

*На правах рукописи*



ШАТРОВА АНАСТАСИЯ СЕРГЕЕВНА

**РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПЕРЕРАБОТКИ НАКОПЛЕННЫХ КОЛЛОИДНЫХ ОСАДКОВ  
ШЛАМ-ЛИГНИНА ОАО «БАЙКАЛЬСКИЙ ЦБК»**

05.21.03– Технология и оборудование химической переработки  
биомассы дерева; химия древесины

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иркутск – 2018

Работа выполнена на кафедре Обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск.

**Научный руководитель:** **Богданов Андрей Викторович,**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Гоготов Алексей Федорович,** доктор химических наук, профессор, Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник;

**Киселев Владимир Петрович,** доктор технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, кафедра химии, профессор

**Ведущая организация:**  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург

Защита состоится «14» декабря 2018 года в 10.00 ч на заседании диссертационного совета Д 212.249.07 при Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, аудитория Ц-110 (зал заседания).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, учёному секретарю диссертационного совета.

E-mail: [dissovetsibgtu01@mail.ru](mailto:dissovetsibgtu01@mail.ru)

В отзыве указывается фамилия, имя отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии), наименование организации и должность лица, представившего отзыв (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева [www.sibsau.ru](http://www.sibsau.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор



Исаева Елена Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Ликвидация вреда, накопленного в окружающей среде вследствие хозяйственной и иной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата, является одной из целей государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности, необходимой для благоприятной жизни человека и устойчивого развития экономики. В указе Президента Российской Федерации № 176 от 19.04.2017 г. «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» сказано, что ежегодно на территории РФ образуется 4 млрд т отходов, при этом перерабатывается около 40 %, свыше 30 млрд т отходов накоплено в результате прошлой хозяйственной деятельности. По итогам инвентаризации территорий РФ к 2017 году выявлено 340 объектов, причиняющих вред окружающей среде и являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн чел. Осадки физико-химической очистки сточных вод предприятий лесохимического комплекса, представленные, как правило, коллоидными осадками шлам-лигнина, вносят огромный вклад в основную массу отходов, которые к настоящему времени не удалось утилизировать. Одним из таких примеров являются накопленные осадки прошлых лет ОАО «Байкальский ЦБК» (ОАО «БЦБК»). В мировой литературе практически отсутствуют данные о рекультивации площадей, занятых осадками, подобными шлам-лигнину. Отсутствие реальных решений по утилизации осадков шлам-лигнина объясняется их сложным физико-химическим и дисперсным составом, высокой степенью гидрофильности, а также трудоемким и сложным технологическим процессом их переработки. Предлагаемые варианты утилизации осадков такие, как омоноличивание с применением извести или золы, обработка солями железа, вермикулирование, транспирация или их простое захоронение к настоящему времени в практике не нашли никакого применения. Осадки объемом более 8 млн м<sup>3</sup> складированы в картах-накопителях ОАО «БЦБК», расположенных в сейсмо- и селеопасной зоне на площади более 145 га, представляют огромную социально-экологическую опасность и находятся в двухстах метрах от населенных пунктов и четырехстах метрах от оз. Байкал, который отнесен ЮНЕСКО к объектам мирового наследия. Таким образом, разработка экологически безопасной технологии переработки накопленных осадков шлам-лигнина, которая базируется на принципах наилучших доступных технологий, при обращении с отходами, является крайне актуальной задачей для всего Байкальского региона. Работа выполнена в рамках ФЦП «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 годы», государственной программы Иркутской области «Охрана окружающей среды на 2014-2020 годы» и хозяйственно-договорной темы по проекту «Реализация мероприятий по ликвидации негативного воздействия отходов, накопленных в результате деятельности ОАО «БЦБК».

**Степень разработанности темы исследования.** Исследованием вопросов мониторинга и утилизации осадков шлам-лигнина карт-накопителей ОАО «БЦБК» занимались такие ученые, как О.М. Кожова, А.М. Бейм, В.А. Бабкин, М.А. Гра-

чев, А.Н. Сутурин. Вопросами вермикулирования осадков занимались: С.С. Тимофеева, Д.И. Стомм. Над разработкой проекта утилизации осадков с применением зол ТЭЦ работали: Б.Л. Тальгамер, Н.В. Алексеева; над технологией рекуперации осадков с получением сорбента и коагулянта – Г.Д. Русецкая, А.В. Богданов. Организации, работающие в этих направлениях: Всесоюзное научно-производственное объединение бумажной промышленности, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Лимнологический институт, Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского СО РАН, Сибирский государственный институт проектирования бумажной промышленности, Сибирский научно-исследовательский институт целлюлозы и картона, Институт водной токсикологии им. А.М. Бейма. Воздействие процессов вымораживания на схожие коллоидные гидроксидные системы изучали В.Л. Золотавин, В.В. Вольхин, Н.Н. Любавин, А. Лоттермозер. Однако исследования процессов вымораживания накопленных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК» с целью их дальнейшей переработки до настоящего времени никем не проводились.

**Цель работы.** Целью исследования является разработка экологически безопасной технологии переработки накопленных многотоннажных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК», базирующейся на принципах наилучших доступных технологий при обращении с отходами.

**Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:**

1. Провести мониторинг и дать экологическую оценку современного состояния природно-техногенного комплекса территории размещения коллоидных осадков в картах-накопителях ОАО «БЦБК».

2. Установить изменение морфологического и элементного состава коллоидных осадков шлам-лигнина по глубине их залегания в картах-накопителях и исследовать превращения основных физико-химических и структурных характеристик в процессе их вымораживания. Определить превращения лигнинных и других веществ, входящих в состав коллоидных осадков шлам-лигнина, в процессе их вымораживания.

3. Исследовать возможность применения золы, образующейся при сжигании осадков шлам-лигнина, в качестве алюмосиликатного компонента для получения гидравлического коррозиестойкого цемента.

4. Исследовать возможность применения полиакриламидного флокулянта «Zetag-7664», модифицированного пропиленгликолем (марка А, второй сорт), для очистки надшламовых вод карт-накопителей ОАО «БЦБК».

5. Разработать принципиальную технологическую схему экологически безопасной технологии переработки накопленных коллоидных осадков ОАО «БЦБК», базирующейся на принципах наилучших доступных технологий при обращении с отходами, и дать рекомендации по благоустройству территории.

**Объект исследования:** объекты окружающей среды района расположения карт-накопителей и накопленные коллоидные осадки ОАО «БЦБК».

**Предмет исследования:** экологически безопасная технология переработки коллоидных осадков шлам-лигнина (исследование физико-химических и морфологических превращений коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК» в процессе их деструктуризации в течение цикла замораживание-оттаивание).

### **Научная новизна работы**

1. Установлены закономерности изменения морфологического и элементного состава коллоидных осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК» по глубине их залегания. На основе установленного морфологического и элементного состава впервые была проведена систематизация осадков карт-накопителей, позволяющая разработать технологию их переработки с учетом положения о наилучших доступных технологиях по обращению с отходами.

2. Впервые изучены изменения морфологических и физико-химических характеристик коллоидных осадков шлам-лигнина в процессе их вымораживания. Установлено, что при вымораживании коллоидного осадка шлам-лигнина в нем происходят изменения аморфной структуры гидроксида алюминия, которая до вымораживания представлена гиббситом, а после – диаспором, сопровождающиеся переходом коллоидно-связанной влаги и сорбированных лигнинных веществ в жидкую фазу.

