

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

К. Маркса ул., д. 10, Казань, 420111
Тел.: (843) 238-41-10 Факс: (843) 236-60-32
E-mail: kai@kai.ru, http://www.kai.ru
ОКПО 02069616, ОГРН 1021602835275
ИНН/КПП 1654003114/165501001

На № 13.04.2026 от № 0612.1-26-7-2529

УТВЕРЖДАЮ

Врио проректора по научной
деятельности и цифровизации
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»
доктор технических наук, доцент
Бабушкин Виталий Михайлович



«10» апреля 2026

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
на диссертационную работу **Гафарова Решата Решатовича**
на тему: **«Ионообменно-сорбционная очистка сточных вод от ионов
никеля и меди отходом отбелной глины»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по научной специальности 1.4.10. Коллоидная химия

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных и экономически доступных сорбционных материалов для очистки многокомпонентных сточных вод от ионов тяжелых металлов, а также проблемой утилизации крупнотоннажных промышленных отходов. Современные тенденции в области коллоидной химии и водоочистки направлены на использование вторичных ресурсов, в частности отхода отбелной глины, ежегодно образующегося в объеме более 30 тысяч тонн в РФ и не находящего на данный момент широкого применения. Поэтому особую значимость приобретают исследования, направленные на модификацию таких отходов для создания высокоэффективных сорбционных материалов. В связи с этим, диссертационная работа Гафарова Решата Решатовича, посвященная разработке и изучению коллоидно-химических

закономерностей очистки сточных вод от ионов никеля и меди с использованием термически модифицированной отработанной отбелной глиной, является актуальной и отвечает современным требованиям отрасли.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения и приложений. Изложена на 187 страницах, включает 91 рисунок, 66 таблиц, библиографический список из 163 наименований, 6 приложений.

Диссертация логично структурирована и содержит все элементы, характерные для кандидатской работы: введение, аналитический обзор литературы, характеристику исходных материалов и методов исследования, результаты изучения физико-химических и сорбционных свойств термически модифицированной отработанной отбелной глины, исследование коллоидно-химических закономерностей и механизмов очистки сточных вод от ионов никеля, меди и метиленового голубого, а также разработку технологической схемы водоочистки и способа утилизации образующегося осадка. Особое внимание уделено установлению корреляции между степенью термической деструкции кристаллической решетки монтмориллонита, формированием дополнительных дефектных участков и координационно-ненасыщенных центров, обеспечивающих повышение сорбционной емкости, а также исследованию изменений ζ -потенциала и механизмов перезарядки поверхности при специфической адсорбции катионов. Завершающая глава содержит рекомендации по практическому применению разработанного сорбционного материала и оценку предотвращенного эколого-экономического ущерба. Иллюстративный материал представлен наглядно, оформлен аккуратно и в полной мере соответствует содержанию работы.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается применением комплекса современного научно-исследовательского оборудования и методов исследования, включающих рентгенофазовый анализ, инфракрасную спектроскопию, термогравиметрический анализ, лазерную гранулометрию, сканирующую электронную микроскопию с энергодисперсионным анализом, низкотемпературную адсорбцию-десорбцию

азота (метод БЭТ), определение ζ -потенциала, а также статистическую обработку экспериментальных данных.

Достоверность подтверждается глубоким анализом научной литературы, выполнением экспериментальных исследований на современном оборудовании, апробацией результатов в промышленных условиях, включая полупромышленные испытания на предприятии ООО «Белрегионцентр» и испытания свойств полученного осадка в производственной лаборатории ООО «ГЭКОР+», а также обсуждением основных положений работы на международных и всероссийских конференциях.

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 5 – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, рекомендованных ВАК РФ. Получено 1 свидетельство о регистрации ноу-хау.

