

О Т З Ы В

официального оппонента доктора химических наук, доцента **Салищевой Олеси Владимировны** на диссертационную работу Заколюкиной Алины Маратовны на тему: «Очистка сточных вод от ионов аммония и фосфатов модифицированными золошлаковыми отходами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.2. Экологическая безопасность (технические науки)

Актуальность работы

Повышенное содержание ионов аммония и фосфатов в сточных водах, сбрасываемых в водный объект, значительно превышающее предельно допустимые концентрации, свидетельствует о недостаточно очищенных фекально-бытовых стоках. В этом случае, необходимо проводить доочистку сточных вод перед сбросом их в водоем. Одним из надежных методов признан адсорбционный. Основной задачей разработки новых сорбентов является повышение эффективности очистки сточных вод от загрязняющих веществ. Для повышения экологической безопасности используемые сорбенты должны быть безопасными для окружающей среды, дешевыми, негорючими, невзрывоопасными и утилизируемыми.

Большое количество исследований последних лет подтверждает адсорбционную способность отходов предприятий теплоэнергетики. При использовании их в нативном виде величина адсорбции небольшая. Повышение адсорбционной емкости проводят путем модифицирования поверхности адсорбента. Поиск условий модификации является трудоемким, связанным с большим количеством экспериментальных исследований. Модифицированный сорбент подвергают исследованию на сорбционную емкость по отношению к различным поллютантам, исследуют объем пор, прочность, истираемость и другие физико-химические характеристики, а также проводят исследования по статике и кинетике сорбции, изменяя рН среды, массу сорбента, начальную концентрацию загрязняющего вещества, частоту вращения перемешивающего устройства и продолжительность сорбции. Полученные данные по фазовому равновесию обрабатывают

изотермами адсорбции, а для кинетики сорбции применяют кинетические модели адсорбции.

Решению этих актуальных задач, как в научном, так и практическом плане посвящена диссертационная работа Заколюкиной А.М.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием комплекса средств и методов получения и обработки экспериментальных данных, базирующихся на современных научных знаниях в области экологии, физической химии, биохимии и технологии очистки сточных вод от загрязнителей.

Научные подходы, выводы и рекомендации основаны на фундаментальных научных положениях и общепринятых теоретических закономерностях. Экспериментальные данные по статике и кинетике сорбции подвергнуты статистической обработке. Корреляционный анализ показал, что в статических условиях связь прямая, сильная и достоверная с доверительной вероятностью $p > 0,94$.

Адекватность предложенного анализа изотерм адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Еловича, Темкина и Дубинина-Радущкевича на наличие экстремума функции коэффициента распределения от начальной концентрации ионов аммония в растворе подтверждается качественным согласованием расчетных и экспериментальных данных. Последние получены по утвержденным РФ методикам и методам контроля выполнения измерений ФР, РД, ПНД Ф, ГОСТ и их сравнением с известными данными.

Полученные диссертантом результаты аргументированы, подтверждены экспериментальными исследованиями и согласуются с результатами научных исследований, освещаемых в современных отечественных и иностранных научных изданиях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Кубанского научного фонда (КНФ) в рамках научного проекта № МФИ-20.1/57 (грант КНФ) «Разработка экологически безопасных сорбентов для очистки

ливневых стоков, содержащих фекально-бытовые и нефтяные загрязняющие вещества» (№ государственной регистрации 122101000007-2).

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Несомненный интерес представляют результаты выполненного анализа изотерм адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Еловича, Темкина и Дубинина-Радужкевича на наличие экстремума функциональных зависимостей коэффициента распределения и эффективности очистки, что позволило установить причины качественного несоответствия положения экспериментальных точек коэффициента распределения и эффективности очистки расчетным кривым по изотермам адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Еловича в диапазоне начальных концентраций ионов аммония в растворе от 5 до 300 мг/дм³ и фосфатов – от 2 до 5000 мг/дм³.

Существенным результатом исследований является определение условий получения цеолита для очистки сточных вод от ионов аммония путем гидротермальной обработки прокаленного сорбента 2 М раствором NaOH в соотношении 10 см³ на 1 г прокаленного сорбента, что привело к увеличению сорбционной емкости по отношению к ионам аммония и снижению времени достижения фазового равновесия в растворе цеолит – ионы аммония.

Значимость для науки и практики научной работы

Значимость для науки данной работы заключается в анализе изотерм адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Еловича, Темкина и Дубинина-Радужкевича на наличие экстремума функции коэффициента распределения $K_d = f(C_e)$ и эффективности очистки $E = f(C_0)$. Показано, что данные зависимости на основе изотерм Ленгмюра, Фрейндлиха и Еловича являются монотонно убывающими во всем диапазоне концентраций адсорбтива в растворе, а на основе изотерм Темкина и Дубинина–Радужкевича имеют максимум в области исследуемых концентраций адсорбтива в растворе.