3. Установлено, что зола сжигания осадков шлам-лигнина может быть использована в качестве алюмосиликатного компонента для получения быстротвердеющего, коррозионностойкого цемента со сниженной температурой обжига, состоящего также из гипсового и известнякового компонентов.

4. Предложен механизм интенсификации флокулирующей способности флокулянта «Zetag-7664», модифицированного пропиленгликолем (марка А, второй сорт), заключающийся в разрушении амидных групп флокулянта и сшивании пропиленгликолем его полимерных цепей с увеличением молекулярной массы в 2 раза.

### **Практическая значимость**

1. Предложено использование модифицированного полиакриламидного флокулянта «Zetag-7664» для очистки надшламовых вод карт-накопителей ОАО «БЦБК».

2. С использованием зол шлам-лигнина ОАО «БЦБК» получен коррозионностойкий цемент марки М-400 (патент № 2552288).

3. Разработана технологическая схема переработки осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК», базирующаяся на создании условий процессов их естественного вымораживания, которая позволит не только сократить технико-экономические затраты, но и повысить экологическую безопасность с ожидаемым экологическим эффектом от ликвидации накопленных отходов прошлых лет, равным 17,7 млрд руб. Разработанная экологически безопасная технология может быть реализована при переработке аналогичных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «Селенгинский ЦКК» (Республика Бурятия).

**Методы исследования.** В работе был использован комплекс физико-химических методов анализа (электронно-микроскопический анализ, спектральный анализ, термический анализ), применены методы биотестирования, мониторинга и математического моделирования поверхности с применением ПО Surfer.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Систематизация осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК» в зависимости от их морфологического и элементного состава, позволяющая определить тех-

нологию их переработки с учетом положения о наилучших доступных технологиях по обращению с отходами.

2. Вымораживание коллоидных осадков шлам-лигнина, сопровождающееся изменением аморфной структуры гидроксида алюминия, переходом коллоидно-связанной влаги и сорбированных лигнинных веществ в жидкую фазу.

3. Использование золы сжигания осадков шлам-лигнина в качестве алюмосиликатного компонента для получения быстротвердеющего, коррозионно-стойкого цемента со сниженной температурой обжига, в композиции с гипсовым и известняковым компонентами.

4. Механизм интенсификации флокулирующей способности флокулянта «Zetag-64», при модификации пропиленгликолем (марка А, второй сорт).

**Достоверность результатов проведенных исследований** обеспечена комплексным анализом и обобщением предшествующих научных исследований, набором полевых, физико-химических и математических исследований, выполненных в аккредитованной лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» ROCC RU.0001.518897 с применением аттестованных методик, в которых ведется контроль полученных результатов с помощью статистической обработки, а также результатами опытно-промышленных испытаний и ожидаемым эколого-экономическим эффектом.

**Личный вклад автора** состоит в анализе современного состояния изученности вопроса переработки осадков лесохимического комплекса, в планировании и проведении экспериментальных и научных исследований, обработке полученных результатов, подготовке статей и материалов конференций.

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались на международных конференциях: «Инженеры будущего – 2013» (п. Большое Голоустное, 2013); «Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки» (г. Санкт-Петербург, 2015); «Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения – 2015, г. Иркутск); «Междисциплинарность в инженерном образовании: глобальные тренды и концепции управления – Синергия» (г. Иркутск, 2016); Байкальском международном экологическом водном форуме (г. Иркутск, 2017), Втором Байкальском международном экологическом водном форуме (г. Иркутск, 2018). На всероссийских научно-практических конференциях: «Почвы холодных областей: генезис, география, экология» (г. Улан-Удэ, 2015); «Безопасность» (г. Иркутск, 2013-2015); «Техносферная безопасность в XXI веке» (г. Иркутск, 2015); «Современные проблемы геохимии – 2018» (г. Иркутск, 2018).

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.21.03 – «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины», п. 15 – «Охрана окружающей среды на предприятиях химико-лесного комплекса».

**Реализация работы.** Проведены опытно-промышленные испытания технологии вымораживания коллоидных осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК». Полученные научно-технические результаты включены в отчет по хозяйственной теме № 54/17-ЮЛ/1 «Реализация мероприятий по ликвидации негативного

воздействия отходов, накопленных в результате деятельности ОАО «БЦБК». Технология переработки осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК» вошла в «Каталог наукоемких разработок, технологий и услуг ФГБОУ ВО «ИРНИТУ. Полученные научно-практические результаты диссертации использованы в учебном процессе для подготовки бакалавров и магистров специальности «Охрана окружающей среды» и «Экологическая безопасность».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 5 в рецензируемых журналах из перечня ВАК, две статьи опубликованы в журналах, которые входят в базы SCOPUS и Web of Science, один патент.

**Общая структура диссертации.** Диссертация изложена на 150 страницах, содержит 25 таблиц, 41 рисунок, 9 приложений, включает введение, шесть глав, выводы и список использованных источников в количестве 126 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность исследований по теме диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, дана общая характеристика работы.

**В первой главе** представлен аналитический обзор литературы современного состояния методов переработки и утилизации осадков лесохимического комплекса, в том числе применение наилучших доступных технологий, использование методов вымораживания промышленных осадков, современное состояние объектов окружающей среды и района размещения осадков ОАО «БЦБК». Представлены имеющиеся сравнительные данные морфологического и элементного состава осадков ОАО «БЦБК», образующихся на стадии химической очистки сточных вод сульфатной варки древесины и отмывки целлюлозы после отбелки. Установлено, что из-за отсутствия систематизированных научных и практических данных по вопросам состава и переработки коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК» необходимо было проведение соответствующего целенаправленного исследования по разработке экологически безопасной технологии их переработки, базирующейся на представлениях о наилучших доступных технологиях при обращении с отходами.

**Во второй главе** представлены полученные результаты мониторинговых работ современного состояния природно-техногенного комплекса территории размещения коллоидных осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК». Всего на территории ОАО «БЦБК» располагается две площадки для размещения отходов – Солзанская площадка (138 га, карты № 1-10), Бабхинская (42 га, карты № 12-14) и промежуточная карта № 11. Коллоидные осадки шлам-лигнина состоят: на 80-90 % из органических веществ, представленных лигнинными веществами (45-50 %), в том числе сульфатным лигнином и хлорлигнином, которые образуются в ходе сульфатной варки древесины и хлорной отбелки целлюлозы; целлюлозным волокном (10-15 %) в виде потерь при сульфатной варке древесины; отработанным активным илом (10-15 %), образующимся на стадии биологической очистки сточных вод; минеральных веществ – 10-15 %; до 5 % гидроксида алюминия и полиакриламида, которые использовались на стадии химической очистки вод.

Для оценки динамики изменения состояния окружающей среды в районе промышленной площадки карт-накопителей ОАО «БЦБК» в период с 2012-2017 гг. отбирались и анализировались образцы проб почв, растений, подземных, надшламмовых вод и осадков. В ходе проведенных исследований было установлено, что содержание тяжелых металлов в почве достигло своих максимальных значений и в несколько раз превышает нормативные показатели и региональный фон химических элементов, содержащихся в почвах района Южного Прибайкалья. Определен суммарный показатель загрязнения почв  $z$  – отношение фактической концентрации тяжелых металлов к их фоновому значению для данной территории, который позволяет провести оценку степени опасности загрязнения почв комплексом тяжелых металлов. С применением программы Surfer, предназначенной для математического моделирования поверхностей, построена схема его распространения на исследуемой территории (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, все образцы почв имеют суммарный показатель загрязнения  $z$  больше 16, что относит их к умеренно-опасной категории и характеризует повышенным уровнем общей заболеваемости населения. Наиболее загрязненной является почва вблизи карт-накопителей № 4-7. Это связано с тем, что верхние слои осадков карт-накопителей представлены тонкодисперсными золами ТЭЦ, которые мигрируют с поверхности карт в объекты окружающей среды. Исследования почвы на ее токсичность на трех тест-объектах – *Lepidium sativum*, *Chlorella vulgaris* Beijer и *Daphnia magna* Straus определили ее как среднетоксичную.

