COE, \quad (5.2.3)$$

где C_0 , C_p – соответственно концентрация ионов Ca^{2+} в исходном растворе и в фильтрате, ммоль/см³; K_d – коэффициент распределения ^{90}Sr , см³/г.

Исследования по изучению возможности сорбции цезия цеолитсодержащими породами крупностью > 0,2 мм из раствора нитрата натрия ($NaNO_3$) проводились при следующих параметрах: концентрация раствора нитрата натрия от 0,1 до 1,6 моль/дм³, pH=6,0, Т:Ж = 1:200, продолжительность сорбции 48 ч. Определение эффективности сорбции радионуклида цезия от концентрации ионов натрия в нитратном растворе производилось с использованием сорбента ФНС [145], а также ЦСП Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений.

Зависимость сорбции радионуклида цезия от крупности пород определялась на цеолите (шабазите) Талан-Гозагорского месторождения, обладающего наиболее высокими показателями сорбции, размеры частиц которого составляли от 2 до 0,2 мм. Сорбция из раствора нитрата натрия велась при следующих параметрах: концентрация раствора $NaNO_3$ 1,0 моль/дм³, pH-6,0, Т:Ж = 1:100, продолжительность сорбции 10 сут.

Эффективность сорбции радионуклида стронция и ионов кальция (Ca^{2+}) из раствора CaCl_2 исследовалась при следующих параметрах: концентрация раствора CaCl_2 0,01 моль/дм³, pH=6,0, концентрация ^{90}Sr 10⁵ Бк/дм³. Результаты исследований возможности сорбции радионуклида ^{137}Cs из растворов NaNO_3 ЦСП Восточного Забайкалья представлены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Значения коэффициента распределения (K_d) ^{137}Cs на исходных и обогащенных ЦСП Восточного Забайкалья при сорбции из раствора NaNO_3

Месторождение	Значения K_d ^{137}Cs , см ³ /г при сорбции из раствора	
	0,1 моль/дм ³ NaNO_3	1,0 моль/дм ³ NaNO_3
Исходные		
Бадинское	2210±90	131± 3
Холинское	1780±50	64± 3
Шивыртуйское	1590±40	81± 4
Талан-Гозагорское	1930±50	826± 4
Обогащенные до 98 %		
Бадинское	2470±90	248± 3
Холинское	1850±50	112± 3
Шивыртуйское	1680±40	137± 4
Талан-Гозагорское	2090±50	2112± 4

Анализ представленных в таблице 5.2.1 результатов показал, что среди изученных ЦСП наиболее высокой сорбционной способностью по отношению к ^{137}Cs обладают обогащенные шабазиты Талан-Гозагорского месторождения, значение K_d ^{137}Cs на которых на несколько порядков выше, по сравнению с остальными исследованными сорбентами. Существенное увеличение значений коэффициента распределения связано, по всей видимости, с увеличением и очисткой порового пространства цеолитов. Остальные цеолиты обладают примерно одинаковыми сорбционными характеристиками [185; 186; 188].

Зависимость эффективности сорбции цезия от концентрации ионов натрия в растворе NaNO_3 приведена на рис. 5.2.1. Полученные данные экспериментальных исследований позволили определить функции зависимости коэффициента распределения радионуклида цезия от концентрации ионов натрия в растворе NaNO_3 на ЦСП Талан-Гозагорского и Бадинского месторождений, а также на

сорбенте ФНС: 1. $y=68832x^{-0,061}$ (сорбент ФНС); 2. $y=1639x^{-0,836}$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения); 3. $y=217,96x^{-1,013}$ (Бадинского месторождения).

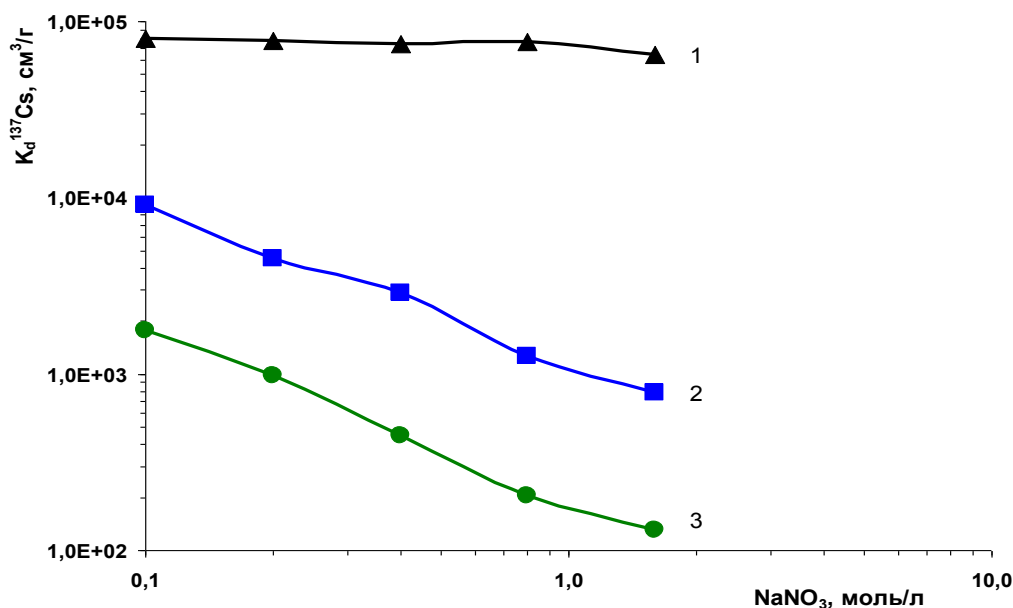


Рисунок 5.2.1 – Зависимость коэффициента распределения (K_d) ^{137}Cs от концентрации ионов Na^+ в растворе на различных сорбентах: 1 – ФНС; 2 – шабазит; 3 – клиноптилолит

Установлено, что при увеличении концентрации ионов Na^+ в растворе происходит снижение значений коэффициента распределения K_d ^{137}Cs на шабазите Талан-Гозагорского и клиноптилолите Бадинского месторождений. Ионнообменный характер сорбции радионуклида цезия обусловлен прямыми зависимостями K_d ^{137}Cs от C_{Na^+} в билогарифмических координатах. Выявлено, что значения K_d ^{137}Cs для Талан-Гозагорского шабазита значительно выше таковых Бадинского клиноптилолита в исследованном диапазоне концентраций NaNO_3 , что говорит о более высокой селективности шабазита по отношению к радионуклиду.

Результаты определения зависимости сорбции ^{137}Cs от размера частиц шабазита представлены в таблице 5.2.2 и на рисунке 5.2.2. Установлена функция зависимости коэффициента распределения радионуклида цезия на ЦСП Талан-Гозагорского месторождения от крупности частиц (рисунок 5.2.2), имеющая вид: $y=114,9x^2-74,455x+202,91$.

Таблица 5.2.2 – Значения коэффициента распределения (K_d) ^{137}Cs на шабазите различной крупности

Фракция сорбента, мм	-0,20	-0,5+0,2	-1+0,5	-2+1
Средний размер гранул, мм	0,20	0,35	0,75	1,50
K_d , $\text{см}^3/\text{г}$	187 ± 2	189 ± 5	220 ± 20	340 ± 25

Анализ полученных данных позволил установить, что значения коэффициента распределения K_d ^{137}Cs , полученные на шабазите Талан-Гозагорского месторождения, повышаются при увеличении его крупности за счет роста доли активной сорбционной фазы.

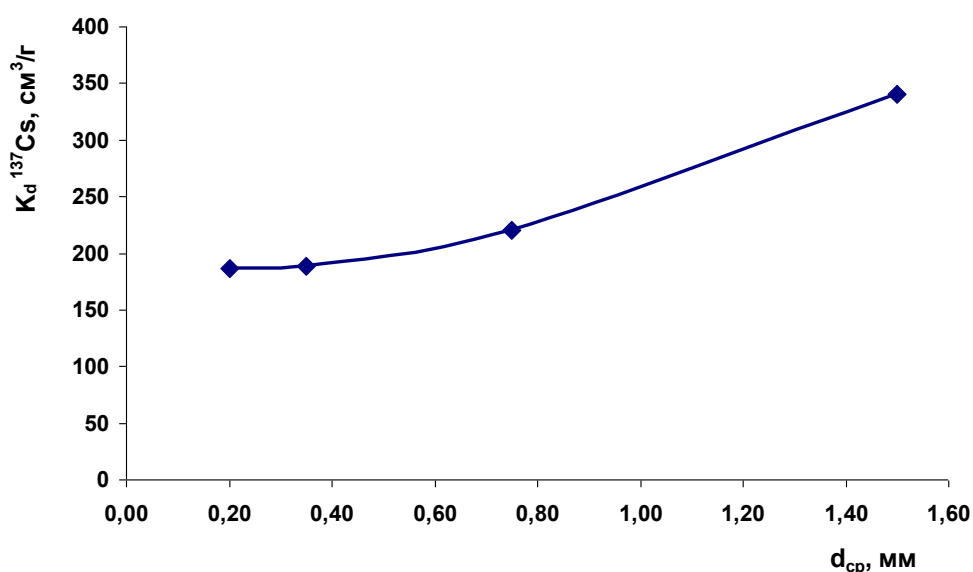


Рисунок 5.2.2 – Зависимость коэффициента распределения (K_d) ^{137}Cs от крупности шабазита (d_{cp})

Сравнительный анализ сорбционного извлечения ^{90}Sr и Ca^{2+} проводился на ЦСП Бадинского, Холинского, Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений. В таблице 5.2.3 приведены результаты определения коэффициента распределения радионуклида стронция, статической обменной емкости ЦСП Восточного Забайкалья по иону кальция и данные по расчету коэффициента разделения пары стронция и кальция.

Таблица 5.2.3 – Значения коэффициента распределения (K_d) ^{90}Sr , статической обменной емкости (СОЕ) по Ca^{2+} и коэффициента разделения пары Sr/Ca ($D_{\text{Sr}/\text{Ca}}$) на ЦСП Восточного Забайкалья

Месторождение	СОЕ по Ca^{2+} , ммоль/г	K_d ^{90}Sr , см ³ /г	$D_{\text{Sr}/\text{Ca}}$
Исходные			
Бадинское	0,82	1120±50	9,0
Холинское	0,74	185±5	1,8
Шивыртуйское	0,43	205±5	4,2
Талан-Гозагорское	0,45	65±4	1,3
Обогащенные до 98%			
Бадинское	1,65	3980±50	4,7
Холинское	0,24	340±10	14,3
Шивыртуйское	0,038	510±10	48
Талан-Гозагорское	<0,01	170±5	-

Анализ данных таблицы 5.2.3 позволил установить, что наиболее высокой сорбционной способностью к ^{90}Sr (K_d ^{90}Sr = 3980 см³/г) обладают обогащенные ЦСП Бадинского месторождения. В результате проведенных исследований определено, что природные цеолиты Восточного Забайкалья могут эффективно применяться в технологиях очистки сточных, оборотных и планируемых к использованию вод от радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs до установленных предельно допустимых концентраций (ПДК Cs^{137} = $1 \cdot 10^{-9}$ кюри/л; ПДК Sr^{90} = $2 \cdot 10^{-8}$ кюри/л).

Таким образом, увеличивающаяся скорость процесса нейтрализации кислых сред с применением природных цеолитов возрастает с уменьшением диаметра зерен сорбента и достигает максимальных значений, что объясняет целесообразность использования мелкозернистых сорбентов. Полученные в ходе проведения экспериментальных исследований данные позволили оценить гидролитические особенности природных цеолитов Шивыртуйского месторождения и определить оптимальные параметры нейтрализации окисленных вод: Т:Ж=0,1–0,2, фракционный гранулометрический состав природных цеолитов составляет 0,5–1,0 мм, время контакта 10–30 мин.

Проведенное сравнительное изучение кинетики ионного обмена на высококремнистых природных цеолитах Восточного Забайкалья, полученные

изотермы и соответственно рассчитанные значения изменения свободной энергии системы, констант сорбционного процесса позволили оценить скорость реакций обмена катионов тяжелых металлов на цеолитах в зависимости от их свойств и структуры [324].

На рисунке 5.2.3 приведены выходные кривые сорбции ^{137}Cs из модельного раствора, содержащего около 10^5 Бк/л, на природных цеолитах месторождений Восточного Забайкалья и Ирана. При этом объем сорбента в колонке составил 3 см^3 , а скорость фильтрации раствора – $12\text{--}15 \text{ см}^3/\text{ч}$ ($4\text{--}5 \text{ к.о./час}$).

На основании полученных аналитических и экспериментальных данных определены функции сорбции ^{137}Cs природными цеолитами Бадинского, Талан-Гозагорского и Западного месторождений (рис. 5.2.1.9): 1. $y=2155,1x^{-1,176}$ (ЦСП Бадинского месторождения); 2. $y=1122,6x^{-0,95}$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения); 3. $y=167,43x^{-1,097}$ (ЦСП Западного месторождения).

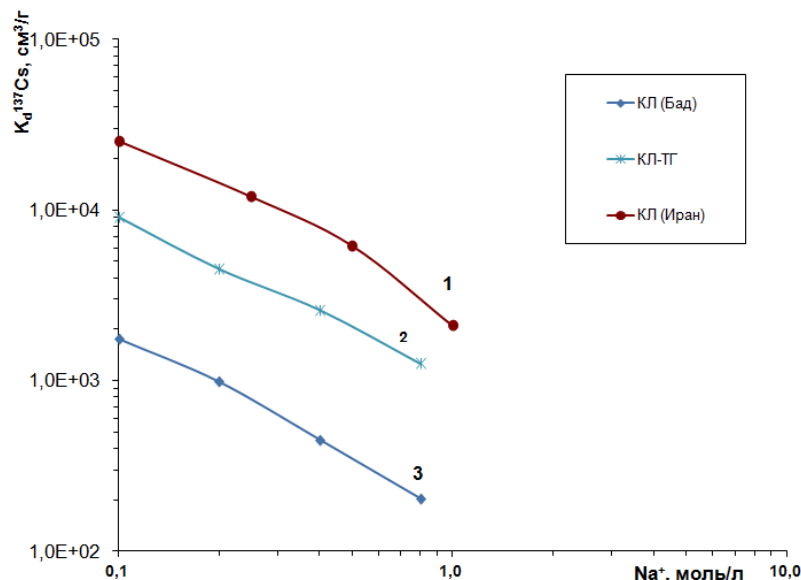


Рисунок 5.2.3 – Графики сорбции ^{137}Cs природными цеолитами Бадинского, Талан-Гозагорского и Западного месторождений

Результаты определения статической обменной емкости по иону кальция, коэффициента распределения радионуклида стронция и коэффициента разделения пары стронция и кальция на исходных и обогащенных природных цеолитах позволили установить, что наиболее высокой сорбционной способностью к поглощению радионуклида стронция ($1800 \text{ см}^3/\text{г}$) характеризуются подвергнутые процессам обогащения ЦСП Бадинского месторождения, а по отношению к ^{137}Cs

наиболее эффективны ЦСП месторождений «Западное» и «Талан-Гозагорское». При этом результаты, показанные ЦСП месторождения «Западное», близки к данным сорбента ФНС. Данные результаты исследований обуславливают возможность применения ЦСП для очистки сточных, оборотных и планируемых к использованию вод от радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs до необходимых ПДК.

С целью изучения влияния показателя pH технологических растворов процесс сорбции радионуклида цезия проведены экспериментальные исследования с использованием ЦСП Восточного Забайкалья. Полученные результаты показывают, что увеличение pH технологического раствора до показателя 12 не снижает эффективности очистки растворов от цезия, что, по всей видимости, связано с высокой устойчивостью матрицы сорбента к щелочным средам. Однако стоит отметить, что ЦСП крайне неустойчивы в кислых средах (при $\text{pH} < 3$) и в этой связи малоэффективны в данных условиях. По данным научных исследований установлено, что степень адсорбции радионуклидов ^{137}Cs природными цеолитами от концентрации раствора NaNO_3 при содержании непосредственно самих цеолитов более 98 % составляет 98 % (ЦСП месторождения «Западное», представленные клиноптилолитом), 85 % (шабазитовые породы Талан-Гозагорского месторождения), 55 % (морденит-клиноптилолитовые породы Бадинского месторождения) [195].

Таким образом, результаты экспериментальных исследований по очистке растворов от радионуклидов цезия природными цеолитами в условиях динамического потока показывают, что данный процесс можно проводить в широком диапазоне pH.

В процессе проведения исследований установлено, что природные цеолиты, используемые для очистки технологических и техногенных растворов от радионуклидов цезия и стронция, обладают достаточно высокой сорбционной способностью и селективностью к радионуклидам. Скорость сорбции природными цеолитами также относительно высока, они характеризуются химической и термической устойчивостью, достаточной для их использования в

технологиях очистки сточных вод горноперерабатывающих и горнодобывающих предприятий.

Необходимо отметить, что насыщенные радионуклидами ЦСП могут безопасно храниться в течение длительного времени по причине совместимости с цементными или стеклянными матрицами, в виде которых, как правило, производится захоронение отходов. Природные цеолиты являются доступными по критерию стоимости, даже при условии их существенного обогащения или модификации. Существенное значение имеет возможность регенерации цеолитовых сорбентов, которую можно эффективно проводить путем пропускания регенерационного раствора NaNO_3 с концентрацией 3,2 моль/л и $\text{pH}=5,5-6,0$ снизу вверх со скоростью 2,5–3,0 л/час. В данном случае объем регенерата составит от 4,5 до 5 л.

Данные, полученные при проведении исследований по изучению возможности сорбционной очистки сточных вод от радионуклидов, определяют не только эффективность применения природных цеолитов для удаления ^{90}Sr и ^{137}Cs , но и открывают перспективы их использования при выработке инженерных решений для реализации горнопромышленными предприятиями природоохранных мероприятий, в том числе при захоронении или складировании радиоактивных и токсичных отходов.

При этом авторами [280] при проведении научных исследований установлено, что анальцитом достаточно прочно удерживает уран, 2,3 % которого десорбируется при обработке водой и по 12,1 % – кислотой и ацетатом аммония. Результаты проведенных исследований определяют возможность применения анальцитсодержащих пород при очистке сточных вод от радионуклидов, что расширяет список типов природных цеолитов, которые могут быть эффективно использованы в природоохранных технологиях, в том числе и в горной промышленности.

Таким образом, в природозащитных технологиях возможно использование ЦСП, в частности, при очистке сточных и шахтных вод от радионуклидов цезия, стронция и урана. При этом применение обогащенных до 98 % ЦСП является

наиболее эффективным, обеспечивающим сорбцию радионуклидов на уровне 99 %.

Очистка сточных вод горнопромышленных предприятий от нефтепродуктов природными цеолитами. Одним из существенных воздействий является ее загрязнение нефтепродуктами. К числу наиболее значимых загрязнений техногенного характера относятся аварийные разливы нефтепродуктов в виде бензина, керосина, дизельного топлива, мазута и др. [7; 162; 180]. Нефтепродукты, поступая в различные водные объекты (озера, реки, ручьи и т. д.), образуют на поверхности воды пленку, эмульгированные или растворенные формы, а также оседают на дно водоемов.

Существует большое количество способов предотвращения и ликвидации разливов нефтепродуктов [5–10; 328; 329]. Однако большинство технологий реагирования в зимний период характеризуются недостаточной эффективностью, особенно при попадании в воды тяжелых нефтепродуктов, что связано с быстро изменяющимися их физико-химическими свойствами. В настоящее время сорбционный метод является эффективным техническим решением для очистки вод от нефтепродуктов. Применение синтетических сорбентов связано с высокими затратами, что обуславливает необходимость разработки эффективных, доступных и экономически целесообразных технологий для очистки сточных и оборотных вод от нефтепродуктов. На данном этапе развития техники и технологии в области сорбции нефтепродуктов зачастую рекомендуется использовать минеральные сорбенты, среди которых особое место занимают природные цеолиты, обладающие набором уникальных технологических свойств, в первую очередь ионообменных и сорбционных.

Как показывает практика очистки сточных и оборотных вод от нефтепродуктов, наибольшей эффективностью отличаются сыпучие сорбенты, имеющие достаточно высокую нефтеемкость, сочетающуюся с гидрофобностью и экологичностью. Все это обусловило выбор модельного ряда сорбирующих материалов, способных обеспечить эффективную очистку сточных и оборотных вод от нефтепродуктов. В качестве образцов для лабораторных экспериментов

использовали природные цеолиты месторождений Восточного Забайкалья. Методика проведенных совместно с коллегами из Дальневосточного федерального университета исследований [8; 95] заключалась в следующем. В качестве сорбата использовался мазут марки М₁₀₀. Возможность сорбции мазута природными цеолитами Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений различной крупности и степени обогащения изучалась посредством исследования основных характеристик, влияющих на эффективность данного процесса, к которым относятся нефтеемкость и влагоемкость. Исследования проводились по стандартным методикам (ТУ 214-10942238-03-95) [57]. Методика проведения эксперимента по изучению показателя нефтеемкости включала следующие этапы: погружение на мелкоячеистой сетке в налитый в чашку Петри мазут пяти грамм сорбента; извлечение сетки по истечении 10 минут; взвешивание насыщенных сорбентов на аналитических весах. Нефтеемкость при этом рассчитывалась по формуле 5.2.4, результаты определения представлены в таблице 5.2.4.

Таблица 5.2.4 – Нефтеемкость экспериментальных образцов

Сорбент	Класс крупности, мм	Нефтеемкость, %
Исходные		
Шивыртуйское	-2+1	175
Шивыртуйское	-1+0,5	228
Талан-Гозагорское	-2+1	175
Талан-Гозагорское	-1+0,5	180
Обогащенные		
Шивыртуйское	-2+1	221
Шивыртуйское	-1+0,5	282
Талан-Гозагорское	-2+1	218
Талан-Гозагорское	-1+0,5	229

$$C = \frac{M_{н.ср}}{M_c} * 100 \%, \quad (5.2.4)$$

где С – нефтеемкость; М_с – масса цеолита, г; М н. ср – масса цеолита с мазутом, г.

Анализ данных таблицы показал, что наиболее высокой нефтеемкостью обладают обогащенные ЦСП Шивыртуйского месторождения крупностью -1+0,5 (1:2,82). При этом достаточно высокий показатель нефтеемкости (1:2,29)

характерен для обогащенных ЦСП Талан-Гозагорского месторождения аналогичного класса крупности.

Определение значений показателя влагоемкости ЦСП Восточного Забайкалья производилось по методике, включающей последовательно наполнение водой чашек Петри разного диаметра, помещение в них ЦСП, заполнение чашки наибольшего диаметра цеолитовыми породами на высоту 3 мм, постепенное заполнение последующих чашек с меньшим диаметром цеолитовыми породами до 30 мм. По истечении трех часов цеолиты извлекались и взвешивались. Показатель влагоемкости рассчитывался по формуле 5.2.5, результаты определения которого отражены в таблице 5.2.5.

$$W = \frac{M_c - M}{M} * 100 \%, \quad (5.2.5)$$

где W – влагоемкость ЦСП, %; M_c – масса насыщенного сорбента, г; M – масса сухого сорбента, г.

Таблица 5.2.5 – Влагоемкость ЦСП Восточного Забайкалья

Месторождение природных цеолитов	Класс крупности, мм	Влагоемкость, %
Исходные		
Шивыртуйское	-2+1	91
Шивыртуйское	-1+0,5	82
Талан-Гозагорское	-2+1	46
Талан-Гозагорское	-1+0,5	62
Обогащенные		
Шивыртуйское	-2+1	85
Шивыртуйское	-1+0,5	77
Талан-Гозагорское	-2+1	39
Талан-Гозагорское	-1+0,5	48

В результате проведения исследований определено, что обогащенные ЦСП Талан-Гозагорского месторождения характеризуются более низкой влагоемкостью по сравнению ЦСП Шивыртуйского с месторождения. Значения показателя их влагоемкости сопоставимы с параметрами сорбентов специального назначения (НСТ, биоматрикс, лессорб) [9; 86].

Таким образом, установлено, что ЦСП Шивыртуйского месторождения крупностью $-1+0,5$ мм являются наиболее эффективными сорбентами нефтепродуктов по сравнению с ЦСП Талан-Гозагорского месторождения [196]. Достаточно низкие показатели влагоемкости ЦСП Шивыртуйского месторождения в полной мере компенсируются их высокой нефтеемкостью.

Аппаратурную реализацию процесса очистки сточных и оборотных вод горнопромышленных предприятий от нефтепродуктов рекомендуется осуществлять с использованием разработанной в Забайкальском государственном университете конструкции (рисунок 5.2.4) фильтра для очистки жидкости (Патент РФ 2230596), производство которого осуществляется на Заводе горного оборудования (п. Дарасун, Забайкальский край).

Необходимо отметить, что обогащение ЦСП с применением разработанных автором технологий способствует увеличению нефтеемкости цеолитов на 50 %, расширяя тем самым направления их практического применения, в том числе при очистке сточных и оборотных вод горнопромышленных предприятий.

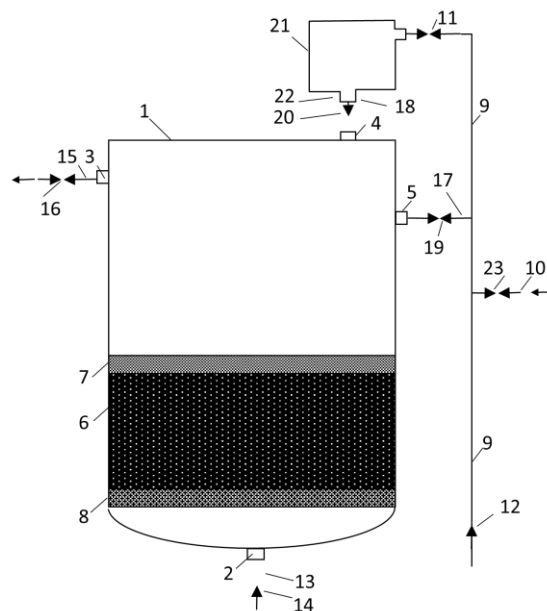


Рисунок 5.2.4 – Фильтр для очистки жидкости от нефтепродуктов и радионуклидов (1 – корпус; 2 и 22 – патрубки подачи жидкости; 3 – отвода фильтрата; 4 и 5 – подачи растворов для регенерации; 6 – слой сорбционно-фильтрующего материала; 7 и 8 – перегородки; 9 – трубопровод; 10 – трубопровод нагнетания жидкости; 11, 12, 14, 16, 19, 20, 23 – вентили; 13 – канал отвода загрязнений; 15, 17, 18 – каналы; 21 – резервуар) [140]

5.2.2. Технологии рекультивации нарушенных земель на основе применения цеолитсодержащих пород

Деятельность горнопромышленных комплексов приводит к образованию больших объемов минеральных отходов, не стал исключением и Забайкальский регион, на территории которого, по данным за 2018 г., действующими предприятиями накоплено 725,5 млн т отходов [46]. Серьезной проблемой для экологии являются отвалы вскрышных пород, забалансовых и некондиционных руд, а также хвосты обогащения. Наибольшую опасность представляют отходы горного производства, накопленные в хвостохранилищах и представляющие собой техногенное сырье с высокой концентрацией тяжелых металлов, радионуклидов и токсичных веществ. Всего на территории Забайкальского края насчитывается более 30 хвостохранилищ, из них 12 в настоящее время остаются бесхозными и представляют серьезную угрозу для окружающей среды населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от техногенных объектов (табл. 5.2.6). Такие объекты опасны в первую очередь разносом на близлежащие территории пылевидных частиц, содержащих зачастую токсичные и радиоактивные элементы, а также тяжелые металлы. Требуется применение специальных технологий, адаптированных к климатическим условиям территории Забайкалья. В этой связи были проведены исследования по возможности рекультивации/консервации хвостохранилища Шерловогорского ГОКа, расположенного в непосредственной близости к п. Шерловая гора Забайкальского края. Данный техногенный объект является достаточно крупным заброшенным источником техногенного загрязнения окружающей среды прилегающих территорий и наносит существенный вред экосистеме района, загрязняя почвы и водоемы такими элементами, как мышьяк, свинец, висмут, цинк, олово и др. Крайне важной является необходимость предотвращения пыления поверхности хвостохранилища эффективными и рентабельными способами.

Таблица 5.2.6 – Характеристика неэксплуатируемых хвостохранилищ обогатительных фабрик и отходов производства как техногенных объектов загрязнения окружающей природной среды (по [54] с дополнениями автора)

Горно-обогатительное предприятие	Наименование месторождения	Занимаемая площадь, га	Технологический тип образовавшихся отходов	Гранулометрический состав отходов производства	Общий объем сформированного техногенного объекта, тыс. т	Степень опасности отходов для окружающей природной среды	Количественный показатель по числу проживающих людей в зоне загрязнения
1	2	3	4	5	6	7	8
АО «Калангуйский плавикошпатовый комбинат», Рудник Калангуй	Калангуйское флюоритовое, привозная руда (Усуглинское, Солонечинское месторождения)	27,3	Отходы флотационного производства	Мелкие пески (77 % кл. – 0,2 мм)	1573	Нет данных	2800 (пгт Калангуй)
ОАО «Нерчинский полиметаллический комбинат». Рудник Благодатка	Благодатское полиметаллическое	37	Хвосты флотационного процесса	–	2017,4	II класс опасности (Pb, Zn, Cd, As)	1563 (с. Горный Зерентуй)
«Нерчинский полиметаллический комбинат». Рудник Кадая	Акатуевское полиметаллическое	10,8	Хвосты флотационного процесса	–	1374	II класс опасности (Pb, Zn, Cd)	1225 чел. п. Новый Акатуй
«Нерчинский полиметаллический комбинат». Рудник Кадая	Кадаинское полиметаллическое	61	Хвосты флотационного процесса	Илисто-зернистый материал 65 % класса – 0,074 мм	2270,6	II класс опасности (Pb, Zn, Cd, As, S)	1277 (с. Кадая)
«Калангуйский плавикошпатовый комбинат». Рудник Абагайтуй.	Абагайтуйское флюоритовое	1	Отходы гравитационного обогащения	Зернистый материал крупностью – 20 мм	85	пыление сухих пляжей	918 (с. Абагайтуй)

1	2	3	4	5	6	7	8
«Рудник Усугли»	Усуглинское флюоритовое	18	Отходы флотационного процесса	Сыпучий материал крупностью – 0,2 мм (74 %)	620	пыление сухих пляжей	2690 чел. (с. Верх-Усугли)
ОАО «Уралэлектромедь Амазар»	Давендинское, Александровское золоторудные	21	Отходы флотационного обогащения	Тонкозернистый материал	3485	II класс опасности (S, As, Mo, Pb, Cu, Zn)	1348 (пгт Давенда)
ПАО «ППГХО»	Шахтаминское молибденовое	16	Хвосты обогатительной фабрики	- 200 мм – 70,8 %; - 140-200 мм – 19,0 %; + 140 – 10,2 %	4524	II класс опасности (S, Mo, Pb)	1763 (с. Вершино-Шахтаминский)
Рудник Хапчеранга комбината «Востсиболово»	Хапчерангинское оловорудное	4	Хвосты гравитационно-флотационного обогащения	Зернисто-илистый материал	6200	II класс опасности (Pb, Zn, As, Sn)	1082 (с. Хапчеранга)
«Забайкалзолото» Рудник «Любовь»	Любавинское золоторудное	16	Хвосты обогащения	Измельченный материал до 1 мм	285	нет сведений	951 (с. Любовь)
«Калангуйский плавикошпатовый комбинат» Рудник Солонечный	Солонечное флюоритовое	7,5	Хвосты обогащения	Сыпучий материал крупностью 0,2 мм (70%)	705	нет сведений	898 (н. п. Рудник Солонечный)
Шерловогорский ГОК	Шерловогорское олово-вольфрамовое	80	Хвосты обогащения	Зерно-илистый материал крупностью 0,2 мм	17617,3	II класс опасности As, Sr, Pb, Zn, Cu, Sn, Cd, Sb, W, Ag	11700 (пгт Шерловая гора)

Практика применения различных химических составов, в том числе с добавлением структурообразующих комплексов, с целью предотвращения пыления хвостохранилищ показывает, что они должны соответствовать следующим критериям [100]: доступность и дешевизна; нетоксичность; растворимость в воде для более эффективного нанесения; возможность создания прочной корки на поверхности хвостохранилища; возможность прорастания семян при использовании в процессе биологической рекультивации; высокая скорость смачивания реагентами минеральных частиц; эффективность адгезионных и когезионных свойств.

Перечисленным требованиям вполне соответствуют такие доступные водорастворимые реагенты, как полиакриламид ПАА-ГС и Праестол 2540, а также лигнин. Реагент Праестол 2540 представляет собой органическое, синтетическое и высокомолекулярное вспомогательное средство флокуляции на основе технически чистого полиакриламида, водный раствор которого характеризуется нейтральным (неионогенным) поведением. Полиакриламид ПАА-ГС представляет собой смесь полиакриламида с сульфатом аммония. Оба предлагаемых к использованию реагента являются растворимыми в воде, негорючими, взрыво- и пожаробезопасными веществами, относящимися по степени воздействия на организм к IV классу опасности.

С целью обеспечения возможности проведения рекультивации поверхности хвостохранилищ и предотвращения пыления их поверхностей автором предложена комбинированная технология, преимуществом которой является использование ЦСП в составе орошающей смеси, обеспечивающей достаточно низкие затраты на реализацию процесса, а также высокую эффективность прорастания многолетних трав. При этом остается не исследованным влияние качества цеолитов на эффективность биологической рекультивации (прорастание семян), а также на действие применяемых реагентов при создании поверхности (корки) хвостохранилища. При проведении исследований изучалась возможность применения в составе орошающей смеси ЦСП Шивыртуйского, Бадинского и Холинского месторождений, отличающихся между собой по физико-химическим

свойствам и степени обогащения (очистки от вмещающих примесей). Кроме того, исследовались физико-механические параметры покрытия (корки), образующегося при обработке им хвостовых отложений, к которым относятся концентрация реагента, кинематическая вязкость растворов, скорость инфильтрации, глубина пропитки грунта.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Проведенные исследования включали следующие варианты рекультивации материала хвостов Шерловогорского ГОКа: обработку реагентами без использования ЦСП и без высадки трав, с применением ЦСП Шивыртуйского, Бадинского, Холинского и Талан-Гозагорского месторождений с содержанием цеолита 40, 60, 90 и 98 %, а также смеси многолетних трав, включающей кострец безостый (42 %), пырейник сибирский (42 %) и пырей бескорневищный (16 %). Необходимо отметить, что природные ЦСП с содержанием цеолита 98 % представляют собой обогащенное сырье с применением методов направленного воздействия, магнитной и электростатической сепарации. Выбор семян для посева основывался на возможности их адаптации к суровым климатическим условиям региона (таблица 5.2.7).