Разработан способ получения цеолита путем гидротермальной обработки прокаленного сорбента из золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС для очистки сточных вод от ионов аммония. Определены его физико-

химические показатели.

Значимость для практики данной работы заключается в проведении мониторинга состояния реки Кубань по 10 точкам в черте города Краснодара за период 2018-2022 гг. На основе количественного химического и микробиологического анализов отобранных проб установлено значительное превышение ПДК по ионам аммония, фосфатам и другим поллютантам, что связано с неудовлетворительной очисткой сбрасываемых стоков в р. Кубань; определении удельной активности естественных радионуклидов золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС; экспериментальном исследовании статики и кинетики сорбции на модельных растворах и реальных сточных водах в системах ионы аммония – прокаленный сорбент, фосфаты – прокаленный сорбент; экспериментальном подтверждении максимума зависимостей эффективности очистки $E = f(C_0)$ и коэффициента распределения $K_d = f(C_0)$ для растворов при начальной концентрации C_0 от 5 до 300 мг/дм³ для раствора ионы аммония – прокаленный сорбент и от 2 до 5000 мг/дм³ для раствора фосфаты – прокаленный сорбент и для раствора ионы аммония – цеолит в диапазоне начальных концентраций ионов аммония от 2 до 2000 мг/дм³ в растворе; экспериментальном определении физико-химических показателей цеолита (насыпная плотность 0,590 г/см³; суммарный объем пор по воде 0,94 см³/г; массовая доля воды 8,71 %; прочность на истирание 51,1 %; массовая доля золы 81,9 %; адсорбционная активность по метиленовому-синему 8,8 мг/г; удельная площадь поверхности 42 м²/г); разработке для доочистки сточных вод от ионов аммония технологической схемы с применением цеолита и клиноптилолита и обосновании экономической эффективности использования цеолита.

Технологические и технические решения подтверждены патентом РФ на изобретение № 2829776.

Результаты испытаний цеолита на основе ЗШО Новочеркасской ГРЭС и технология его производства переданы ООО «Газпром трансгаз Краснодар» (Анапское ЛПУМГ), ООО «ССК Газрегион» (Лаборатория управления контроля качества в Ленинградской области), АО «Анапа Водоканал».

Достоинства диссертации, включая содержание и оформление

Диссертационная работа изложена в традиционной последовательности и включает: введение, шесть глав, основные выводы и результаты, список использованных источников и приложения.

Цель и задачи, сформулированные в диссертации, отвечают полученным результатам.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, приведена степень разработанности темы исследования, сформулирована цель и задачи исследований, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, достоверность полученных результатов, положения, выносимые на защиту, показана методология и методы исследования, степень достоверности результатов и практическая значимость полученных результатов, приведены пункты соответствия паспорту специальности.

В первой главе изложен обзор литературы по загрязнению водных объектов. Основное внимание уделено современным исследованиям в области очистки бытовых сточных вод и сорбентам для очистки сточных вод от ионов аммония и фосфатов.

Во второй главе рассмотрены объекты и методы исследования, приведена методика статистической обработки экспериментальных данных и результаты экспериментального исследования радиологического анализа образцов золошлаковых отходов, отобранных на Новочеркасской ГРЭС.

Третья глава посвящена эколого-химической оценке состояния реки Кубань в условиях антропогенной нагрузки г. Краснодара. Оценка проведена за период с 2018 по 2022 годы. Приведены результаты количественного химического и микробиологического анализов проб по 14 показателям загрязняющих веществ: хлориды, азот нитритный, азот нитратный, ионы аммония, фосфаты, БПК₅; ХПК; железо общее, нефтепродукты, сульфаты, взвешенные вещества, ОКБ, ТКБ, колифаги.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований статики и кинетики сорбции по очистке модельных водных растворов и сточных вод от ионов аммония и фосфатов сорбентом,

полученным прокаливанием золошлаковых отходов при высокой температуре и названным диссертантом прокаленным сорбентом. Исследования проведены при дозах сорбента 1, 2 и 5 г на 50 см³ раствора в диапазоне начальных концентраций ионов аммония 5, 20, 30, 50, 100, 200, 300 мг/дм³ и фосфатов 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 5000 мг/дм³ в растворе. Определены параметры сорбции: рН, частота вращения магнитной мешалки, время достижения сорбционного равновесия.

В пятой главе выполнен анализ изотерм адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Еловича, Темкина и Дубинина-Радущкевича на наличие экстремума функциональной зависимости коэффициента распределения от концентрации адсорбтива в растворе. Приведены математические зависимости прямой пропорциональности между коэффициентом распределения и эффективностью очистки. Для всех экспериментальных данных по статике сорбции построены функциональные зависимости dK_d/dC_e и определены корни функций, показано качественное согласование теоретических зависимостей и экспериментальных данных. На основе анализа сделан вывод о прогнозировании максимума эффективности очистки E и коэффициента распределения K_d по изотермам Темкина и Дубинина-Радущкевича.