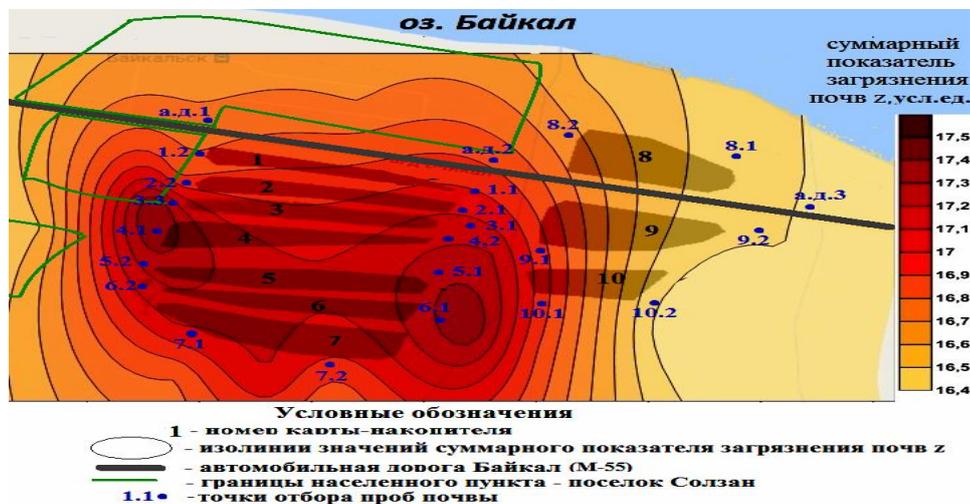


Рисунок 1 – Схема распределения суммарного показателя загрязнения почв  $z$  (усл. ед.) на Солзанской промплощадке

В процессе исследований установлено, что осадки, хранящиеся в картах-накопителях, имеют различный морфологический и элементный состав по глубине их залегания. Так, показатель влажности осадков варьируется от 50 до 90 %, а потери при прокаливании (ППП при 600 °С), характеризующие общее содержание органических веществ, от 40 до 80 %. Надшламмовые воды с карт-накопителей относятся к хлоридно-сульфатной и гидрокарбонатной натриево-магниевно-кальциевой воде. На основании полученных данных, с применением программы Surfer, впервые было построено 3D-изображение залегания осадков

в картах-накопителях ОАО «БЦБК». На рисунке 2 приведено залегание коллоидного осадка карты № 2 с содержанием в нем основного ценного компонента – алюминия в пересчете на оксид.

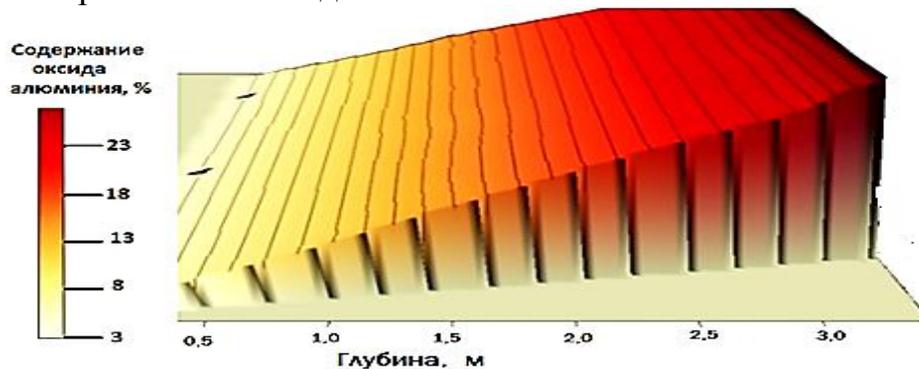


Рисунок 2 – Содержание алюминия в пересчете на оксид в осадке шлам-лигнина (карта № 2)

Как видно из рисунка 2, с увеличением глубины залегания осадка, содержание оксида алюминия увеличивается до 25 %, что дает предпосылки к его возможной рекуперации.

Анализ полученных данных (таблица 1) по морфологическому составу осадков и таким его показателям как влажность, зольность, органическое вещество (лигнинные вещества, целлюлозное волокно, активный ил) и содержание алюминия, впервые позволил провести их систематизацию, которая легла в основу технологии их переработки согласно ГОСТ Р 55827-2013 и учитывает их ресурсный потенциал, необходимость охраны окружающей среды и здоровье людей.

Таблица 1 – Систематизация осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК»

Группа отходов	Номер карт	Состав осадков (основные компоненты)	Накоплено, тыс. т	Зольность, %	Органическое вещество (лигнинные вещества/целлюлозное волокно, активный ил), %	Влажность, %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %
I (органические)	2	Коллоидные осадки, образующиеся при очистке сточных вод ОАО «БЦБК» – шлам-лигнин (pH 6,2)	263,5	17	83	83	12
	3		263,5	15	85	90	15
	8		368,3	21	79	88	16
	9		480,5	16	84	93	17
	10		300,6	18	82	91	12
	Среднее значение				<b>17</b>	<b>83 (50/33)</b>	<b>89</b>
II (органоминеральные)	1	Коллоидные осадки шлам-лигнина и золы ТЭЦ (pH 8,1)	331,6	71	29	68	25
	4		455,0	76	24	77	22
	5		666,3	89	11	65	31
	6		249,7	84	16	69	29
	7		385,8	79	21	75	22
	Среднее значение				<b>80</b>	<b>20 (12/8)</b>	<b>71</b>
III (минеральные)	13	Золы ТЭЦ (pH 9.4)	1633,5	96	4	51	33
	14		220,0	98	2	52	41
	Среднее значение				<b>97</b>	<b>3</b>	<b>52</b>

Как видно из таблицы 1, отходы первой группы состоят из органических отходов, содержащих коллоидные осадки шлам-лигнина. К ним применим технологический процесс рекуперации  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , основанный на их сжигании с получением золы, в состав которой входит до 75 %  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Полученная зола может быть использована для приготовления сырьевой смеси цемента М-400. Ко второй группе органоминеральных отходов, состоящих из верхнего слоя зол ТЭЦ (до 2 м) и нижнего слоя, представленного коллоидными осадками шлам-лигнина (до 2,5 м), применим технологический процесс их послойной рекуперации с получением сырьевой смеси для изготовления цемента М-400. Отходы третьей группы, состоящие из зол ТЭЦ, могут также использоваться в качестве компонента для изготовления цемента М-400 и в дорожном или строительном производстве (рисунок 8).