Таблица 5.2.7 – Характеристика многолетних трав, применяемых для закрепления пылящих поверхностей

№ п/п	Вид травы	Содержание компонентов, %					
		Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Кальций	Фосфор
1	Кострец безостый	11,5	2,3	27,3	40,1	0,4	0,15
2	Пырейник сибирский	9,1	1,7	26,2	38,8	0,4	0,49
3	Пырей бескорневищный	8,3	1,3	27,0	41,5	0,4	0,13

Для приготовления гидросмеси изучалась возможность использования трех реагентов с целью закрепления пылящих поверхностей: полиакриламид ПАА-ГС, лигнин и Праестол 2540. Площадь каждой опытной делянки для исследования процесса рекультивации составила 0,25 м². Высота трав определялась каждые 10 дней в 12-кратной повторности. Делянки обрабатывались гидросмесью с содержанием ЦСП 1,6 кг, производилось рыхление слоя поверхности на глубину 10–13 см, высевались семена многолетних трав (30 г/м²), поверхность первой

делянки обрабатывалась реагентом ПАА-ГС с концентрацией 0,1 % из расчета 1,5 л/м², второй делянки – раствором известкового молока (концентрация 5 %) с расходом 1,5 л/м² и раствором Праестола 2540 (концентрация 0,1 %) с расходом 1,5 л/м², а третьей делянки – лигнином с 0,3 %-ной концентрацией и расходом 5 л/м², после чего проводилось укатывание поверхности экспериментального участка ручным катком для уплотнения грунта.

Методика проведения исследований по определению эффективности пылеподавления включала проведение эксперимента в камерной лабораторной установке для определения концентрации пыли при скорости движения воздуха 3–5 м/с и крупности частиц 0,071–0,25 мм. Установка представляет собой пылевую камеру, имитирующую промышленную площадку (хвостохранилище), на которой определяется пылеунос частиц, и приборный блок. В пылевой камере находится вентилятор, с помощью которого находящийся в камере (в загрузочном ящике) материал хвостохранилища (обработанный гидросмесью или необработанный) подвергается ветровому воздействию при различной скорости воздушного потока, от 3 до 5 м/с. Скорость ветра определялась анемометром. Воздушный поток, проходя над поверхностью материала хвостохранилища в коробе, выносит частицы различных фракций. Выдуваемые минеральные частицы оседают в приемной камере установки и анализируются. Вес материала хвостохранилища определяется до эксперимента и после него. Исследования проводятся для установления количества и фракционного состава выдуваемых частиц при различных скоростях ветра и влажности материала хвостохранилища. Эксперимент проводился при постоянной температуре и влажности воздуха. По результатам эксперимента строится график зависимости дальности пылеуноса от крупности частиц с применением процесса закрепления поверхности и без такового.

Исследования показали, что по скорости появления всходов травы, высаженные в грунт с ЦСП при содержании цеолита 90 и 98 %, опережали травы, высаженные в грунт с ЦСП при содержании цеолита 40 и 60 %, на 8–10 дней. При одновременных сроках посева массовые всходы у трав в грунте с ЦСП при

содержании цеолита 98 % появлялись на 5–6-й день, при содержании цеолита 90 % – на 9–10-й день, а у трав в грунте с ЦСП при содержании цеолита 40 и 60 % – на 14–15-й день. Наибольшую скорость появления всходов (5 дней) имеет грунт, содержащий в качестве добавки обогащенные до содержания 98 % цеолиты типа шабазит Талан-Гозагорского месторождения. Данный фактор связан с уникальными физико-химическими свойствами шабазита, в частности с высокой сорбционной способностью (около 20–23 % вес. по воде) и ионообменной емкостью (около 3,8 мг·экв/г), а также универсальным диаметром каналов в каркасе, что при применении реагентов (полиакриламида ПАА-ГС, лигнина, Праестола 2540) обуславливает формирование на поверхности хвостохранилища устойчивой корки грунта толщиной до 20 см за счет закрепления частиц между собой посредством создания «мостичных связей» через поглощенные макромолекулы реагента. Эффективность применения в качестве добавки обогащенных до 98 % ЦСП также подтверждается достаточно высокими скоростями появления всходов многолетних трав (6 дней) [146].

Установлено, что на большей части делянок сформировались густые травостой с достаточно высокой плотностью побегов (3,2–4,8 тыс. на 1 м²). При этом более плотные травостой формировались на участках грунта с добавкой обогащенных до 98 % цеолитов (4,8 тыс/м²), а также цеолитов с содержанием 90 % (4,4 тыс/м²). На участках с грунтами, включающими цеолитовые породы с содержанием цеолитов 40 и 60 % с травостой составили 3,2 и 3,6 тыс. побегов на 1 м². Более низкий показатель травостоя на участках грунта с цеолитами 40 и 60 % объясняется тем, что, помимо слабого структурообразующего действия цеолитов (по причине их достаточно низкого содержания), на интенсивность всхожимости трав оказывает негативное влияние высокое содержание монтмориллонита в комплексе с другими вмещающими примесями, обуславливающими обволакивание семян и препятствующими их прорастанию. В последующий период до 30 августа густота травостоев практически не изменилась, а средняя скорость отрастания трав составила 1,1–4,4 мм/сут (рисунок 5.2.4–5.2.6).

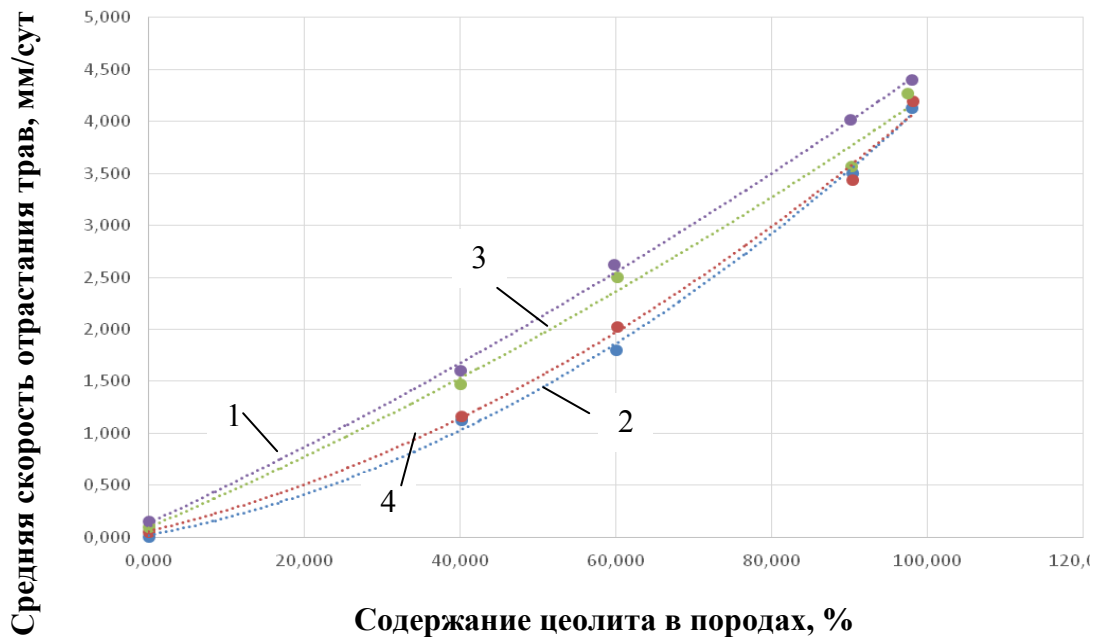


Рисунок 5.2.4 – Зависимость средней скорости отрастания многолетних трав от содержания цеолита в породах при использовании в качестве добавки к грунту (полиакриламид ПАА-ГС): 1 – ЦСП Бадинского месторождения; 2 – ЦСП Шивыртуйского месторождения; 3 – ЦСП Холинского месторождения; 4 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения

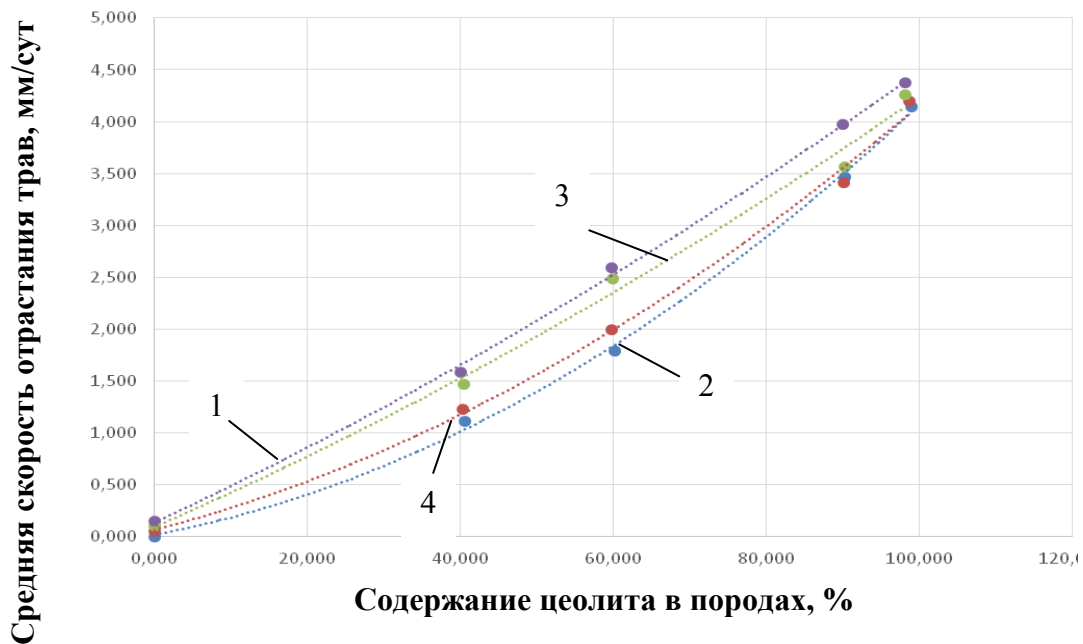


Рисунок 5.2.5 – Зависимость средней скорости отрастания многолетних трав от содержания цеолита в породах при использовании в качестве добавки к грунту (лигнин): 1 – ЦСП Бадинского месторождения; 2 – ЦСП Шивыртуйского месторождения; 3 – ЦСП Холинского месторождения; 4 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения

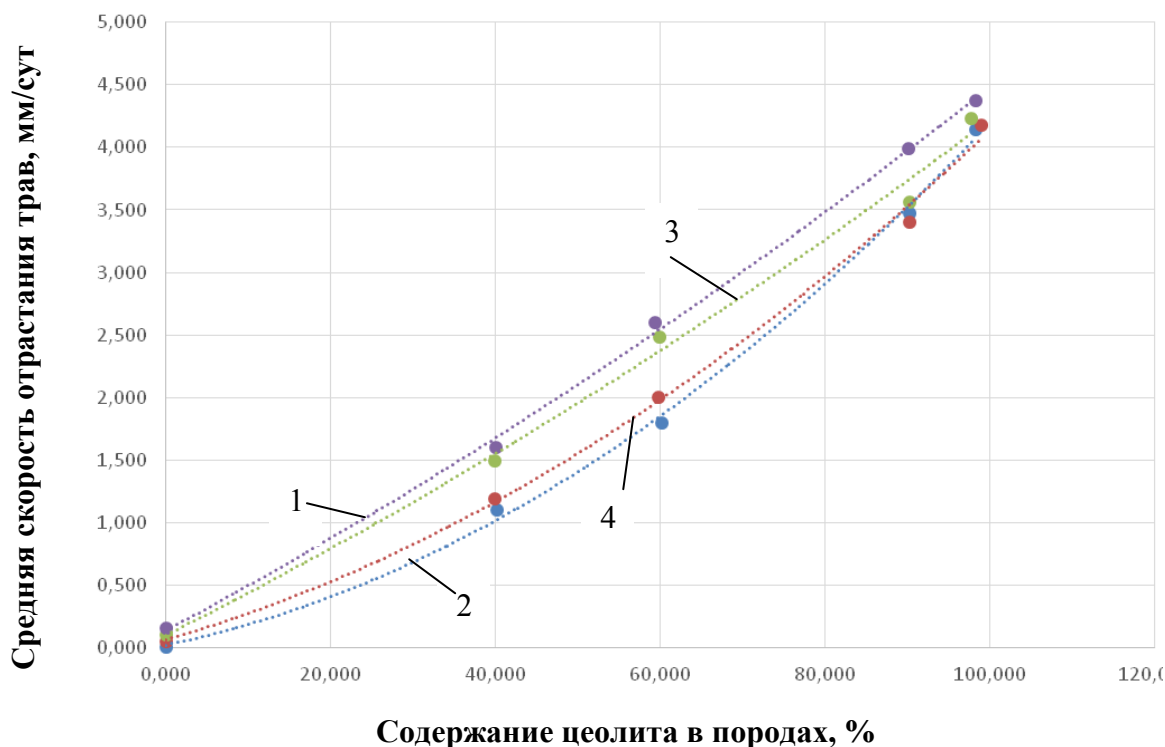


Рисунок 5.2.6 – Зависимость средней скорости отрастания многолетних трав от содержания цеолита в породах при использовании в качестве добавки к грунту (Праестол 2540): 1 – ЦСП Бадинского месторождения; 2 – ЦСП Шивыртуйского месторождения; 3 – ЦСП Холинского месторождения; 4 – ЦСП Талан-Гозагорского месторождения

На основании полученных экспериментальных и аналитических данных по закреплению пылящих поверхностей Шерловогорского хвостохранилища установлены функции зависимости средней скорости отрастания многолетних трав от содержания цеолита в породах, используемых в качестве добавки к грунту, имеющие вид:

При применении реагента ПАА-ГС (рисунок 5.2.4): 1. $y=0,0582x-0,6067$ (ЦСП Бадинского месторождения); 2. $y=0,00004x^2+0,0399x-0,1534$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); 3. $y=0,0003x^2+0,265x+0,0072$ (ЦСП Холинского месторождения); 4. $y=-0,0020x^2+0,265x+0,0072$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

При применении лигнина (рисунок 5.2.5): 1. $y=0,0005x^2-0,0129x+0,8788$ (ЦСП Бадинского месторождения); 2. $y=0,0004x^2-0,0035x+0,7835$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); 3. $y=0,00002x^2+0,0429x-0,2526$ (ЦСП

Холинского месторождения); 4. $y=0,00007x^2+0,057x-0,5874$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

При применении реагента Праестол 2540 (рисунок 5.2.6): 1. $y=0,0582x-0,6067$ (ЦСП Бадинского месторождения); 2. $y=0,00004x^2+0,0399x-0,1534$ (ЦСП Шивыртуйского месторождения); 3. $y=0,0003x^2+0,265x+0,0072$ (ЦСП Холинского месторождения); 4. $y=-0,0020x^2+0,265x+0,0072$ (ЦСП Талан-Гозагорского месторождения).

Наивысшая скорость отрастания многолетних трав, используемых при рекультивации Шерловогорского хвостохранилища, достигается с добавлением в грунт обогащенных до содержания 98 % цеолитов Холинского и Талан-Гозагорского месторождений и составляет 4,2 и 4,4 мм/сут соответственно. Наиболее эффективно процесс отрастания многолетних трав наблюдается при использовании полиакриламида ПАА-ГС. Получаемый эффект обуславливается достигнутыми в процессе обогащения ЦСП качественными характеристиками: высокое содержание цеолитов (98 %) с глубокой очисткой их пор от вмещающих примесей и органики, обеспечивающих повышение сорбционных, структурообразующих и пролонгирующих свойств минералов.

Определено, что применение комплексного метода обеспыливания Шерловогорского хвостохранилища с использованием природных цеолитов, обогащенных до 98 %, и расхода полиакриламида ПАА-ГС с концентрацией 0,1 % и из расчета 1,5 л/м² обеспечивает повышенные прочностные свойства, что обуславливает создание более прочной связи частиц в верхнем слое хвостов. Эффективное снижение пылеобразования и переноса пыли обеспечивается в данном случае достаточной прочностью покрытия хвостохранилища, его водо- и ветроустойчивостью, температуростойкостью, экологической безопасностью, долговечностью и способностью не препятствовать прорастанию семян многолетних трав.

В этой связи с целью подтверждения разработанного способа рекультивации и закрепления пылящих поверхностей (Патент РФ № 2513468) проведены исследования по определению эффективности пылеподавления, в результате

которых получены функции, характеризующие пылеунос частиц крупностью 0,071–0,25 мм при скорости ветра 3–5 м/с (рис. 5.2.7): $y=17,555e^{-0,024x}$ (без обработки ПАА-ГС); $y=27,058e^{-0,07x}$ (с обработкой ПАА-ГС). Функция 1 характеризует зависимость дальности пылеуноса от крупности частиц без применения процесса закрепления поверхности водорастворимым полимером при скорости движения воздуха 3–5 м/с и крупности частиц 0,071–0,25 мм, а функция 2 определяет эффект, достигаемый за счет внесения в разрыхленный грунт гидросмеси цеолита с семенами многолетних трав и орошением реагентом ПАА-ГС при расходе 1,5 л/м². Сравнительные характеристики применения реагентов для пылеподавления приведены в таблице 5.2.8.

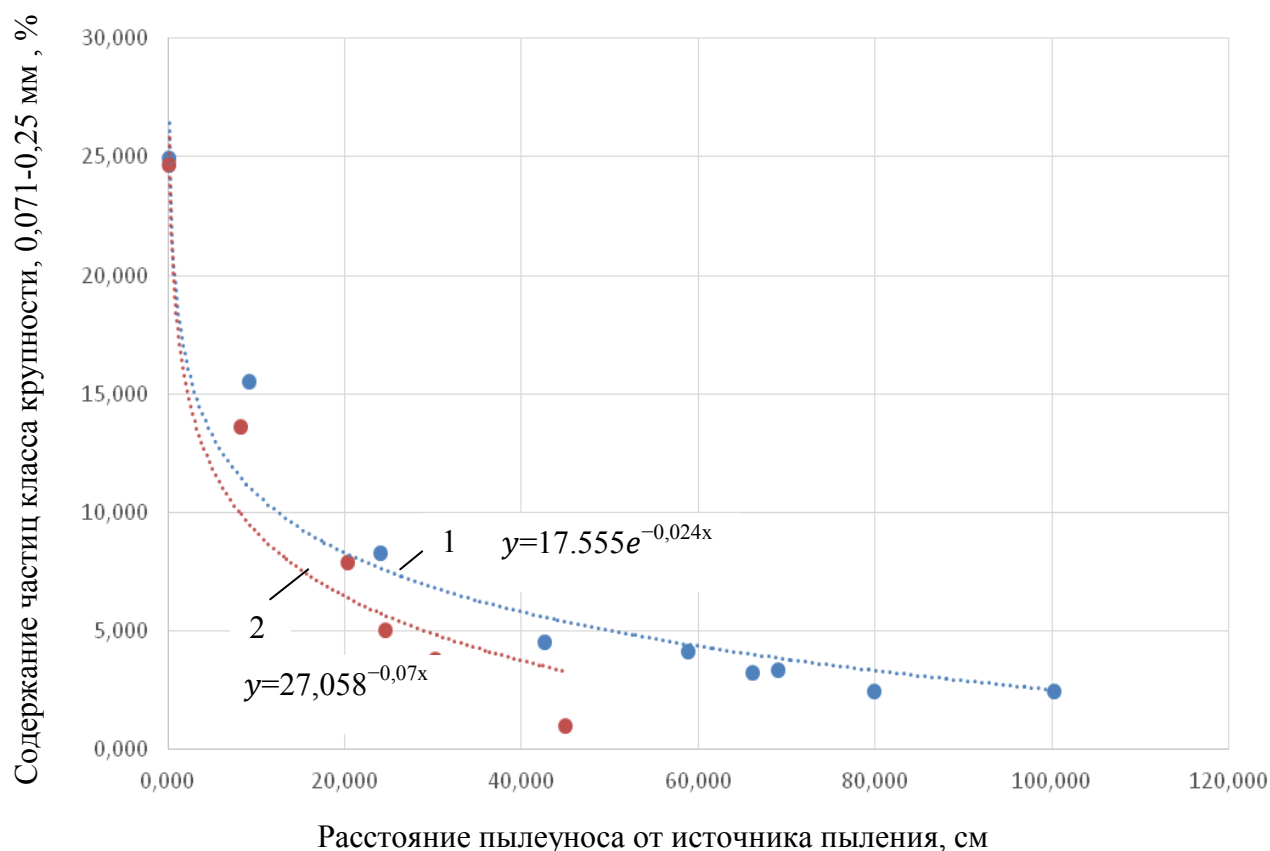


Рисунок 5.2.7 – Характеристика пылеуноса частиц крупностью 0,071–0,25 мм при скорости ветра 3–5 м/с (1 – пылеунос без обработки ПАА-ГС; 2 – пылеунос с обработкой ПАА-ГС)

Полученные в результате проведения экспериментальных исследований данные позволили заключить, что предлагаемый способ закрепления пылящей поверхности рыхлением на 12–13 см, внесением гидросмеси обогащенного до 98

% цеолита и семян многолетних трав с орошением водорастворимым полимером ПАА-ГС является наиболее эффективным и обеспечивает длительное сохранение защитной корки грунта, предотвращает выдувание семян и обуславливает их интенсивное прорастание.

Оценка физико-механических свойств растворов и прочности покрытия – корки, образующейся при обработке ими хвостовых отложений, показали, что нанесение на поверхность хвостохранилища раствора с содержанием реагентов 0,05 % (ППА-ГС, Праестол 2540, лигнин) не позволяет получить достаточно прочного покрытия. С увеличением концентрации раствора реагента и использованием в качестве добавки обогащенных до 98 % ЦСП происходит повышение прочности образующейся корки до определенного предела (0,1–0,2 %-го раствора), после чего наблюдается равновесие, а в некоторых случаях и снижение рассматриваемого показателя на 30–50 %.

Таблица 5.2.8 – Сравнительная характеристика гидросмесей для закрепления пылящих поверхностей

Характеристика	Гидросмесь					
	ПАА-ГС	ПАА с цеолитом 98 %	Лигнин	Лигнин с цеолитом 98 %	Праестол 2540	Праестол 2540 с цеолитом 98 %
Прочность корки	0,80	1,0	0,48	0,70	0,70	1,0
Водостойкость покрытия	0,56	0,85	0,65	0,70	0,50	0,85
Эффективность снижения запыленности	0,90	0,99	0,70	0,80	0,85	0,99
Концентрация раствора, %	0,10	0,10	0,30	0,3	0,1	0,1
Удельный расход, л/м ²	1,50	1,50	5,00	5,00	1,50	1,50

Дальнейшее увеличение концентрации раствора реагента до 0,25 % приводит к резкому падению показателя прочности создаваемого покрытия до 0,9–1,2 кгс/см². С ростом концентрации реагента в растворе происходит увеличение параметра его вязкости, что непосредственным образом влияет на скорость инфильтрации и на глубину его проникновения в грунт. Установлено, что скорость инфильтрации раствора хвосты с ростом концентрации с 0,5 до 2 %

резко уменьшается с одновременным снижением глубины проникновения раствора (гидросмеси) в грунт.

На основании результатов эксперимента, представленных в таблице 5.2.9, установлено, что наиболее эффективным является закрепление пылящей поверхности хвостохранилища 0,1 %-м раствором реагента (ППА-ГС, Праестол 2540). Применение растворов с большей концентрацией нерационально по причине их меньшей проникающей способности в грунт, что не позволяет обеспечить повышение прочности корки.

Необходимо отметить, что при увеличении концентрации раствора до 1–2 %-ного содержания реагента и применении в качестве добавки небогатенных цеолитсодержащих пород с высоким содержанием монтмориллонита (до 40 %) также происходит повышение прочности образующейся поверхности корки. Однако этот способ рекультивации может быть применим только в случае отсутствия высадки семян многолетних растений в грунт хвостохранилища из-за наличия глинистой фракции, снижающей эффект прорастания семян.

Предлагаемый комбинированный технико-биологический способ рекультивации предполагает существенное снижение интенсивности выдувания частиц крупностью 0,0071–0,25 мм путем сцепления их структурообразующей смесью цеолита и водорастворимого полимера, а при внесении в верхний слой хвостов смеси лигнина и цеолита (с содержанием в породах 40–98 %) с семенами многолетних трав проявляется повышенное качество образуемого плодородного слоя.

Проведенные исследования (таблица 5.2.9) подтвердили результаты эффективного применения предлагаемых реагентов (водорастворимых полимеров и лигнина) для предотвращения пыления поверхности хвостохранилища и выноса ветром семян из сформированного слоя плодородного грунта, а также для образования устойчивой поверхности.

Следует отметить, что нанесение на поверхность хвостохранилища гидросмеси цеолита, внедрение семян многолетних трав, орошение водорастворимыми полимерами устраняют необходимость применения

дорогостоящих методов рекультивации, в том числе экранирования полимерными материалами с последующей укладкой плодородного слоя.

Таблица 5.2.9 – Физико-механические свойства раствора реагентов и прочность покрытия хвостохранилища

№ п/п	Наименование реагента	Концентрация реагента, %	Скорость инфильтрации растворов, мм/с	Глубина пропитки грунтов раствором, см
1	ППА-ГС	0,05	0,505	4,5
2		0,1	0,128	3,6
3		0,15	0,072	3,5
4		0,2	0,026	2,8
5		0,25	0,001	2,0
6	Праестол 2540	0,05	0,452	4,0
7		0,1	0,120	2,6
8		0,15	0,095	3,0
9		0,2	0,037	2,8
10		0,25	0,004	2,4
11	Лигнин	0,05	0,202	2,8
12		0,1	0,041	1,5
13		0,15	0,009	1,5
14		0,2	0,0007	1,0
15		0,25	0,0001	0,8

На основании полученных данных был разработан патентозащищенный способ закрепления пылящих поверхностей (рекультивации/консервации) за счет нанесения на поверхность хвостохранилища цеолитовой гидросмеси, получен соответствующий патент на изобретение № 2513468 [146]. При этом предлагаемый способ реализуется нанесением на поверхность хвостохранилища гидросмеси, содержащей ЦСП. Следует отметить, что при дроблении ЦСП до обозначенной крупности выход класса – 0,071 мм составляет порядка 35 %, что обеспечивает наибольший эффект взаимодействия применяемых для орошения поверхности реагентов и формирования устойчивой поверхности хвостохранилища, а также обеспечивает большую адсорбционную способность цеолитов за счет сохранения частиц больших размеров, положительно влияющую на такие свойства образуемого слоя, как прочность корки, влагоудержание и водостойкость.

Согласно разработанной технологии, вода в процесс подается из специального отстойного сооружения. При этом нанесение гидросмеси по всей

поверхности хвостохранилища производится землесосом по направлению к плотине (рисунок 5.2.8).

Устройство для приготовления и нанесения смеси ЦСП-вода работает по принципу системы водооборотной подачи воды. Узел приготовления цеолитовой суспензии предназначен для приготовления суспензии измельченных ЦСП и воды, при этом обратная вода закачивается насосной станцией из пруда-отстойника. Гидросуспензия равномерно распределяется по всей поверхности хвостохранилища посредством землесоса с поворотным механизмом и насадкой.

Процесс приготовления и дозирования применяемых для орошения поверхности хвостохранилища реагентов рекомендуется осуществлять посредством применения реагентной станции типа УПНД-1 [80]. Вместе с тем подачу растворов реагентов и семян на поверхность хвостохранилища рекомендуется осуществлять устройством для закрепления пылящих поверхностей, характеризующимся эффективностью подачи семян и обеспечивающим их рациональный расход [147].

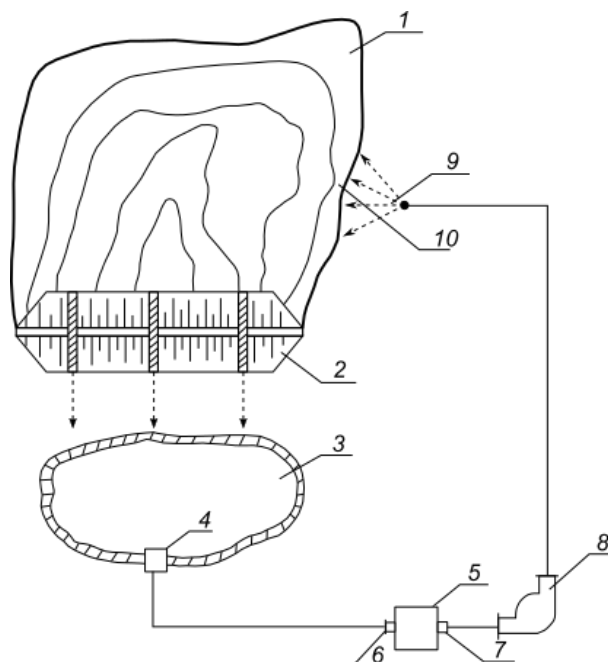


Рисунок 5.2.8 – Устройство для приготовления и нанесения смеси ЦСП-вода (патент РФ № 2513468): 1 – хвостохранилище; 2 – основная плотина; 3 – пруд-отстойник; 4 – насосная станция; 5 – узел приготовления цеолитовой суспензии; 6 – приемный патрубок; 7 – выходной патрубок; 8 – землесос; 9 – поворотная конструкция; 10 – насадка

Следует отметить, что разработанный способ рекультивации/консервации хвостохранилищ включает следующие операции:

- обработка поверхности хвостохранилища цеолитовой гидросмесью при соотношении «ЦСП-вода» 1:2;
- рыхление поверхности хвостохранилища на глубину до 13 см;
- обработка поверхности хвостохранилища реагентом (ПАА-ГС, Праестол 2540, лигнин);
- посев многолетних трав с одновременным и уплотнением поверхностного грунтового слоя.

Таким образом, перечень химических растворов, обеспечивающих возможность закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ путем проведения комбинированной технико-биологической рекультивации, может быть расширен за счет применения в них в качестве добавки обогащенных до 98 % ЦСП. В случае необходимости проведения лишь технической рекультивации могут быть использованы водорастворимые полимеры ППА-ГС и Праестол 2540 с их концентрацией в растворе 0,1 %. Так, в результате взаимодействия небогатых ЦСП, содержащих 40 % монтмориллонита, с водорастворимыми полимерами образуется корка на поверхности хвостохранилища, отличающаяся особыми прочностными характеристиками (до 6 кгс/см²). Однако при этом биологическая рекультивация с высадкой многолетних трав становится малоэффективной по причине высокого содержания глинистой составляющей в растворе, обуславливающей обволакивание семян и препятствующей таким образом их прорастанию.

Эффективность полученного состава раствора для предотвращения пыления поверхности хвостохранилищ, по сравнению с применяемыми растворами, заключается в комбинировании технической и биологической рекультивации, позволяющей не только ликвидировать вынос мелких частиц из техногенного образования, но и добиться озеленения данной территории. При этом значительно сокращается расход реагента на единицу площади (до 50 %), обеспечивается

равномерное его нанесение на поверхность хвостовых отложений и получение прочной корки грунта.

Практическое применение разработанной технология рекультивации хвостохранилищ позволит существенно снизить пыление поверхностного слоя техногенных образований и тем самым минимизирует загрязнение прилегающих территорий тяжелыми и радиоактивными металлами. В частности, для рассматриваемого района Шерловогорского ГОКа крайне актуальна проблема распространения на прилегающие территории (пгт Шерловая Гора, г. Борзя, п. Харанор и т. д.) мышьяка, содержащегося как в отвалах пород, так и в материале хвостохранилища. В этой связи применение разработанного метода рекультивации хвостохранилищ с применением ЦСП решает проблему выноса компонентов мышьяка и других вредных для окружающей природной среды элементов из техногенного образования, в том числе из-за высокой способности цеолитов к адсорбции мышьяка и его устойчивому закреплению в порах, при относительной дешевизне процесса. Кроме того, применение природных цеолитов в технологии закрепления пылящих поверхностей хвостохранилища позволяет снизить интенсивность перехода экологически опасных элементов, входящих в состав минеральной фазы верхнего слоя хвостохранилища, в растворимые формы за счет предотвращения быстрого разрушения их силикатной матрицы фильтрующимися водами атмосферных осадков путем создания водостойкой корки.

Проведенный анализ концентраций распространенности и распределения мышьяка в отходах горного производства территорий с развитием оруденения определенных рудных формаций [226] показал повсеместное его развитие в пределах рудоносных территорий Забайкальского края, а также его отношение к типохимическим элементам. В этой связи разработанную технологию рекультивации хвостохранилищ следует рекомендовать к дальнейшему применению как для рекультивации только хвостохранилищ, так и отвалов пород и отвалов отработки россыпей.

5.2.3 Применение цеолитсодержащих пород для очистки отходящих газов от SO₂

Очистка промышленных выбросов, в частности котельных и ТЭС горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий, от SO₂ (сернистых газов) является одной из важнейших экологических задач. Охрана окружающей среды, основанная на традиционных способах нейтрализации SO₂ щелочными агентами, является достаточно дорогостоящей, трудоемкой и сложнореализуемой в аппаратном оформлении. При этом во многих зарубежных странах (США, Япония, Канада, КНР, Румыния, Словакия) для этих целей широко используются природные цеолиты. В частности, румынскими исследователями проведено комплексное изучение природных клиноптилолитсодержащих пород месторождений «Мирсид» и «Пиглица» с содержанием цеолита до 60 % для очистки газов от диоксида серы [224]. При этом величина адсорбции SO₂ при равновесной объемной концентрации 1,145 % и температуре газов 25 °С составила для цеолитов месторождения «Мирсид» 8,43 %, а для цеолитов месторождения «Пиглица» – 7,96 %. Определено, что величина адсорбции с изменением температуры до 150 °С уменьшается практически в два раза.

