

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора химических наук, доцента

Гусевой Елены Викторовны на диссертацию

Дорош Инны Васильевны на тему: «Технология получения сорбентов-носителей на основе стеклообразных фосфатных удобрений для интенсификации очистки нефтезагрязнённых почв», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

На отзыв представлена рукопись диссертации, изложенная на 121 странице текста и содержащая 46 рисунков и 26 таблиц. Диссертация состоит из оглавления, пяти глав с выводами по каждой из них, списка литературы, включающего 175 наименований, и трёх приложений. Автореферат диссертации изложен на 20 страницах.

1. Актуальность темы диссертации

Апатит-нефелиновые руды являются основным источником получения фосфатов, при получении которых наряду с основными продуктами образуются хвосты, и накопление которых приводит к засолению почв, представляя экологический риск. При этом примером высокотехнологичной и ресурсосберегающей утилизации с использованием циркулярной экономики является получение из этих хвостов стеклообразных удобрений – фосфатных стекол. Фосфатные стекла могут использоваться, как удобрения в гранулированном виде или могут быть измельчены до порошковой фракции для вспенивания с целью получения вспененных удобрений, которые в свою очередь являются сорбционными носителями для получения биосорбентов.

В то же время наблюдаемый в настоящее время рост добычи нефти, объемов ее переработки и транспортировки сопровождается увеличением количества жидких и твердых нефтеотходов. Места хранения таких отходов представляют серьезную опасность для окружающей среды, а аварии при добыче, переработке и транспортировке нефти и нефтепродуктов являются причиной масштабных загрязнений природных объектов. При этом самоочищение загрязненных территорий без вмешательства человека длится десятки лет. Из существующих и перспективных направлений защиты территорий и акваторий от воздействия разливов нефти и нефтепродуктов выделяются методы, осуществляемые с помощью сорбентов. Предложено много сорбентов для удаления нефти или нефтепродуктов с поверхности территорий и акваторий, однако, с точки зрения технико-экономической эффективности разработка таких сорбентов остается **актуальной и стратегически важной**. В качестве сорбентов используются как природные, так и синтетические вещества. Основу природных сорбентов составляют уголь, торф, отходы зерновых культур и сельскохозяйственных

производств. Синтетические сорбенты изготавливаются на основе, как неорганических веществ, так и полимеров. Вспененные фосфатные стекла в качестве биосорбентов несут двойную функцию, сочетая сорбционную способность и биохимическую деструкцию адсорбированных углеводов, что позволяет исключить стадию сбора и утилизации отработанного носителя.

Таким образом, в работе решается комплекс проблем, связанных, во-первых, с эксплуатацией минерально-сырьевого комплекса (образование техногенных отходов обогащения апатит-нефелиновых руд), во-вторых, с деятельностью топливно-энергетического комплекса (аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, загрязнение почв и акваторий), что позволяет указать на ее **актуальность**. В решении задач, поставленных автором, продемонстрирован комплексный междисциплинарный подход, в котором объединены задачи утилизации промышленных отходов, разработка эффективных сорбционных материалов и интенсификация очистки загрязнённых территорий с помощью микроорганизмов-нефтедеструкторов. Можно констатировать, что работа выполнена на стыке технологии неорганических веществ (синтез и модификация стеклообразных фосфатных материалов), экологии (снижение техногенной нагрузки и восстановление нарушенных экосистем) и биотехнологии (иммобилизация микроорганизмов-нефтедеструкторов на поверхности носителя). Данный подход обеспечивает системность и практическую значимость предложенных решений и подчеркивает **актуальность данной работы**.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы заключается в раскрытии взаимосвязей между рецептурными параметрами, режимами термообработки и структурно-механическими свойствами фосфатных вспененных материалов. В работе охарактеризовано влияние дозировки нитроаммофоски (НАФ) на комплекс эксплуатационных показателей: долю мезопор, удельную поверхность, прочность и нефтеёмкость. Экспериментально подтверждена эффективность применения НАФ как порообразователя через расчёт кажущейся энергии активации по экспресс-методу термодеструкции, что углубляет информацию о физико-химических основах синтеза пористых неорганических материалов. Дополнительно выявлен нетипичный характер сорбции, обусловленный капиллярной пропиткой и частичной десорбцией, а также морфологией разработанного носителя (многослойной и продолговатой формой каналов). Определена эффективность очистки почв с применением материалов до и после модификации по сравнению с прототипом, также выявлены признаки биоразложения с помощью газовой хроматографии и инфракрасной спектроскопии. Разработана технология получения носителей и биосорбентов на их основе, оценена конкурентоспособность полученных материалов до и после модификации. Проведён сравнительный анализ разработанных материалов с прототипом и некоторыми биосорбентами, представленными на российском рынке.