Научная новизна диссертационной работы

Автором установлены закономерности модифицирования сорбционного материала на основе отработанной отбеленной глины путем его термоактивации при температурах до 350 °С, заключающиеся в контролируемом термическом разложении гидроксильных групп и частичной деструкции межatomных связей кристаллической решетки монтмориллонита. Это инициирует направленное выщелачивание катионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) с образованием дополнительных дефектных участков и координационно-ненасыщенных центров, что обеспечивает повышение сорбционной емкости до 1,7 раза для ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} и до 1,3 раза для метиленового голубого. Установлена корреляция между степенью термической деструкции решетки и селективностью образующихся центров к целевым ионам.

Соискателем установлены коллоидно-химические закономерности изменения параметров двойного электрического слоя при сорбции ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} на термически модифицированной отбеленной глине. Показано, что специфическая адсорбция катионов с образованием поверхностных комплексов типа $\equiv\text{Si}-\text{OCu}^+$ инициирует перераспределение заряда в системе «твердая фаза – раствор». Процесс включает последовательные стадии: хемосорбцию в плоскости Штерна, компенсацию объемного заряда и перезарядку поверхности, что приводит к смене знака ζ -потенциала на границе скольжения. Диапазон изменения ζ -потенциала составляет от -29,2 мВ (при рН 6,5–7,5) до +11,6 мВ в результате перезарядки поверхности при сорбции ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} .

Автор выявил, что для всех исследованных сорбционных систем значения критерия Био (B_i) находятся в диапазоне 1,7–2,3, что соответствует области смешанного диффузионного контроля. При этом для Cu^{2+} ($B_i = 2,3$) вклад

внутренней диффузии возрастает, тогда как для метиленового голубого ($B_i = 1,7$) и Ni^{2+} ($B_i = 1,9$) существенную роль сохраняет внешняя диффузия.

Теоретическая и практическая значимость работы

Автором сформулированы теоретические представления о закономерностях модифицирования отработанной отбелной глины путем термоактивации при температурах до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, заключающиеся в контролируемом термическом разложении гидроксильных групп и частичной деструкции межатомных связей кристаллической решетки монтмориллонита, что инициирует направленное выщелачивание межслоевых катионов с образованием дополнительных дефектных участков и координационно-ненасыщенных центров.

Соискателем разработан высокоэффективный сорбционный материал на основе отхода отбелной глины, термоактивированный при $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определены рациональные параметры очистки сточных вод от ионов Ni^{2+} , Cu^{2+} и красителя метиленового голубого: доза сорбента - $1,5\text{ г/дм}^3$, температура обработки $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предложена принципиальная технологическая схема водоочистки, прошедшая полупромышленные испытания в условиях ООО «Белрегионцентр». Разработан способ утилизации отработанного сорбента в качестве пигмента-наполнителя в производстве лакокрасочных материалов.

Апробация результатов работы

Полупромышленные испытания разработанного сорбционного материала ООГ350 проведены в условиях предприятия ООО «Белрегионцентр» (г. Старый Оскол). Техничко-технологические решения одобрены и рекомендованы к внедрению. Возможность использования отработанного сорбента в качестве пигмента-наполнителя подтверждена производственными испытаниями в лаборатории ООО «ГЭКОР+» (г. Белгород).

Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» при подготовке обучающихся по направлениям «Техносферная безопасность» и «Природообустройство и водопользование».

Основные результаты работы были представлены на международных и всероссийских (национальных) конференциях и форумах: «Обращение с отходами: современное состояние и перспективы» (Уфа, 2022 г.), «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение,

химия и биотехнология» (Алушта-Белгород, 2022, 2023, 2024 г.), «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования» (Белгород, 2022 г.), «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности» (Казань, 2023 г.), «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2025 г.).