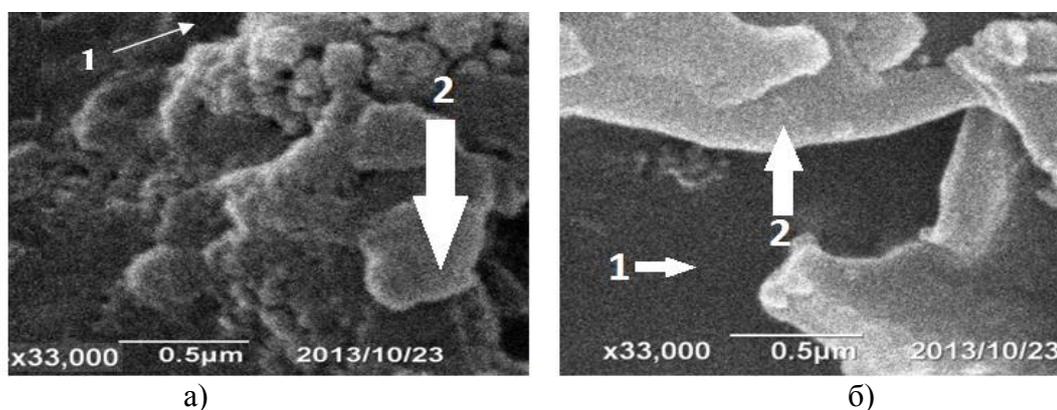
**В третьей главе** представлены результаты исследований процессов вымораживания и деструкции коллоидных осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК».

В процессе исследований была установлена кинетика изменения объема выделившейся влаги из коллоидного осадка шлам-лигнина от температуры его вымораживания. Исследования показали, что эффективное вымораживание коллоидного осадка шлам-лигнина в естественных условиях может происходить при температуре от минус 15 °С и ниже. По данным Гидрометцентра России, количество дней, при которых температура воздуха в районе расположения карт-накопителей ОАО «БЦБК» от минус 15 °С и ниже, составляет порядка 27 дней, при этом максимально низкая среднесуточная температура равна минус 25 °С. Такой температурный режим делает возможным реализацию применения технологии естественного вымораживания, которая заключается в освобождении поверхности карт от снежного и ледяного покровов. Проведенные камеральные и полевые исследования показали, что вымораживание осадка шлам-лигнина приводит к разрушению его коллоидной структуры и уменьшению объема, в зависимости от его состава, на 40–50 %, при этом существенно изменяются его физико-химические свойства (таблица 2). Так, влажность деструктурированного осадка уменьшается на 10–20 %, удельное сопротивление в 5–10 раз, поверхностный заряд ( $\zeta$ -потенциал) в 2–3 раза, константа влагоотдачи увеличивается в 1,5 раза, содержание бенз(а)пирена и других токсичных веществ снижается в 4–9 раз, а всхожесть семян кресс-салата увеличивается на 10–25 %. С целью оценки токсичности осадков шлам-лигнина до и после вымораживания была проведена процедура их биотестирования на разных тест-объектах, таких как *Lepidium sativum*, *Chlorella vulgaris Beijer* и *Daphnia magna Straus*. Установлено, что осадки шлам-лигнина после вымораживания переходят в среднем значении с третьего (умеренно опасные) в четвертый класс (малоопасные), что может быть объяснено переходом токсичных лигнинных веществ в водную фазу (таблица 2). Таким образом, вымораживание коллоидных осадков шлам-лигнина приводит не только к уменьшению их объема и увеличению водоотдающих свойств, но и сопровождается снижением их токсичности.

Таблица 2 – Качественные показатели осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК» до и после вымораживания

Показатель (усредненные значения)	Объект исследований			
	карты № 4-7 (шлам-лигнин, зола ТЭЦ)		карты № 2-3, 8-10 (шлам-лигнин)	
	до вымораживания	после вымораживания	до вымораживания	после вымораживания
Влажность, %	62,4	53,3	87,2	72,5
Константа влагоотдачи	6,8	7,6	5,3	7,9
Уменьшение объема осадка (после декантации), %	–	19,6	–	42,0
ζ-Потенциал поверхности осадка, мВ	–26,4	–11,6	–34,1	–10,1
Удельное сопротивление фильтрации осадка, см/м <sup>3</sup> ·10 <sup>3</sup>	14	2,8	74	5,3
Всхожесть семян кресс-салата, %	81	93	62	85
Целлюлозное волокно, активный ил, %	6	9	32	52
Лигнинные вещества, %	10	6	47	28
Бенз(а)пирен, мкг/кг (ПДК почв 20 мкг/кг)	25,3	6,7	29,7	3,4
Лигносульфوناتы, %	–	–	0,12	0,08
Фенолы, мг/кг	0,31	0,17	2,91	0,84
Хлорфенолы, мг/кг	0,02	0,01	0,69	0,21
S <sub>общ.</sub> , %	0,34	0,27	0,96	0,31
Абсорбированный органический хлор (АОХ), %	0,10	0,07	1,41	0,59

С целью установления изменений структуры коллоидного осадка шлам-лигнина были проведены его электронно-микроскопические исследования (рисунок 3, а и б). Как видно из рисунка 3а, до вымораживания структура поверхности осадка была представлена коллоидными частицами шлам-лигнина и макропорами (поры диаметром более 50 нм). При вымораживании коллоидного осадка происходит сжатие его структуры, сопровождающееся коагуляцией коллоидных частиц с вытеснением коллоидно-связанной влаги в объем с ее последующей кристаллизацией и образованием льда. После оттаивания (рисунок 3б) и декантации выделившейся влаги происходит увеличение размера макропор, а также укрупнение частиц осадка на единицу площади поверхности.



1 – макропоры, 2 – твердые коллоидные частицы шлам-лигнина, (x 33,000)

Рисунок 3 – Осадок шлам-лигнина карта № 2 до вымораживания (а), после вымораживания и оттаивания (б)

На рисунке 4 представлены фотографии поверхности коллоидных осадков шлам-лигнина до и после вымораживания.

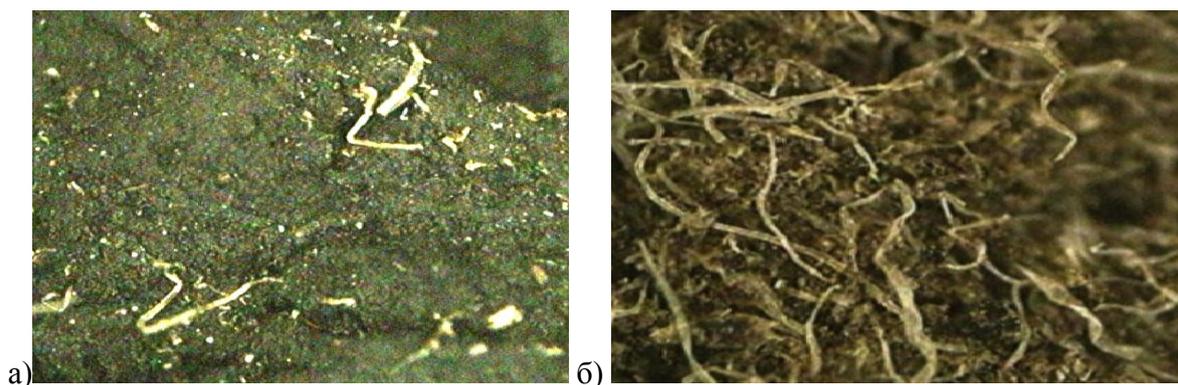
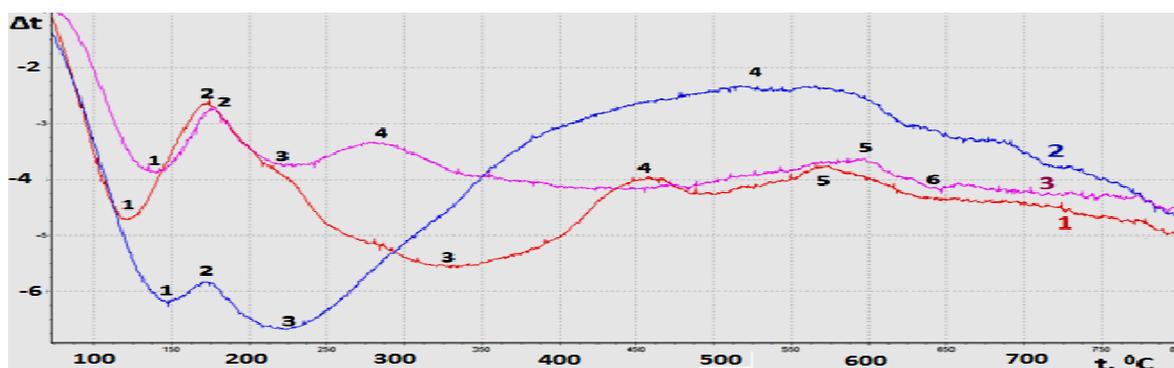