Загрязнение компонентов окружающей среды горнопромышленными, металлургическими и топливно-энергетическими предприятиями за счет выбросов в атмосферу сернистого ангидрида относится к числу актуальных проблем. Кроме того, регулярно повышаются требования экологического характера, направленные на ужесточение норм выбросов, поэтому возникает производственная необходимость применять многоступенчатые системы газоочистки, характеризующиеся своей дороговизной и сложностью обслуживания. Необходимая эффективность систем очистки выбросов в атмосферу требует внедрения технологий, базирующихся на применении сорбционных материалов, характеризующихся своей доступностью, дешевизной и способностью к регенерации. К числу таких сорбентов, несомненно, можно отнести цеолитсодержащие породы, обладающие уникальными сорбционными свойствами, позволяющими применять их в технологиях очистки отходящих

газов от сернистых соединений (диоксид серы, сероводород и меркаптан) [81–83; 224].

Изучение сорбционных свойств ЦСП Восточного Забайкалья при очистке газов от диоксида серы проводилось по методике, включающей следующие этапы: через колонну, заполненную цеолитовыми породами, пропусклась газо–воздушная смесь с содержанием SO_2 15 и 100 %-ный диоксид серы. Методика приведения исследований включала в себя пропускание через сорбционную колонну 170 л диоксида серы. Продолжительность насыщения ЦСП диоксидом серы составляла 2,5–3 часа.

Схема экспериментальной лабораторной установки представлена на рисунке 5.2.9. Установка смонтирована на стационарном щите и включает в себя параллельно запитанные съемные колонки, реометры для замера скоростей потоков, термометр и систему колб с воронкой для приготовления газовой смеси.

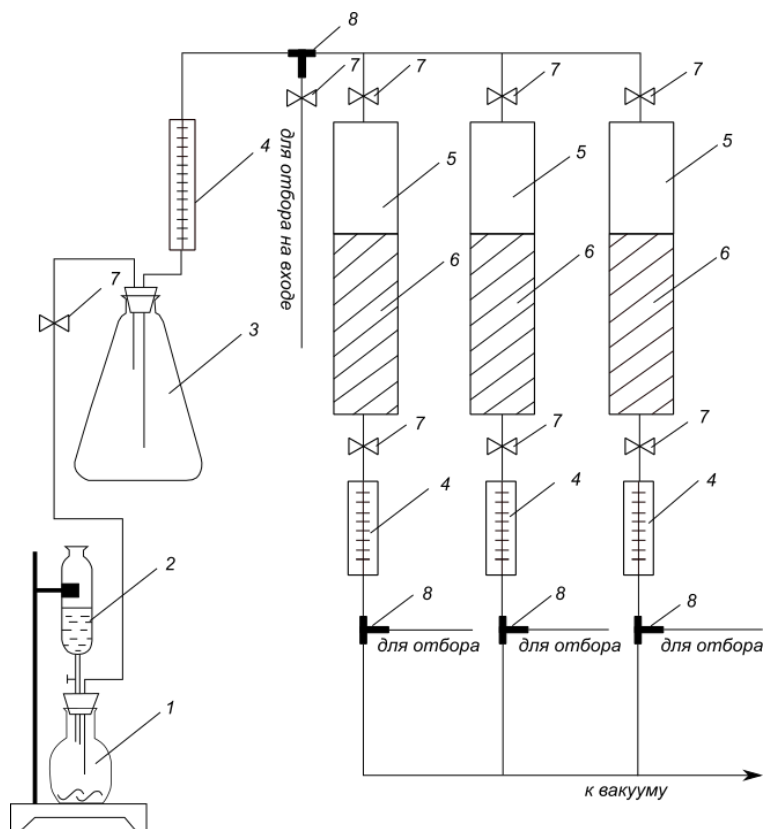


Рисунок 5.2.9 – Схема лабораторной установки для проведения эксперимента (1 – колба с отводом для газа; 2 – делительная воронка (капельница); 3 – емкость для укрепления газа; 4 – ротаметр; 5 – колонка для насыщения; 6 – слой адсорбента; 7 – зажим; 8 – тройник)

Газ в колонку подавался сверху вниз, напор потока поддерживался с помощью вакуума. Отбор газа на анализ проводился с помощью воздуходувки, при этом адсорбционная емкость определялась на монокомпонентных газах.

В результате проведения исследований установлено, что при разбавлении диоксида серы воздухом 1:10 и пропускании через сорбционную колонну (скорость 1 л/мин) насыщение ЦСП газами достигается через 17 часов, при этом пропущенное через колонну количество газо-воздушной смеси составило 950 л.

На основании полученных результатов выполнено моделирование промышленной установки для газоочистки, позволившее установить следующие параметры процесса: колонна с 2,5 т цеолитсодержащих пород способна сорбировать до 400 кг диоксида серы (при содержании SO₂ в смеси 4 %), что соответствует объему 3,4 тыс. м³. Результаты исследований представлены в таблице 5.2.10.

Таблица 5.2.10 – Результаты поглощения SO₂ цеолитсодержащими породами Восточного Забайкалья

Месторождение	Масса сорбента, кг	Состав пропускаемого газа	Скорость подачи газа, л/мин	Длительность подачи газа SO ₂ из колонки до полного насыщения, ч	Емкость сорбента по SO ₂ , г/кг	Влажность, %
Шивиртуйское	4	100 % SO ₂	1,0	2,5	146,7	7
	4	10 % SO ₂ в газовой-воздушной смеси	1,0	17	149,9	7
Бадинское	4	100 % SO ₂	1,0	2,3	146,4	7
	4	10 % SO ₂ в газовой-воздушной смеси	1,0	16,5	149,6	7
Холинское	4	100 % SO ₂	1,0	2,4	146,7	7
	4	10 % SO ₂ в газовой-воздушной смеси	1,0	16,6	149,5	7
Талан-Гозагорское	4	100 % SO ₂	1,0	2,8	147,3	7
	4	10 % SO ₂ в газовой-воздушной смеси	1,0	17,5	150,4	7

Установлено, что эффективность очистки цеолитсодержащими породами Восточного Забайкалья отходящих дымовых газов от диоксида серы составляет 90–95 % [83].

Аппаратурную реализацию технологии очистки дымовых газов от диоксида серы рекомендуется осуществлять с применением классической схемы очистки (рисунок 5.2.10), включающей устройство для очистки дымовых газов монтируемое после золоуловителя (рисунок 5.2.11), разработанное в Забайкальском государственном университете (Патент РФ 123341) и основой которого является использование в качестве сорбента природных цеолитов.

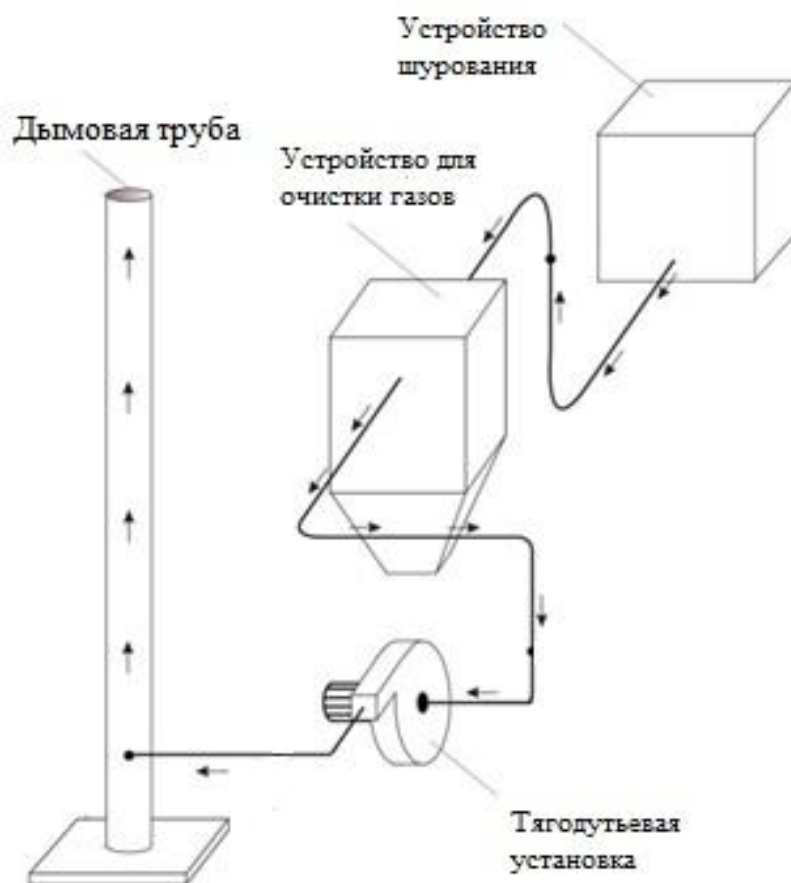


Рисунок 5.2.10 – Схема очистки дымовых газов от SO_2 с использованием устройства на основе применения природных цеолитов

Кроме того, учитывая предыдущий опыт [81; 82], в качестве адсорбента для очистки дымовых газов, содержащих окислы азота и серы, можно рекомендовать использование ЦСП, модифицированных слабым раствором серной кислоты и насыщенных ионами железа.

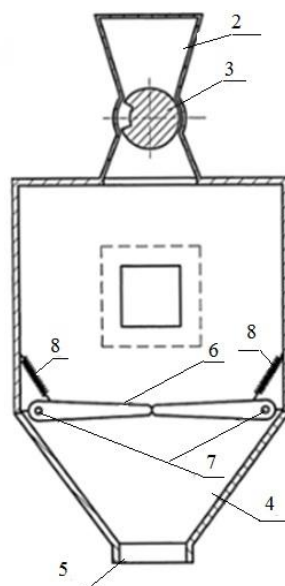


Рисунок 5.2.11 – Устройство для очистки дымовых газов (1 – реактор-адсорбер; 2 – бункер подачи цеолита; 3 – питатель; 4 – бункер отработанного цеолита; 5 – выходной патрубок; 6 – днище реактора-адсорбера; 7 – оси крепления створок; 8 – пружины; 9 – муфта; 10 – электродвигатель; 11 – регулятор частоты вращения) [141]

При этом определено, что в пределах рабочих концентраций диоксида серы от 1,0 до 2,5 г/л цеолит, пропитанный солями железа или марганца, H-модифицированный и H-Mn-модифицированный ведут себя аналогично природному цеолиту и проявляют активность в течение 2–3 часов, при последующей эксплуатации весь сорбированный диоксид выделяется в газовый поток; кислотное модифицирование с последующей пропиткой цеолита солью двухвалентного железа приводит к повышению эффективности процесса очистки монокомпонентного газа; при кислотной и солевой обработке природных цеолитов Шивыртуйского месторождения с насыщением их железом достигаются наиболее высокие показатели степени очистки газа от окислов азота (в среднем 76 %), с насыщением до 58 г окислов азота на 1 кг цеолита. При этом показатели H-Fe-модифицированного цеолита в 1,5–2 раза выше, чем у не подвергавшихся обработке.

5.2.4 Технологии захоронения токсичных и радиоактивных отходов на основе использования природных цеолитов

Перспективным направлением применения ЦСП, в том числе обогащенных до степени 90–99 %, является захоронение токсичных и радиоактивных отходов. В этой связи автором данной работы совместно с коллегами из Забайкальского государственного университета разработана патентозащищенная технология [148] и впервые проведены исследования по захоронению радиоактивных отходов «Могильника» г. Балей.

Технология (Патент РФ № 2515578) включает устройство котлована (рисунок 5.2.9) (1), обустройство защитного экрана из цементогрунтового раствора (3) и полимерной пленки толщиной не менее 5 мм (2) по его днищу и бортам, послойную укладку токсичных или радиоактивных отходов с уплотнением (4) и перекрытием каждого слоя техногенного сырья разделительным изолирующим слоем (5) из цементогрунтового раствора, содержащим в качестве наполнителя природный цеолит.

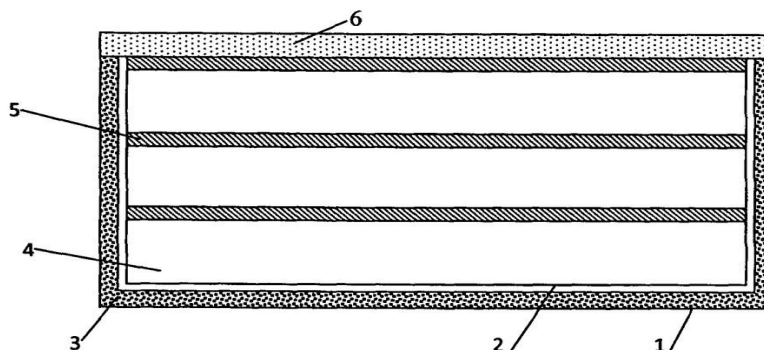


Рисунок 5.2.9 – Устройство котлована для захоронения токсичных и радиоактивных отходов

Верхняя часть котлована покрыта специальным плодородным слоем (6), содержащим 30 % дробленых цеолитсодержащих пород с целью формирования устойчивого грунтового покрытия. Результатом разработанной автором технологии является предотвращение возможности миграции токсичных и радиоактивных компонентов отходов из зоны захоронения в почву, грунты, подземные воды и атмосферу. Разработанная технология является составной

частью способа сноса и захоронения зданий, загрязненных токсичными и отравляющими веществами (Патент РФ № 2393310) [143].

За счет технических решений и природных сорбентов (цеолитов), применяемых при устройстве котлована для захоронения (складирования) токсичных и радиоактивных отходов, обеспечивается максимальная эффективность защиты окружающей природной среды от негативного воздействия.

Разработанный способ может быть, в частности, эффективно применен при захоронении загрязненных токсичными и радиоактивными элементами объектов химического производства и добычи полезных ископаемых, таких как комплекс сооружений и объектов накопления отходов горного производства в г. Бaley Забайкальского края.

По данным исследований, проведенных в ЗабНИИ (2001–2002), ведущим радиационно-опасным фактором на данной объекте являются техногенные скопления торийсодержащего минерала – просыпи концентрата, невыработанные остатки полезного ископаемого, строительные конструкции, бой и мусор, содержащие монацит. Монацит-фосфат церия и лантана с изоморфной примесью тория (до 11 %), реже – урана, является тяжелым (4,9–5,5), твердым минералом, который устойчив в поверхностных (гипергенных) условиях, т. е. механически прочен, не подвержен химическому и физическому выветриванию, что обуславливает его накопление в россыпях [161]. Как и большинство соединений тория, он практически не растворим в воде, поэтому миграция тория в гидросфере и биосфере ничтожна; в природных водах содержание тория очень мало: $1\text{--}2 \cdot 10^{-9}$ %.

Кроме того, особую опасность для окружающей среды представляет так называемый участок «Могильник», находящийся рядом с автодорогой Бaley – Оловянная и в 5,1 км от окраины ближайшего населенного пункта пос. Новотроицкий. В настоящее время на обозначенной остатками дренажной канавы площадке, размером 160x120 м, устроена свалка не засыпанного инертным грунтом строительного мусора и лома строительных конструкций радиационно-

неблагополучных домов из г. Балей. Площадь свалки составляет 0,2 га, при этом уровень МЭд гамма-излучения 40–170 мкр/час, слой строительного мусора на аномально радиоактивной части свалки в среднем 0,7 м. Уровень естественного фона почво-грунтов – 20–25 мкр/час. На этом фоне выделяется плоская круглая площадка, диаметром около 10 м, высотой 0,25 м и радиоактивностью на поверхности более 10 мкр/час, в отдельных точках – 1700–1850 мкр/час. Данный объект – «могильник» – устроен Новотроицким рудопроявлением. По данным полевой гамма-спектрометрии (прибор РСУ-01 «Сигнал»), суммарная удельная эффективная активность в точке с максимальной (1850 мкр/час) мощностью гамма-излучения составляет 32800 Бк/кг. Материалы с таким уровнем радиоактивности по существующим нормам не могут использоваться в строительной индустрии или для других практических целей, что обуславливает необходимость их захоронения. В материале «могильника» преобладает торий, соответственно, он, вероятнее всего, является захоронением монацитового концентрата, радионуклидный состав которого представлен в таблице 5.2.11.

Таблица 5.2.11 – Радионуклидный состав материала «Могильника», г. Балей [161, 260]

№ п/п	Радионуклид	А эфф Бк/кг	А эфф доля в %
1	Цезий-137	0	0
2	Калий-40	12400	37,8
3	Торий-232	17300	52,8
4	Радий-226	3100	9,4
		32800	100

В соответствии с п. п. 2.6 и 2.11 СП ЛКП-91 данный объект после захоронения по разработанной патентозащищенной технологии необходимо подвергнуть рекультивации посредством укрытия нерадиоактивными (инертными) грунтами мощностью не менее 1 м, с обеспечением устойчивости покрытия от естественного сползания грунта по откосу и размыва атмосферными (метеорными) водами. Об эффективности применения разработанной технологии захоронения токсичных и радиоактивных отходов

можно судить на основании высокой сорбционной способности ЦСП к калию-40, торию-232 и радию-226 и возможности удержания данных элементов в полостях цеолитов.

Таким образом, разработанная технология захоронения радиоактивных отходов, основанная на применении цеолитсодержащих пород в качестве предохраняющего инфильтрацию загрязняющих элементов слоя, является эффективной для безопасного размещения материала «Могильника» (г. Балей) и способна существенно снизить экологическую нагрузку в данном регионе. Кроме того, данная технология может быть рекомендована для рекультивации зданий бывшего мышьякового завода и прилегающих к ним территорий, загрязненных тяжелыми металлами, в п. Вершино-Дарасунский в Тунгокоченском районе Забайкальского края».

5.2.5 Технологии регенерации и утилизации цеолитсодержащих пород

Экологичность применения сорбционной технологии, базирующейся на использовании ЦСП, зависит от возможности регенерации цеолитов, определяющей также продолжительность их использования в качестве адсорбентов. Увеличение срока эксплуатации природных цеолитов с максимальной отсрочкой момента их утилизации является наиболее рациональным и экономически выгодным мероприятием. В этой связи на вопрос внедрения природных цеолитов в технологии управления горнопромышленными отходами в качестве адсорбентов влияет эффективность их регенерации.

На данный момент используются такие методы регенерации, как химическая (кислотами, щелочами) и термическая (продуктами горения газа и водяного пара при 550–800 °С). Регенерация природных цеолитов является достаточно трудоемким процессом, в котором важную роль играет кинетика процесса. Для эффективного проведения регенерации природных цеолитов необходим подбор температурных режимов, позволяющих сохранить их высокую адсорбционную емкость [39; 224].

Установлено, что скорость регенерации ЦСП снижается с течением времени, при этом кривая регенерации цеолитовых пород принимает почти параллельное оси абсцисс направление, что свидетельствует о прекращении процесса регенерации, обусловленного удерживающей сорбционной способностью цеолитов.

Следует отметить, что основной составляющей скорости регенерации природных цеолитов Восточного Забайкалья является молекулярная диффузия, обусловленная наличием пористой структуры и вторичных пор. Скорость молекулярной диффузии определялась путем сопоставления скоростей десорбции диоксида серы из ЦСП разной крупности. На рисунке 5.2.10 представлены графики десорбции диоксида серы при температуре 30 и 60 °С из ЦСП крупностью 2 и 4 мм.

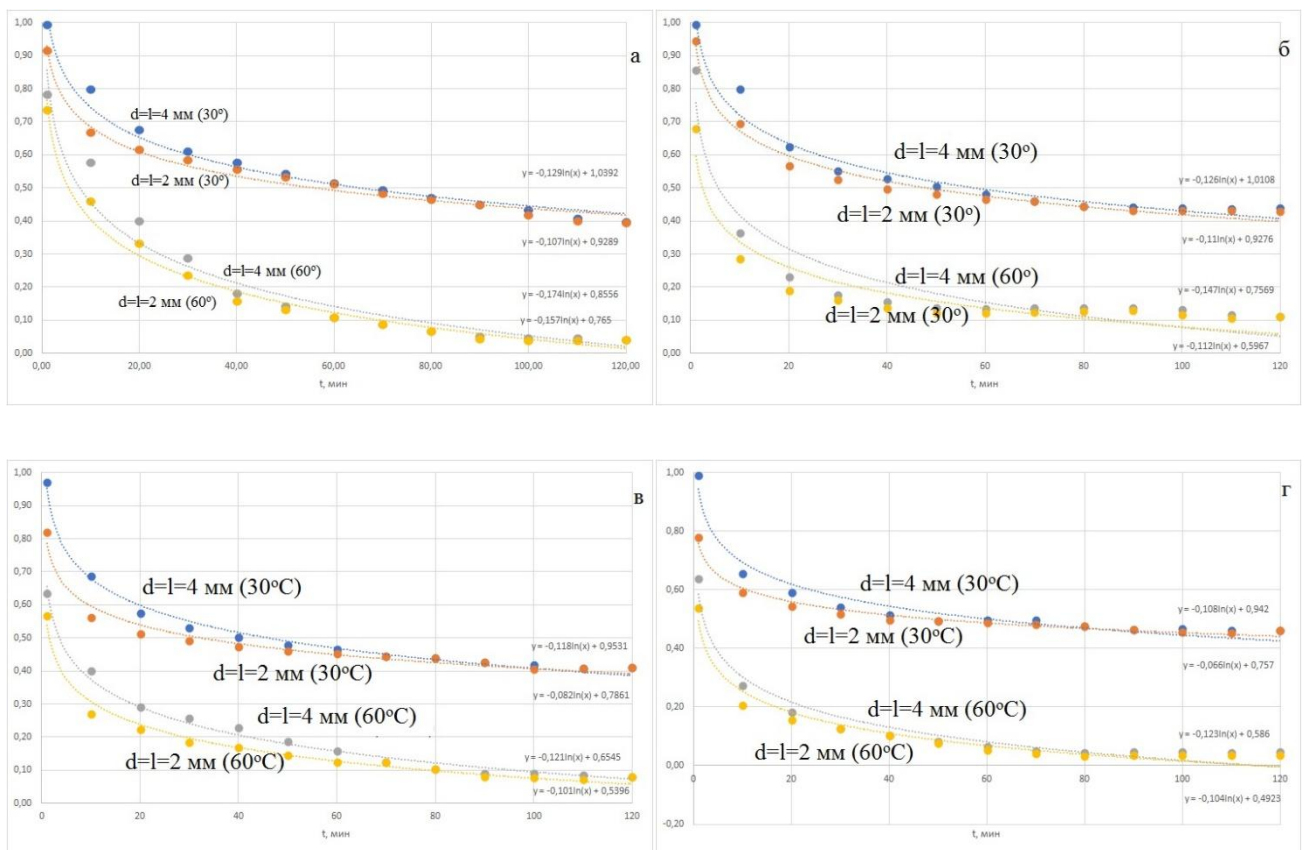


Рисунок 5.2.10 – Кривые регенерации ЦСП Восточного Забайкалья от SO₂: Шивыртуйского месторождения (а), Холинского месторождения (б), Бадинского месторождения (в), Талан-Гозагорского месторождения (г)

На основе анализа полученных результатов установлено, что на скорость регенерации ЦСП значительно влияет диффузия молекул во вторичных порах.

При этом кинетика регенерации ЦСП Восточного Забайкалья рассчитывается следующим образом (по Ленгмюру) [23; 201]:

$$d\theta/d\tau = -k_1\theta + k_2p(1-\theta), \quad (5.2.6)$$

где θ – степень заполнения поровой поверхности; p – давление; k_1 и k_2 – константы прямого и обратного процессов; τ – время.

Учитывая протекающие в природных цеолитах процессы диффузии, для определения скорости регенерации рекомендуется ввести коэффициент молекулярной диффузии D , вычисляемый из уравнения Эйнштейна:

$$b^2/2t = RT/fN, \text{ см}^2/\text{с},$$

где b – средний пробег молекулы за время t ; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; N – число Авогадро; f – сопротивление среды; d – диаметр молекулы; μ – вязкость кислоты.

С учетом введенного коэффициента диффузии уравнение (5.2.6) примет вид:

$$d\theta/d\tau = -D(k_1\theta + k_2p(1-\theta)).$$

Следовательно:

$$k_1 = (k_0 \exp[-(Q + E_a)/RT])/D.$$

При этом коэффициент k_0 связан непосредственно со свойствами природных цеолитов.

Таким образом, обоснована зависимость регенерации природных цеолитов Восточного Забайкалья от процесса молекулярной диффузии, происходящей в их пористой структуре и вторичных порах, что обуславливает применение коэффициента молекулярной диффузии в методике расчета скорости регенерации цеолитовых сорбентов.

5.2.6 Результаты реализации Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород

Необходимо отметить, что управление техногенными отходами в горнопромышленном комплексе включает четыре основных уровня: на отдельных этапах технологии; в целом на предприятии; в регионе; на общегосударственном

уровне. При этом большое значение имеют такие инструменты, как экономический механизм управления, ресурсо- и энергосбережение, мониторинг образования и движения материальных потоков отходов и их жизненного цикла, создание и обновление в режиме реального времени баз данных накопленных и вновь образующихся отходов. Согласно предлагаемой Концепции рационального и комплексного использования ЦСП в технологиях управления техногенными ресурсами предполагается использование системы перманентного мониторинга за производством, перемещением, складированием, очисткой, утилизацией, захоронением, обезвреживанием и переработкой отходов. Такая база должна содержать подробное описание отходов с целью обеспечения информационной доступности сведений о характеристиках, в том числе химическим, минералогическим, классе опасности и т. д. Эффективным дополнением базы данных отходов горной промышленности может стать электронная торговая площадка по предоставлению информации и научно-технических разработок в сфере их образования, транспортировки, складирования, использования, утилизации, обезвреживания и захоронения. Основой такой площадки является база данных НДТ в данной области.

В соответствии с разработанной Концепцией построение интегрированной структуры по управлению отходами с включением в нее максимального количества горнопромышленных предприятий подразумевает создание системы их экономических взаимоотношений. Одним из основных факторов повышения экономической рентабельности при разработке техногенных месторождений является комплексное использование минерального сырья, обеспечивающее максимальное извлечение основных и попутных компонентов с получением товарной продукции из отходов переработки.

Установлено, что применение природных цеолитов, в том числе обогащенных до степени 98–99 % имеет достаточно высокий потенциал. Особо важным направлением их использования являются технологии управления горнопромышленными отходами. Доказано, что ЦСП могут эффективно применяться при консервации и рекультивации хвостохранилищ, закреплении их

пылящих поверхностей, при очистке отходящих дымовых газов от диоксида серы, очистке сточных вод от радионуклидов и нефтепродуктов (таблица 5.2.12).

Проведенный сравнительный анализ технологических характеристик применения ЦСП Восточного Забайкалья и других сорбентов/реагентов (таблица 5.2.13) в технологиях управления техногенным минеральным сырьем показал, что природные цеолиты могут достойно конкурировать с аналогами в основных физико-химических свойствах, обладая при этом существенными преимуществами: доступностью, распространенностью, значительными запасами и дешевизной.

На основании проведенных исследований разработанная Концепция управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования ЦСП Восточного Забайкалья учитывает:

- изучение их вещественного состава и физических и физико-химических свойств;
- возможность применения альтернативных (наилучших доступных) технологий при рудоподготовке;
- использование альтернативных (наилучших доступных) технологий при переработке ЦСП;
- возможность применения ЦСП при обращении с отходами горного производства.

При этом изучение их вещественного состава, физических и физико-химических свойств должно осуществляться с использованием в дополнение к рекомендованному автором [246] рациональному комплексу минералого-аналитических методов изучения ЦСП метода визуализации и рендеринга виртуальных трехмерных молекулярных моделей цеолитов в проекциях X, Y и Z для изучения размера, геометрии и связности пор, а также с учетом типов (сортов) цеолитовых пород.

Таблица 5.2.12 – Применение ЦСП для обеспечения экологической безопасности горнопромышленных предприятий

№ п/п	Направление использования природных цеолитов	Примечание
1	Геохимические барьеры, фильтрационный слой дамбы хвостохранилищ	Фильтрационные барьеры
2	Складирование и захоронение радиоактивных и токсичных отходов	Вспомогательное экранирование
3	Рекультивация и консервация хвостохранилищ, закрепление пылящих поверхностей	Биологическая рекультивация техногенных месторождений, борьба с пылением поверхностей хвостохранилищ и отвалов
4	Очистка отходящих газов от CO, CO ₂ , SO ₂ , NH ₃ , N ₂ , CH ₃ OH, фреона, меркаптанов, окислов азота, формальдегида	Фильтры
5	Очистка сточных вод. Биоремедиация водоемов. Очистка питьевой воды. Утилизация противообледенительных жидкостей	Фильтры, очистка от флотационных реагентов и нефтепродуктов, кондиционирование закисленных стоков, сорбция катионов тяжелых металлов, сорбция радионуклидов ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr, катионов Pb ⁺ , K ⁺ , NH ⁴⁺ , Ag ⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , C ²⁺ , Hg ²⁺ , Ba ²⁺ , Mg ²⁺ , Co ³⁺ , Al ³⁺ , Cr ³⁺ , Fe ³⁺
6	Закладка выработанного пространства. Строительство зданий и сооружений	Заменитель части цемента, компонент тампонажных растворов, заменитель извести в вяжущих растворах
7	Отсыпка автомобильных дорог, обочин дорог, промплощадок, складов ГСМ, стояночных площадок для транспорта	Введение солей щелочноземельных или тяжелых металлов (таловое масло, синтетические жирные кислоты, алкилсульфонаты, хлорид кальция) для повышения эффективности связывания пыли с применением раствора оксигидрильного собирателя. В составах для обеспыливания дорог с использованием флотореагентов-модификаторов (жидкое стекло, известковое молоко с медным или цинковым купоросом, ксантогенатом натрия, хлоридом кальция)
8	Строительство насыпей ж/д дорог	Сорбент нефтепродуктов
9	Санация, восстановление почв	Компонент почвосмесей для повышения плодородности почв и снижения их токсичности

Таблица 5.2.13 – Сравнительные данные технологических характеристик использования природных цеолитов Восточного Забайкалья и других сорбентов/реагентов в технологиях управления отходами

Сорбент, реагент	Эффективность снижения запыленности	Коэффициент распределения (K_d) $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$, см ³ /Г	Сорбционная емкость, сорбент/нефть, кг/кг	Емкость по SO ₂ , г/кг
Клиноптилолит	-	137/510	1/4	146,7
Шабазит	-	2112/170	1/9,5	147,3
Морденит	-	248/3980	1/3,8	146,4
НСТ	-	-	1/7	-
Лессорб	-	-	1/10	-
Биоматрикс	-	-	1/3,9	-
Синтетический цеолит NaA	-	720/2,5•10 ⁴	-	150
МДМ (MnO ₂)	-	82/4400	-	-
ПАА-ГС	0,90	-	-	-
Праестол 2540	0,85	-	-	-
Лигнин	0,70	-	-	-
ПАА-ГС с цеолитом	0,99	-	-	-
Лигнин с цеолитом	0,80	-	-	-
Праестол 2540 с цеолитом	0,99	-	-	-

Выбор альтернативных технологий рудоподготовки ЦСП базируется на применении НДТ с использованием направленных методов воздействия (акустических, термических, энергетических и радиационных) с учетом режимных параметров и получаемых технологических показателей. При этом альтернативные варианты технологий переработки ЦСП Восточного Забайкалья основаны на применении магнитной и электрической сепараций, а также технологий химической модификации физико-химических свойств природных цеолитов в сочетании с направленными методами рудоподготовки. Вместе с тем одним из основных элементов разработанной Концепции является необходимость применения методов моделирования оборудования для извлечения вмещающих примесей, а также процессов обогащения и химической модификации.

Полученные в результате реализации наиболее эффективных технологий цеолитовые продукты предлагается использовать в процессах обезвреживания

сточных и оборотных вод, в частности, для извлечения из них нефтепродуктов, радионуклидов цезия и стронция, при очистке отходящих газов котельных и ТЭС горнопромышленных предприятий от SO_2 , утилизации, рекультивации (временной консервации) и захоронении техногенных отходов, в том числе токсичных и радиоактивных. Использование альтернативных вариантов технологий управления горнопромышленными отходами на основе применения ЦСП базируется на технологических показателях и характеризующих эмпирических зависимостях, полученных автором в процессе проведения научных исследований и обработки результатов экспериментов (рисунок 5.2.12), а также на критериях рационального и комплексного использования цеолитов Восточного Забайкалья при переработке техногенного минерального сырья.

Основным целевым ориентиром реализации разработанной Концепции является рациональное и комплексное использование ЦСП, заключающееся в малоотходности/безотходности применяемых технологий, обусловленной выбором НДТ и максимально возможным использованием продуктов их переработки и обогащения. При этом малоотходность и безотходность технологий переработки ЦСП Восточного Забайкалья достигается использованием отходов технологических переделов в таких способах утилизации, как закладка выработанного пространства, строительство зданий и сооружений, отсыпка автомобильных дорог, промплощадок и т. д.

ЦСП

Изучение вещественного состава ЦСП: химический, минеральный. Изучение физических свойств основных вмещающих минералов: микро-твердость, кгс/мм²; плотность, кг/м³; удельная магнитная восприимчивость, n·10⁻⁸ м³/кг; электропроводность, 26253 м⁻¹·см⁻¹. Разработка виртуальных трехмерных молекулярных моделей методом визуализации и рендеринга.