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты и выводы работы могут быть использованы при проектировании новых и модернизации действующих систем очистки сточных вод на предприятиях лакокрасочной, текстильной, легкой промышленности, металлургических производствах, а также на объектах жилищно-коммунального хозяйства, содержащих в сточных водах ионы тяжелых металлов и органические красители. Разработанный сорбционный материал ООГ350, полученный из отхода отбельной глины, рекомендуется к применению в качестве эффективного и экономически выгодного ионообменного сорбента для глубокой очистки многокомпонентных сточных вод. Предложенный способ утилизации отработанного сорбента в виде пигмента-наполнителя может быть внедрен на предприятиях по производству лакокрасочных материалов. Материалы диссертации также целесообразно использовать в учебном процессе высших учебных заведений при подготовке студентов по направлениям «Техносферная безопасность», «Природообустройство и водопользование», «Химическая технология».

Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

При рецензировании диссертации возникли следующие вопросы и замечания:

1. В работе широко используется модель Дубинина–Радужкевича для описания сорбции ионов меди, никеля и метиленового голубого. Однако данная модель изначально разработана для описания адсорбции паров и газов на микропористых углеродных адсорбентах. Насколько корректно её применение для описания сорбции ионов из водных растворов на композитном материале, содержащем минеральную и углеродную составляющие?

2. В разделе 4.6 и выводах диссертации представлены результаты исследования ζ -потенциала, показывающие инверсию знака потенциала с $-29,2$ мВ до $+11,6$ мВ при сорбции ионов меди и никеля. Однако в тексте не

приведены значения ζ -потенциала для образцов, обработанных при других температурах (250 и 450 °С), не обоснован выбор именно образца ООГ350 для этих измерений. Также остаётся неясным, каким образом определялась изоэлектрическая точка (при рН 7,8) – по пересечению кривой зависимости ζ -потенциала от рН с нулём или с использованием иных подходов, и проводилась ли коррекция на ионную силу раствора?

3. В работе предложено использовать отработанный сорбент в качестве пигмента-наполнителя в лакокрасочной промышленности. Однако в составе отработанного сорбента (таблица 6.2) присутствуют ионы меди и никеля, которые могут оказывать каталитическое влияние на процессы старения лакокрасочных покрытий и влиять на их эксплуатационные свойства. Проводились ли исследования долговременной стабильности лакокрасочных материалов с данным наполнителем, а также оценка экологической безопасности готовой продукции (например, миграция тяжелых металлов при контакте с водой или воздействии атмосферных факторов)?

Указанные замечания не снижают значимость выполненной работы и не влияют на ее положительную оценку.

Заключение

Диссертация Гафарова Решата Решатовича на тему: «Ионообменно-сорбционная очистка сточных вод от ионов никеля и меди отходом отбелной глины» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача по разработке эффективного сорбционного материала на основе отработанной отбелной глины и установлению коллоидно-химических закономерностей его применения для очистки многокомпонентных сточных вод от ионов тяжелых металлов и органических красителей, имеющей существенную значимость для развития соответствующей отрасли науки – коллоидной химии (технические науки).

По актуальности исследуемых вопросов, научной новизне и практической значимости, числу публикаций диссертационная работа соответствует требованиям, изложенным в пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Гафаров Решат Решатович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.4.10. Коллоидная химия.**

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры общей химии и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», протокол №7 от 7 апреля 2026.

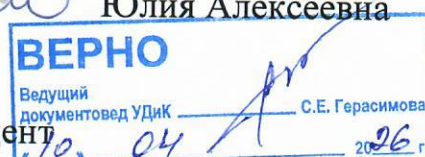
Доктор химических наук по специальности
03.00.16 – «Экология», профессор, заведующий
кафедрой общей химии и экологии
ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технический университет им. А.Н.
Туполева-КАИ»

Подпись Тунаковой Ю.А. Заведующей

Тунакова

Юлия Алексеевна

Кандидат химических наук по специальности
02.00.01 – «Неорганическая химия», доцент, доцент
кафедры общей химии и экологии кафедры ФГБОУ
ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»



Мальцева

Светлана

Александровна

7 «апреля» 2026 г.

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Адрес: 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10

Телефон: +7 (843) 231-97-34

E-mail: kai@kai.ru

Сайт: <https://kai.ru/>