Рисунок 4 – Осадок шлам-лигнина (карта № 2) до вымораживания (а), после вымораживания и оттаивания (б)

Как видно из рисунка 4б, поверхность осадка после вымораживания в значительно большей степени представлена целлюлозным волокном. При вымораживании коллоидных осадков шлам-лигнина, лигнинные и другие растворенные органические и минеральные вещества, сорбированные на поверхности гидроксида алюминия, как и коллоидно-связанная влага, переходят в водную фазу. Подтверждением этих переходов могут быть изменения таких показателей, как минерализация, химическое потребление кислорода и лигносульфонаты, начальное содержание которых в водной фазе исходного осадка составляло 48; 21 и 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, а после его вымораживания увеличилось до 980; 290 и 31 мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

Изменения структуры коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК» до и после вымораживания также хорошо наблюдаются при их термографическом исследовании, выполненном на приборе «Термоскан-2» (рисунок 5). Для проведения исследований в качестве стандартного образца был взят сульфатный лигнин, выделенный серной кислотой из черных щелоков ОАО «БЦБК» (кривая 1), коллоидные осадки шлам-лигнина до (кривая 2) и после вымораживания (кривая 3). В образцах шлам-лигнина до и после вымораживания на термограммах при температуре 225 °С наблюдается эндоэффект 3, связанный с удалением коллоидно-связанной влаги. Значение  $\Delta t$  (разница температур образца и эталона) после вымораживания осадка в 1,6 раз меньше в сравнении с исходным осадком, что может быть обусловлено пропорциональным снижением содержания коллоидно-связанной влаги в осадке. В термограмме исходного осадка шлам-лигнина, наблюдается интенсивный и продолжительный экзоэффект 4, начинающийся от 250 °С и продолжающийся до 800 °С. Экзоэффект 4 связан с термической деструкцией органической части осадка, разложением активного ила при 250 °С, целлюлозного волокна при 275-400 °С и наиболее устойчивых органических веществ – лигнинов при температуре 450-650 °С. После вымораживания коллоидных осадков на термограмме при температуре 275 °С наблюдается экзоэффект 4, связанный с выгоранием активного ила и целлюлозного волокна. При температуре 600 °С наблюдается экзоэффект 5, обусловленный термодеструкцией лигнинных веществ. На термограмме осадка шлам-лигнина после вы-

мораживания при температуре 450 °С подобный экзоэффект отсутствует, что говорит о количественном снижении содержания лигнинных веществ. На термограмме, при температуре 525 °С и выше, у осадка после вымораживания наблюдается эндоэффект б, связанный с дегидратацией оставшейся минеральной части осадка, выделением конституционной воды и разрушением решетки диаспора –  $\text{AlO}(\text{OH})$  с образованием  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  – корунда. Тогда как для его получения из гиббсита  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , входящего в состав исходного коллоидного осадка шлам-лигнина, необходима температура 1200 °С.



1 – сульфатный лигнин (стандартный образец), 2 – осадок шлам-лигнина до вымораживания, 3 – осадок шлам-лигнина после вымораживания

Рисунок 5 – Кривые термограмм коллоидного осадка шлам-лигнина, доведенного до воздушно-сухого состояния при температуре от 60 до 800 °С

На рисунке 6 представлены ИК-спектры поглощения коллоидного осадка шлам-лигнина до и после вымораживания, доведенного до воздушно-сухого состояния.

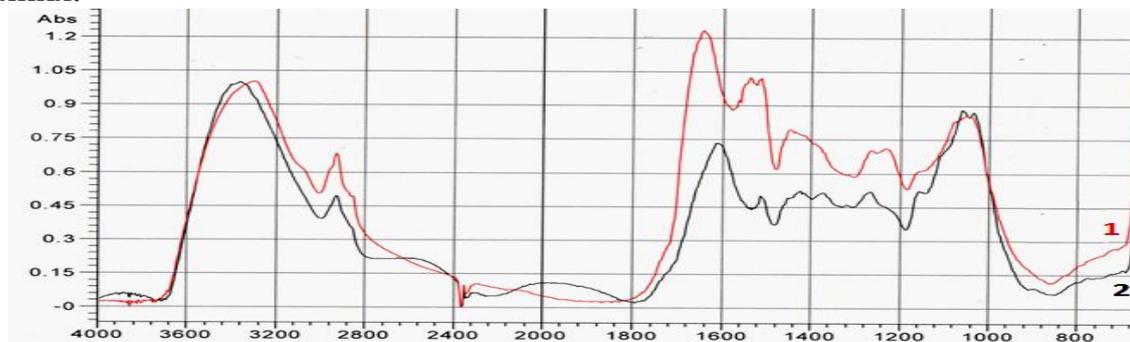


Рисунок 6 – ИК-спектры поглощения воздушно-сухого коллоидного осадка шлам-лигнина ОАО «БЦБК» до (1) и после (2) вымораживания

Анализ ИК-спектров (рисунок 6) позволяет наблюдать изменения, происходящие в структуре анализируемых образцов шлам-лигнина после его вымораживания. В ИК-спектре образца после вымораживания (кривая 2) значительно снижается интенсивность полосы  $1510\text{ см}^{-1}$ , которая характерна для лигнина и относится к скелетным колебаниям ароматического кольца. Кроме того, практически исчезает полоса  $1230\text{ см}^{-1}$  скелетных колебаний гваяцильного кольца. Можно отметить, что в спектре после вымораживания (кривая 2) значительно возрастает интенсивность полосы  $1370\text{ см}^{-1}$ , которая может быть отнесена к сим-

метричным деформационным С-Н колебаниям алифатических групп, что может быть связано с процессом дегидратации и образовании С=С связей. На ИК-спектре (кривая 2) отсутствует характерная для гидроксидов алюминия, имеющих слоистую структуру, полоса поглощения в области  $1900\text{ см}^{-1}$ , так как после вымораживания гидроксиды алюминия преобразуются в диаспор –  $\text{AlO}(\text{OH})$ , имеющий ленточную структуру.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в процессе вымораживания коллоидных осадков шлам-лигнина происходят его структурные преобразования, связанные с перераспределением коллоидно-связанной влаги, органической и минеральной составляющей осадков.