Альтернативные варианты технологий рудоподготовки ЦСП – методы направленных воздействий

Ультразвук		Обжиг		Мощные наносекундные электромагнитные импульсы		Поток ускоренных электронов	
Режимные параметры и технологические показатели в зависимости от сорта ЦСП	Эмпирические зависимости	Режимные параметры и технологические показатели	Эмпирические зависимости	Режимные параметры и технологические показатели	Эмпирические зависимости	Режимные параметры и технологические показатели	Эмпирические зависимости
Концентрация минералов примесей в слове (y) от времени воздействия ультразвуком (x): - α _{шп} = 27%; - α _{гг} = 22%	$y = 10.2 \ln(1.5x + 1);$ $y = 12 \ln(1.5x + 1)$	Рост величины резонансного эффекта, E Ивлечение Fe-содержащих примесей из ЦСП от напряженности магнитного поля сепаратора при различных классах крупности: ЦСП Шиваргурского мест-я: e ₁ =88.1%, e ₂ =93.9%, e ₃ =95.2%, e ₄ =97.8%; ЦСП Талин-Гонгорского мест-я: e ₁ =92.8%, e ₂ =91.1%, e ₃ =97.5%, e ₄ =99.3%	$y = 4.4x - 1.34$ ЦСП Шиваргурского месторождения: 1. $y = 1.1389 \ln(x) + 79.972$ (κ/κ -2+1 мм); 2. $y = 6.5787 \ln(x) + 46.074$ (κ/κ -1+0.5 мм); 3. $y = 4.1735 \ln(x) + 64.602$ (κ/κ -0.5+0.3 мм); 4. $y = 2.2591 \ln(x) + 81.372$ (κ/κ -0.3+0.1 мм); ЦСП Талин-Гонгорского месторождения: 1. $y = 3.2059 \ln(x) + 69.925$ (κ/κ -2+1 мм); 2. $y = 5E-06x^2 - 0.0101x + 98.145$ (κ/κ -1+0.5 мм); 3. $y = 1.4771 \ln(x) + 86.779$ (κ/κ -0.5+0.3 мм); 4. $y = 0.5585 \ln(x) + 95.244$ (κ/κ -0.3+0.1 мм)	Рост величины резонансного эффекта, E Ивлечение Fe-содержащих примесей из ЦСП от напряженности магнитного поля сепаратора при различных классах крупности: Шив. мест. e ₁ =88.5%, e ₂ =94.3%, e ₃ =95.8%, e ₄ =98.3%; Т-Г мест. e ₁ =92.9%, e ₂ =94.4%, e ₃ =97.8%, e ₄ =99.5%	$y = 2.4x - 0.18$ ЦСП Шиваргурского месторождения: 1. $y = 1.0147 \ln(x) + 81.355$ (класс крупности -2+1 мм); 2. $y = 6.6935 \ln(x) + 45.655$ (класс крупности -1+0.5 мм); 3. $y = 4.218 \ln(x) + 62.845$ (класс крупности -0.5+0.3 мм); 4. $y = 2.0356 \ln(x) + 92.335$ (класс крупности -0.3+0.1 мм); ЦСП Талин-Гонгорского месторождения: 1. $y = 2.5232 \ln(x) + 74.864$ (класс крупности -2+1 мм); 2. $y = 4E-06x^2 - 0.0078x + 97.451$ (класс крупности -1+0.5 мм); 3. $y = 1.0241 \ln(x) + 90.491$ (класс крупности -0.5+0.3 мм); 4. $y = 0.5616 \ln(x) + 95.356$ (класс крупности -0.3+0.1 мм)	Зависимость ивлечение от крупности минеральных частиц при измельчении ЦСП Коэффициент раскрытия минералов цеолита. Измелчение: всей измельченной породы; цеолита, f = 38%; шабрита, f = 46%. Измелчение с предварительной обработкой ускоренными электронами: всей измельченной породы; цеолита, f = 54%; шабрита, f = 62%	Измелчение без обработки ускоренными электронами ЦСП Шиваргурского мест-я: $y = 148.49x^{0.0618}$ (крупность измельченной породы); $y = 8; 0.97x^{0.0966}$ (крупность ЦСП Т-Г мест-я); $y = 100.62x^{0.0228}$ (крупность измельченной породы); $y = 75.204x^{0.0125}$ (крупность цеолита в измельченной породе); Измельчение с обработкой ускоренными электронами: ЦСП Шив. мест-я: 1. $y = 0.0025x^2 - 0.9723x + 98.348$ (крупность измельченной породы); 2. $y = 0.0245x^2 - 3.138x + 101$ (крупность цеолита в измельченной породе); ЦСП Т-Г мест-я: 3. $y = 0.0029x^2 - 1.0535x + 98.193$ (крупность измельченной породы); 4. $y = 0.0281x^2 - 3.3387x + 100.31$ (крупность цеолита в измельченной породе)
Концентрация минералов примесей (y) от частоты ультразвука (x): - α _{шп} = 29%; - α _{гг} = 27%	$y = -0.000048(x-44)^2;$ $y = -0.000043(x-44)^2$						
Содержание мономинералов цеолита (y) от крупности сырья (x) после обработки ультразвуком при частоте 40 кГц: - β _{шп} = 45%; - β _{гг} = 51%	$y = -13.34 \ln(x) + 19.745;$ $y = -11.50 \ln(x) + 10.625$						

Альтернативные варианты технологий переработки ЦСП (Патенты РФ: № 2455073, № 2229342, № 2278737)

Магнитная сепарация		Электролитическая сепарация		Технологии химической модификации ЦСП		Модернизация технологических процессов обогащения ЦСП Восточного Забайкалья на базе сепарационных характеристик с целью разработки и выбора оптимальных технологических схем. Модернизация оборудования для ивлечения железосодержащих примесей (Патент № 2278737). Модернизация технологических процессов химической модификации ЦСП.
Технологические показатели	Эмпирические зависимости	Технологические показатели	Эмпирические зависимости	Технологические показатели	Эмпирические зависимости	
Ивлечение примесей Fe из ЦСП от крупности пород: - ультразвук; - обжиг; - мощные наносекундные электромагнитные импульсы; - ускоренные электроны	ЦСП Шив. мест-я: $y = -3.755 \ln(x) + 94.345;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = -4.577 \ln(x) + 91.84;$ ЦСП Шив. мест-я: $y = -3.57 \ln(x) + 94.9;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = -4.779 \ln(x) + 92.361;$ ЦСП Шив. мест-я: $y = -3.647 \ln(x) + 95.077;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = -4.74 \ln(x) + 92.898;$ ЦСП Шив. мест-я: $y = -3.647 \ln(x) + 95.077;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = -4.74 \ln(x) + 92.898$	Ивлечение цеолита в электролитическую фракцию (y) от крупности материала (x) и наличия подготовительной операции, %: - с использованием подогретых электролитов; β _{шп} = 99.8%; β _{гг} = 99.5%; - без использования подогретых электролитов: β _{шп} = 64.5%; β _{гг} = 75%	$y = -3169.6x^2 + 555.54x - 72.679;$ $y = -3705.4x^2 + 594.82x - 71.679;$ $y = 6160.7x^2 - 117.5x + 41.786;$ $y = 3839.3x^2 + 163.21x + 38.929$	Разложение раствором H ₂ SO ₄ Степень разложения микросиена (y) от продолжительности обработки раствором H ₂ SO ₄ (x): D _{шп} = 17.5%; D _{гг} = 13%; D _{шп} = 7.8 % $y = -0.0041x^2 + 0.471x + 0.191$ (микросиен ЦСП Шиваргурского месторождения); $y = -0.026x^2 + 0.348x + 0.074$ (микросиен ЦСП Холдинского месторождения); $y = -0.0020x^2 + 0.265x + 0.0072$ (микросиен ЦСП Балинского месторождения)	$y = 39.957 \ln(x) - 193.35$ (ЦСП Балинского мест-я); $y = 40.681 \ln(x) - 186.28$ (ЦСП Шиваргурского мест-я); $y = 36.944 \ln(x) - 160.2$ (ЦСП Холдинского мест-я)	
Ивлечение Fe-содержащих примесей из тонкодисперсных ЦСП (-0.1+0.074 мм): - обжиг; - мощные наносекундные магнитные импульсы; - ускоренные электроны	ЦСП Шив. мест-я: $y = 6.5385x + 1.32624$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = 30.385x - 0.2685;$ ЦСП Шив. мест-я: $y = 13.846x - 0.5746;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = 32.692x - 2.3492;$ ЦСП Шив. мест-я: $y = 19.615x - 1.2115;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = 31.154x - 2.2554;$ ЦСП Шив. мест-я: $y = 6.5385x + 1.3262;$ ЦСП Т-Г мест-я: $y = 30.385x - 0.2685$			Деалюминирование серной кислотой Ивлечение Al ₂ O ₃ (y) от температуры обжига: α _{шп} = 86.52%; α _{гг} = 99.15%; α _{шп} = 98.75%; $y = 36.944 \ln(x) - 160.2$ (ЦСП Холдинского мест-я)	$y = 39.957 \ln(x) - 193.35$ (ЦСП Балинского мест-я); $y = 40.681 \ln(x) - 186.28$ (ЦСП Шиваргурского мест-я); $y = 36.944 \ln(x) - 160.2$ (ЦСП Холдинского мест-я)	
				Ивлечение Fe ₂ O ₃ (y) от температуры обжига: α _{шп} = 99.15%; α _{гг} = 99.05%; α _{шп} = 99.33%; $y = -0.0163x + 105.01$ (ЦСП Балинского мест-я); $y = -0.0163x + 105.01$ (ЦСП Шиваргурского мест-я); $y = -0.0095x + 101.45$ (ЦСП Холдинского мест-я)	$y = -0.0163x + 105.01$ (ЦСП Балинского мест-я); $y = -0.0163x + 105.01$ (ЦСП Шиваргурского мест-я); $y = -0.0095x + 101.45$ (ЦСП Холдинского мест-я)	
				Гидрохимические и другие способы химической модификации ЦСП		

Отходы переработки ЦСП. Альтернативные варианты технологий обезвреживания сточных вод, рекультивации (захоронения) техногенных отходов, очистки отходящих газов

Технологии очистки сточных вод		Технологии рекультивации (консервации) хвостохранилищ (Патент РФ № 2513468)		Очистка отходящих газов от SO ₂ с применением природных цеолитов. Очистка сточных вод. Биоремедиация водоемов. Очистка питьевой воды. Регенерация цеолитов. Утилизация отходами предприятий водосточ. Захоронение токсичных и радиоактивных отходов (Патенты РФ № 2513468, № 2515578, № 2393310)	Способы утилизации отходов переработки ЦСП: закладка выработанного пространства, строительство зданий и сооружений; отсыпка автомобильных дорог, обочин дорог, промлощадок, складов ГСМ, сточных площадок для транспорта, строительство насыпей ж/д дорог. Санация, восстановление полей.
Технологические показатели	Эмпирические зависимости	Технологические показатели	Эмпирические зависимости		
Ивлечение радиоактивных цезия и стронция, очистка от нефтепродуктов		Средняя скорость отрастания многолетних трав (y) от содержания цеолита в породах (x), используемых в качестве добавки к грунту (при применении реагента ПНАА-ГС), мг/сут: 1. V _{шп} = 4.4; 2. V _{шп} = 4.35; 3. V _{шп} = 4.32; 4. V _{гг} = 4.29	$y = 0.0582x - 0.6067;$ $y = 0.00004x^2 + 0.0399x - 0.1534;$ $y = 0.0003x^2 + 0.265x + 0.0072;$ $y = 0.0020x^2 + 0.265x + 0.0072$		
Коэффициент распределения (K _d) ¹³⁷ Cs (y) от среднего размера гранул (d _{ср}) (x)	$y = 1639x^{0.833};$ $y = 217.96x^{1.03}$	Средняя скорость отрастания многолетних трав (y) от содержания цеолита в породах (x), используемых в качестве добавки к грунту (при применении лигнина) 1. V _{шп} = 4.37; 2. V _{шп} = 4.34; 3. V _{шп} = 4.29; 4. V _{гг} = 4.28	$y = 114.9x^2 - 74.455x + 202.91$ $y = 259.24x^2 - 280.52x + 93.435x + 3.5176;$ $y = 265.01x^2 - 295.76x + 96.105x + 3.2648$ $y = 0.1213x - 0.0004$ $y = 0.0837x + 0.139$ $y = 19.792x + 2.1732$ $y = -2 \cdot 10^{-10} x^3 + 3 \cdot 10^{-10} x^2 - 0.0002x + 0.0082x - 0.0064$ $y = -2 \cdot 10^{-10} x^4 + 0.0027x^3 - 0.1433x^2 + 2.7583x - 5.3722$	$y = 0.0005x^2 - 0.0129x + 0.8788;$ $y = 0.0004x^2 - 0.0055x + 0.7835;$ $y = 0.0002x^2 - 0.0429x + 0.2526;$ $y = 0.00007x^2 + 0.057x - 0.5874$	
Изогема адсорбции (от относительного давления)	$y = 259.24x^2 - 280.52x + 93.435x + 3.5176;$	Средняя скорость отрастания многолетних трав (y) от содержания цеолита в породах (x), используемых в качестве добавки к грунту (при применении реагента Прасвето 2540): 1. V _{шп} = 4.37; 2. V _{шп} = 4.33; 3. V _{шп} = 4.27; 4. V _{гг} = 4.26	$y = 265.01x^2 - 295.76x + 96.105x + 3.2648$	$y = 0.0005x^2 - 0.0151x + 0.9363;$ $y = 0.0003x^2 + 0.0024x + 0.5880;$ $y = 0.00005x^2 + 0.0377x - 0.0511;$ $y = 0.00009x^2 + 0.0601x - 0.6589$	
Площадь поверхности ЦСП (металло БЭТ)	$y = 0.1213x - 0.0004$	Содержание класса крупности частиц пыли 0.071-0.25 мм при скорости ветра 3-5 м/с от расстояния пылеулова от источника пыления: - без обработки ПНАА-ГС; - с обработкой ПНАА-ГС	$y = 0.0837x + 0.139$	$y = 17.55x^{0.024};$ $y = 27.058$	
Адсорбция от толщины сорбционной поверхности	$y = 19.792x + 2.1732$		$y = 19.792x + 2.1732$		
Объем адсорбционных пор по методу ВН (изотерма адсорбции)	$y = -2 \cdot 10^{-10} x^3 + 3 \cdot 10^{-10} x^2 - 0.0002x + 0.0082x - 0.0064$		$y = -2 \cdot 10^{-10} x^4 + 0.0027x^3 - 0.1433x^2 + 2.7583x - 5.3722$		
Объем адсорбционных пор по методу ВН (изотерма десорбции)	$y = -2 \cdot 10^{-10} x^3 + 3 \cdot 10^{-10} x^2 - 0.0002x + 0.0082x - 0.0064$		$y = -2 \cdot 10^{-10} x^4 + 0.0027x^3 - 0.1433x^2 + 2.7583x - 5.3722$		
Коэффициент распределения K _d ¹³⁷ Cs от концентрации ионов Ca ²⁺ в растворе на различных сорбентах, см ² /г: K _d ¹³⁷ Cs = 1.0E+0.21% (ЦСП Балинского мест-я); K _d ¹³⁷ Cs = 1.0E+0.21% (ЦСП Талин-Гонгорского мест-я)	$y = 2155.1x^{-1.18};$ $y = 867.43x^{-1.09};$ $y = 1122.6x^{0.36};$ $y = 238.6x^{0.36}$				
Ивлечение нефтепродуктов					
Нефтеемкость – C (M _c – масса цеолита, г; M – масса цеолита в мезуум, г)	$C = \frac{M_c}{M} * 100\%$				
Влагоемкость – W (M _c – масса сырого сорбента, г; M – масса сухого сорбента, г)	$W = \frac{M_c - M}{M} * 100\%$				

Целевой ориентир: рациональное и комплексное использование цеолитсодержащих пород (экологическая безопасность)

Рисунок 5.2.12 – Результаты реализации Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья

Выводы по главе 5

Установлено, что использование ЦСП в технологиях управления горнопромышленными отходами является составной частью системы комплексного использования техногенного минерального сырья, позволяющей обеспечить значительное снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Применение технологий обогащения ЦСП позволяет за счет очистки и увеличения порового пространства цеолитов повысить их сорбционные характеристики по отношению к ^{90}Sr и ^{137}Cs наиболее высокой сорбционной способностью и селективностью. В этой связи природные цеолиты могут использоваться для очистки сточных и оборотных вод от радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs до установленных предельно допустимых концентраций.

Разработанные технологии обогащения позволяют получать цеолитовую продукцию, обладающую достаточно высокой нефтеемкостью по сравнению с необогащенными ЦСП, что обуславливается повышением их сорбционной способности за счет очистки порового пространства путем удаления вмещающих примесей. Наилучшими показателями по нефтеемкости при этом обладают обогащенные цеолиты Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений крупностью $-1+0,5$ мм.

Разработаны патентозащищенные технологии рекультивации (консервации) хвостохранилищ (Патент РФ № 2513468) и захоронения токсичных и радиоактивных отходов (Патент РФ № 2515578), позволяющие существенно уменьшить пыление техногенных образований и исключить возможность миграции токсичных и радиоактивных компонентов в почву, грунты, подземные воды и атмосферу за счет применения цеолитсодержащих пород при формировании почвообразующего слоя и устройстве защитного экрана.

Полученные зависимости средней скорости отрастания многолетних трав на материале хвостовых отложений Шерловогорского ГОКа от содержания цеолита в породах, используемых в качестве добавки к грунту в смеси с

водорастворимыми полимерами, позволили установить, что применение комплексного метода обеспыливания хвостохранилища с использованием природных цеолитов и полиакриламида ПАА-ГС 0,1 %-ной концентрации из расчета $1,5 \text{ л/м}^2$ обеспечивает повышенные прочностные свойства поверхностной «корки», что определяется формированием устойчивой структуры поверхностного слоя хвостов.

Установлено, что достаточно высокий показатель сорбционной емкости цеолитсодержащих пород по сернистым соединениям (не менее 16 % масс) определяет возможность их использования при очистке отходящих газов котельных и ТЭС горнопромышленных предприятий от сероводорода, меркаптана и сернистого ангидрида.

Таким образом, обоснована зависимость регенерации природных цеолитов от процесса молекулярной диффузии, происходящей в их пористой структуре и вторичных порах, что обуславливает применение коэффициента молекулярной диффузии в методике расчета скорости регенерации цеолитовых сорбентов.

Установлено, что результаты реализации разработанной Концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного применения цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья базируются на определенных в результате проведения исследований данных изучения вещественного состава, физических и физико-химических свойств пород, использовании направленных видов воздействия (акустических, радиационных, энергетических, термических) при рудоподготовке, магнитной и электростатической сепарации с целью получения цеолитовых продуктов высокого качества с возможностью их применения при обезвреживании сточных вод, рекультивации (захоронении) и консервации техногенных отходов, а также при очистке отходящих газов. Определены технологические показатели, эмпирические зависимости и режимные параметры применения разработанных автором альтернативных вариантов технологий рудоподготовки, обогащения, переработки и модификации ЦСП Восточного Забайкалья, а также технологий управления горнопромышленными отходами на их основе.

6 Эколого-экономический эффект от внедрения технологий рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород

Необходимо отметить, что разработанная Концепция включает эколого-экономическую оценку применения внедряемых в производственные условия технологий, разработку проекта внедрения НДТ и получение горным предприятием комплексного экологического разрешения (КЭР). Рассматриваемые экономические показатели внедрения технологий зависят от рисков, связанных с возможностью создания экологических проблем в результате производственной деятельности горнопромышленных предприятий. Внедрение НДТ должно обеспечивать устойчивые экономические показатели работы предприятия, предусматривающие существенное превосходство величины предотвращенного ущерба от загрязнения окружающей среды по отношению к эксплуатационным затратам.

По завершении стадии выбора НДТ промышленному предприятию, при условии его отнесения к I категории, необходимо оформить комплексное экологическое разрешение (КЭР) [156]. Организации II категории, наносящие умеренное воздействие, также получают КЭР, но при условии наличия соответствующих ИТС (информационно-технических справочников) по НДТ [265].

В Российской Федерации к концу 2024 г. предприятиям, применяющим НДТ, в соответствии с паспортом Национального проекта «Экология», будут выданы КЭР. В первую очередь (в срок до 31.12.2022 г.) подать заявку на получение КЭР обязаны 300 объектов, перечень которых утверждает Министерство природных ресурсов Российской Федерации. Срок получения комплексных экологических разрешений всем объектам промышленности определен до 1 января 2025 г. [262].

Внедрение КЭР для горнопромышленных предприятий имеет ряд определенных достоинств для населения, государства и недропользователей: существенное улучшение экологического состояния окружающей среды,

международный уровень в подходе к нормированию, развитие техники и технологии до мирового уровня, модернизация технологий и оборудования, массовое применение НДТ, стимулирование импортозамещения, снижение платежей, увеличение количества высокопроизводительных рабочих мест и т. д.

Созданная в России за последние несколько лет нормативно-правовая база по использованию НДТ в промышленности является достаточно эффективной и четко определяет механизм действия законодательства и его функции (табл. 2.1.1). При этом одной из важнейших составляющих нормативно-правовой базы в сфере рационального и комплексного использования минерального сырья и обращения с отходами производства являются ИТС НДТ, регламентированные Распоряжением Правительства РФ № 2178-р от 31.10.2014 г. (в редакции распоряжений Правительства РФ от 29.08.2015 г. № 1678-р, от 30.12.2015 г. № 2765-р, от 7.07.2016 г. № 1444-р.). Справочники НДТ являются документом национальной системы стандартизации и делятся на две группы: 1) «горизонтальные», относящиеся к большинству промышленных отраслей; 2) «вертикальные», применяющиеся лишь в одной или нескольких отраслях.

Существующий уровень развития наилучших доступных технологий в области обогащения и переработки цеолитсодержащих пород позволяет реализовать малоотходное, а некоторых случаях и безотходное производство, практическая реализация которого имеет географическую, экономическую, экологическую, социальную и политическую многофакторную зависимость. Вместе с тем наиболее важной для любого горнопромышленного предприятия является эколого-экономическая составляющая его деятельности. В этой связи становится необходимым проведение соответствующей оценки внедрения предлагаемых в данной диссертационной работе технологических решений.

В предыдущих главах были отражены технические и технологические перспективы применения различных видов направленных воздействий (ультразвуковая обработка, мощные магнитные электроимпульсные воздействия, обработка ускоренными электронами, обжиг, химическая обработка) при создании эффективных способов обогащения цеолитсодержащих пород с целью

получения высококачественной цеолитовой продукции, применяемой в технологиях по управлению горнопромышленными отходами. В данном разделе приводится прогнозная оценка экологической и экономической эффективности внедрения предлагаемых в диссертационной работе технологий.

Оценка эффективности предлагаемых технологий базируется на технико-экономических принципах, учитывающих их специфические особенности, в том числе экологических, экономических, технических, технологических и региональных [36; 69; 71; 84; 94; 113]:

- 1) рассмотрение технологии на протяжении всего ее жизненного цикла;
- 2) моделирование финансовых вложений;
- 3) сравнение и сопоставимость условий различных вариантов технологий;
- 4) оценка предполагаемого эффекта от реализации технологии;
- 5) оценка временных показателей, включая динамичность параметров реализации технологии, ее экономической обеспеченности, возможных временных разрывов и интервалов между производственными циклами;
- 6) учет только предстоящих затрат, финансовых потерь, поступлений и упущенной выгоды;
- 7) анализ экономических и внеэкономических последствий внедрения и реализации технологии;
- 8) оценка обоснованности инвестиций, обоснование технико-экономических показателей и схемы финансирования;
- 9) выработка параметров осуществления экономического мониторинга;
- 10) учет влияния экономических и технологических рисков.

Оценка эффективности внедрения и реализации технологии производится на основе сравнения достигаемых экономических показателей. Одним из основных параметров оценки являются произведенные в рамках реализации технологии расходы (капитальные вложения и ежегодные издержки), представляющие собой суммарную стоимость всех видов затрат, понесенных в процессе внедрения технологических решений, запуска их в производство, а также в процессе их эксплуатации и функционирования [69; 71; 84; 94; 113].

Вторым важным показателем оценки эффективности внедрения и реализации технологии являются доходы, подразумевающие полную стоимостную оценку положительных результатов от применения предлагаемых технологических решений. К категории доходов следует отнести и социально-экономические выгоды при внедрении технологии в промышленные условия, к которым необходимо отнести трудовую занятость населения, повышение уровня стабилизации и диверсификации экономики региона и т. д. Выводы о соответствии требованиям и технико-экономической эффективности разработанных технологий базируются на результатах соответствующих расчетов при сравнении двух вариантов и более [84; 94; 113].

Исходя из того, что разработанные автором технологии находятся на стадии НИР, а результаты их внедрения требуют уточнения по мере получения новых данных, экономическая оценка экономической эффективности внедрения предлагаемых технологических решений проведена с достаточной степенью достоверности. Определены основные технико-экономические показатели при внедрении и реализации технологий, к которым относятся чистый дисконтированный доход, индекс доходности и срок окупаемости.

6.1 Экономическая оценка внедрения инновационных методов рудоподготовки, обогащения и модификации цеолитсодержащих пород в производственных условиях

В главах 3 и 4 показано, что использование различных видов направленного воздействия и химической обработки при обогащении (повышении качества) цеолитсодержащих пород позволяет получить из них высококачественные товарные продукты, находящие широкое применение в горной промышленности при управлении техногенным сырьем путем внедрения природных цеолитов в технологии по рекультивации и консервации хвостохранилищ и отвалов пород, очистке сточных и шахтных вод от радионуклидов и нефтепродуктов, захоронению токсичного и радиоактивного техногенного сырья.

В таблице 6.1.1 приведены технические и экономические показатели прогнозного внедрения разработанной технологии обогащения (повышения качества) цеолитсодержащих пород на производственном комплексе НПВО ООО «Цеолит». Оценка экономической эффективности внедрения технологии обогащения цеолитсодержащих пород Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений проведена с использованием приведенных затрат. Для экономических расчетов использовалась одинаковая производительность применяемого оборудования и аппаратов, составившая 5 т/час. Себестоимость получаемой цеолитовой продукции с использованием разработанной технологии обогащения ЦСП рассчитывалась с учетом затрат на заработную плату, энергозатрат, отчислений на амортизацию и эксплуатационных расходов. Основным критерием расчета технико-экономических показателей являлась рентабельность, при этом экономическая эффективность технологии обогащения ЦСП определялась по формуле [30]:

$$S = r_2 - r_1,$$

где r_1 и r_2 – рентабельность старой и новой технологии соответственно.

При расчете себестоимости переработки цеолитсодержащих пород производилась ее оценка по элементам затрат и включала: затраты на заработную плату, приобретение материалов и услуг, затрат на электроэнергию и амортизационные отчисления. Кроме того, учитывались результаты проведенных исследований о количественном содержании мономинералов цеолитов в продуктах переработки и обогащения, выходе данных продуктов, расходе материалов, веществ и реагентов, характеристиках технологических переделов, расходе потребляемых ресурсов. Вместе с тем при проведении экономических расчетов учитывались существующие на данный момент нормативные данные, в том числе льготные коэффициенты, тарифные сетки, установленные законодательством начисления на заработную плату, амортизацию и охрану труда, а также рыночная стоимость высококачественной цеолитовой продукции. Экономические показатели внедрения технологических решений в работу

научного производственно-внедренческого объединения «Цеолит» представлены в табл. 6.1.1.

Таблица 6.1.1. – Основные технико-экономические показатели эффективности внедрения технологии обогащения ЦСП на производственном комплексе НПВО ООО «Цеолит»

№ п/п	Показатели	Ед. измерения	Значения по месторождениям	
			ЦСП Талан-Гозагорского месторождения	ЦСП Шивыртуйского месторождения
По существующей технологии				
1	Производственная мощность: по сырью по цеолитовому продукту	т/год	59220 11552,05	59220 20285
2	Численность промышленно-производственного персонала	чел	16	16
3	Фонд заработной платы	руб.	9216000	
4	Расход на содержание и эксплуатацию оборудования	руб.	615050	
5	Цена 1 т цеолитового продукта	руб.	7000	5000
6	Себестоимость 1 т цеолитового продукта	руб.	3000	3000
7	Реализуемая продукция	руб.	80864350	10142500
8	Прибыль	руб.	36377150	40570000
9	Срок окупаемости	лет	1	1
По разработанной технологии				
1	Производственная мощность: по сырью по цеолитовому продукту	т/год	59220 14953,05	59220 35532
2	Численность промышленно-производственного персонала	чел	16	
3	Фонд заработной платы	руб.	9216000	
4	Расход на содержание и эксплуатацию оборудования	руб.	712560	
5	Цена 1 т цеолитового продукта	руб.	100000	60000
6	Себестоимость 1 т цеолитового продукта	руб.	10000	10000
7	Реализуемая продукция	руб.	149530500	213192000
8	Прибыль	руб.	134081022	177163572
9	Срок окупаемости	лет	1	1

Установлено, что затраты на получение одной тонны высококачественной цеолитовой продукции при реализации разработанной автором технологии

составят 10 000 руб. 00 коп. При этом содержание мономинералов цеолита в концентрате составит 97,3–99,1 %, что соответствует существующей на сегодняшний день рыночной стоимости данной продукции от 60 до 100 тыс. руб. за тонну.

Результаты проведенных расчетов показали, что вложения во внедрение и реализации разработанных технологий являются экономически целесообразными, что подтверждается полученными показателями инвестиционной эффективности: чистый дисконтированный доход > 0 ; индекс доходности > 1 .

Таким образом, предлагаемая технология отличается более выгодными технико-экономическими показателями и более высоким качеством продукции по сравнению с существующей.

Вместе с тем одним из наиболее важных эколого-экономических показателей работы горнопромышленного предприятия по добыче и переработке ЦСП является комплексность использования минерального сырья. В этой связи был произведен расчет коэффициента комплексного использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья при их добыче, переработке и применении. Коэффициент комплексного использования определен из соотношения стоимостей компонентов в ЦСП к их стоимости в товарной продукции и составил $K_{ки} = 97,7 \%$.

Коэффициент комплексности использования ЦСП определяется как [84]:

$$K_{ком} = \frac{\sum_{i=1}^I p_i C_i}{\sum_j q_j C_j} = 0,98,$$

где p_i – масса i -го компонента, перешедшая в конечные продукты; q_j – масса j -го компонента, находящаяся в минеральном сырье; C_i – цена единицы i -й продукции; I – число извлеченных из ЦСП или с их помощью компонентов; J – число полезных компонентов в сырье.

При этом коэффициент безотходности переработки, обогащения, модификации ЦСП, а также их применения в технологиях рекультивации, обезвреживания и захоронения горнопромышленных отходов будет определяться [84]:

$$K_{\text{бп}} = \sum_{j=1}^J \frac{B_j}{V_j} K_{\text{и}} = \frac{59220}{132562} 0,97 = 0,43 \text{ кг/м}^3,$$

где B_j – масса j -й продукции, полученная из добытых ЦСП, вскрышных и вмещающих пород; J – число конечных продуктов при переработке полезных ископаемых и отходов добычи и переработки; V – объем ЦСП, добытых вскрышных и вмещающих пород; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования полученной из ЦСП продукции. При условии использования отходов в стройиндустрии данный коэффициент будет приближаться к 1.

Для определения коэффициента безотходности предлагается ввести коэффициент использования полученной из ЦСП продукции $K_{\text{и}}$, учитывающий степень утилизации и безвозвратного применения цеолитов и отходов их обогащения, переработки и модификации с учетом оценки жизненного цикла от момента добычи до момента окончательного использования. В частности, безвозвратным (окончательным) применением можно считать использование ЦСП и продуктов их переработки при закладке выработанного пространства, добавки в грунт хвостохранилищ и отвалов пород при рекультивации, применении в качестве строительных материалов, а также при захоронении радиоактивных и токсичных отходов и т. д. Определение коэффициента использования полученной из ЦСП продукции $K_{\text{и}}$ определяется как отношение массы добытых ЦСП к массе использованных безвозвратно [84]:

$$K_{\text{и}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{и}}}.$$

В данном случае становится важным показателем, отражающий количество потерь ЦСП, происходящих при их добыче и обогащении (переработке, модификации, использовании продукции из ЦСП). При этом экономический ущерб зависит от коэффициента потерь полезного компонента [95]:

$$K_{\text{п}} = \frac{B_{\text{пап}}}{B_{\text{аб}}} = \frac{2,57}{0,98} = 2,62,$$

где $B_{\text{п}}$ – объем потерь ЦСП в технологических операциях; $B_{\text{аб}}$ – среднее содержание цеолитов в потерях, %.

Экономическая эффективность комплексного и рационального использования цеолитсодержащих пород определяется величиной экономического эффекта, рентабельностью производства и продукции, а также эффективностью капитальных вложений и сроком окупаемости инвестиций.

Необходимо отметить, что в процессе оценки эффективности комплексного использования ЦСП следует учитывать их многокомпонентность. Предлагаемые в данной диссертационной работе технические решения предусматривают выделение из пород минералов цеолитов, железосодержащих примесей, примесей кварца и полевых шпатов, а также при необходимости глинистой составляющей (монтмориллонит), что обуславливает усложнение применяемых технологий и, соответственно, увеличение финансовых затрат на производство. Проведенные экономические расчеты позволили определить рентабельность использования предлагаемых технологий при их высокой эффективности, обеспечивающей достаточно высокую комплексность использования минерального сырья.

Эколого-экономический эффект от комплексного использования ЦСП и их рационального практического применения в технологиях по обращению с отходами горного производства основывается на сокращении затрат на капитальные вложения, повышении рентабельности производства за счет снижения расходов на транспортировку, размещение и складирование, платы за эмиссию загрязняющих веществ, а также на сохранении земельных угодий и освобождения их от техногенных отходов (хвостохранилищ, отвалов руды и пустой породы).

Экономическая эффективность комплексного использования цеолитсодержащих пород определена по соответствующей методике для твердых отходов производства. При этом абсолютная экономическая эффективность $\mathcal{E}_{\text{абс}}$ комплексного использования ЦСП и их применения при обращении с горнопромышленными отходами представляет собой отношение суммы эффектов от использования отходов переработки ЦСП к сумме капитальных вложений, вызвавших эти эффекты. В данном случае важное значение имеет эффективность производства и потребления цеолитовой и сопутствующей продукции,

полученной в результате повышения степени и полноты комплексного использования ЦСП. Одними из основных факторов при определении абсолютной экономической эффективности предприятия по переработке ЦСП является экономия затрат на их добычу и переработку, модернизация технологических схем и применяемого оборудования, а также минимизация негативного воздействия горнопромышленных отходов на экологию районов их размещения. Исходя из этого, показатель абсолютной экономической эффективности предприятия по переработке и обогащению ЦСП следует рассчитывать по следующей формуле [94]:

$$E_{\text{абс}} = \frac{\Delta P}{\sum_{i=1}^m K} = \frac{130443307}{6825000} = 19,11,$$

где ΔP – увеличение прибыли за счет переработки отходов обогащения и модификации ЦСП в отдельные виды продукции; $\sum_{i=1}^m K$ – капитальные вложения, связанные с внедрением и реализацией разработанной технологии. Сравнительную эффективность комплексного использования цеолитсодержащих пород можно определить по формуле [94]:

$$E_{\text{сэки}} = C_a + C_p = \frac{5350000}{7118000} = 0,752,$$

где C_a – альтернативные затраты на достижение эколого-экономического эффекта; C_p – затраты на реализацию технологии комплексного использования ЦСП. При использовании отходов обогащения ЦСП в стройиндустрии данный показатель будет приближаться к 1.

Следует отметить, что экономический эффект переработки отходов обогащения и модификации ЦСП представляет собой суммарную экономию затрат на производство, включающих заработную плату, приобретение материалов и сырья, капитальные вложения, амортизационные отчисления, плату на эмиссию загрязняющих веществ, которая достигается горнопромышленным предприятием в том числе за счет управления техногенными отходами [94].