В шестой главе разработан способ получения цеолита для очистки сточных вод от ионов аммония путем гидротермальной обработки 2 М раствором NaOH в соотношении 10 см³ на 1 г прокаленного сорбента, что привело к увеличению сорбционной емкости по отношению к ионам аммония и снижению времени достижения фазового равновесия в растворе цеолит – ионы аммония. Определены физико-химические показатели цеолита, его себестоимость, проведены исследования на модельных водных растворах и реальных сточных водах. Экспериментально подтвержден максимум зависимостей $E = f(C_0)$ и $K_d = f(C_0)$ для раствора ионы аммония – цеолит в диапазоне начальных концентраций ионов аммония 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 и 2000 мг/дм³ в растворе. Для доочистки сточных вод от ионов аммония после биологической очистки предложена технологическая схема, включающая 3 ступени статической

сорбционной очистки, где на 1-й и 2-й ступени в качестве сорбента используется цеолит из золошлаковых отходов, и на 1-й и 3-й – клиноптилолит. Приведены расчеты стоимости очистки 1 м³ раствора с концентрацией ионов аммония 40 мг/дм³ и размера предотвращенного экологического ущерба, причиненного сбросом 70 м³/сут. Предложена технологическая схема доочистки сточных вод от ионов аммония. Определен размер предотвращенного экологического ущерба и обоснована экономическая эффективность использования цеолита из золошлаковых отходов для очистки сточных вод от ионов аммония.

В приложениях приведены протоколы лабораторных испытаний, патент на изобретение, акты передачи научно-технических исследований цеолита и апробация исследований.

Приведенные в диссертации выводы соответствуют поставленным задачам. Материал представлен в строгом соответствии с содержанием, проиллюстрирован экспериментальными и расчетными данными, представленными в виде 83 рисунков и 45 таблиц. Список использованной литературы включает 129 наименований. Диссертация аккуратно оформлена.

Публикация основных результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 23 научные работы, из них: 7 статей в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 1 статья в прочем издании и 12 работ в материалах конференций различного уровня, получен 1 патент РФ на изобретение.

Публикации автора полностью соответствуют теме диссертационной работы.

Соответствие автореферата основным положениям

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации и оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК Минобрнауки РФ к диссертациям. **Диссертация соответствует паспорту научной специальности ВАК 2.10.2. Экологическая**

безопасность по пунктам: 2) Исследования уровня воздействия на окружающую среду негативных факторов производственно-хозяйственной деятельности; 10) Разработка и совершенствование методов, технологий и средств снижения негативного воздействия антропогенной хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

Замечания по диссертации

1. С чем связаны высокие значения концентраций ионов аммония и фосфатов, выявленные на основе четырехлетнего мониторинга в стоке в реку Кубань?
2. Какие тест-объекты использованы при микробиологическом анализе?
3. Чем можно объяснить наличие максимума эффективности очистки? Как это соотносится с данными других исследователей?
4. Почему изотерма Темкина дает лучшее описание кривой эффективности очистки, чем изотерма Ленгмюра, которая имеет более высокий коэффициент детерминации при определении коэффициентов линейаризации по сравнению с изотермой Темкина?
5. Чем обоснован выбор природного цеолита клиноптилолита в предложенной схеме доочистки сточных вод от ионов аммония (стр. 147, рис. 6.12)? Хорошей адсорбционной способностью характеризуются также природные пористые материалы с высокими сорбционными свойствами такие как бентонит, опока, трепел, активированный уголь.
6. В работе не рассмотрены вопросы утилизации отработанного сорбента и отработанного цеолита.

Сделанные замечания не снижают общих достоинств работы.

Заключение

Диссертационная работа Заколюкиной Алины Маратовны «Очистка сточных вод от ионов аммония и фосфатов модифицированными золошлаковыми отходами» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, направленной на решение важной задачи – очистке сточных вод от ионов аммония и фосфатов.

По объему выполненных исследований, научной новизне и значимости полученных результатов исследования для науки и практики диссертационная работа полностью соответствует требованиям пп.9-11, 13, 14, «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в текущей редакции), предъявляемым ВАК Министерства науки и высшего образования РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор работы **Заколюкина Алина Маратовна** заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.10.2. Экологическая безопасность (технические науки).

Официальный оппонент:

доктор химических наук по специальности 02.00.01 Неорганическая химия, доцент, заведующий кафедрой общей и неорганической химии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Тел. +7 (923) 517-34-88, E-mail: salishchevaov@mail.ru

Olaf
3.02.2026

Салищева Олеся Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ)

Почтовый адрес: Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6.

Тел. 8 (384-2) 58-38-85

E-mail: rector@kemsu.ru

Подпись Салищевой Олеси Владимировны удостоверяю

Ученый секретарь Ученого совета

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

3.02.2026



Баннова Елена Александровна