**Четвертая глава** посвящена исследованию получения строительных материалов из осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК». Руководствуясь Федеральным законом № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления» коллоидные осадки шлам-лигнина, содержащиеся в картах-накопителях, необходимо рассматривать как техногенное сырье, подлежащее переработке с целью получения из них ценных компонентов. Одним из таких ценных компонентов может стать алюминий (см. рисунок 2), который может быть использован как компонент для получения цемента (патент РФ № 2552288). В качестве необходимых компонентов цемента, кроме осадка шлам-лигнина, также были взяты отходы – фторгипс и карбидный ил. В таблице 3 приведен состав компонентов, который был установлен методом рентгенофлуоресцентного анализа. На основании полученного компонентного состава была рассчитана и разработана сырьевая смесь сульфоклинкера, содержащего одну часть карбидного ила, 0,73 частей золы шлам-лигнина и 1,4 части фторгипса.

Таблица 3 – Состав исходных компонентов, входящих в полученный клинкер

Отход, входящий в клинкер	Содержание, %					
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{SO}_3$	другое
Зола шлам-лигнина ОАО «БЦБК»	21	71	3	2	1	2
Фторгипс (ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат», г. Ангарск)	2	0,6	0,4	32	43	22
Карбидный ил (ООО «Усольехимпром», г. Усолье-Сибирское)	2	0,7	0,4	70	0,2	27

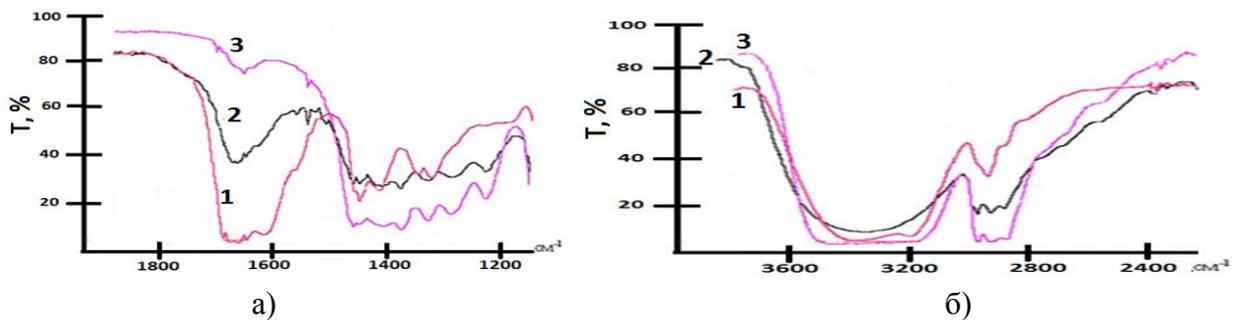
Для изучения состава полученного клинкера был проведен его анализ методом рентгеновской дифрактометрии, который показал, что наиболее выраженным сигналом обладает сульфат кальция –  $\text{CaSO}_4$ , далее идет сульфоалюминат кальция  $\text{Ca}_4(\text{Al}_6\text{O}_{12})\text{SO}_4$  (повышает скорость твердения цемента и является расширяющей добавкой), третьим по содержанию является флюорэлластадит  $\text{Ca}_{10}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3\text{F}_2$  (повышает прочность цемента). Прочность на сжатие полученного образца после двадцати восьми дней затворения водой составила 83,2 МПа, коэффициент коррозионной стойкости – 1, что соответствует показателям качества цемента марки М-400. Полученный из золы сжигания осадка шлам-лигнина цемент М-400 (патент РФ № 2552288) прошел успешные опытно-промышленные испытания на ООО «Тимлюйский цементный завод» (Республика Бурятия) и рекомендован в производство.

**В пятой главе** представлены результаты исследований использования модифицированных полиакриламидных флокулянтов для очистки надшламовых вод карт-накопителей ОАО «БЦБК». По предлагаемой технологии переработки осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК» надшламовую высокоминерализованную воду (среднее значение минерализации – 769 мг/дм<sup>3</sup>) перед сбросом в пруд аэра-тор необходимо подвергать очистке. Для осаждения загрязняющих веществ предлагается использовать полиакриламидный флокулянт «Zetag-7664», модифицированный пропиленгликолем (марка А, второй сорт). Модификация флокулянта позволит повысить его эффективность и исключить обработку надшла-мовых вод минеральными коагулянтами, тем самым избежать их дополни-тельной высокой минерализации. В таблице 4 приведена сравнительная харак-теристика пробного коагулирования надшламовых вод карт-накопителей ОАО «БЦБК» с различными реагентами.

Таблица 4 – Сравнительные характеристики пробного коагулирования надшламовых вод карт-накопителей ОАО «БЦБК» различными реагентами

Показатель	Magnaflok Lt-27		ПАА		Zetag-7664	
	модифици- рованный	исход- ный	модифици- рованный	исход- ный	модифици- рованный	исход- ный
Флокулирующий эффект, отн.ед.	0,29	18	0,14	0,19	0,72	0,31
Цветность, Схкш <sup>0</sup>	42	96	72	115	30	84
Толщина уплотненного слоя осадка, см	20	30	15	10	5	12
Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	483	688	496	712	359	603
Химическое потребление кис- лорода, мг/ дм <sup>3</sup>	49	73	67	95	24	65

Как видно из таблицы 4 модификация исследуемых флокулянтов пропиленгликолем приводит к существенному увеличению их флокулирующей способности по всем качественным и количественным характеристикам, наилучшие показатели достигнуты с использованием флокулянта «Zetag-7664». Изучение механизма взаимодействия флокулянта «Zetag-7664» с пропиленгликолем проводилось методом ИК-спектроскопии (рисунок 7). Так как процессы модификации флокулянтов происходят в водной среде, были изучены ИК-спектры пленок, выделенных из водных растворов. В ИК-спектре исходного флокулянта в области 1500–1700 см<sup>-1</sup> обнаружены три полосы 1560, 1620 и 1670 см<sup>-1</sup>. Наличие полос 1560 и 1620 см<sup>-1</sup> свидетельствует об образовании димеров амидных групп, а появление полосы 1670 см<sup>-1</sup> указывает на частичное разрушение димеров при образовании водородных связей с молекулами воды. В ИК-спектре флокулянта, модифицированного пропиленгликолем 2 (рисунок 7а), исчезают полосы 1630 и 1560 см<sup>-1</sup>, относящиеся к димерам амидных групп, и остается только полоса 1670 см<sup>-1</sup>, что указывает на полное исчезновение димерных форм. Это подтверждается отсутствием в ИК-спектре модифицированного флокулянта ИК-полосы 3200 см<sup>-1</sup>, относящейся к валентным колебаниям N–H-связей в димерных формах. Присутствие пропиленгликоля 3 (рисунок 7а) в модифицированном флокулянте подтверждается появлением ИК-полос 1230, 1290, 1370 см<sup>-1</sup>, которые отсутствуют в спектре исходного флокулянта 1 (рисунок 7а).