Экономическая эффективность переработки отходов обогащения и модификации ЦСП рассчитана по следующей формуле [94]:

$$E_{\text{по}} = E_{\text{сп}} + E_{\text{эу}} = 43825000 + 625000 = 44450000 \text{ руб/год,}$$

где $E_{\text{сп}}$ – экономический эффект от использования техногенных отходов; $E_{\text{эу}}$ – экономический эффект от снижения ущерба окружающей природной среде при переработке горнопромышленных отходов.

6.2 Эколого-экономическая оценка применения цеолитсодержащих пород в технологиях управления горнопромышленными отходами

Затраты на природоохранные мероприятия по сохранению ресурсов техногенных объектов (месторождений) включают расходы на их рекультивацию/консервацию. Величина этих затрат по годам анализируемого периода должна определяться индивидуально для данного объекта расчетным методом. В расчетах должны быть учтены затраты на рекультивационные работы, годовые расходы на рекультивацию и эксплуатационные расходы.

Проведены расчеты технико-экономических показателей реализации технологии рекультивации техногенных объектов с применением цеолитсодержащих пород при условной площади нарушенных земель 4,4 га (таблица 6.1.2). Расчет капитальных затрат определен прямым счетом без учета НДС. Капитальные вложения в горнотранспортное оборудование рассчитаны прямым счетом, исходя из списочного состава оборудования и цен на его приобретение. Затраты на реновацию оборудования отсутствуют ввиду короткого срока отработки месторождения.

Из произведенных расчетов технико-экономических показателей рекультивационных работ видно, что вложения в реализацию проекта по рекультивации хвостохранилищ и отвалов пород являются экономически целесообразными. В основном рентабельность данной технологии обуславливается доступными и эффективными материалами, такими как ЦСП и лигнин, полиакриламид ПАА-ГС и Праестол 2540.

При оценке эффективности практического внедрения разработанных технологий, основанных на применении ЦСП Восточного Забайкалья, оценка

предотвращенного экологического ущерба осуществлялась по методике, утвержденной ГК РФ 30.11.1999 г.

Таблица 6.1.2 – Техничко-экономические показатели рекультивационных работ

Наименование показателя	Величина показателя
1. Общая площадь нарушаемых (нарушенных) земель (га)	4,4
2. Общая площадь рекультивируемых земель (га)	4,4
3. Среднегодовая площадь рекультивируемых земель (га)	2,2
4. Мощность снимаемого потенциально плодородного слоя почвы (м)	-
5. Мощность рекультивационного слоя (м)	0,2
6. Общий объем земляных работ (тыс. м ³)	10,812
выемка,	
в том числе:	
снятие пород для экранирующего слоя	1,0
насыпь	
нанесение плодородного слоя почвы	8,812
нанесение потенциально плодородного слоя почвы	
отсыпка экранирующего слоя	1,0
7. Сметная стоимость рекультивации нарушенных земель (тыс. руб.)	2754,35
8. Годовые эксплуатационные расходы на рекультивацию (тыс. руб.)	1377,675
9. Удельные эксплуатационные расходы на 1 га рекультивируемых земель (тыс. руб/га)	625,328

Определение предотвращенного экологического ущерба предполагает проведение экономической оценки эффективности применения разработанных автором технологий по управлению горнопромышленными отходами, базирующихся на использовании ЦСП Восточного Забайкалья, в части предотвращенного отрицательного воздействия на окружающую среду в денежном эквиваленте. Данная оценка проводилась по основным компонентам окружающей среды (воздух, вода, почва, флора и фауна).

Величина предотвращенного экологического ущерба определяется следующими факторами [33]:

- количество не поступивших в водные объекты загрязняющих веществ;
- количество не поступивших веществ в атмосферный воздух;
- объемы утилизированных и переработанных техногенных отходов;
- сокращение занимаемых земель горнопромышленными отходами;
- снижение химического загрязнения почвы;

- сохранение установленной численности животных и растений;
- проведение природоохранных и биотехнических мероприятий.

Величина предотвращенного экологического ущерба рассчитывалась на основании информационных данных по материалам проектирования горнопромышленных объектов, материалов изучения территорий размещения техногенных отходов и ежегодных докладов исполнительных органов Забайкальского края [44–46].

Методика расчета предотвращенного экологического ущерба базируется на определении явления загрязнения окружающей среды как последствия, наступившего в результате антропогенного поступления в нее веществ, которые обуславливают ухудшение ее состояния. Эколого-экономический ущерб окружающей среде представляет собой экологические и экономические потери, определяемые результатами деятельности горнопромышленных предприятий [33].

Наиболее интенсивными источниками загрязнения окружающей среды горно-перерабатывающими предприятиями в основном являются хвостохранилища, теплоснабжающие предприятия, цеха рудоподготовки и обогащения, а также отвалы пород. Величина предотвращенного экологического ущерба определяется по суммарной массе загрязняющих веществ, попадание которых в окружающую среду не допущено за счет переработки, утилизации и обезвреживания техногенных отходов.

Значения величины предотвращенного экологического ущерба рассчитывались на основе применения разработанных и описанных выше технологий рекультивации нарушенных земель (хвостохранилищ и отвалов пород), очистки сточных и оборотных вод от нефтепродуктов и радионуклидов, очистки отходящих газов ТЭС и котельных от SO_2 , захоронения токсичных и радиоактивных отходов. Основными объектами для расчета ущерба были выбраны следующие: Шерловогорское хвостохранилище, «могильник» г. Балей, мышьяковистый завод п. Вершино-Дарасунский, ТЭЦ ПАО «ППГХО».

Величина предотвращенного экологического ущерба от загрязнения водных ресурсов определялась по формуле [33]:

$$Y_{np} = \sum_{j=1}^n Y_{y\partial_j} \cdot \Delta M_r \cdot K_{\text{э}} \cdot J_{\partial},$$

где $\Delta M_r = M_1 - M_2$;

Y_{np} – эколого-экономическая оценка предотвращенного ущерба водным ресурсам, тыс. руб/год; $Y_{уд}$ – показатель ущерба водным ресурсам, руб/т (значение данного показателя для Забайкальского края составляет 4109,6 руб/т); M_1, M_2 – массы сброса загрязняющих веществ в начале и конце оцениваемого периода соответственно, т; ΔM_r – масса ликвидируемых загрязняющих веществ, т; $K_{\text{э}}$ – коэффициент экологической ситуации (значение данного показателя для Забайкальского края составляет 10,7); J_{∂} – индекс по отраслям промышленности, составляющий в 2022 г. для горной промышленности 103,8.

Определение суммарной массы загрязняющих веществ выполнено по формуле [33]:

$$M_{\text{к}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot K_{\text{э}i},$$

где m_i – масса сброса загрязняющего вещества, т/год; $K_{\text{э}i}$ – коэффициент эколого-экономической опасности для загрязняющего вещества, составляющий для Sr и Cs – 550, мышьяка – 90, для нефтепродуктов – 20; i – номер загрязняющего вещества; n – количество загрязняющих веществ.

Предотвращенный экологический ущерб от выбросов в атмосферу [33]:

$$Y_{np} = \sum_{j=1}^n Y_{удj} \cdot (M_1 - M_2) \cdot K_{\text{э}} \cdot J_{\partial},$$

где $Y_{уд}$ – величина ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, руб/т; M_1, M_2 – массы выбросов загрязняющих веществ в начале и конце оцениваемого периода, т; $K_{\text{э}}$ – коэффициент экологической ситуации. Значение данного показателя для Забайкальского края составляет 34,2; J_{∂} – индекс горнопромышленной отрасли, устанавливаемый Министерством экономического развития Российской Федерации.

Удельный ущерб определялся по формуле [33]:

$$Y_{y\partial} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{M},$$

где Y_i – экономическая оценка ущерба, тыс. руб/год; M – масса выбросов загрязняющих веществ, тыс. т/год.

Масса загрязняющих веществ определялась по формуле [33]:

$$M_K = \sum_{i=1}^n m_i \cdot K_{эi},$$

где m_i – масса выбросов в атмосферу загрязняющего вещества, т/год; $K_{эi}$ – коэффициент эколого-экономической опасности; i – индекс загрязняющего вещества; n – количество групп загрязняющих веществ.

Экологический ущерб, наносимый горной промышленностью почвам и землям, выражается в их загрязнении химическими веществами. Предотвращенный экологический ущерб [33]:

$$Y_{np} = H_c \cdot S \cdot K_э \cdot K_n,$$

где Y_{np} – предотвращенный экологический ущерб, тыс. руб/год; H_c – норматив стоимости земель, тыс. руб/га, составляющий для Забайкальского края 188 тыс. руб/га; S – площадь сохраненных почв и земель, га; $K_э$ – коэффициент экологической ситуации, составляющий для Забайкальского края 1,1; K_n – коэффициент особо охраняемых территорий (1).

Предотвращенный экологический ущерб при внедрении предлагаемых технологий на основе применения ЦСП Восточного Забайкалья определялся по формуле:

$$Y_{npх} = \sum_{i=1}^n (H_c \cdot S_i \cdot K_э \cdot K_n) \cdot K_{xn},$$

где $Y_{npх}$ – величина предотвращенного экологического ущерба загрязняющим веществом, тыс. руб/год; S_i – площадь предотвращенных от загрязнения земель, га; K_{xn} – коэффициент предотвращения загрязнения.

Расчет суммарной величины предотвращенного экологического ущерба почвам и землям производился по формуле:

$$Y_{np} = Y_{npd} + Y_{npx} + Y_{nrc} + Y_{npj}$$

где: Y_{npj} - вид предотвращенного ущерба, тыс. руб/год.

Величина предотвращенного ущерба животному и растительному миру определялась по следующей формуле [33]:

$$Y_{np1} = \sum_{i=1}^n (N_{oi} \cdot H_i) \cdot K_p,$$

где Y_{np1} – величина предотвращенного ущерба, тыс. руб/год; i – количество видов животных и растений, экз.; N_{oi} – общее число животных или растений определенного вида, экз.; H_i – плата за ущерб виду животных или растений, руб.; K_p – коэффициент биоразнообразия (для оцениваемого района Забайкальского края – 3,2).

Расчет комплексного предотвращенного экологического ущерба от реализации мер по снижению ущерба при внедрении рекомендуемых технологий производился по формуле [33]:

$$Y_{nrc} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_p \cdot H,$$

где Y_{nrc} – величина предотвращенного ущерба, тыс. руб/год; N_i – численность объектов животного и растительного мира, шт.; H – плата за ущерб биоресурсам, руб.

Величина предотвращенного эколого-экономического ущерба биоресурсам определялась по формуле [33]: $Y_{np} = Y_{np1} + Y_{nrc} + Y_{np2} + Y_{npБ}$,

где Y_{np} – величина предотвращенного ущерба при внедрении технологий, тыс. руб/год.

Суммарная величина предотвращенного экологического ущерба при внедрении и реализации разработанных автором технологий определялась по формуле [33]:

$$Y_{np} = \left[\sum_{k=1}^K Y_{np} + \sum_{k=1}^K Y_{np} + \sum_{k=1}^K Y_{np} + \sum Y_{np} + \sum Y_{np} \right],$$

где Y_{np} , Y_{np} , Y_{np} , Y_{np} – величины предотвращенных ущербов атмосферному

воздуху, водным ресурсам, биоресурсам, почвам и земельным ресурсам, тыс. руб.; $Y_{дрк}$ – иные виды предотвращенного ущерба, тыс. руб.; K – направление деятельности природоохранных органов; j – вид природного ресурса; K – корректировочный коэффициент экологического состояния оцениваемой территории.

Величина предотвращенного экологического ущерба при снижении загрязнения отходами горнопромышленного производства за счет применения разработанных автором технологий определялась по формулам [33]:

$$Y_{np1}^{отх} = Y_{yd2}^{отх} \cdot \sum_k \sum_i M_{ik}^{отх} \cdot K_i^0,$$

$$Y_{np2}^{отх} = Y_{yd1}^{отх} \cdot \sum_i \Delta M_i \cdot K_i^0,$$

где $Y_{уд2}^{отх}$ – ущерб окружающей природной среде при размещении 1 т отходов IV класса опасности, руб/т; $Y_{пр1}^{отх}$ – предотвращенный экологический ущерб при утилизации, использовании, переработке и обезвреживании 1 т отходов, тыс. руб.; $M_{ik}^{отх}$ – объем утилизированных, использованных, переработанных и обезвреженных отходов, т; $Y_{пр2}^{отх}$ – предотвращенный экологический ущерб за счет сокращения объемов ранее размещенного техногенного сырья, тыс. руб.; ΔM_i – снижение объемов размещения отходов за счет их использования, переработки и обезвреживания, т; K_i^0 – коэффициент опасности химического вещества, попадание которого в почву предотвращено.

Результаты определения параметров предотвращенного экологического ущерба представлены в таблице 6.2.1.

Таким образом, проведенные расчеты экологических и технико-экономических показателей внедрения разработанных технологий управления горнопромышленными отходами на основе применения ЦСП Восточного Забайкалья показали, что природные цеолиты являются востребованным и доступным сырьем многоцелевого назначения, способным обеспечить

существенное сокращение негативного влияния горно-перерабатывающего производства на компоненты окружающей среды.

Таблица 6.2.1 – Прогнозный предотвращенный экологический ущерб окружающей среде с применением технологий на основе ЦСП Восточного Забайкалья

Технология	Объект	Загрязняющие вещества	Компоненты окружающей среды	Прогнозный предотвращенный ущерб, тыс. руб.
Рекультивация нарушенных земель гидросмесью на основе ЦСП	Шерловогорское хвостохранилище	As, Sr, Pb, Zn, Cu, Sn, Cd, Sb, W	Атмосферный воздух, почва, водные ресурсы, растительный и животный мир	1268000
Очистка сточных и оборотных вод	Сточные воды ОФ, шахт и карьеров, стоки осадков, котельных, ТЭС и АЭС	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr, нефтепродукты	Водные ресурсы	116800000
Очистка отходящих газов ТЭС и котельных предприятий горной промышленности	ТЭЦ ПАО «ППГХО»	SO ₂ , CO ₂ , H ₂ S	Атмосферный воздух, почва, водные ресурсы, растительный и животный мир	74600
Захоронение токсичных и радиоактивных отходов	Мышьяковистый завод п. Вершино-Дарасунский; Радиоактивные отходы «Могильника» г. Балей	As, Th, Ra	Атмосферный воздух, почва, водные ресурсы, растительный и животный мир	487000 (мышьяковистый завод) 741500 («могильник» г. Балей)

Суммарный предотвращенный экологический ущерб, достигнутый на основе применения разработанных технологических решений, составил для Забайкальского края 2571100 тыс. руб., а прогнозный недопущенный ущерб водным ресурсам от обезвреживания сточных и оборотных вод горнопромышленных предприятий России – 116800000 тыс. руб.

Выводы по главе 6

Установлено, что себестоимость одной тонны высококачественной цеолитовой продукции при реализации разработанной автором технологии составит 10 000 руб. 00 коп. При этом содержание мономинералов цеолита в концентрате достигает 97,3–99,1 %, что соответствует существующей на сегодняшний день рыночной стоимости данной продукции от 60 до 100 тыс. рублей за тонну.

Обоснована эколого-экономическая целесообразность применения различных направленных воздействий (ультразвуковая обработка, МЭМИ, радиационная обработка, обжиг) в технологиях обогащения ЦСП Восточного Забайкалья. При этом установлено, что реализация данных технологий при обогащении, переработке и модификации ЦСП Восточного Забайкалья является эффективной – дисконтированный срок окупаемости затрат составляет 1 год.

Полученные расчетные технико-экономические показатели внедрения предлагаемых рекультивационных работ указывают на то, что вложения в реализацию проекта по рекультивации (консервации) хвостохранилищ и отвалов пород являются экономически целесообразными. Рентабельность данной технологии обуславливается доступными и эффективными материалами, такими как ЦСП и лигнин, полиакриламид ПАА-ГС и Праестол 2540.

На основании произведенных расчетов установлено, что критерий сравнительной эффективности комплексного использования ЦСП при внедрении разработанных технологий составляет 0,752, коэффициент комплексности использования ЦСП равен 0,98, коэффициент безотходности – от 0,43 до 1, а полный экономический эффект от переработки отходов обогащения и модификации ЦСП составит 44450000 руб/год.

Определено, что суммарный предотвращенный экологический ущерб, достигнутый на основе применения разработанных технологических решений, составит для Забайкальского края 2571100 тыс. руб., а прогнозный недопущенный для горнопромышленных предприятий России – 116800000 тыс. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых» на основании проведённых автором теоретических и экспериментальных исследований представлено научное обоснование концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного применения цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья, базирующейся на изучении вещественного состава ЦСП, физических и физико-химических свойств, применении наилучших доступных технологий при их рудоподготовке и обогащении с целью получения высококачественных цеолитовых продуктов для решения проблемы негативного воздействия техногенного минерального сырья на компоненты окружающей среды, созданы новые научно обоснованные технологические решения с применением природных цеолитов высокого качества по обезвреживанию, рекультивации, консервации и захоронению отходов горного производства, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие горноперерабатывающей отрасли страны.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Разработана Концепция управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования ЦСП Восточного Забайкалья, основанная на изучении вещественного состава, физических и физико-химических свойств пород, использовании направленных видов воздействия при рудоподготовке, с последующей магнитной и электростатической сепарацией с целью получения высококачественных цеолитовых продуктов для применения в технологиях снижения негативного влияния техногенного сырья на окружающую среду.

2. Впервые с применением метода визуализации и рендеринга виртуальных трехмерных молекулярных моделей получены модели минерала клиноптилолита Холинского месторождения в проекциях X, Y и Z, позволяющие определить его

основные сорбционные характеристики: удельная поверхность 1096,31 м²/г (1916,34 м²/см³), параметры ячейки: а – 17,5230 Å, b – 17,6440 Å, с – 7,4010 Å, объем - 2054,8 Å³, максимальный диаметр сферической молекулы для адсорбции в порах – 5,97 Å, и характеризующие параметры молекул, способных адсорбироваться на цеолите.

3. Разработана стратегия повышения эффективности и конкурентоспособности горных предприятий на основе наилучших доступных технологий рудоподготовки, обогащения, обезвреживания сточных вод, рекультивации и захоронения техногенных отходов, очистки отходящих дымовых газов.

4. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что применение акустической обработки ультразвуком в стадии рудоподготовки цеолитсодержащих пород при частоте волн 40 кГц в течение 5 минут повышает эффективность отделения вмещающих примесей (монтмориллонита) от минералов цеолита за счет звукокапиллярного и диспергирующего эффектов, обусловленных кавитационными процессами, увеличивая при этом показатель магнитной восприимчивости содержащегося в них гематита до 215–220·10⁻⁸ м³/кг за счет удаления пленок оксидов железа с их поверхности и разрушения оболочки минеральных зерен, состоящей из частиц тонкодисперсного монтмориллонита, что обеспечивает содержание цеолита в концентрате на уровне 98 %.

5. Выявлено, что применение к цеолитсодержащим породам направленных воздействий (обжиг, обработка мощными электромагнитными наносекундными импульсами, ускоренными электронами) в значительной степени повышает эффективность магнитной сепарации за счет увеличения в породах доли крупнокристаллического гематита и повышения значений его магнитной восприимчивости до 520–690·10⁻⁸ м³/кг. Такое сочетание процессов воздействия на сырье позволяет получать цеолитовую продукцию с содержанием примесей железа 0,08–2,09 %.

6. Впервые установлена закономерность увеличения коэффициента раскрытия (по минералам клиноптилолит и шабазит) в результате применения к

цеолитсодержащим породам воздействия ускоренными электронами в качестве операции рудоподготовки в диапазоне невысоких доз облучения (от 2 до 4 кГр) для клиноптилолита Шивыртуйского месторождения с 38 до 54 %, для шабазита Талан-Гозагорского месторождения с 46 до 62 %, обусловленная направленной селективной дезинтеграцией по границам срастания зерен минералов за счет образования дефектов, трещин и микротрещин, вызванных создаваемым внутренним напряжением.

7. Доказано, что использование для контрастного заряжения поверхности тонкодисперсных цеолитсодержащих пород операции обработки парами салициловой кислоты с концентрацией $(0,2-0,4) \cdot 10^{-3}$ кг/см³ в течение 30–60 мин с подогревом до 80–100 °С обеспечивает содержание цеолитов в концентрате до 99,88 % за счет повышения эффективности применения электростатической сепарации.

8. Разработаны патентозащищенные технологии обогащения цеолитсодержащих пород, построенные на основе рационального сочетания технологических операций направленных воздействий (обжиг, обработка ультразвуком, ускоренными электронами, МЭМИ, химическая модификация) с традиционными методами обогащения (дробление, измельчение, магнитная и электрическая сепарация), позволяющими получать высококачественную минеральную продукцию с содержанием цеолитов до 99,8 %.

9. Выявлено, что применение комбинирования направленных методов воздействия (рудоподготовки) на ЦСП с магнитной и электростатической сепарациями обеспечивает их глубокую очистку от вмещающих примесей, что обуславливает повышение их сорбционной емкости на 24–26 % и определяет широкие возможности использования природных цеолитов высокого качества в технологиях управления горнопромышленными отходами.

10. Впервые установлено, что получение модифицированных в необходимом направлении цеолитовых продуктов достигается сочетанием традиционных методов обогащения с кислотным обескремниванием и деалюминированием, обеспечивающих удаление оксидов алюминия, кремния, кальция, магния и железа

с увеличением диаметра входных окон цеолитов до 0,6–0,75 нм, а также существенным повышением значений их адсорбционной емкости и модуля Si/Al.

11. Выявлено, что эффективное использование природных цеолитов для очистки слабоминерализованных сточных и оборотных вод от радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs до установленных предельно допустимых концентраций определяется применением к цеолитсодержащим породам технологий обогащения и модификации, обеспечивающим существенное повышение показателя их адсорбционной емкости за счет очистки порового пространства цеолитов. Наиболее высокой сорбционной способностью и селективностью при этом обладают обогащенные цеолиты Талан-Гозагорского месторождения. Наилучшими сорбционными характеристиками по отношению к ^{90}Sr ($K_d^{90}\text{Sr} = 1800 \text{ см}^3/\text{г}$) обладают обогащенные цеолиты Бадинского месторождения.

12. Экспериментально установлено, что разработанные технологии обогащения позволяют получать цеолитовую продукцию, обладающую достаточно высокой нефтеемкостью по сравнению с необогащенными цеолитсодержащими породами, что обуславливается повышением их сорбционной способности за счет очистки порового пространства путем удаления вмещающих примесей. Наилучшими показателями по нефтеемкости обладают обогащенные цеолиты Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождений крупностью -1+0,5 мм.

13. Разработаны патентозащищенные технологии рекультивации (консервации) хвостохранилищ и захоронения токсичных и радиоактивных отходов, позволяющие существенно уменьшить пыление техногенных образований и исключить возможность миграции токсичных и радиоактивных компонентов в почву, грунты, подземные воды и атмосферу за счет применения цеолитсодержащих пород при формировании почвообразующего слоя и устройстве защитного экрана.

14. Установлено, что эффективность очистки цеолитсодержащими породами Восточного Забайкалья отходящих дымовых газов от диоксида серы составляет 90–95 %. При определении скорости регенерации ЦСП от сорбируемых

компонентов необходимо учитывать коэффициент диффузии, характеризующий процесс диффузии молекул в пористой структуре и вторичных порах цеолитов.

15. На основании произведенных расчетов установлено, что критерий сравнительной эффективности комплексного использования ЦСП при внедрении разработанных технологий составляет 0,752, коэффициент безотходности равен 0,43, а полный экономический эффект от переработки отходов обогащения и модификации ЦСП составит 44450000 руб/год. При этом суммарный предотвращенный экологический ущерб, достигнутый за счет применения разработанных технологических решений, составит для Забайкальского края 2571100 тыс. руб., а прогнозный недопущенный ущерб водным ресурсам от обезвреживания сточных и оборотных вод обогатительных фабрик, шахт и карьеров, котельных, ТЭС и АЭС горнопромышленных предприятий России – 116800000 тыс. руб.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Необходимо отметить, что в связи с растущим уровнем технологического прогресса, развитием науки и техники, изменением конъюнктуры рынка и промышленного сектора неизбежно изменение и/или дополнение действующей нормативно-правовой базы, что требует совершенствования используемого при этом терминологического аппарата. В этой связи, при дальнейшем возможном использовании наилучших доступных технологий с применением цеолитсодержащего сырья и внесении разработанных технических решений в Справочники НДТ, требуется уточнение понятийно-терминологического аппарата в данной области. Кроме того, определение понятий и терминов, употребляемых в данной области, имеет первостепенное значение для раскрытия сущности стратегии рационального и комплексного использования цеолитсодержащего сырья. Терминологический аппарат становится одним из наиболее важных методологических оснований получения новых знаний по направлениям их переработки, обогащения, модификации и практического использования.

Основные понятия и определения, используемые в диссертационной работе:

- цеолитсодержащие породы (ЦСП) – это породы, содержащие в своем составе минералы цеолита (клиноптилолит, шабазит, морденит, гейландит, феррьерит, эрионит, филлипсит, ломонтит, анальцим);
- цеолиты – это гидратированные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов;
- наилучшие доступные технологии (НДТ) – технологии производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемые на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения;
- оценка жизненного цикла (ОЖЦ) – метод определения экологического воздействия продукта, процесса или услуги в течение жизненного цикла,

проводится с целью получения исчерпывающей информации для принятия экономических, технических и социальных решений;

– анализ материальных потоков (АМП) – информационная оценка логистической категории, представляющей собой движение и/или преобразование минерального сырья и отходов в горной промышленности;

– рациональное использование – это направления применения цеолитсодержащего сырья в наилучших доступных технологиях, в том числе по снижению негативного влияния отходов горной промышленности на окружающую среду;

– комплексное использование – это совершенствование способов селективного извлечения цеолитов и других компонентов из цеолитсодержащих пород при максимальном сокращении отходов в процессе обогащения, переработки, полной утилизации всех компонентов;

– инструменты управления отходами горного производства – набор методов технологического, административного, законодательного, экономического и социального характера по обращению с техногенными отходами, обеспечивающих возможность снижения степени негативного воздействия горнопромышленных предприятий на окружающую среду;

– комплексное экологическое разрешение (КЭР) – документ, выдаваемый Федеральной службой по надзору в сфере природопользования и содержащий обязательные для выполнения горнопромышленным предприятием требования в области охраны окружающей среды;

– методы направленного воздействия – методы акустического, энергетического, термического и химического воздействия на минеральное сырье с целью изменения его физических и физико-химических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агошков, М. И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр / М. И. Агошков. – Москва: ИПКОН АН СССР, 1982. – 311 с. – Текст: непосредственный.
2. Адсорбционное количественное определение монтмориллонита в горных породах. Отраслевая методика / Министерство геологии СССР. – Москва, 1988. – 37 с. – Текст: непосредственный.
3. Аренс, В. Ж. Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов / В. Ж. Аренс, Л. В. Шумилова, М. И. Фазлуллин, Г. Х. Хчяян // *Металлург.* – 2017. – № 9. – С. 82–89. – Текст: непосредственный.
4. Бенкрофт, Г. Применение эффекта Мессбауэра к минералогии силикатов / Г. Бенкрофт, Р. Меддок, Р. Барнс // *Физика минералов.* – Москва: Изд-во «Мир», 1971. – С. 179–204. – Текст: непосредственный.
5. Блиновская, Я. Ю. Способы и особенности очистки береговой черты от нефтяного загрязнения / Я. Ю. Блиновская // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.* – 2005. – № 4. – С. 3–6. – Текст: непосредственный.
6. Блиновская, Я. Ю. Оценка эффективности сыпучих сорбентов при ликвидации тяжелых нефтепродуктов с морской акватории / Я. Ю. Блиновская, П. П. Зацепина, А. Р. Оргина // *Гидротехника.* – 2016. – № 3. – С. 31–33. – Текст: непосредственный.
7. Блиновская, Я. Ю. Перспективы использования сыпучих сорбентов для ликвидации разливов тяжелых нефтепродуктов / Я. Ю. Блиновская, **К. К. Размахнин**, П. П. Зацепина // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.* – 2017. – Вып. 2. – С. 30–32. – Текст: непосредственный.
8. Блиновская, Я. Ю. Разработка системы экологической безопасности при транспортировке нефти и нефтепродуктов в прибрежно-морской зоне / Я. Ю. Блиновская // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.* – 2009. – № 6. – С. 18–26. – Текст: непосредственный.

9. Блиновская, Я. Ю. Информационное обеспечение экологической безопасности при разработке нефтяных месторождений на шельфе / Я. Ю. Блиновская. – Владивосток: Изд-во МГУ им. Г. И. Невельского, 2006. – 232 с. – Текст: непосредственный.

10. Блиновская, Я. Ю. Геоинформационные системы в природопользовании / Я. Ю. Блиновская, В. Н. Бочарников. – Владивосток: Изд-во МГУ им. Г. И. Невельского, 2009. – 181 с. – Текст: непосредственный.

11. Богданова, В. И. Относительная кислотоустойчивость цеолитов как диагностический признак и качественная характеристика / В. И. Богданова, И. А. Белицкий // Методы диагностирования и количественного определения содержания цеолитов в горных породах: материалы Всесоюзного семинара. – Новосибирск, 1985. – С. 64–79. – Текст: непосредственный.

12. Богданов, А. В. Разработка научных основ и практических основ рекуперативной технологии экобетонирования мышьякосодержащих отходов горно-перерабатывающей промышленности: монография / А. В. Богданов, К. В. Федотов, О. Л. Качор. – Иркутск: ИрГТУ, 2014. – 182 с. – Текст: непосредственный.

13. Бондарев, А. В. Классификация минерального фармацевтического сырья / А. В. Бондарев, Е. Т. Жиликова, **К. К. Размахнин** // Гармонизация подходов к фармацевтической разработке: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Москва: МГУ, 2020. – С. 109–110. – Текст: непосредственный.

14. Бондарев, А. В. Исследование физико-химических характеристик цеолитов Холинского месторождения / А. В. Бондарев, Е. Т. Жиликова, Н. Б. Демина, **К. К. Размахнин** // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2021. – № 10. – С. 65–71. – Текст: непосредственный.

15. Боравский, Б. В. Наилучшие доступные технологии. Аспекты практического применения / Б. В. Боравский, Д. О. Скобелев, В. Р. Венчикова, Т. В. Боравская. – Москва: Изд-во «Перо», 2014. – 184 с. – Текст: непосредственный.

16. Борисович, В. Т. Геолого-экономическая оценка техногенных месторождений / В. Т. Борисович, В. В. Чайников // Техника геологоразведочных работ. – Москва: ВИНТИ, 1991. – Т. 15. – 138 с. – Текст: непосредственный.

17. Бочкарев, Г. Р. Энергетические воздействия и их роль при интенсификации процессов рудоподготовки и обогащения труднообогатимого минерального сырья сложного состава / Г. Р. Бочкарев, В. И. Ростовцев // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Т. 1. Геотехнологии. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2007. – С. 503–510. – Текст: непосредственный.

18. Бочкарев, Г. Р. Влияние ускоренных электронов на структурные и технологические свойства руд и минералов / Г. Р. Бочкарев, В. И. Ростовцев, Ю. П. Вейгельт, Ю. Т. Мазуров, А. П. Воронин, В. А. Поляков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1992. – № 6. – С. 87–94. – Текст: непосредственный.

19. Бочкарев, Г. Р. Роль теплового фактора при обработке минерального сырья высокоэнергетическими электронами и возможность его использования для интенсификации процессов обогащения / Г. Р. Бочкарев, Ю. П. Вейгельт, А. М. Михайлов, В. И. Ростовцев, Г. П. Ярахмедова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1996. – № 5. – С. 90–96. – Текст: непосредственный.

20. Бочкарев, Г. Р. О причинах уменьшения прочности минералов при их электронной обработке / Г. Р. Бочкарев, Ю. П. Вейгельт, А. М. Михайлов, В. И. Ростовцев, Г. П. Ярахмедова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1996. – № 3. – С. 69–73. – Текст: непосредственный.

21. Бочкарев, Г. Р. Фазовые превращения сульфидных комплексов при радиационно-термической обработке / Г. Р. Бочкарев, Ю. П. Вейгельт, В. И. Ростовцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 1. – С. 94–101. – Текст: непосредственный.

22. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита / Д. Брек; пер. с англ. А. Л. Клячко, И. В. Мишина, В. И. Якерсона. – Москва: Изд-во «Мир», 1976. – 781 с. – Текст: непосредственный.

23. Брунауэр, С. Адсорбция газов и паров / С. Брунауэр. – Москва: ИЛ, 1948. – Т. 1. – 783 с. – Текст: непосредственный.

24. Будников, В. И. Цеолиты Тунгусской синеклизы – возможный источник получения алюминия / В. И. Будников, И. Ф. Горовцев, Н. М. Резапова [и др.] // Проблемы геологии алюминиевого сырья Сибири: труды СНИИГГИМС. – Новосибирск, 1977. – Вып. 256. – С. 88–92. – Текст: непосредственный.

25. Бунин, И. Ж. Экспериментальное исследование нетеплового воздействия мощных электромагнитных импульсов на упорное золотосодержащее сырье / И. Ж. Бунин, Н. С. Бунина, В. А. Вдовин, П. С. Воронов, Ю. В. Гуляев, А. В. Корженевский, В. Д. Лунин, В. А. Чантурия, В. А. Черепенин // Известия АН. Серия «Физическая». – 2001. – Т. 65, № 12. – С. 1788–1792. – Текст: непосредственный.

26. Бунин, И. Ж. Теоретические основы воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на процессы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов и извлечения благородных металлов из руд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.13 / И. Ж. Бунин. – Москва: РИО РГГУ, 2009. – 40 с. – Текст: непосредственный.

27. Буров, А. И. Геология и основные закономерности размещения месторождений цеолитов Сибири и Дальнего Востока: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.14 / А. И. Буров. – Новосибирск, 1985. – 16 с. – Текст: непосредственный.

28. Бушуев, Ю. Г. Цеолиты / Ю. Г. Бушуев // Компьютерное моделирование цеолитных материалов. – Иваново, 2011. – 104 с. – Текст: непосредственный.

29. Василюк, П. А. Результаты гидрометаллургических исследований окисленной золотосодержащей руды участка «Северо-Восточный» месторождения «Дельмачик» / П. А. Василюк, **К. К. Размахнин** // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 9. – С. 77–86. – Текст: непосредственный.

30. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – Москва: Изд-во «Дело», 2001. – Текст: непосредственный.

31. Витюгин, В. М. Исследование электрокинетических явлений в процессах мокрой агрегации дисперсных материалов / В. М. Витюгин, И. Н. Ланцман // Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С. М. Кирова. – 1969. – Вып. 196. – С. 183–185. – Текст: непосредственный.

32. Волова, М. Л. Обогащение бокситов / М. Л. Волова, В. Е. Лифиренко [и др.]. – Москва: Недра, 1978. – 277 с. – Текст: непосредственный.

33. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба: утв. Госкомэкологией РФ 9 марта 1999 г. – Текст: непосредственный.

34. Гамбарян, С. Г. Превращение природного клиноптилолита в условиях природного раствора КОН / С. Г. Гамбарян, А. О. Саркисян, С. Г. Бабаян // Геохимия. – 1980. – Вып. 2. – С. 294–297. – Текст: непосредственный.

35. Гзогян, Т. Н. Интенсификация магнитной сепарации окисленных железистых кварцитов на основе электрохимических воздействий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.08 / Т. Н. Гзогян. – Москва, 1991. – 18 с. – Текст: непосредственный.

36. Глотов, В. В. Экономическая оценка эффективности реализации организационно-технических решений на предприятиях горной промышленности: монография / В. В. Глотов. – Чита: ЗабГУ, 2019. – 253 с. – Текст: непосредственный.

37. Гордиенко, И. В. Цеолитность базальтов Забайкалья / И. В. Гордиенко, Л. Г. Жамайница, Э. Л. Зонхоева. – Новосибирск: Наука, 1989. – 96 с. – Текст: непосредственный.

38. Горохов, В. К. Цеолиты Сахалина / В. К. Горохов, В. М. Дуничев, О. А. Мельников. – Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1982. – 106 с. – Текст: непосредственный.

39. Грязнова, З. В. Окислительное дегидрирование метанола на цеолитных катализаторах / З. В. Грязнова, А. Р. Нефедова, Л. Г. Ахалбедашвили // Катализ: сборник. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – С. 247–261. – Текст: непосредственный.

40. Гуменик, И. Л. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах / И. Л. Гуменик, А. С. Матвеев, А. И. Панасенко // Известия вузов. Горный журнал. – 1988. – № 12. – С. 53–54. – Текст: непосредственный.

41. Деркач, В. Г. Магнитное обогащение слабомагнитных руд / В. Г. Деркач. – Москва: Metallurgizdat, 1954. – 296 с. – Текст: непосредственный.

42. Деркач, В. Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых / В. Г. Деркач, П. А. Копычев. – Москва: Недра, 1966. – 338 с. – Текст: непосредственный.

43. Дементьев, С. Н. Новые подходы к изучению физико-химических свойств цеолитов / С. Н. Дементьев, В. А. Дребушак, Ю. В. Сереткин. – Новосибирск: ИГИГ, 1989. – 102 с. – Текст: непосредственный.

44. Доклад министерства природных ресурсов «Об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2011 год». – Чита, 2012.

45. Доклад министерства природных ресурсов «Об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2018 год». – Чита, 2019.

46. Доклад министерства природных ресурсов «Об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2019 год». – Чита, 2020.

47. Европейский опыт обращения с отходами производства и потребления / под ред. Т. В. Боравской. – Москва: ТПП РФ, 2010. – 212 с. – Текст: непосредственный.

48. Европейское природоохранное агентство. – URL: <https://www.eea.europa.eu> (дата обращения: 01.09.2021). – Текст: электронный.

49. Епутаев, Г. А. Основы аналитической теории взаимодействия минералов с полем сепараторов на постоянных магнитах / Г. А. Епутаев. – Владикавказ: РИА, 1999. – 192 с. – Текст: непосредственный.

50. Еремин, Н. И. Процессы и аппараты глиноземного производства / Н. И. Еремин, А. Н. Наумчик, В. Г. Казаков. – Москва: Metallurgia, 1980. – 360 с. – Текст: непосредственный.

51. Жамойцина, Л. Г. Генетические типы цеолитовых месторождений Забайкалья и Монголии / Л. Г. Жамойцина, В. Н. Семушин, П. И. Гордиенко // Геология и геофизика. – 1992. – № 2. – С. 113–126. – Текст: непосредственный.

52. Иванов, С. А. Повышение эффективности работы теплоэнергетического оборудования электростанций в энергосистемах с преобладающей долей ТЭЦ за счет совершенствования тепловых схем и режимов работы (на примере Забайкальского края): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.14 / С. А. Иванов. – Чита: ЗабГУ, 2012. – 41 с. – Текст: непосредственный.

53. Итцель-Эрнандес, Г. Иерархическая структура нанопористости мексиканских природных цеолитов типа клиноптилолит / Г. Итцель-Эрнандес, М. А. Эрнандес, Р. Портильо, В. П. Петрановский, А. Н. Пестряков, Э. Рубио // Известия Томского политехнического университета. – 2018. – № 10. – С. 107–117. – Текст: непосредственный.

54. Кадастр техногенных скоплений горнорудных предприятий Читинской области. – Чита: ЗабНИИ, 1998. – Текст: непосредственный.

55. Кац, Б. С. Талан-Гозагорское месторождение цеолитов (шабазитов) / Б. С. Кац, В. И. Покровская // Перспективы применения цеолитсодержащих туфов Забайкалья. – Чита, 1990. – С. 33–35. – Текст: непосредственный.

56. Изотов, А. С. Влияние радиационных воздействий на раскрытие минеральных сростков труднообогатимых руд / А. С. Изотов, В. И. Ростовцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2003. – № 2. – С. 81–90. – Текст: непосредственный.

57. Каменщиков, Ф. А. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2006. – 528 с. – Текст: непосредственный.

58. Кармазин, В. В. Магнитные и электрические методы обогащения / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин. – Москва: Недра, 1989. – 416 с. – Текст: непосредственный.

59. Кармазин, В. В. Принципы сепарационного массопереноса в турбулентных потоках пульпы, содержащих полидисперсные и гетерогенную твердую фазу / В. В. Кармазин, П. И. Пилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 4. – С. 148–160. – Текст: непосредственный.

60. Кармазин, В. В. Новые процессы сепарации в магнитных полях / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин, П. А. Усачев. – Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1982. – Текст: непосредственный.

61. Кафаров, В. В. Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – Москва: Высшая школа, 1979. – 439 с. – Текст: непосредственный.

62. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники / Н. В. Кельцев. – Москва: Химия, 1984. – 592 с. – Текст: непосредственный.

63. Китлер, И. Н. Нефелины - комплексное сырье алюминиевой промышленности / И. Н. Китлер, Ю. А. Лайнер. – Бюл. ЦНИИНЦМ. – 1959. – № 20 (45УН с. 18–22). – Текст: непосредственный.

64. Кирин, Л. В. Воздействие активационной обработки на эксплуатационные характеристики глинистых дисперсий, применяемых в нефтедобыче: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 02.00.11 / Л. В. Кирин. – Казань: КГТУ, 2004. – 20 с. – Текст: непосредственный.

65. Ключанский, Н. Г. Усовершенствованный термометрический метод определения содержания цеолитов в присутствии монтмориллонита: методическое руководство / Н. Г. Ключанский, А. Д. Подглазов, Г. М. Пуляевская. – Иркутск: ВостСибНИИГиМС, 1987. – 21 с. – Текст: непосредственный.

66. Козловский, Е. А. Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность / Е. А. Козловский. – Москва: Изд-во МГУ, 2002. – 848 с. – Текст: непосредственный.

67. Белицкий, И. А. Количественное определение содержания цеолитов в горных породах. Термохимический метод / И. А. Белицкий, А. В. Горбунов, В. А. Дребущак. – Новосибирск, 1988. – 28 с. – Текст: непосредственный.

68. Количественный фазовый анализ цеолитсодержащих пород: инструкция № 3-РТ. – Москва, 1980. – 39 с. – Текст: непосредственный.

69. Количественная и геолого-экономическая оценка ресурсов неметаллических полезных ископаемых: метод. пособие: в 3 т. Т. 2. Горнотехническое сырье. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2007. – 260 с. – Текст: непосредственный.

70. Колодезников, К. Е. Цеолитоносные провинции востока Сибирской платформы (литология, условия формирования и закономерности размещения месторождений цеолитов): автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 04.00.21 / К. Е. Колодезников. – Новосибирск, 1999. – 29 с. – Текст: непосредственный.

71. Коссов, В. В. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / В. В. Коссов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров. – Москва: Экономика, 2000. – 59 с. – Текст: непосредственный.

72. Коровушкин, В. В. ЯГР-спектроскопия в практике геолого-минералогических работ (Лабораторные и технологические исследования минерального сырья: обзор) / В. В. Коровушкин. – Москва: АО «Геоинформмарк», 1993. – 39 с. – Текст: непосредственный.

73. Коробов, А. Д. Проявление щелочного метасоматоза в породах Холинского месторождения цеолитов (Бурятская АССР) / А. Д. Коробов. – Саратов, 1985. – 12 с. (Деп. в ВИНТИ, № 8325). – Текст: непосредственный.

74. Коробов, А. Д. Цеолиты и глинистые метасоматиты Холинского месторождения Бурятии (происхождение и состав) / А. Д. Коробов, Н. И. Ульзутуев. – Саратов, 1985. – 48 с. (Деп. в ВИНТИ, № 8326). – Текст: непосредственный.

75. Котова, О. Б. Особенности вещественного состава анализимсодержащих пород Тимана / О. Б. Котова, Е. Г. Ожогина, Д. А. Шушков [и др.] // Вестник Института геологии. – 2003. – № 8. – С. 8–10. – Текст: непосредственный.

76. Котова, О. Б. Анализимсодержащие породы Тимана как потенциальный источник получения алюминиевого сырья / О. Б. Котова, Д. А. Шушков // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – С. 178–185. – Текст: непосредственный.

77. Котова, О. Б. Процесс получения цеолитов из золы уноса / О. Б. Котова, Д. А. Шушков // Обогащение руд. – 2015. – № 5. – С. 60–63. – Текст: непосредственный.

78. Эйриш, М. В. Кристаллохимические и структурные особенности монтмориллонита и их влияние на свойства бентонитовых глин / М. В. Эйриш, Е. М. Пермяков, З. Н. Эйриш [и др.] // Бентониты: сб. ст. – Москва: Наука, 1980. – С. 117–125. – Текст: непосредственный.

79. Лайнер, Ю. А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами / Ю. А. Лайнер. – Москва: Наука, 1982. – 208 с. – Текст: непосредственный.

80. Патент на изобретение № 2077512 Российская Федерация. Реагентная станция: опубл. 20.04.1997 / Литвинцева О.В., Мязин В.П., Мязин А.В., Шевченко Ю.С. – заявитель ЧитПМ– 5 с. – Текст: непосредственный.

81. Литвиненко, В. Г. Использование цеолита Шивыртуйского месторождения для очистки дымовых газов ТЭЦ / В. Г. Литвиненко, В. М. Чупретов, В. В. Мукминов [и др.]. – Краснокаменск: фонды ЦНИЛ, 1989. – 220 с. – Текст: непосредственный.

82. Литвиненко, В. Г. Опытные-промышленные испытания процесса очистки дымовых газов ТЭЦ на цеолитах Шивыртуйского месторождения. II этап / В. Г. Литвиненко, В. В. Мукминов [и др.]. Краснокаменск: фонды ЦНИЛ, 1990. – 212 с. – Текст: непосредственный.

83. Литвиненко, В. Г. Природные цеолиты в технологиях обеспечения экологической безопасности горнопромышленных предприятий / В. Г. Литвиненко, **К. К. Размахнин** // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 2. – С. 157–162. – Текст: непосредственный.

84. Лобанов Н. Я. Экономическая эффективность комплексного использования месторождений полезных ископаемых / Н. Я. Лобанов, В. А. Носков // Записки Горного Института. – 2013. – Т. 201. – С. 59–63. – Текст: непосредственный.

85. Магер, А. В. Закономерности распределения и вещественный состав цеолитовых месторождений Западного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.14 / А. В. Магер. – Москва, 1989. – 21 с. – Текст: непосредственный.

86. Мазлова, Е. А. Преимущества и недостатки нефтяных сорбентов для ликвидации разливов на акватории в условиях низких температур / Е. А. Мазлова, И. А. Мерициди, Я. Ю. Блиновская, **К. К. Размахнин**, О. А. Куликова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2020. – Т. 6. – С. 55–60. – Текст: непосредственный.

87. Маматов, Э. Д. Сернокислотное разложение цеолитов / Э. Д. Маматов, Х. А. Баротов, М. А. Рахимов, Х. Э. Бобоев, К. А. Нарзуллоев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2003. – Т. 46, № 1–2. – С. 15–19. – Текст: непосредственный.

88. Масленицкий, Н. Н. Химические процессы в технологии переработки труднообогатимых руд / Н. Н. Масленицкий, В. В. Беликов. – Москва: Недра, 1986. – 202 с. – Текст: непосредственный.

89. Мельников, Н. Н. Оценка теплового воздействия подземной атомной станции малой мощности на многолетнемерзлые горные породы / Н. Н. Мельников, П. В. Амосов, С. А. Гусак, Н. В. Новожилова, С. Г. Климин // Арктика: экология и экономика. – 2014. – № 1. – С. 30–37. – Текст: непосредственный.

90. Мельников, Н. Н. Атомные станции малой мощности для отдаленных районов страны: проблемы безопасности / П. В. Амосов, С. Г. Климин, Н. В. Новожилова // Инженерная защита. – 2015. – № 4. – С. 55–63. – Текст: непосредственный.

91. Милютин, В. В. Сорбционно-селективные характеристики неорганических сорбентов и ионообменных смол по отношению к цезию и стронцию / В. В. Милютин, В. М. Гелис, Р. А. Пензин // Радиохимия. – 1993. – Т. 35, № 3. – С. 76–78. – Текст: непосредственный.

92. Милютин, В. В. Исследование сорбции радионуклидов цезия, стронция, урана и плутония на природных и модифицированных глинах / В. В. Милютин, В. М. Гелис, Н. А. Некрасова, О. А. Кононенко // Радиохимия. – 2012. – Т. 54, № 1. – С. 71–74. – Текст: непосредственный.

93. Боярская, Р. В. Минералогия и генезис клиноптилолитов Забайкалья / Р. В. Боярская, А. В. Матер, В. В. Наседкин, С. В. Соболев // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1988. – С. 82–92. – Текст: непосредственный.

94. Мирзоева, А. Р. Оценка экономической эффективности комплексного использования сырья / А. Р. Мирзоева, М. Х. Шогенова // Экономика природопользования. – 2013. – Т. 33. – С. 51–60. – Текст: непосредственный.

95. Михайлов, А. С. Распространение цеолитов в вулканогенно-осадочных отложениях СССР и некоторые физические методы их изучения / А. С. Михайлов, В. В. Власов [и др.] // Кристаллохимия минералов и геологические проблемы. Москва: Наука, 1975. – С. 177–184. – Текст: непосредственный.

96. Митленко, А. Н. Изучение гидrolитических свойств минерального цеолитсодержащего сырья / А. Н. Митленко, К. И. Карасев, В. П. Мязин // Известия вузов. Серия «Химия и химическая технология». – 1991. – № 34. – С. 35–43. – Текст: непосредственный.

97. Митленко, А. Н. Использование цеолитсодержащего сырья при кондиционировании кислых сточных вод / А. Н. Митленко, К. И. Карасев, В. П. Мязин // Химия и технология минерального сырья: сб. ст. – Улан-Удэ: БНЦ СО АН СССР, 1991. – С. 143–151. – Текст: непосредственный.

98. Михайлов, А. С. Минеральное сырье. Цеолиты / А. С. Михайлов, У. Г. Дистоинов. – Москва: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 39 с. – Текст: непосредственный.

99. Мягченков, В. А. Ультразвуковая деструкция водорастворимых (со)полимеров / В. А. Мягченков, О. В. Крикуненко, Ф. И. Чуриков. – Казань: Изд-во КГТУ, 1998. – 102 с. – Текст: непосредственный.

100. Мязин, В. П. Разработка природоохранных мероприятий по рекультивации хвостохранилищ с целью снижения загрязнения территории Забайкалья отходами горно-перерабатывающего комплекса / В. П. Мязин, В. Т. Шекиладзе // Вестник Читинского государственного университета. – 2013. – № 6. – С. 30–38. – Текст: непосредственный.

101. Мязин, В. П. Математическое и имитационное моделирование технологических процессов обогащения цеолитсодержащих пород / В. П. Мязин, А. Н. Хатькова, Е. А. Никонов // Обогащение руд. – 2005. – № 5. – С. 24–27. – Текст: непосредственный.

102. Мязин, В. П. Оценка возможности обогащения шабазитсодержащих базальтов Восточного Забайкалья / В. П. Мязин, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья: материалы конференции. – Чита: ЧитГТУ, 2002. – С. 34–36. – Текст: непосредственный.

103. Мязин, В. П. Оценка возможности обогащения шабазитсодержащих базальтов Восточного Забайкалья / В. П. Мязин, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья. – Чита: ЧитГТУ, 2002. – С. 131–134. – Текст: непосредственный.

104. Мязин, В. П. Исследование на обогатимость шабазитсодержащих базальтов Талан-Гозагорского месторождения / В. П. Мязин, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2003. – № 11. – С. 198–199. – Текст: непосредственный.

105. Мязин, В. П. Обогащение шабазитсодержащих базальтов Талан-Гозагорского месторождения с применением сепаратора с постоянными магнитами / В. П. Мязин, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Пути решения актуальных проблем добычи и переработки ископаемых: материалы науч.-практ. конф. – Якутск: ЯГУ, 2003. – Текст: непосредственный.

106. Мязин, В. П. Обогащение цеолитсодержащих туфов с применением сепаратора с постоянным магнитом / В. П. Мязин, **К. К. Размахнин** // Технологические науки, технологии и экономика: материалы III Межрегион. науч.-практ. конф. – Чита: ЧитГТУ, 2003. – С. 51–53. – Текст: непосредственный.

107. Мязин, В. П. Физико-химическое модифицирование как процесс интенсификации обогащения цеолитсодержащего сырья / В. П. Мязин, **К. К. Размахнин** // Неделя горняка: материалы научного симпозиума. – Москва: МГГУ, 2004. – С. 102–103. – Текст: непосредственный.

108. Мязин, В. П. Проектирование горно-обогатительного производства (Охрана окружающей среды) / В. П. Мязин, В. И. Мязина, Н. Б. Насоловец. – Чита: ЧитГУ, 2004. – 198 с. – Текст: непосредственный.

109. Мязин, В. П. Комплексная переработка золошлаковых отходов тепловых электростанций Восточного Забайкалья / В. П. Мязин, Л. В. Шумилова, **К. К. Размахнин**, С. А. Багидаев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 5. – С. 159–173. – Текст: непосредственный.

110. Надирашвили, А. Н. Исследование обогатимости бедных цеолитсодержащих туфов / А. Н. Надирашвили, С. Ф. Шинкаренко, Н. Г. Сихарулидзе // Добыча, переработка и применение природных цеолитов. – Тбилиси: Сакартвело, 1989. – С. 16–18. – Текст: непосредственный.

111. Немчинова, Н. В. Комплексное устойчивое управление отходами. Металлургическая промышленность / Н. В. Немчинова, Л. В. Шумилова, С. П. Салхофер, **К. К. Размахнин**, О. А. Чернова. – Москва: ИД Академии Естествознания, 2016. – 494 с. – Текст: непосредственный.

112. Обеспечение экологической безопасности при работах в области обращения с опасными отходами: учеб. пособие / под ред. С. В. Кондратенко, Е.

В. Ярулиной. – 2-е изд., доп. и перераб. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. – 200 с. – Текст: непосредственный.

113. Овсейчук, В. А. Менеджмент горного производства / В. А. Овсейчук, Ю. Н. Резник. – Чита: ЧитГУ, 2009. – Ч. 2. – 146 с. – Текст: непосредственный.

114. Белицкий, И. А. Опыт экспрессного определения содержания цеолитов в горных породах с использованием портативных цеолитных лабораторий ПЦЛ-1 и ПЦЛ-2 / И. А. Белицкий, И. В. Дробот, Г. П. Валуева [и др.]. – Новосибирск, 1979. – 80 с. – Текст: непосредственный.

115. Остащенко, Б. А. Проблема цеолитов Тимана / Б. А. Остащенко. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1984. – Вып. 49. – 20 с. – Текст: непосредственный.

116. Отчет о детальной разведке в границах опытно-промышленного карьера по эксплуатации Шивыртуйского месторождения с подсчетом запасов цеолитсодержащих пород / Ю. В. Павленко, Б. С. Кац, Н. С. Коростелев [и др.]. – Чита, 1989. – 288 с. – Текст: непосредственный.

117. Отчет о детальной разведке участка 1-й очереди Шивыртуйского месторождения Читинской области с подсчетом запасов монтмориллонит-цеолитсодержащих пород по состоянию на 01.07.1993 г. / Ю. В. Павленко, М. В. Авелева, А. Н. Полев [и др.]. – Чита, 1993. – 2242 с. – Текст: непосредственный.

118. Отчет по геологическому заданию № 34-7 за 1989–1991 гг. Оценка рудопроявлений, геохимических ореолов и аномалий в Западном и Центральном Забайкалье / Г. Н. Рогутенок, А. В. Баранов, Е. Г. Шишкин [и др.]. – Иркутск, 1991. – 275 с. – Текст: непосредственный.

119. Отчет Цеолитовой партии о поисково-оценочных работах на цеолитовые туфы Шивыртуйского месторождения за 1988–1989 гг. / Ю. В. Павленко, О. В. Орлов, Н. С. Коростелев [и др.]. – Чита, 1989. – 861 с. – Текст: непосредственный.

120. Отчет Цеолитовой партии по опытно-методическим работам на агрохимическое сырье за 1985–1990 гг. / Ю. В. Павленко, А. Н. Полев, В. А. Шумейко [и др.]. – Чита, 1990. – 372 с. – Текст: непосредственный.

121. Павленко, Ю. В. Прогнозные ресурсы и состояние работ на цеолитсодержащие породы в Читинской области / Ю. В. Павленко // Теоретические и прикладные проблемы внедрения природных цеолитов в народном хозяйстве РСФСР: тезисы Республиканской конференции КемНИИСХ. – Кемерово, 1988. – С. 24–26. – Текст: непосредственный.

122. Павленко, Ю. В. Промышленная цеолитоносность Забайкалья / Ю. В. Павленко // Месторождения Забайкалья. – Чита; Москва: РАН, 1995. – Т. 1, кн. 2. – С. 211–213. – Текст: непосредственный.

123. Павленко, Ю. В. Результаты детальной разведки первой очереди Шивыртуйского месторождения / Ю. В. Павленко // Природные цеолиты России: Геология, физико-химические свойства и применение в промышленности и охране окружающей среды: тезисы Республиканского совещания «Природные цеолиты России». – Новосибирск, 1992. – Т. 1. – С. 35–36. – Текст: непосредственный.

124. Павленко, Ю. В. Шивыртуин-цеолитсодержащий туф Восточного Забайкалья / Ю. В. Павленко, И. А. Белицкий, Ю. В. Сереткин // Геология и геофизика. – 1989. – № 1. – С. 116–119. – Текст: непосредственный.

125. Павленко, Ю. В. Геология и условия формирования Шивыртуйского месторождения цеолитовых туфов / Ю. В. Павленко, А. Я. Гуселетова // Теоретические и прикладные проблемы внедрения природных цеолитов в народном хозяйстве РСФСР: тезисы Республиканской конференции КемНИИСХ. – Кемерово, 1988. – С. 26–28. – Текст: непосредственный.

126. Павленко, Ю. В. Ресурсы природных цеолитов Читинской области и перспективы их использования в народном хозяйстве / Ю. В. Павленко, Ю. Н. Хоментовский // Горнодобывающие комплексы Сибири и их минерально-сырьевая база. – Новосибирск: СО АН СССР, 1990. – С. 28–130. – Текст: непосредственный.

127. Павленко, Ю. В. Оперативный подсчет запасов Шивыртуйского монтмориллонит-цеолитового месторождения Читинской области по состоянию на 1.01.1989 г. по данным поисково-оценочных работ Цеолитовой партии / Ю. В.

Павленко, О. В. Орлов, Н. С. Коростелев. – Чита, 1989. – 129 с. – Текст: непосредственный.

128. Павленко, Ю. В. Поиски природных цеолитов в орогенно-активизированных структурах Восточного Забайкалья / Ю. В. Павленко. – Чита: ЧитГТУ, 2000. – 82 с. – Текст: непосредственный.

129. Павленко, Ю. В. Цеолитовые месторождения Восточного Забайкалья / Ю. В. Павленко. – Чита: ЧитГТУ, 2000. – 101 с. – Текст: непосредственный.

130. Павленко, Ю. В. Перспективы природных цеолитов / Ю. В. Павленко // Забайкалье: наука, культура, жизнь. – 2003. – № 3. – С. 11–12. – Текст: непосредственный.

131. Павленко, Ю. В. Прогнозно-поисковые комплексы для промышленных типов цеолитсодержащих пород Читинской области / Ю. В. Павленко. – Чита, 1991. – 125 с. – Текст: непосредственный.

132. Патент № 2244393 Российская Федерация. Способ рекультивации песчаных земель: опубл. 10.05.2005 / Головин В.Л., Носовский В.С., Корляков А.С.; заявитель ФГУП ДНИИГН. – 6 с. – Текст: непосредственный.

133. Патент №2030851 Российская Федерация. Способ восстановления нарушенных земель: опубл. 20.03.1995 / Месяц С. П., Калацкая М. Н., Кириллова Л. А., Сентябрева И. А. заявитель ГИ КНЦ РАН. – 9 с. Текст: непосредственный.

134. Патент №2267514 Российская Федерация. Способ защиты грунтов от эрозии: опубл. 10.01.2006 / Медко В. В., Чеверев В. Г. заявитель Чеверев В. Г. – 6 с. – Текст: непосредственный.

135. Патент №2299100 Российская Федерация. Способ детоксикации фрагментов разрушенных производственных зданий, загрязненных люизитом и продуктами его превращений: опуб. 20.05.2007 / Зорин А. Д., Занозина В. Ф., Каратаев Е. Н., Швецов С. М., Корнев В. М., Цариковский И. В. заявитель ГОУ ВПО НГУ им. Н.И. Лобачевского. – 6 с. – Текст: непосредственный.

136. Патент № 2366521 Российская Федерация. Способ захоронения токсичных отходов: опубл. 10.09.2009 / Исаев Б. Н., Цапкова Н. Н., Бадеев С. Ю., Лунев А. Г., Синчунова Е. Г. заявитель ФГОУ ВПО ЮФУ. – 6 с. – Текст:

непосредственный.

137. Патент № 2294245 Российская Федерация. Способ защиты окружающей среды от загрязнения бытовыми и промышленными отходами: опуб. 27.02.2007 / Бальзанников М.И., Галицкова Ю.М. заявитель ГОУ ВПО СГАСУ. – 9 с. – Текст: непосредственный.

138. Патент № 2264865 Российская Федерация. Способ обогащения цеолитсодержащих пород: опубл. 27.11.2005/ Хатькова А.Н., Мязин В.П., Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Иванова Т.А., Воблый П.Д., Уткин А.В., Хавин Н.Г., Богомоллов Н.И. заявитель ЧитГУ. – 6 с. – Текст: непосредственный.

139. Патент № 2278737 Российская Федерация. Устройство для обогащения магнитосодержащего сырья: опубл. 27.06.2006 / **Размахнин К. К.**, Мязин В. П. – Текст: непосредственный.

140. Патент № 2230596 Российская Федерация. Фильтр для очистки жидкости: опубл. 20.06.2004 / Хатькова А. Н., Мязин В. П., Никонов Е. А. заявитель ЧитГТУ. – 6 с – Текст: непосредственный.

141. Патент № 123341 Российская Федерация. Устройство для сухой очистки дымовых газов: опубл. 27.12.2002 / Пинигин В.В., Батухтин А.Г. заявитель ЧитГУ. – 6 с. – Текст: непосредственный.

142. Патент № 1430346 СССР. Способ реактивации цеолитов: опубл. 15.10.1988 / Грунвальд В. Р., Исмагилов Ф. Р., Черномырдина Н. А., Маковская Г. Ю., Ахмедова А. Р., Афанасьев Ю. М., Климов В. Я., Вакулин В. И., Настека В. И., Чередниченко П. Н., Бородин Б. П. заявитель Волго-Уральский НИПИ по добыче и переработке серосодержащих газов – 5 с. – Текст: непосредственный.

143. Патент РФ № 2393310 Российская Федерация. Способ сноса и захоронения зданий, загрязненными токсичными и отравляющими веществами, и поточная линия для его осуществления: опубл. 27.06.2010 / Мязин В. П., Шестернев Д. М., **Размахнин К. К.**, Олевский И. Л., Мязин А. В. – Текст: непосредственный.

144. Патент № 2264865 Российская Федерация. Способ обогащения цеолитсодержащих пород: опубл. 27.11.2005 / Хатькова А.Н., Мязин В.П.,

Чантурия В. А., Бунин И. Ж., Иванова Т. А., Воблый П. Д., Уткин А. В., Хавин Н. Г., Богомолов Н. И. заявитель ЧитГУ. – 6 с. – Текст: непосредственный.

145. Патент №2320406 Российская Федерация. Способ получения ферроцианидного сорбента: опубл. 27.03.2008 / Адамович Д. В., Арустамов А. Э., Гелис В. М, Дмитриев, С. А., Милютин В. В. заявитель ЗАО «Альянс - Гамма». – 6 с.– Текст: непосредственный.

146. Патент РФ № 2513468 Российская Федерация. Способ рекультивации хвостохранилищ: опубл. 20.04.2014 / В. П. Мязин, В. Т. Шекиладзе, Т. Л. Шильникова, **К. К. Размахнин**; заявитель ЗабГУ. – 7 с. – Текст: непосредственный.

147. Патент № 148521 Российская Федерация. Устройство для рекультивации хвостохранилищ: опубл. 27.10.2004 / Мязин В. П., Офицеров В. Ф., Ходкевич Д. В. Петухов А. А. заявитель ЧитГУ. – 5 с. – Текст: непосредственный.

148. Патент №2515578 Российская Федерация. Способ захоронения токсичных и радиоактивных отходов: опубл. 10.05.2014 / В. П. Мязин, **К. К. Размахнин**; заявитель ЗабГУ. – 5 с. – Текст: непосредственный.

149. Патент № 2455073 Российская Федерация. Способ обогащения цеолитсодержащего сырья: опубл. 10.07.2012 / **К. К. Размахнин**, А. Н. Хатькова.; заявитель ЧитГУ. Заявитель ЗабГУ.– 6 с. – Текст: непосредственный.

150. Патент № 2229342 Российская Федерация. Способ обогащения цеолитсодержащих туфов: опубл. 02.07.2002 / А. Н. Хатькова, В. П. Мязин, Е. А. Никонов, **К. К. Размахнин**; заявитель ЧитГТУ. – 6 с. – Текст: непосредственный.

151. Патент № 99106735/03(007778) Российская Федерация. Способ переработки материалов, содержащих благородные металлы: опубл. 10.12.2001 / Бунин И. Ж., Вдовин В. А., Гуляев Ю. В., Корженевский А. В., Лунин В. Д., Чантурия В. А., Черепенин В. А. заявитель ИПКОН РАН, ИРЭ РАН. – 6 с. – Текст: непосредственный.

152. Патент № 2139142 Российская Федерация. Способ переработки материалов, содержащих благородные металлы: опубл. 10.10.1999 / Чантурия В. А., Лунин В. Д., Бунин И. Ж., Гуляев Ю. В. Черепенин В. А., Вдовин В. А.,

Корженевский А. В., Седельникова Г. В., Крылова Г. С. заявитель ИПКОН РАН, ИРЭ РАН. – 6 с. – Текст: непосредственный.

153. Паукер, В. И. Цветная Металлургия / В. И. Паукер, А. И. Лайнер, Ю. А. Лайнер // Бюллетень института «Цветметинформация». – 1970. – № 17. – С. 30–34. – Текст: непосредственный.

154. Петухов, В. И. Комплексное устойчивое управление отходами. Горнодобывающая промышленность / В. И. Петухов, Е. Гидаракос, А. Н. Ерехинский, А. В. Зиньков, О. И. Литвинец, С. Салхофер, И. А. Тарасенко, А. С. Холодов, О. Г. Черныш. – Москва: ИД Академии Естествознания, 2016. – 638 с. – Текст: непосредственный.

155. Покровский, С. С. Перспективы создания перерабатывающих мощностей по выпуску цеолитсодержащих материалов / С. С. Покровский, В. А. Телятников, В. Г. Литвиненко // Перспективы применения цеолитсодержащих туфов Забайкалья. – Чита, 1990. – С. 52–65. – Текст: непосредственный.

156. Постановление Правительства Российской Федерации № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий»: [от 28 сентября 2015 г.]. – Текст: непосредственный.

157. Цицишвили, Г. В. Природные цеолиты / Г. В. Цицишвили, Т. Г. Андроникашвили, Г. Н. Киров, Л. Д. Филазова. – Москва: Химия, 1989. – 224 с. – Текст: непосредственный.

158. Природные цеолиты в народном хозяйстве России: экспресс-Бюллетень международной научно-практической конференции. – Иркутск: ИрГТУ, 1996. – 52 с. – Текст: непосредственный.

159. Природные цеолиты в социальной сфере и охране окружающей среды: сб. науч. тр. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1990. – 88 с. – Текст: непосредственный.

160. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России / В. Ф. Протасов. – Москва: Финансы и статистика, 2000. – 672 с. – Текст: непосредственный.

161. Рабочий проект «Ликвидация и предупреждение радиоактивного загрязнения г. Балей» / ЗабНИИ. – Чита, 2002. – 160 с. – Текст: непосредственный.

162. Разливы нефти: проблемы, связанные с ликвидацией последствий разливов нефти в арктических морях. – Москва: WWF. 2007. – 35 с. – Текст: непосредственный.

163. **Размахнин, К. К.** Эффективность применения магнитной сепарации в технологических схемах обогащения цеолитсодержащих туфов Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин // Современные методы переработки минерального сырья. – Иркутск: ИрГТУ, 2004. – С. 23–26. – Текст: непосредственный.