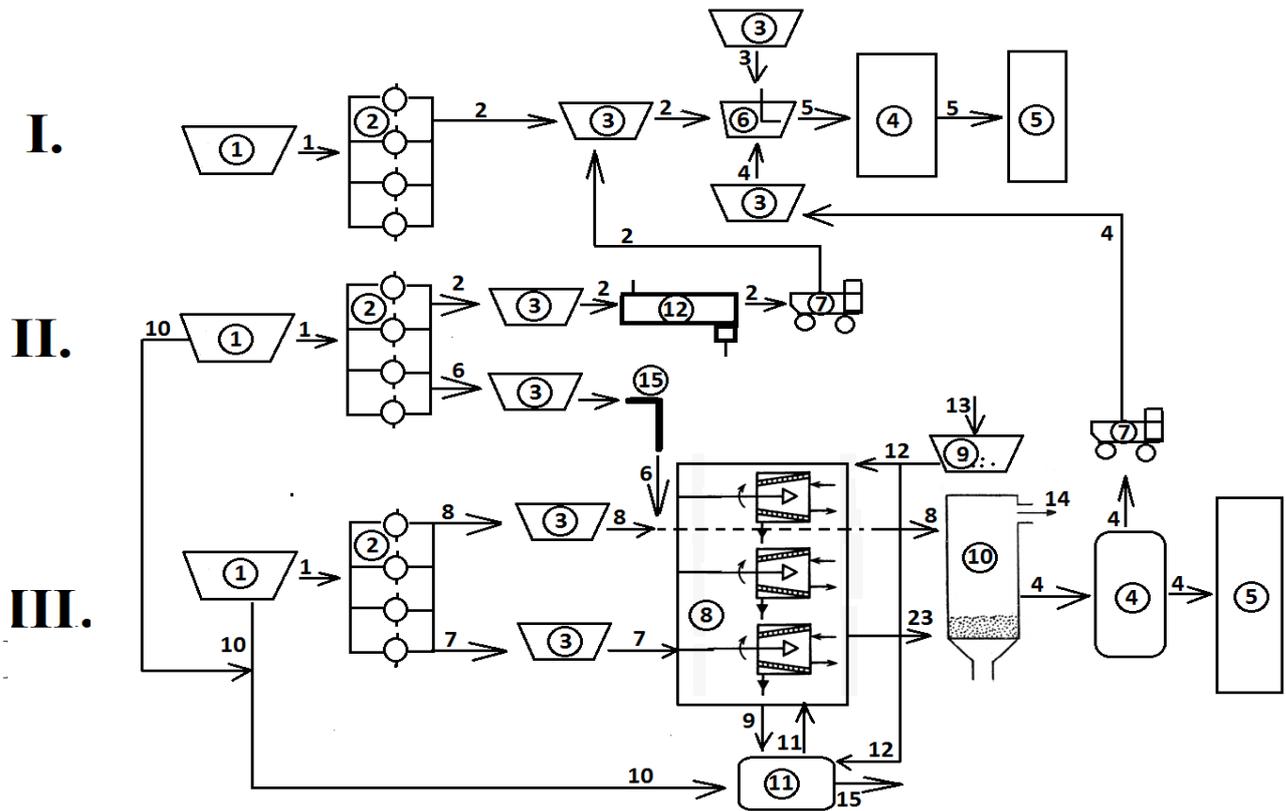


1 – исходный флокулянт («Zetag-7664»); 2 – флокулянт («Zetag-7664»), модифицированный пропиленгликолем; 3 – пропиленгликоль (микрослой)

Рисунок 7 – Спектры ИК-пропускания исходного и модифицированного флокулянта «Zetag-7664», в области поглощения  $1200-1800\text{ см}^{-1}$  (а) и  $2400-3600\text{ см}^{-1}$  (б)

Увеличение флокулирующей способности модифицированных флокулянтов может происходить за счет проявления двух механизмов. Первый механизм заключается в том, что молекулы пропиленгликоля сшивают полимерные цепи флокулянта, образуя ячеистую структуру с увеличенной молекулярной массой флокулянта с 7 млн а.е.м. до 13 млн а.е.м. Второй механизм проявляется в разрушении димеров, сопровождающийся образованием водородных связей между амидной группировкой и гидроксидом алюминия. Таким образом, применение модифицированных флокулянтов для очистки надшламовых вод осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК» позволяет, не снижая качественных и количественных характеристик процесса седиментации, сократить дозу флокулянта в 1,6 раз и избежать использование минеральных коагулянтов, что позволит предотвратить вторичное загрязнения озера Байкал минеральными компонентами.

**В шестой главе** представлены результаты опытно-промышленных испытаний и технологическая схема цепи аппаратов переработки осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК», базирующаяся на представлениях о наилучших доступных технологиях при обращении с отходами. В ходе опытно-промышленных испытаний было установлено, что в процессе естественного вымораживания коллоидных осадков шлам-лигнина можно выделить три фракции: деминерализованная вода – до 25 %, которая по своему составу близка к пресной воде; минерализованная вода – до 15 % и деструктурированный коллоидный осадок – до 60 %. Разработанная экологически безопасная технология переработки осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК» состоит из двух основных этапов работ. Первый этап работ выполняется в холодный период времени года и направлен на создание условий протекания процессов естественного вымораживания коллоидных осадков, который заключается в удалении с поверхности карт-накопителей снежного покрова, препятствующего промерзанию осадка с применением турбин машины, например, АИСТ-5ТМ. А также образовавшегося льда, с применением гусеничной техники, например, гусеничные мини-погрузчики Bobcat, и ледорубных установок. Второй этап работ реализуется в теплое время года и заключается в непосредственной переработке осадков в зависимости от их морфологических и физико-химических свойств и состава, представленного в таблице 1. Технология переработки осадков карт-накопителей может быть представлена тремя отдельными технологическими процессами (рисунок 8).



I. Технологический процесс рекуперации зол ТЭЦ (карты № 13, 14) и зол от сжигания коллоидных осадков шлам-лигнина с получением сырьевой смеси для изготовления цемента М-400; II. Технологический процесс рекуперации зол ТЭЦ и коллоидных осадков шлам-лигнина (карты № 1, 4–6) с получением сырьевой смеси для изготовления цемента М-400; III. Технологический процесс рекуперации  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  из коллоидных осадков шлам-лигнина карт № 2, 3, 8–10.

① – карты-накопители ОАО «БЦБК»; ② – насосная станция; ③ – бункер-накопитель; ④ – бункер готового сырья; ⑤ – потребитель; ⑥ – емкость для приготовления сырьевой смеси для получения гидравлического цемента М-400; ⑦ – автотранспорт; ⑧ – центрифуги; ⑨ – емкость для приготовления модифицированного флокулянта; ⑩ – печь кипящего слоя; ⑪ – первичный отстойник КОС ОАО «БЦБК»; ⑫ – ленточный питатель; ⑬ – трубопровод.

1 – отходы карт-накопителей ОАО «БЦБК»; 2 – золы ТЭЦ; 3 – дополнительные компоненты приготовления сырьевой смеси для получения гидравлического цемента М-400; 4 – зола от сжигания коллоидных осадков шлам-лигнина; 5 – сырьевая смесь для получения гидравлического цемента М-400; 6 – вымороженные в картах-накопителях коллоидные осадки шлам-лигнина, влажностью от 64 до 98 %; 7 – вымороженные в картах-накопителях коллоидные осадки шлам-лигнина с влажностью более 80 %; 8 – вымороженные в картах-накопителях коллоидные осадки шлам-лигнина с влажностью менее 80 %; 9 – фугат; 10 – надшламовые воды; 11 – осадки с первичных отстойников КОС ОАО «БЦБК»; 12 – раствор модифицированного флокулянта; 13 – флокулянт «Zetag-7664», пропиленгликоль (марка А, второй сорт); 14 – газовые выбросы на очистку; 15 – сброс очищенных сточных вод в пруд-накопитель ОАО «БЦБК»; 23 – обезвоженные осадки шлам-лигнина с влажностью менее 80 %.

Рисунок 8 – Схема цепи аппаратов технологии переработки коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК»

Первый технологический процесс заключается в рекуперации зол ТЭЦ (карты № 13, 14) и зол от сжигания коллоидных осадков шлам-лигнина с получением сырьевой смеси для изготовления цемента М-400. Второй технологический процесс заключается в рекуперации зол ТЭЦ и коллоидных осадков шлам-лигнина (карты № 1, 4–6) с получением сырьевой смеси для изготовления цемента М-400. Третий технологический процесс заключается в рекуперации  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  из коллоидных осадков шлам-лигнина карт № 2, 3, 8–10.

Таким образом, предложенная экологически безопасная технология переработки накопленных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «БЦБК» позволит не только сократить технико-экономические затраты, но и повысить социально-экологическую безопасность проекта с ожидаемым экологическим эффектом от ликвидации накопленных отходов прошлых лет, согласно методике расчета предотвращенного экологического ущерба, в размере 17,7 млрд руб. Разработанная экологически безопасная технология может быть реализована при переработке аналогичных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «Селенгинский ЦКК» (Республика Бурятия).

### **Основные выводы по диссертации**

1. Установлено, что с 2012 по 2017 гг. концентрации загрязняющих веществ в почве Солзанской промплощадки достигли своих максимальных значений и, по оценке суммарного показателя загрязнения почв  $Z$ , почва относится к умеренно-опасной категории.

2. Впервые проведена систематизация накопленных коллоидных осадков шлам-лигнина карт-накопителей ОАО «БЦБК», основанная на их морфологическом и элементном составе, позволяющая определить технологический процесс их переработки, основанный на принципах наилучших доступных технологий. Выделено три типа осадков – органические (до 50 % лигнинных веществ), органоминеральные (до 12 % лигнинных веществ) и минеральные (до 1 % лигнинных веществ).

3. Установлено, что в процессе технологического цикла «замораживание-оттаивание» коллоидных осадков шлам-лигнина образуется деминерализованная вода – до 25 %, которая по своему составу близка к пресной воде; минерализованная вода – до 15 % и деструктурированный коллоидный осадок – до 60 %. Установлены изменения аморфной структуры гидроксида алюминия, сопровождающиеся переходом гиббсита в диаспор с выделением коллоидно-связанной влаги и сорбированных лигнинных веществ в жидкую фазу.

4. Установлено, что золы, образующиеся при сжигании осадка шлам-лигнина, состоят на 75 % из  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и могут применяться в качестве алюмосиликатного компонента для получения гидравлического коррозиестойкого цемента М-400 (патент № 2552288).

5. Установлен механизм интенсификации флокулирующей способности флокулянта «Zetag-7664», при модификации пропиленгликолем (марка А, второй сорт). Использование модифицированного полиакриламидного флокулянта «Zetag-7664» для очистки минерализованных надшламовых вод карт-накопителей ОАО «БЦБК» позволит исключить образование вторичных загрязнений минеральными компонентами.

6. Разработана технология переработки осадков карт-накопителей ОАО «БЦБК», базирующаяся на создании условий процессов их естественного вымораживания, которая позволит не только сократить технико-экономические затраты, но и повысить экологическую безопасность с ожидаемым экологическим эффектом от ликвидации накопленных отходов прошлых лет, равным 17,7 млрд руб. Разработанная экологически безопасная технология может быть реализована при переработке аналогичных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «Селенгинский ЦКК» (Республика Бурятия).

**По теме диссертации опубликованы следующие основные работы.  
Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы SCOPUS  
и Web of Science:**

1. Шатрова, А.С. Использование накопленных отходов целлюлозно-бумажной промышленности в качестве компонентного сырья для получения цементов / А.С. Шатрова, А.В. Богданов, О.Л. Качор // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 11. – С. 15-19. – DOI: 10.18412/1816-0395-2017-11-15-19, автора 0,06 п.л.

2. Шатрова, А.С. Экологически безопасная технология переработки накопленных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «Байкальский ЦБК» / А.В. Богданов, А.С. Шатрова, О.В. Тюкалова, А.И. Шкрабо // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2018. – Т. 8, № 3. – С. 99-107, автора 0,11 п.л.

**Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК**

3. Шатрова, А.С. Рекуперация осадков карт-накопителей ОАО «Байкальский ЦБК» / А.С. Шатрова, А.В. Богданов, К.В. Федотов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2013. – № 10. – С. 60-63, автора 0,07 п.л.

4. Шатрова, А.С. Исследование физико-химических свойств осадков шлам-лигнина ОАО «Байкальский ЦБК» при вымораживании / А.С. Шатрова, А.В. Богданов, О.Л. Качор // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 8. – С. 99-107, автора 0,15 п.л.

5. Шатрова, А.С. Получение сульфатсодержащего цемента из отходов ОАО «Байкальский ЦБК» // А.С. Шатрова [и др.] // Перспективы науки. – 2016. – № 2 (77). – С. 18-22, автора 0,04 п.л.

6. Шатрова, А.С. Рекультивация земель, загрязненных отходами горно-перерабатывающей промышленности с использованием отходов целлюлозно-бумажной промышленности / А.С. Шатрова [и др.] // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2016. – № 2 (55). – С. 96-102, автора 0,08 п.л.

7. Шатрова А.С. Разработка экологически безопасной технологии утилизации отходов ОАО «Байкальский ЦБК» / А.С. Шатрова, А.В. Богданов, О.Л. Качор // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2017. – № 2. – С. 47-53, автора 0,12 п.л.

**Патенты**

8. Пат. 2552288 Российская Федерация, МПК С 04 В 7/42. Сырьевая смесь для получения гидравлического цемента / А.В. Богданов, Е.А. Левченко, А.С. Шатрова, В.А. Воробчук, М.В. Ставицкая ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ». – № 2014110564/03 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16. – [10 с.], автора 0,08 п.л.

**В других журналах и материалах конференций**

9. Шатрова, А.С. Мониторинг и рекультивация земель, нарушенных в результате деятельности ОАО «Байкальский ЦБК» / А.С. Шатрова, А.В. Богданов // Почвы холодных областей: генезис, география, экология (к 100-летию со дня рождения профессора О.В. Макеева): материалы науч. конф. с междунар. участием 2015 г. – Улан-Удэ, 2015. – С. 88–90, автора 0,08 п.л.

10. Шатрова, А.С. Использование модифицированных полиакриламидных флокулянтов для очистки надильных вод карт-шламонакопителей ОАО «Байкальский ЦБК» / А.С. Шатрова [и др.] // Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки: материалы междунар. науч.-практ. конф. 2015 г. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 149-152, автора 0,05 п.л.

11. Шатрова, А.С. Разработка экологически безопасной технологии утилизации коллоидных осадков целлюлозно-бумажной промышленности // А.С. Шатрова, А.В. Богданов, О.Л. Качор / Инженерное образование. – 2016. – № 20. – С. 281–286, автора 0,09 п.л.

12. Шатрова, А.С. Использование зол шлам-лигнина производств целлюлозно-бумажной промышленности в качестве сырья для получения строительных материалов / А.С. Шатрова, А.В. Богданов, К.В. Федотов // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения-2017): материалы междунар. науч. конф. 2017 г. – Красноярск, 2017. – С. 358–359, автора 0,04 п.л.