164. **Размахнин, К. К.** Обоснование и разработка технологических схем обогащения цеолитсодержащих туфов Восточного Забайкалья на основе магнитной сепарации / К. К. Размахнин // Материалы научно-практической конференции, посвященной 30-летию Горного института ЧитГУ. – Чита: ЧитГУ, 2004. – С. 51–54. – Текст: непосредственный.

165. **Размахнин, К. К.** Создание конструкции магнитного сепаратора с системой из постоянных магнитов для извлечения магнитных примесей из цеолитсодержащих туфов / К. К. Размахнин // Проблемы освоения ресурсов дальнего Востока и стран АТР. – Владивосток, 2004. – С. 103–105. – Текст: непосредственный.

166. **Размахнин, К. К.** Исследование факторов, влияющих на эффективность применения сухой магнитной сепарации при обогащении цеолитсодержащих туфов / К. К. Размахнин // V конгресс обогатителей стран СНГ (г. Москва, 2005). – Москва: Альтекс, 2005. – Т. 3. – С. 12–14. – Текст: непосредственный.

167. **Размахнин, К. К.** Характеристика вещественного состава и технологико-минералогические характеристики цеолитсодержащих туфов Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Вып. 4. – С. 315–328. – Текст: непосредственный.

168. Милютин, В. В. Методы очистки техногенных сточных и оборотных вод / В. В. Милютин, Б. Е. Рябчиков, **К. К. Размахнин**. – Чита: ЗабГУ, 2016. – 132 с.

169. **Размахнин, К. К.** Разработка и обоснование схем переработки цеолитсодержащего сырья на основе применения направленных и ультразвуковых воздействий / К. К. Размахнин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Вып. 4. – Москва: МГГУ, 2007. – С. 437–446. – Текст: непосредственный.

170. **Размахнин, К. К.** Разработка технологических схем обогащения цеолитов / К. К. Размахнин // Кулагинские чтения: материалы конф. – Чита: ЧитГУ, 2007. – С. 88–92. – Текст: непосредственный.

171. **Размахнин, К. К.** Разработка технологии комплексной переработки цеолитсодержащего сырья Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения-2010). – Казань, 2010. – С. 365–368. – Текст: непосредственный.

172. **Размахнин, К. К.** Перспективы извлечения алюминия из цеолитсодержащих пород / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Кулагинские чтения: материалы X Междунар. конф. – Чита: ЧитГУ, 2010. – Ч. 1. – С. 97–100. – Текст: непосредственный.

173. **Размахнин, К. К.** Интенсификация процесса извлечения алюминия из цеолитсодержащих пород с помощью механоактивации / К. К. Размахнин // Материалы VII Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2010. – С. 219–223. – Текст: непосредственный.

174. **Размахнин, К. К.** Сырьевая база и технологии переработки цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2011. – Вып. 1. – С. 7–10. – Текст: непосредственный.

175. **Размахнин, К. К.** Модификация свойств цеолитов с целью расширения областей их применения / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – Вып. 4. – С. 246–252. – Текст: непосредственный.

176. **Размахнин, К. К.** Цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья как сырье для получения алюминия / К. К. Размахнин // Казанская наука. – 2011. – Вып. 1. – С. 464–466. – Текст: непосредственный.

177. **Размахнин, К. К.** Влияние ультразвукового воздействия на процесс отделения загрязняющих примесей от цеолитов / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // VIII конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. – Москва: МИСиС, 2011. – Т. 2. – С. 17–19. – Текст: непосредственный.

178. **Размахнин, К. К.** Влияние механоактивации на процесс интенсификации извлечения алюминия из цеолитсодержащих пород / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова, Н. Н. Бурнашова // Разведка и охрана недр. – 2011. – Вып. 4. – С. 65–67. – Текст: непосредственный.

179. **Размахнин, К. К.** Организация ресурсосберегающих технологий добычи и переработки цеолитсодержащего сырья и оценка перспектив его использования для извлечения алюминия / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – Вып. 5. – С. 145–146. – Текст: непосредственный.

180. **Размахнин, К. К.** Перспективы применения природных цеолитов Забайкалья / К. К. Размахнин // VI Всероссийская цеолитная конференция с международным участием: сборник материалов. – Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. – С. 124–125. – Текст: непосредственный.

181. **Размахнин, К. К.** Влияние мощных электромагнитных импульсов на кинетику растворения железа цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Новые технологии обогащения комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения-2011). – Екатеринбург, 2011. – С. 95–97. – Текст: непосредственный.

182. **Размахнин, К. К.** Перспективы извлечения оксида алюминия из цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. И. Михайлова, Е. Г. Самсонова, Л. П. Филатова, Д. Д. Матыпова, К. С. Хатькова //

Молодежь Забайкалья: инновации в технологиях и образовании. – Чита: ЗабГУ, 2012. – Ч. 1. – С. 167–170. – Текст: непосредственный.

183. **Размахнин, К. К.** Химический способ извлечения алюминия из цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / Л. П. Филатова, Д. Д. Матыпова // Технические науки – основа современной инновационной системы. – Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2012. – С. 44–45. – Текст: непосредственный.

184. **Размахнин, К. К.** Перспективы модифицированных природных цеолитов Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин // Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья: материалы IV Междунар. науч. конф. – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – С. 143–148. – Текст: непосредственный.

185. **Размахнин, К. К.** Очистка сточных вод горнопромышленных предприятий от радионуклидов / К. К. Размахнин, В. В. Милютин, А. Н. Хатькова, И. Б. Размахнина // Научные труды КубГТУ. – 2019. – № 3. – С. 938–947. – Текст: непосредственный.

186. **Размахнин, К. К.** Повышение качества цеолитсодержащих пород с целью их применения при комплексном обеспечении экологической безопасности горнодобывающих предприятий / К. К. Размахнин // Вестник Забайкальского горного колледжа имени М. И. Агошкова: Агошковские чтения. – Чита: ЗабГК, 2019. – № 12. – С. 94–99. – Текст: непосредственный.

187. **Размахнин, К. К.** Перспективы применения цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья для комплексного обеспечения экологической безопасности горнодобывающих предприятий / К. К. Размахнин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6, № 2. – С. 224–230. – Текст: непосредственный.

188. **Размахнин, К. К.** Геоэкологические аспекты использования природных цеолитов / К. К. Размахнин, В. В. Милютин, А. Н. Хатькова // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: материалы международного конгресса. – Новосибирск, 2019. – Т. 2, № 4. – С. 246–255. – Текст: непосредственный.

189. **Размахнин, К. К.** Природные цеолиты Восточного Забайкалья в технологиях обеспечения экологической безопасности горнопромышленных территорий / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в XXI веке (Плаксинские чтения), Иркутск, 2019. – С. 360–363. – Текст: непосредственный.

190. **Размахнин, К. К.** Применение природных цеолитов при обеспечении экологической безопасности горнопромышленных территорий / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова, И. Б. Размахнина // Техносферная безопасность Байкальского региона: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2019. – С. 91–97. – Текст: непосредственный.

191. **Размахнин, К. К.** Разработка ресурсосберегающих технологий извлечения золота / К. К. Размахнин // Вестник ЗабГК. – 2018. – № 11. – С. 24–28. – Текст: непосредственный.

192. **Размахнин, К. К.** Геоэкологические аспекты переработки цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова, Я. Ю. Блиновская // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 203–206. – Текст: непосредственный.

193. **Размахнин, К. К.** Роль минералого-технологической оценки при разработке технологий обогащения цеолитсодержащих пород / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 199–202. – Текст: непосредственный.

194. **Размахнин, К. К.** Современные технологии переработки цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2018. – С. 196–201. – Текст: непосредственный.

195. **Размахнин, К. К.** Природные сорбенты в технологиях обеспечения комплексной экологической безопасности горнопромышленных комплексов / К. К. Размахнин // Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования:

материалы I Всерос. науч.-практ. конф. – Краснодар: КубГУ, 2020. – С. 176–180. – Текст: непосредственный.

196. **Размахнин, К. К.** Сорбционные характеристики природных цеолитов Восточного Забайкалья по отношению к нефтепродуктам / К. К. Размахнин, Я. Ю. Блиновская, А. В. Нескоромных // Актуальные проблемы нефтехимии: сборник тезисов докладов V Российской конф. – Москва: ИНХС РАН, 2016. – С. 290–291. – Текст: непосредственный.

197. **Размахнин, К. К.** Эффективность применения направленных воздействий при переработке нерудного минерального сырья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова, Я. Ю. Блиновская // Международная конференция по переработке минерального сырья. – Улан-Батор, 2016. – С. 160–169. – Текст: непосредственный.

198. **Размахнин, К. К.** Комплексная переработка цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова, Я. Ю. Блиновская // Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья. – Москва: ИД «Руда и Металлы», 2016. – С. 281–284. – Текст: непосредственный.

199. **Размахнин, К. К.** Технологии переработки цеолитсодержащих пород / К. К. Размахнин, Д. С. Ипатова // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. – Чита: ЗабГУ, 2015. – Ч. 3. – С. 93–97. – Текст: непосредственный.

200. **Размахнин К. К.** Технологии переработки цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова, Д. С. Ипатова // Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений. – Казань: ИД «Казанская недвижимость», 2015. – С. 225–228. – Текст: непосредственный.

201. **Размахнин, К. К.** Современные технологии переработки и модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья: монография / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова. – Чита: ЗабГУ, 2014. – 309 с. – Текст: непосредственный.

202. **Размахнин, К. К.** Переработка природных цеолитов, используемых в фильтрах ТЭС Забайкальского края / К. К. Размахнин // Экомониторинг. Экологическая эффективность. – 2014. – № 10. – С. 27–32. – Текст: непосредственный.

203. **Размахнин, К. К.** Особенности применения бесцианидных реагентов для переработки окисленных золотосодержащих руд / К. К. Размахнин, П. А. Василюк // Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2020. – С. 252–254. – Текст: непосредственный.

204. **Размахнин, К. К.** Обоснование и разработка технологий обогащения и модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / К. К. Размахнин // «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых». – 2021. – № 3. – С. 148–157. – Текст: непосредственный.

205. **Размахнин, К. К.** Технологии переработки и модификации цеолитсодержащих пород / К. К. Размахнин, А. Н. Хатькова // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья. – Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ), 2021. – С. 63–67. – Текст: непосредственный.

206. **Размахнин, К. К.** Природные цеолиты в наилучших доступных технологиях при обращении с отходами горного производства / К. К. Размахнин, В. Г. Литвиненко, И. Б. Размахнина // Безопасность и ресурсосбережение в техносфере. – Краснодар: КубГТУ, 2021. – С. 336–340. – Текст: непосредственный.

207. Распоряжение Правительства РФ № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий»: [от 19 марта 2014 г.]. – Текст: непосредственный.

208. Ростовцев, В. И. Интенсификация магнитной сепарации железосодержащих руд с использованием радиационно-термической обработки / В. И. Ростовцев, Ю. П. Вейгельт, Ю. Т. Мазуров, А. П. Воронин, С. В. Русаков, И.

Г. Бочкарев, В. А. Поляков // Teoreticke a prakticke problemy magnetickeho rozdruzovania nerastnych surovin: сборник. – Kosice. – 1989. – С. 162–167. – Текст: непосредственный.

209. Ростовцев, В. И. Влияние энергии ускоренных электронов на измельчаемость и селективное раскрытие руд и минералов / В. И. Ростовцев, Ю. П. Вейгельт, А. П. Воронин, В. А. Поляков, О. С. Грибков, Г. Р. Бочкарев // Труды V Симпозиума Татараман-88 (ЧССР, Высокие Татры). – 1988. – Т. 3. – С. 183–187. – Текст: непосредственный.

210. Ростовцев, В. И. Физико-химическое моделирование процессов в гетерогенных системах при подготовке и обогащении руд / В. И. Ростовцев, Ю. П. Вейгельт // ФТПРПИ. – 1998. – № 1. – С. 110–116. Текст: непосредственный.

211. Ростовцев, В. И. Теоретические и практические основы использования энергетических воздействий в процессах горнообогатительного производства / В. И. Ростовцев // Прогрессивные технологии и оборудование для обогащения рудных и нерудных материалов. – Новосибирск, 2010. – С. 12–15. Текст: непосредственный.

212. Ростовцев, В. И. Разработка высокоэффективных технологий радиационных и радиационно-термических воздействий в процессе рудоподготовки и обогащения упорного минерального сырья / В. И. Ростовцев // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья. – Москва: УРАН ИПКОН РАН, 2011. – С. 98–100. Текст: непосредственный.

213. Ростовцев, В. И. Определение оптимальной крупности измельчения минерального сырья и выбор параметров его обогащения / В. И. Ростовцев // Цветные металлы. – 2003. – № 6. – С. 29–31. – Текст: непосредственный.

214. Ростовцев, В. И. Теоретические основы и практика использования электрохимических и радиационных (ускоренные электроны) воздействий в процессах рудоподготовки и обогащения минерального сырья / В. И. Ростовцев // Вестник Читинского государственного университета. – 2010. – № 8. – С. 91–99. – Текст: непосредственный.

215. Ростовцев, В. И. Научное обоснование и разработка интенсифицирующих методов энергетических воздействий на твердую и жидкую фазы труднообогатимого минерального сырья / В. И. Ростовцев // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых». – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. – 40 с. – Текст: непосредственный.

216. Рябчиков, Б. Е. Очистка жидких радиоактивных отходов / Б. Е. Рябчиков. – Москва: Дели принт, 2008. – 516 с. – Текст: непосредственный.

217. Рязанцев, А. А. Физико-химические свойства цеолитов Холинского месторождения / А. А. Рязанцев, Л. А. Цыцктуева // Комплексное использование минерального сырья. – 1986. – № 6. – С. 44–46. – Текст: непосредственный.

218. Савон, Д. Ю. Совершенствование системы платного природопользования / Д. Ю. Савон // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 314–320. – Текст: непосредственный.

219. Савон, Д. Ю. Переработка и утилизация отходов промышленных предприятий как метод ресурсосбережения / Д. Ю. Савон, М. А. Абрамова // Экологический вестник России. – 2014. – № 6. – С. 22–27. – Текст: непосредственный.

220. Сажин, В. С. Новые гидрохимические способы комплексной переработки алюмосиликатов и высококремнистых бокситов / В. С. Сажин. – Москва: Металлургия, 1988. – 213 с. – Текст: непосредственный.

221. Санеев, Б. Г. Приоритеты использования атомных станций малой мощности на Востоке России / Б. Г. Санеев, И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова, М. И. Франк // Атомная энергия. – 2011. – Т. 111, вып. 5. – С. 276–281. – Текст: непосредственный.

222. Санитарные нормы и правила. 2.3.2. 1078–01: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 18 от 31 мая 2002 г. «О внесении изменений в Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 14.11.01 г. № 36»). – Текст: непосредственный.

223. СНиП 2.01.28–85. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. – Москва, 1985. – Текст: непосредственный.

224. Смола, В. И. Поглощение двуокиси серы природными цеолитами / В. И. Смола. – Москва: Полиграф сервис, 2009. – 324 с. – Текст: непосредственный.

225. Солоденко, А. Б. Обогащение россыпей золота / А. Б. Солоденко, С. И. Евдокимов, М. П. Казимиров. – Владикавказ: НПКП «МАВР», 2001. – 368 с. – Текст: непосредственный.

226. Солодухина, М. А. Мышьяк в ландшафтах Шерловогорского рудного района (Восточное Забайкалье): монография / М. А. Солодухина, Г. А. Юргенсон. – Чита: ЗабГУ, 2018. – 176 с. – Текст: непосредственный.

227. Справочник наилучших доступных технологий. – Москва: Центр экологической сертификации – Зеленые стандарты, 2011. – 838 с. – Текст: непосредственный.

228. Степанов, В. И. Об экспрессной диагностике цеолитов и сопутствующих минералов / В. И. Степанов, Т. И. Матросова // Методы диагностики и количественного определения содержания цеолитов в горных породах: материалы Всесоюзного семинара. – Новосибирск: АН СССР, 1985. – С. 126–129. – Текст: непосредственный.

229. Технологическая оценка минерального сырья (методы исследований) / под ред. П. Е. Остапенко. – Москва, Недра, 1990. – 288 с. – Текст: непосредственный.

230. Тихонов, О. Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии / О. Н. Тихонов. – Ленинград: Недра, 1980. – 240 с. – Текст: непосредственный.

231. Тихонов, О. Н. Простые математические модели металлургических процессов / О. Н. Тихонов. – Ленинград: РТП ЛГИ, 1978. – 9 с. – Текст: непосредственный.

232. Тихонов, О. Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых / О. Н. Тихонов. – Москва: Недра, 1984. – 202 с. – Текст: непосредственный.

233. Трубачев, А. И. Научно-практические результаты геолого-минералогического и технологического изучения природного и техногенного минерального сырья Восточного Забайкалья / А. И. Трубачев, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Вестник Института геологии Коми НЦ УЦ РАН. – 2019. – № 3. – С. 51–55. – Текст: непосредственный.

234. Трубачев, А. И. Природное и техногенное минеральное сырье как объект геолого-технологических исследований ученых ЗабГУ / А. И. Трубачев, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. – Т. 2. – С. 355–357. – Текст: непосредственный.

235. ТЭО постоянных кондиций на монтмориллонит-цеолитсодержащие породы участка 1-й очереди Шивыртуйского месторождения / А. П. Харьков, А. Ф. Щербик, Ю. В. Павленко [и др.] / ВНИПИПромтехнологии, Сибирский филиал ПГО Читагеология. – Краснокаменск, 1990. – 501 с. – Текст: непосредственный.

236. Убаськина, Ю. А. Исследование отдельных эксплуатационных свойств лабораторных образцов сорбирующего матричного материала на основе природного цеолита для иммобилизации радионуклидов / Ю. А. Убаськина, П. А. Парагузов, Н. В. Шарова, Е. В. Панкратова // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4. – С. 48–60. – Текст: непосредственный.

237. Ультразвуковая обработка дисперсий глинистых минералов / под ред. Н. Н. Круглицкого. – Киев: Наукова думка, 1971. – 198 с. – Текст: непосредственный.

238. Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»: от 10 января 2002 г. (ред. от 8 декабря 2014 г. № 219-ФЗ). – Текст: непосредственный.

239. Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»: от 10 января 2002 г. (ред. от 29 июля 2018 г.). – Текст: непосредственный.

240. Федеральный закон № 219 «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации»: от 21 июля 2014 г. – Текст: непосредственный.

241. Федеральный закон № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе»: от 23 ноября 1995 г. (ред. от 25 декабря 2018 г.). – Текст: непосредственный.

242. Ферсман, А. Е. Цеолиты России и их минералогия / А. Е. Ферсман // Избранные труды / А. Е. Ферсман. – Москва: Изд-во АН СССР, 1952. – Т. 1. – 863 с. – Текст: непосредственный.

243. Хатькова, А. Н. Минералогические факторы технологических свойств и обогатимости цеолитсодержащих пород / А. Н. Хатькова. – Чита: ЧитГУ, 2004. – Текст: непосредственный.

244. Хатькова, А. Н. Экологическая безопасность технологий обогащения цеолитов для применения их в медицине / А. Н. Хатькова, Н. И. Богомолов, В. В. Крюкова // Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. – Петрозаводск: Ин-т комплексного освоения недр, 2003. – С. 11–12. – Текст: непосредственный.

245. Хатькова, А. Н. Применение цеолитсодержащих туфов Сибири и Дальнего Востока для очистки сточных вод горнодобывающих предприятий / А. Н. Хатькова, В. П. Мязин, К. И. Карасев. – Чита: ЧитГТУ, 1996. – 75 с. – Текст: непосредственный.

246. Хатькова, А. Н. Минералого-технологическая оценка цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова. – Чита: ЧитГУ, 2006. – 243 с. – Текст: непосредственный.

247. Хатькова, А. Н. Обоснование технологии обогащения цеолитсодержащих туфов Восточного Забайкалья посредством компьютерного моделирования / А. Н. Хатькова, Е. А. Никонов, **К. К. Размахнин** // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья. – Чита: ЧитГТУ, 2003. – С. 24–27. – Текст: непосредственный.

248. Хатькова, А. Н. Технологические исследования цеолитсодержащих туфов Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, В. П. Мязин, **К. К. Размахнин** // Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых (Плаксинские чтения). – Петрозаводск; Москва: Альтекс, 2003. – С. 132–133. – Текст: непосредственный.

249. Хатькова, А. Н. Влияние энергетических воздействий на процессы обогащения цеолитов / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, Е. А. Никонов // Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых (Плаксинские чтения). – Петрозаводск; Москва: Альтекс, 2003. – С. 88–90. – Текст: непосредственный.

250. Хатькова, А. Н. Перспективы использования модифицированных цеолитсодержащих пород основных месторождений Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Вестник Читинского государственного университета. – 2011. – № 3. – С. 119–124. – Текст: непосредственный.

251. Хатькова, А. Н. Исследование параметров извлечения алюминия из цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Новые технологии в науке о Земле и горном деле: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Нальчик: КБУ, 2012. – С. 185–191. – Текст: непосредственный.

252. Хатькова, А. Н. Технолого-минералогическая оценка цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения-2012). – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – С. 129–131. – Текст: непосредственный.

253. Хатькова, А. Н. Технологические особенности переработки цеолитсодержащих пород / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Кулагинские чтения: техника и технология производственных процессов: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2012. – Ч. 6. – С. 56–58. – Текст: непосредственный.

254. Хатькова, А. Н. Современные технологии переработки цеолитсодержащего сырья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // IX Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. – Москва: МИСиС, 2013. – Т. 2. – С. 621–623. – Текст: непосредственный.

255. Хатькова, А. Н. Возможность извлечения алюминия из цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 95–100. – Текст: непосредственный.

256. Хатькова, А. Н. Влияние воздействия ускоренными электронами на цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, В. И. Ростовцев, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 6. – С. 167–174. – Текст: непосредственный.

257. Хатькова, А. Н. Применение физико-химических методов при переработке цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Вестник РАЕН. – 2013. – Т. 13, № 6. – С. 106–110. – Текст: непосредственный.

258. Хатькова, А. Н. Методология обоснования схем переработки цеолитсодержащего сырья с целью модификации его свойств / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Кулагинские чтения: техника и технология производственных процессов: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. ЗабГУ. – Чита: ЗабГУ, 2013. – Ч. 3. – С. 56–60. – Текст: непосредственный.

259. Хатькова, А. Н. Технологические особенности химической переработки цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения-2013): сб. ст. – Томск, 2013. – С. 286–289. – Текст: непосредственный.

260. Хатькова, А. Н. Рациональные технологии переработки цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья: монография / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**. – Чита: ЗабГУ, 2012. – 274 с. – Текст: непосредственный.

261. Хатькова, А. Н. Изучение эффективности влияния ускоренных электронов на цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, В. И. Ростовцев, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 2. – С. 85–92. – Текст: непосредственный.

262. Хатькова, А. Н. Переработка цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Н. Емельянов // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014 – Т. 3. – С. 53–57. – Текст: непосредственный.

263. Хатькова, А. Н. Минералого-технологическая оценка цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья как основа для создания эффективных технологий их переработки / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 10. – С. 33–36. – Текст: непосредственный.

264. Хатькова, А. Н. Минералого-технологическая оценка цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / А. Н. Хатькова. – Чита: ЧитГУ, 2004. – 243 с. – Текст: непосредственный.

265. Хатькова, А. Н. Цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья: новые технологии переработки / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Вестник Института геологии Коми научного центра УрО РАН. – 2016. – № 1. – С. 30–33. – Текст: непосредственный.

266. Хатькова, А. Н. Оценка возможности комплексной переработки цеолитсодержащего сырья / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин** // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 6. – С. 48–49. – Текст: непосредственный.

267. Хатькова, А. Н. Обогащение и модификация свойств цеолитсодержащих пород с целью расширения областей их практического применения / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, Л. В. Шумилова, В. Г. Черкасов, И. Б. Размахнина //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3–2. – С. 153–163.
– Текст: непосредственный.

268. Хатькова, А. Н. Наилучшие доступные технологии обращения с отходами горного производства на основе применения природных цеолитов / А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Г. Литвиненко, Л. В. Шумилова // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2021. – С. 57–62. – Текст: непосредственный.

269. Цицишвили, Г. В. Природные цеолиты / Г. В. Цицишвили, Т. Г. Андроникашвили, Г. Н. Киров, Л. Д. Филизова. – Москва: Наука, 1985. – 223 с. – Текст: непосредственный.

270. Чантурия, В. А. Использование мощных электромагнитных импульсов в процессах дезинтеграции и вскрытия упорного золотосодержащего сырья / В. А. Чантурия, Ю. В. Гуляев, И. Ж. Бунин, В. Д. Лунин [и др.] // ФТПРПИ. – 2001. – № 4. – С. 95–106. – Текст: непосредственный.

271. Чантурия, В. А. Влияние мощных электромагнитных импульсных воздействий на технологические свойства цеолитсодержащих пород / В. А. Чантурия, И. Ж. Бунин, Т. А. Иванова, А. Н. Хатькова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 21. – С. 311–313. – Текст: непосредственный.

272. Чантурия, В. А. Влияние мощных электромагнитных импульсных воздействий на интенсификацию процессов обогащения цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья / В. А. Чантурия, И. Ж. Бунин, Т. А. Иванова, А. Н. Хатькова, В. В. Дутов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S14. – С. 397–404. – Текст: непосредственный.

273. Чартерный Институт управления отходами: [сайт]. – URL: www.ciwm.co.uk (дата обращения: 04.09.2021). – Текст: электронный.

274. Челищев, Н. Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья / Н. Ф. Челищев, Б. Г. Беренштейн, В. Ф. Володин. – Москва: Недра, 1987. – 176 с. – Текст: непосредственный.

275. Чижиков, Д.М. Применение в СССР процессов обжига в кипящем слое; сб. ст. / Д. М. Чижиков, Ю.А. Лайнер // Москва: ЦНИИНЦМ, 1960. – С. 207–216. – Текст: непосредственный.

276. Чукалкин, Б. Д. Проблема использования отвалов забалансовых руд на Шерловогорском месторождении (Восточное Забайкалье) / Б. Д. Чукалкин, **К. К. Размахнин** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Вып. «Забайкалье». – С. 315–319. – Текст: непосредственный.

277. Шукакаидзе, Н. Д. Исследование обогатимости клиноптилолит-содержащих туфов Тедзамского месторождения / Н. Д. Шукакаидзе, Н. Ш. Кобахидзе, Е. М. Цецхлашвили // Добыча, переработка и применение природных цеолитов: сб. ст. – Тбилиси: Сакартвело, 1989. – С. 47–52. – Текст: непосредственный.

278. Шумилова, Л. В. Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства / Л. В. Шумилова, А. Н. Хатькова, **К. К. Размахнин**, В. Г. Черкасов // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 32–44. – Текст: непосредственный.

279. Шупов, Л. П. Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения / Л. П. Шупов. – Москва: Недрa, 1980. – 288 с. – Текст: непосредственный.

280. Шушков, Д. А. Аналицимсодержащие породы Тимана как перспективный вид полезных ископаемых / Д. А. Шушков, О. Б. Котова, В. М. Капитанов [и др.]. – Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2006. – Вып. 123. – 40 с. – Текст: непосредственный.

281. Шушков, Д. А. Сорбция радиоактивных элементов цеолитсодержащими породами / Д. А. Шушков, И. И. Шуктомова // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2013. – Вып. 1. – С. 69–73. – Текст: непосредственный.

282. Экологическая программа ООН: [сайт]. – URL: <https://www.unep.org> (дата обращения: 03.09.2021). – Текст: электронный.

283. Европейская цеолитная ассоциация: [сайт]. – URL: asia.iza-structure.org/IZA-SC/ftc_table.php (дата обращения: 05.10.2021). – Текст: электронный.

284. Юргенсон, Г. А. Изучить минеральный состав проявлений цеолитсодержащего сырья юга Читинской области с целью их оценки: отчет по теме VI Б.П.27606(13)-61/100 за 1988–1989 гг. / Г. А. Юргенсон, А. А. Козаченко, Р. Б. Хамитова. – Чита: ЗабНИИ, 1989. – 125 с. – Текст: непосредственный.

285. Юсупов, Т. С. Обогащение и физико-химические свойства шабазита – перспективного вида цеолитов Забайкалья / Т. С. Юсупов, А. В. Шкарин, Л. Г. Шумская, Л. П. Пантюкова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 2. – С. 93–97. – Текст: непосредственный.

286. Юсупов, Т. С. Состояние и перспективы обогащения природных цеолитов / Т. С. Юсупов, Л. Г. Шумская, Е. А. Кириллова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 3. – С. 115–120. – Текст: непосредственный.

287. Юсупов, Т. С. Новая концепция производства алюминия и его соединений из нетрадиционного алюмосиликатного сырья / Т. С. Юсупов, Л. Г. Шумская // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 2. – С. 96–100. – Текст: непосредственный.

288. Юсупов, Т. С. Способы концентрирования и выделения цеолитов из горных пород / Т. С. Юсупов // Методы диагностики и количественного определения содержания цеолитов в горных породах. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1985. – С. 161–168. – Текст: непосредственный.

289. Antrekowitsch, J. The recycling of heavy-metal-containing wastes: mass balances and economical estimations / J. Antrekowitsch, S. Steinlechner. – Text: direct // JOM. – 2011. Vol. 63. – P. 68–72.

290. Ahmed, H. M. Composite pellets – a potential raw material for iron-making / H. M. Ahmed, N. Viswanathan, B. Bjorkman. – Text: direct // Steel Res. Int. – 2014. – Vol. 85. – P. 293–306.

291. Augusto, P. A. Innovation features of a new magnetic separator and classifier / P. A. Augusto, J. P. Martins. – Text: direct // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2001. – Vol. 22, No. 1–3.

292. Aurux, A. Study of the acidity of ZSM-5 zeolite by Microcalorimetry and Spectroscopy / A. J. Aurux, V. Bolis, P. Wiezchowski, P. Cravella, P. Vadrina. – Text: direct // Chem. Soc. Faraday Trans. – 1979. – No. 11. – P. 2544–2555.

293. Alam, R. Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet / R. Alam, Z. Ahmed, M. F. Howladar. – Text: direct // Bangladesh, Groundw. Sustain. Dev. 2020. – Vol. 10. – P. 100311.

294. Andres, U. Magnetohydrodynamic and magnetohydrostatic methods of mineral separation / U. Andres. – Text: direct // ASIN: 0470150149. – P. 222–223.

295. Atesok, G. Reduction of ash and sulfur contents of low-rank Turkish semicoked lignite by high intensity dry magnetic separation / G. Atesok, K. T. Perek, H. Dincer, and M. S. Celik. – Text: direct // Coal Preparation. – 1999. – Vol. 20, No. 3–4. – P. 179–190.

296. Barrer, R. M. Molecular sieve sorbents from clinoptilolite / R. M. Barrer, M. B. Makki. – Text: direct // Can. J. Chem. – 1964. – Vol. 6. – P. 1481–1487.

297. Best Available Techniques REferences – (BREF): [сайт]. – URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BestAvailableTechniquesReferences> (дата обращения: 10.09.2021). – Text: electronic.

298. Bitimbaev, M. Zh. Biotekhnicheskaya rekultivatsiya zemel, narushennyh gornymi rabotami i othodami proizvodstva / M. Zh. Bitimbaev, N. Zhalgasuly, Z. U. Ergusaev, A. G. Mamonov, A. S. Kaduk. – Text: direct // Nedelya gornyaka. – 2001. – Seminar № 4. – P. 101.

299. Bocek, A. M. Prospects for use of polysaccharides of different origin and environmental problems in processing them / A. M. Bocek. – Text: direct // Fibre Chem. – 2008. – Vol. 40, No. 3. – P. 192–197.

300. Bondarev, A. V. Classification of mineral pharmaceutical raw materials / A. V. Bondarev, E. T. Zhilyakova, **K. K. Razmakhnin**. – Text: direct // Гармонизация

подходов к фармацевтической разработке: сборник тезисов III Междунар. науч.-практ. конф. – Москва: РУДН, 2020. – С. 140–143.

301. Chanturiya, V. A. Non-traditional Highly Effective Breaking-up Technology for Resistant Gold-Containing Ores and Beneficiation Products / V. A. Chanturiya, Yu. V. Gulyaev, I. J. Bunin, V. D. Lunin, G. V. Sedelnikova. – Text: direct // Proceedings: XXII International Mineral Processing Congress. – Cape Town, 2003. – Vol. 1. – P.232–241.

302. Chiang, Y.W. Towards zero-waste mineral carbon sequestration via two-way valorization of ironmaking slag / Y. W. Chiang, R. M. Santos, J. Elsen, B. Meesschaert, J. A. Martens, T. Van Gerven. – Text: direct // Chem. Eng. J. – 2014. Vol. 249. – P. 260–269.

303. Da-He, X. Research and commercialisation of treatment of fine ilmenite with SLon magnetic separators / X. Da-He. – Text: direct // Magnetic and Electrical Separation. – 2000. – Vol. 10, No. 2. – P. 121–130.

304. European IPPC Bureau (EIPPCB): [сайт]. – URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu> (дата обращения: 10.09.2021). – Text: electronic.

305. Menil, F. Systematic trends of ^{57}Fe Mössbauer isomer shifts in (FeO_n) and (FeF_n) polyhedra. Evidence of a new correlation between the isomer shift and the inductive effect of the competing bond $T-X$ ($- \text{Fe}$) (where X is O or F and T element with a formal positive charge) / F. Menil. – Text: direct // J. Phys. and Chem. Solids. – 1985. – Vol. 46, № 7. – P. 763–789.

306. Gottardi, G. The genesis of zeolites / G. Gottardi. – Text: direct // Eur. J. Mines. – 1989. – № 4. – P. 479–487.

307. Ganzha, V. L. Hydrodynamic behavior of magnetically stabilized fluidized beds of magnetic particles / V. L. Ganzha, S. C. Saxena. – Text: direct // Powder Technology. –1999. – Vol. 107. – P. 31–35.

308. Gillet, G. Technology of superconducting magnetic separation in mineral and environmental processing / G. Gillet, F. Diot. – Text: direct // Minerals and Metallurgical Processing. – 1999. – Vol. 16, No. 3.

309. Gillet, G. Advances in industrial cryomagnetic purification / G. Gillet, F. Diot, R. Joussemet. – Text: direct // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2000. – Vol. 20. – P. 4–6.

310. Hay, R. Zeolites and zeolitic reaction in sedimentary rocks / R. Hay. – Text: direct // Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. – 1966. – P. 85.

311. Industrial Emissions Directive (IED): [сайт]. – URL: <http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm/> Industrial Emissions (дата обращения: 07.10.2021). – Text: electronic.

312. Jijima, A. Int. Cont. on Zeolites / A. Jijima. – Text: direct // L. V. C. Rees. – London, 1980. – P. 103–118.

313. Jijima, A. Mol. Siev. Zeolites / A. Jijima, M. Utada. – Text: direct // Adv. Chem. Ser. – 1971. – Vol. 101. – P. 342–349.

314. Kastner, M. Natural Zeolites, Occurrence, Properties, Use / M. Kastner, S. Stonecipher. – Text: direct // Pergamon Press. – 1978. – P. 199–200.

315. Karmazin, V. V. New routes to increasing precious metals extraction and to Solving nature protection problems, resulting from processing wastes occurring after gold recovery / V. V. Karmazin, V. P. Miazin, V. F. Protassov. – Text: direct // XXI IMPC, Roma. – 2000.

316. Khatkova, A. N. Role of mineralogical and technological evaluation in development of processing technologies for zeolitecontaining rocks. Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry / A. N. Khatkova, **K. K. Razmakhnin**. – Text: direct // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 262 (2019) 012056. IOP Publishing. – 2019. – P. 1–3.

317. Koyama, K. Clinoptilolite: the distribution of potassium atoms and its role in thermal stability / K. Koyama. – Text: direct // Y. Z. Kristallogr. – 1977. – Vol. 145. – P. 216–239.

318. Krajnc, D. Improving the economic and environmental performances of the beet sugar industry in Slovenia: increasing fuel efficiency and using by-products for ethanol / D. J. Krajnc, M. Mele, P. Glavic. – Text: direct // Clean. Prod. – 2007. Vol. 15. – P. 1240–1252.

319. Lewis, D. W. Computer Modeling of Zeolites / D. W. Lewis. – Text: direct // Encyclopedia of Materials: Science and Technology. – 2001. – P. 9863–9868.

320. Li, H. Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production: A critical review / H. Li, J. Watson, Y. Zhang, H. Lu, Z. Liu. – Text: direct // Bioresour. Technol. – 2020. – Vol. 298. – P. 122421.

321. Matthews, T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations / T. Matthews. – Text: direct // SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference. – Mining: Navigating the Global Waters. – 2015. – P. 529–532.

322. McDonough, W. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things / W. McDonough, M. Braungart, P. T. Anastas, J. B. Zimmerman. – Text: direct // Environmental Science & Technology. – 2003. – No. 200337. – P. 434–441.

323. Myazin, V. P. Kompleksnaya otsenka tehnogenogo zagryazneniya pochv i produktov pitaniya tyazhelymi metallami pri razmeshhenii hvostohranilishh v Vostochnom Zabajkalie / V. P. Myazin, S. I. Mihajljutina. – Text: direct // GIAB. – 2006. – № 9. – P. 164–170.

324. Milyutin, V. V. Natural Zeolites of Eastern Transbaikalia in Technologies for Mining Enterprises Wastewater Treatment / V. V Milyutin, **K. K. Razmakhnin**, A. N. Khatkova, N. A. Nekrasova. – Text: direct // Journal of Environmental Research, Engineering and Management. – 2020. – Vol. 76, № 3. – P. 62–70.

325. Motorin, A. S. Physico-chemical properties and nutrient mode of disturbed soils at the krajnego severa pri ih biologicheskoy rekultivatsii / A. S. Motorin, A. V. Iglovikov. – Text: direct // Agrarnyj vestnik Urala. – 2012. – No. 7. – P. 66–71.

326. OECD Environmental Data. Compendium 2002: [сайт]. – URL: <https://www.oecd.org/env/waste/oecdenvironmentaldatacompendium.htm> (дата обращения: 12.04.2020). – Text: electronic.

327. OECD Environment Directorate: [сайт]. – URL: <https://www.oecd.org/env> (дата обращения: 06.10.2021). – Text: electronic.

328. Oil Spill Response, Mechanical Recovery Systems for Ice-Infested Waters: Examination of Technologies for the Alaska Beaufort Sea. Report to Alaska Department of Environmental Conservation (ADEC) / Nuka Research and Planning Group, LLC (Nuka Research). – 2007. – 100 p. – Text: direct.

329. Oil spill science and technology. Prevention, Response, and Cleanup / Edit. by M. Fingas. – Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2011. – 1156 p. – Text: direct.

330. **Razmakhnin, K. K.** Geocological aspects of processing zeolite-containing rocks in Eastern Transbaikalia / K. K. Razmakhnin, A. N. Khatkova, Y. Y. Blinovskaya. – Text: direct // Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 262. – P. 012055.

331. **Razmakhnin, K. K.** Role of mineralogical and technological evaluation in development of processing technologies for zeolite-containing rocks / K. K. Razmakhnin, A. N. Khatkova. – Text: direct // Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 262. – P. 012056.

332. **Razmakhnin, K. K.** Modern techniques to process Eastern Transbaikalia zeolite-bearing rock / K. K. Razmakhnin, A. N. Khatkova. – Text: direct // Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 262. – P. 012056.

333. **Razmakhnin, K. K.** East Transbaikalian zeolite production: Potential and integrated Ecological safety / K. K. Razmakhnin. – Text: direct // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 773.

334. **Razmakhnin, K. K.** On the question of using natural zeolites to increase the environmental safety of mining regions / K. K. Razmakhnin. – Text: direct // Mining Sciences and Mineral Field Development: Challenges and Solutions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 991. – P. 012039. – DOI: 10.1088/1755-1315/991/1/012039.

335. Sersale, R. Natural Zeolites, Occurrence, Properties, Use / R. Sersale. – Text: direct // Pergamon Press. – 1978. – P. 689–695.

336. Thakare, Y. N. Performance of high density ion exchange resin (INDION225H) for removal of Cu(II) from waste water / Y. N. Thakare, A. K. Jana. – Text: direct // J. Environ. Chem. Eng. – 2015. – Vol. 3, No. 2. – P. 1393–1398.

337. Uçkun, S. Activation of Malatya Hekimhan Zeolites with Mechanochemical Method and Usage in Heavy Metal Adsorption / S. Uçkun. – Text: direct // MSc. Thesis (in Turkish). Inonu University, Malatya, 2019.

338. Wang, P. Eaching of heavy metals from abandoned mine tailings brought by precipitation and the associated environmental impact / P. Wang, Z. Sun, Y. Hu, H. Cheng. – Text: direct // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 695, article number 133893.

339. Wang, Y. Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric-alum water treatment residues / Y. Wang, Y. Yu, H. Li, C. Shen. – Text: direct // Int. J. Environ. Sci. – 2016. – Vol. 50. – P. 79–86.

340. Waste-Environmental Performance and Information Division: [сайт]. – URL: https://www.env.go.jp/policy/j-hiroba/PRG/pdfs/e_p_guide.pdf (дата обращения: 05.10.2021). – Text: electronic.

341. Working Group on Environmental Information and Outlooks. – Text: electronic // OECD. 2002: [сайт]. – URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=EXD/CSD/D\(2002\)176&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=EXD/CSD/D(2002)176&docLanguage=En) (дата обращения: 05.10.2021).

342. Zaman, A. U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines / A. U. Zaman. – Text: direct // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 91. – P. 12–25.

343. Ziout A. A. Holistic approach for decision on selection of end-of-life products recovery options / A. Ziout, A. Azab, M. Atwan. – Text: direct // J. Clean. Prod. – 2014. Vol. 65. – P. 497–516.

Нормативно-правовая база РФ по наилучшим доступным технологиям

Ключевые нормативно-правовые акты по НДТ	Функции нормативно-правовых актов
Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (в ред. от 29.07.2019 г.) «Об охране окружающей среды» Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»; Приказ Минприроды РФ от 18.04.2018 г. № 154 «Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в РФ составляет не менее чем 60%»	Определение понятия НДТ. Инвентаризация предприятий и отходов. Расчеты нормативов (технологических, допустимых выбросов и сбросов). Обоснование нормативов образования и размещения отходов. Этапы получения комплексного экологического разрешения. Классификация предприятий по категориям воздействия на окружающую среду (I категория).
Федеральный закон от 23.11.1995 г. № 174-ФЗ (в ред. от 25.12.2018 г.) «Об экологической экспертизе»	Определены технологические нормативы, нормативы допустимых воздействий, требования к обращению с отходами, экологический контроль.
Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной политике в Российской Федерации»	Определены участники формирования промышленной политики и ее реализации. Регламентированы формы участия Правительства РФ и федеральных органов исполнительной власти в сфере промышленной политики. Установлены меры стимулирования деятельности в сфере промышленности. Определен правовой инструмент создания государственных фондов развития промышленности. Регламентировано создание государственной информационной системы промышленности.
Федеральный закон от 25.12.2018 № 496-ФЗ «О внесении изменений в статью 14 Федерального закона «Об экологической экспертизе» и Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»	Регламентирована процедура получения комплексного экологического разрешения.
Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.03.2014 г. № 398-р	Определен комплекс мер по внедрению НДТ

Ключевые нормативно-правовые акты по НДТ	Функции нормативно-правовых актов
Постановление Правительства Российской Федерации от 23.12.2014 г. № 1458 (в ред. 09.03.2019 г.) «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям»	Установлены критерии и порядок определения технологии в качестве НДТ
Постановление Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 г. № 143 «О порядке выдачи комплексных экологических решений, их переоформления, пересмотра, внесения в них изменений, а также отзыва»	Установлен порядок выдачи комплексных экологических разрешений
Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.10.2014 г. № 2178-р	Регламентировано введение Справочников НДТ
Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24.12.2014 г. № 2674-р (в ред. от 25.05.2018 г.) «Об утверждении перечня областей применения наилучших доступных технологий»	Установлен перечень областей применения НДТ
Распоряжение Правительства РФ от 28.08.2014 г. № 1651-р «О передаче в ведение Минпромторга РФ федерального государственного автономного учреждения «Российский фонд технологического развития»»	Сформирован Фонд развития промышленности
Приказ № 1920 от 3.12.2014 г. «О формировании Бюро наилучших доступных технологий»	Регламентирован порядок и положение о Бюро НДТ
Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2014 г. № 2178-р «Об утверждении графика создания в 2015 - 2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий»	Определен поэтапный график создания в 2015 - 2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий

Ключевые нормативно-правовые акты по НДТ	Функции нормативно-правовых актов
Приказ Росстандарта № 113 «Наилучшие доступные технологии»; Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1236 «О создании Технического комитета по стандартизации»	Создан новый технический комитет по стандартизации (ТК «НДТ»)
Приказ Минприроды РФ от 11.10.2018 г. № 510 «Об утверждении формы заявки на получение комплексного экологического разрешения и формы комплексного экологического разрешения»	Установлена форма заявки промышленных предприятий на получение комплексных экологических разрешений
Указ Президента РФ № 176 от 19 апреля 2017 г. «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года»	устранение негативных последствий для окружающей среды хозяйственной и иной деятельности человека
Приказ Росстандарта от 22.12.2021 г. № 2965 "Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Размещение отходов производства и потребления»; Приказ Росстандарта от 22.12.2021 г. № 2959 «Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Добыча и обогащение железных руд»; Приказ Росстандарта от 22.12.2021 г. № 2964 «Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Утилизация и обезвреживание отходов»; ИТС 25-2021 «Добыча и обогащение железных руд»; ИТС 15-2021 «Утилизация и обезвреживание отходов»; ИТС 17-2021 «Размещение отходов производства и потребления»	Стандартизованы и систематизированы данные в области добычи, обогащения и окускования железных руд, а также прямого восстановления железа, включающий в себя описание технологий, процессов, методов и способов. Систематизированы данные в области размещения отходов производства и потребления с учетом имеющихся в Российской Федерации технологий, оборудования, ресурсов, а также с учетом климатических, геоморфологических, геологических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации. Систематизированы данные об уровне технического и технологического развития сферы утилизации и обезвреживания отходов, применяемых и перспективных наилучших доступных технологиях

Химический состав исходных и кислотоактивированных цеолитов Восточного Забайкалья

Условия активации	Содержание в %											Соотношение SiO ₂ /Al ₂ O ₃
	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S _{общ}	
Цеолиты Шивыртуйского месторождения	62,90	0,08	13,61	0,34	3,00	0,14	0,61	1,51	1,36	4,04	0,007	4,62
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H ₂ SO ₄ 5%(1 час)	64,22	–	12,80	0,32	2,88	0,13	0,55	1,49	1,34	3,40	–	5,02
H ₂ SO ₄ 5%(2 часа)	64,28	–	12,78	0,31	2,55	0,12	0,49	1,25	1,11	2,74	–	5,03
H ₂ SO ₄ 5%(3 часа)	64,33	–	12,65	0,28	2,14	0,10	0,30	1,01	0,95	2,00	–	5,08
H ₂ SO ₄ 5%(4 часа)	64,47	–	12,63	0,25	1,86	0,08	0,19	0,85	0,68	1,25	–	5,10
H ₂ SO ₄ 5%(5 часов)	64,52	–	12,60	0,21	1,62	0,06	0,14	0,66	0,49	0,89	–	5,12
H ₂ SO ₄ 10%(1 час)	64,86	–	11,97	0,28	2,66	0,12	0,52	1,44	1,28	3,01	–	5,42
H ₂ SO ₄ 10%(2 часа)	64,92	–	11,85	0,25	2,32	0,11	0,44	1,18	1,04	2,67	–	5,48
H ₂ SO ₄ 10%(3 часа)	64,98	–	11,78	0,22	2,05	0,07	0,27	0,97	0,81	1,86	–	5,52
H ₂ SO ₄ 10%(4 часа)	65,12	–	11,50	0,17	1,74	0,4	0,18	0,64	0,60	1,11	–	5,66
H ₂ SO ₄ 10%(5 часов)	65,15	–	11,49	0,13	1,45	0,02	0,11	0,51	0,42	0,71	–	5,67
H ₂ SO ₄ 15%(1 час)	65,84	–	10,82	0,26	2,34	0,10	0,47	1,32	1,23	2,85	–	6,08
H ₂ SO ₄ 15%(2 часа)	65,87	–	10,74	0,24	2,05	0,09	0,32	1,02	0,99	2,00	–	6,13
H ₂ SO ₄ 15%(3 часа)	65,98	–	10,66	0,20	1,65	0,06	0,21	0,77	0,73	1,34	–	6,19
H ₂ SO ₄ 15%(4 часа)	66,05	–	10,53	0,16	1,22	0,03	0,14	0,48	0,54	0,90	–	6,27
H ₂ SO ₄ 15%(5 часов)	66,11	–	10,52	0,12	0,98	0,01	0,09	0,27	0,35	0,48	–	6,28
H ₂ SO ₄ 20%(1 час)	66,15	–	10,49	0,24	2,22	0,09	0,45	1,21	1,15	2,70	–	6,31
Цеолиты Холинского месторождения	65,62	0,004	12,21	0,07	1,25	0,06	2,07	0,64	1,90	4,14	0,016	5,37

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H ₂ SO ₄ 5%(1 час)	66,20	–	11,10	–	1,10	0,03	1,95	0,60	1,86	3,22	–	5,96
H ₂ SO ₄ 5%(2 часа)	66,58	–	11,08	–	0,92	–	1,88	0,54	1,53	2,67	–	6,00
H ₂ SO ₄ 5%(3 часа)	66,93	–	11,03	–	0,43	–	1,79	0,49	1,10	1,84	–	6,07
H ₂ SO ₄ 5%(4 часа)	66,98	–	11,01	–	0,15	–	1,48	0,43	0,85	1,04	–	6,08
H ₂ SO ₄ 5%(5 часов)	67,22	–	10,80	–	0,03	–	1,40	0,38	0,72	0,74	–	6,22
H ₂ SO ₄ 10%(1 час)	66,45	–	10,95	–	0,89	–	1,90	0,55	1,73	3,03	–	6,07
H ₂ SO ₄ 10%(2 часа)	66,92	–	10,87	–	0,37	–	1,83	0,48	1,22	2,45	–	6,16
H ₂ SO ₄ 10%(3 часа)	67,24	–	10,80	–	0,09	–	1,72	0,40	0,94	1,62	–	6,23
H ₂ SO ₄ 10%(4 часа)	67,62	–	10,60	–	0,01	–	1,39	0,33	0,76	0,95	–	6,38
H ₂ SO ₄ 10%(5 часов)	67,96	–	10,58	–	–	–	1,33	0,30	0,61	0,58	–	6,42
H ₂ SO ₄ 15%(1 час)	67,22	–	9,80	–	0,73	–	1,84	0,51	1,60	2,74	–	6,86
H ₂ SO ₄ 15%(2 часа)	67,65	–	9,76	–	0,29	–	1,75	0,44	1,10	1,82	–	6,93
H ₂ SO ₄ 15%(3 часа)	67,94	–	9,62	–	0,03	–	1,61	0,28	0,91	1,00	–	7,06
H ₂ SO ₄ 15%(4 часа)	68,10	–	9,55	–	–	–	1,31	0,22	0,52	0,71	–	7,13
H ₂ SO ₄ 15%(5 часов)	68,16	–	9,53	–	–	–	1,24	0,17	0,44	0,43	–	7,15
H ₂ SO ₄ 20%(1 час)	68,18	–	9,51	–	0,50	–	1,79	0,43	1,48	2,31	–	7,16
H ₂ SO ₄ 20%(2 часа)	68,24	–	9,47	–	0,15	–	1,71	0,31	1,02	1,60	–	7,20
H ₂ SO ₄ 20%(3 часа)	68,45	–	9,43	–	0,01	–	1,64	0,19	0,80	0,79	–	7,26
H ₂ SO ₄ 20%(4 часа)	68,77	–	9,41	–	–	–	1,15	0,10	0,41	0,40	–	7,31
H ₂ SO ₄ 20%(5 часов)	68,99	–	9,40	–	–	–	1,09	0,07	0,22	0,22	–	7,34
Цеолиты Бадинского месторождения	68,50	0,08	10,57	0,18	0,68	0,07	2,52	0,88	0,24	3,12	<0,05	6,48
H ₂ SO ₄ 5%(1 час)	68,24	–	9,62	0,12	0,51	0,03	2,49	0,83	0,21	2,81	–	7,09
H ₂ SO ₄ 5%(2 часа)	68,52	–	9,60	0,06	0,18	–	2,15	0,74	0,14	2,10	–	7,14
H ₂ SO ₄ 5%(3 часа)	69,03	–	9,59	–	0,09	–	2,02	0,69	0,08	1,16	–	7,20
H ₂ SO ₄ 5%(4 часа)	69,68	–	9,58	–	0,01	–	1,88	0,61	0,02	0,53	–	7,27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H ₂ SO ₄ 5%(5 часов)	70,53	–	9,57	–	–	–	1,81	0,57	–	0,30	–	7,37
H ₂ SO ₄ 10%(1 час)	68,33	–	9,05	–	0,40	–	2,44	0,79	0,18	2,64	–	7,55
H ₂ SO ₄ 10%(2 часа)	68,94	–	8,88	–	0,08	–	2,10	0,55	0,09	2,00	–	7,76
H ₂ SO ₄ 10%(3 часа)	69,35	–	8,86	–	0,02	–	1,93	0,43	0,03	1,03	–	7,83
H ₂ SO ₄ 10%(4 часа)	69,72	–	8,82	–	–	–	1,81	0,38	–	0,39	–	7,90
H ₂ SO ₄ 10%(5 часов)	70,95	–	8,79	–	–	–	1,75	0,35	–	0,17	–	8,07
H ₂ SO ₄ 15%(1 час)	69,22	–	8,10	–	0,32	–	2,38	0,72	0,12	2,31	–	8,55
H ₂ SO ₄ 15%(2 часа)	69,65	–	8,06	–	0,07	–	2,04	0,48	0,04	1,85	–	8,64
H ₂ SO ₄ 15%(3 часа)	69,99	–	8,02	–	–	–	1,88	0,31	–	0,83	–	8,72
H ₂ SO ₄ 15%(4 часа)	70,12	–	8,01	–	–	–	1,72	0,25	–	0,25	–	8,75
H ₂ SO ₄ 15%(5 часов)	70,54	–	8,00	–	–	–	1,93	0,19	–	0,10	–	8,81
H ₂ SO ₄ 20%(1 час)	70,82	–	7,02	–	0,24	–	2,15	0,66	0,10	2,07	–	10,08
H ₂ SO ₄ 20%(2 часа)	71,08	–	6,96	–	0,03	–	1,92	0,31	0,02	1,21	–	10,21
H ₂ SO ₄ 20%(3 часа)	71,22	–	6,94	–	–	–	1,79	0,18	–	0,69	–	10,26
H ₂ SO ₄ 20%(4 часа)	71,36	–	6,92	–	–	–	1,34	0,10	–	0,13	–	10,31
H ₂ SO ₄ 20%(5 часов)	71,88	–	6,89	–	–	–	1,10	0,8	–	0,04	–	10,43
Шабазиты Галан– Гозагорского месторождения	53,12	0,33	16,63	1,50	11,40	0,32	5,82	1,97	3,45	1,78	0,041	3,19
H ₂ SO ₄ 5%(1 час)	55,24	0,34	10,10	1,36	11,26	0,27	5,74	1,93	3,08	1,57	–	5,47
H ₂ SO ₄ 5%(2 часа)	55,42	0,36	10,04	1,08	9,13	0,16	5,66	1,89	2,94	1,02	–	5,52
H ₂ SO ₄ 5%(3 часа)	55,64	0,36	10,00	0,84	8,01	0,09	5,45	1,80	2,70	0,72	–	5,56
H ₂ SO ₄ 5%(4 часа)	55,98	0,36	9,92	0,33	6,98	0,05	4,97	1,70	2,33	0,51	–	5,64
H ₂ SO ₄ 5%(5 часов)	56,05	0,36	9,91	0,12	4,11	0,03	4,89	1,67	1,90	0,39	–	5,66
H ₂ SO ₄ 10%(1 час)	55,45	0,37	9,00	1,10	11,05	0,22	5,67	1,88	2,89	1,34	–	6,16
H ₂ SO ₄ 10%(2 часа)	55,65	0,38	8,97	0,81	8,78	0,13	5,48	1,81	2,74	1,00	–	6,20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H ₂ SO ₄ 10%(3 часа)	55,78	0,38	8,75	0,23	6,15	0,05	4,99	1,68	2,45	0,63	–	6,37
H ₂ SO ₄ 10%(4 часа)	55,94	0,38	8,52	0,07	3,99	–	4,65	1,60	1,96	0,42	–	6,57
H ₂ SO ₄ 10%(5 часов)	56,28	0,38	8,51	0,02	1,95	–	4,57	1,58	1,81	0,25	–	6,61
H ₂ SO ₄ 15%(1 час)	55,52	0,38	7,92	1,04	10,65	0,17	5,59	1,81	2,73	1,12	–	7,01
H ₂ SO ₄ 15%(2 часа)	55,84	0,38	7,15	0,66	8,04	0,07	5,40	1,62	2,25	0,83	–	7,81
H ₂ SO ₄ 15%(3 часа)	56,35	0,39	7,01	0,18	6,06	0,03	4,73	1,48	1,91	0,50	–	8,04
H ₂ SO ₄ 15%(4 часа)	56,60	0,39	6,65	0,04	3,11	–	3,58	1,41	1,80	0,31	–	8,51
H ₂ SO ₄ 15%(5 часов)	56,84	0,39	6,63	–	1,56	–	3,44	1,29	1,67	0,12	–	8,57
H ₂ SO ₄ 20%(1 час)	55,72	0,39	5,20	0,89	10,01	0,14	4,92	1,75	2,54	1,00	–	10,71
H ₂ SO ₄ 20%(2 часа)	55,86	0,40	5,00	0,21	7,12	0,05	4,74	1,49	2,15	0,52	–	11,17
H ₂ SO ₄ 20%(3 часа)	55,92	0,40	4,82	0,08	5,02	–	4,02	1,33	1,82	0,16	–	11,60
H ₂ SO ₄ 20%(4 часа)	56,25	0,40	4,15	–	3,00	–	2,88	1,24	1,69	0,08	–	13,55
H ₂ SO ₄ 20%(5 часов)	56,44	0,40	4,11	–	1,20	–	1,90	1,17	1,52	0,02	–	13,73

Акт внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Института экологических

технологий Вьетнамской

академии науки и технологии

Нгуен Хоай Чау



11.03.2013

А К Т

внедрения результатов

докторской диссертационной работы

Размахнина Константина Константиновича

Комиссия в составе: Директора Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии Нгуен Хоай Чау, заместителя директора по науке и технологии Чинь Ван Туен, заместителя директора по экологическим технологиям Нгуен Тхи Хуе

Председатель комиссии: Директор Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии Нгуен Хоай Чау

Члены комиссии: заместитель директора по науке и технологии Чинь Ван Туен, заместитель директора по экологическим технологиям Нгуен Тхи Хуе

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Размахнина Константина Константиновича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, внедрены в научно-исследовательскую деятельность Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии при разработке технологии переработки цеолитсодержащих пород в виде:

1. Методик проведения экспериментальных исследований по обогащению и кислотной переработке цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений.
2. Экспериментальных данных по исследованию возможности обогащения цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений по технологиям, разработанным соискателем ученой степени, и позволяющим получать монофракции цеолитов.
3. Экспериментальных данных по исследованию возможности применения технологии переработки цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского и Бадинского месторождений, включающей кислотное разложение цеолитсодержащих пород с извлечением из раствора оксида алюминия.
4. Результаты диссертационного исследования Размахнина Константина Константиновича планируются к дальнейшему использованию в практику научной деятельности Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии.

Внедрение указанных результатов позволит применять лабораторно-исследовательскую базу Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии для изучения свойств цеолитсодержащих пород и разработке технологических схем их обогащения.

Подписи членов комиссии:

Заместитель директора по науке и технологии Чинь Ван Туен



Заместитель директора по экологическим технологиям Нгуен Тхи Хуе



Председатель: Директор Института экологических технологий Вьетнамской академии науки и технологии Нгуен Хоай Чау



Акт об использовании результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Диатомовый комбинат»

Калинина С.Е.

«13» ноября 2012 г.



А К Т

об использовании результатов
докторской диссертационной работы
Размахнина Константина Константиновича

Комиссия в составе:

Комиссия в составе:

председателя	главного инженера	С.В. Никулина
и членов комиссии	главного технолога	Ю.В. Мушарова
	ведущего специалиста	Е.Г. Фетюхиной,

назначенная приказом по ООО «Диатомовый комбинат» от «12» октября 2012 г. № 80, составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Размахнина Константина Константиновича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в проектно-конструкторской деятельности и технико-экономическом расчете (обосновании) ООО «Диатомовый комбинат», г. Ульяновск, при разработке технологии обогащения цеолитсодержащих пород в виде:

1. Методик проведения экспериментальных исследований по обогащению и кислотной переработке цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений.
2. Экспериментальных данных по исследованию возможности обогащения цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений на базе ООО «Диатомовый комбинат» по технологии, включающей последовательно следующие операции: дробление, измельчение, грохочение, ультразвуковую обработку (или воздействие ускоренными электронами), обесшламливание, магнитную сепарацию с применением магнитных сепараторов с системами из постоянных магнитов и электростатическую сепарацию.

3. Экспериментальных данных по исследованию возможности применения технологии переработки цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений, включающей кислотное разложение цеолитсодержащих пород с извлечением из раствора оксида алюминия гидрометаллургическим методом.
4. Результаты диссертационного исследования Размахнина Константина Константиновича планируются к использованию в практику производственной деятельности ООО «Диатомовый комбинат».

Использование указанных результатов позволит применять мощности ООО «Диатомовый комбинат» для обогащения и кислотной переработки цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений. В результате применения технологии обогащения цеолитсодержащих пород содержание цеолита в конечном продукте составит 97,3-98,9%. Рыночная стоимость 1 т. Полученного по внедряемой технологии сырья составит 25000 руб. В результате применения кислотной технологии переработки цеолитсодержащих пород гидрометаллургическим методом получен оксид алюминия, удовлетворяющий ГОСТ 8136-85.

Председатель комиссии

Члены комиссии



С.В. Никулин



Ю.В. Мушаров

Е.Г. Фетюхина

Акт о внедрении результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ:

Начальник
Центральной научно-
исследовательской лаборатории
ОАО «ППГХО»

А.А. Морозов



02.2013

А К Т

о внедрении результатов

диссертационной работы Размахнина Константина Константиновича
на соискание ученой степени доктора технических наук

Состав комиссии:

Председатель комиссии: начальник ЦНИЛ А.А. Морозов;

Члены комиссии:

Заместитель начальника ЦНИЛ по технологии В.Г. Шелудченко,

Заместитель начальника ЦНИЛ по аналитике А.В. Тирский.

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационной работы Размахнина Константина Константиновича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в научно-исследовательской деятельности Центральной научно-исследовательской лаборатории ОАО «ППГХО» при разработке технологии и обосновании режимов обогащения цеолитсодержащих пород в виде:

1. Методик проведения экспериментальных исследований по обогащению и кислотной переработке цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений;

2. Экспериментальных данных по исследованию возможности обогащения цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений на базе ЦНИЛ по технологии, включающей последовательно следующие операции: дробление, измельчение, грохочение, ультразвуковую обработку (или воздействие ускоренными электронами), обесшламливание, магнитную сепарацию с применением магнитных сепараторов с системами из постоянных магнитов и электростатическую сепарацию;

3. Экспериментальных данных по исследованию возможности применения технологии переработки цеолитсодержащих пород Шивыртуйского, Холинского, Бадинского и Талан-Гозагорского месторождений, включающей кислотное разложение цеолитсодержащих пород с извлечением из раствора оксида алюминия осаждением или гидрометаллургическим методом;

4. Результаты диссертационного исследования Размахнина Константина Константиновича планируются к использованию в практику научно-исследовательской деятельности ЦНИЛ.

Подписи членов комиссии:

Начальник ЦНИЛ



А.А. Морозов

Заместитель начальника ЦНИЛ

по технологии



В.Г. Шелудченко

Заместитель начальника ЦНИЛ

по аналитике



А.В. Тирский

Акт внедрения технологии обогащения цеолитсодержащих туфов в технико-экономический расчет НПВО «Цеолит»

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор НПВО «Цеолит»
 В.В. Мукминов
 06.09. 2004 года



Акт
 внедрения технологии обогащения цеолитсодержащих туфов в технико-экономический расчет НПВО «Цеолит»

г. Краснокаменск, Читинская область

Настоящим актом удостоверяется внедрение технологии обогащения цеолитсодержащих туфов, разработанной Размахниным Константином Константиновичем, в технико-экономический расчет обогатительного комплекса НПВО «Цеолит».

Технология обогащения цеолитсодержащих туфов включает в себя последовательно следующие операции: измельчение, грохочение, обесшламливание, ультразвуковую обработку, магнитную сепарацию с применением магнитных сепараторов с системами из постоянных магнитов и электростатическую сепарацию.

В результате применения данной технологии содержание цеолита в конечном продукте составит 97,3-98,9%. Рыночная стоимость 1 т. полученного по внедряемой технологии сырья составит 20000 рублей.

Инженер-технолог




Чинский Р.И.

К.К.Размахнин

Акт о внедрении результатов диссертационной работы

Утверждаю

Управляющий директор

ООО «Забайкалзолотопроект»

Рюмкин Р.А.

03.02.2022 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Размахнина К.К.
в проектную деятельность ООО «Забайкалзолотопроект»

Мы, нижеподписавшиеся, Главный инженер проектов - Липич О.А., руководитель Обогажительного бюро - Никоненко Т.В., руководитель Экологического бюро - Филиппов А.Е. ООО «Забайкалзолотопроект» составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Размахнина Константина Константиновича на тему: «Научное обоснование и разработка концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья» могут быть внедрены на стадии проектных и предпроектных работ при разработке проектов по обогащению минерального сырья, рекультивации хвостохранилищ и отвалов пород, утилизации, обезвреживанию, переработке и захоронению горнопромышленных отходов, а также при определении мероприятий по минимизации негативного воздействия техногенных образований на окружающую среду.

Научная новизна предлагаемых технических решений подтверждена патентами РФ на изобретения: № 2229342 от 02.07.2002, № 2455073 от 10.07.2012, №2515578 от 10.05.2014, № 2513468 от 20.04.2014, № 2393310 от 27.06.2010.

Главный инженер проектов

Липич О.А.

Руководитель Обогажительного бюро

Никоненко Т.В.

Руководитель Экологического бюро

Филиппов А.Е.

Акт о внедрении результатов диссертационной работы

Общество с ограниченной ответственностью «Горный проектно-изыскательский научно-исследовательский институт»

ООО «Майнинг Про»

Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Мичурина, д.23а, оф.8, тел./факс +7 (383) 221-04-25, сайт: <http://miningproject.ru>, e-mail: info@miningproject.ru

ИНН 5402573314, КПП 540601001, ОГРН 1145476023153, ОКПО 32170784, ОКАТО 50401372000, ОКТМО 50701000001, ОКОГУ 4210014, ОКФС 16, ОКПОФ 12165
Р/с 40702810500030000070, Ф-л Сибирский ПАО Банк «ФК Открытие», К/с 30101810250040000867, БИК 045004867

от 25.02.2021 г. №02-02/21

Утверждаю:
Директор, д.т.н.
Никольский А.М.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Размахнина К.К.

Мы, нижеподписавшиеся, технический директор, д.т.н. Неверов С.А., заместитель директора по науке, д.т.н. Неверов А.А. и главный инженер проектов Щукин С.А. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Размахнина Константина Константиновича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых на тему: «Научное обоснование и разработка концепции управления горнопромышленными отходами на основе рационального и комплексного использования цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья» внедрены в проектную и научно-исследовательскую деятельность нашего предприятия при разработке проектной документации, технологических регламентов и технико-экономических обоснований горнопромышленных предприятий, в частности, разделов по разработке технологий обогащения минерального сырья и мероприятий по снижению негативного воздействия техногенных отходов (рекультивации, очистки, обезвреживания, переработки и захоронения).

Технический директор, д.т.н.



С.А. Неверов

Заместитель директора по науке, д.т.н.



А.А. Неверов

Главный инженер проектов



С.А. Щукин