Результаты диссертационного исследования достаточно полно освещены в 5 печатных работах (№ 26, 38-40, 139 из списка литературы). Отмечу, что две статьи опубликованы в

журнале «Южно-Сибирский научный вестник» (DOI 10.25699/SSSB.2023.50.4.012. DOI: 10.25699/SSSB.2022.44.4.016.): журнал входит в перечень ВАК (белый список, К2). Две статьи опубликованы в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus, WOS и также в перечень ВАК (белый список, К3 и-К2 соответственно) – «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов» (DOI: 10.18799/24131830/2024/8/4484.), «Obogashchenie Rud» (DOI 10.17580/or.2025.03.09.). Получен один патент и один акт о внедрении по теме диссертационного исследования. Диссертант участвовала с устными выступлениями на международных и всероссийских научных конференциях по тематике диссертационного исследования. Диссертантом ранее до поступления в аспирантуру была пройдена стажировка по тематике диссертационного исследования в Германии на базе Технологического института Карлсруэ (KIT).

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных результатов диссертационной работы обеспечена применением современных физико-химических методов исследования, выполненных на сертифицированном оборудовании в аккредитованных лабораториях. В работе использовались: рентгенофлуоресцентный анализ, комплексный термический анализ, сканирующая электронная микроскопия, газовая хроматография, флуориметрический анализ, ИК спектроскопия, а также стандартизованные методики определения нефтеёмкости, прочности на истирание, плотности и удельной поверхности по ГОСТ и ТУ. Все эксперименты проведены с трёхкратной повторностью и статистической обработкой результатов, что гарантирует воспроизводимость данных. Использование аккредитованных лабораторных центров и сертифицированного оборудования обеспечивает подтверждаемость полученных экспериментальных данных.

Обоснованность научных положений базируется на систематическом подходе к исследованию, включающем варьирование состава шихты (содержания СФУ, НАФ, глицерина, воды) и температурно-временных режимов вспенивания, а также комплексную оценку свойств полученных материалов. Экспериментальные данные подтверждены сравнительными испытаниями с прототипом и коммерческим биосорбентом «Унисорб-Био», что позволило объективно оценить преимущества разработанных материалов. Выводы работы коррелируют с данными В. Е. Когана, К. Г. Карапетяна и Д. О. Собяниной, а наблюдаемые отличия объяснены спецификой состава и структуры полученных материалов. Достоверность подтверждена актом внедрения на предприятии «Газпромнефть-ННГ», заявкой на изобретение, а также апробацией на 5 научно-практических конференциях, включая 4 международных. Таким образом, степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций оценивается как высокая и достаточная для защиты представленных результатов.

4. Научные результаты, их ценность

Ценность диссертационной работы заключается в разработке технологии получения пористых сорбентов-носителей на основе стеклообразных фосфатных удобрений, полученных

из апатит-нефелиновых руд, с последующей иммобилизацией микроорганизмов для создания биосорбентов, что позволяет решить проблему утилизации отходов рудопереработки. Важным преимуществом является апробация, как носителей, так и биосорбентов в лабораторных и натуральных условиях, что подтверждает эффективность предложенного подхода и позволяет интенсифицировать очистку нефтезагрязнённых почв на 15–20 % по сравнению с прототипом при исключении стадии сбора отработанного материала. Данное решение способствует рациональному использованию ресурсов и обезвреживанию отходов, а также обеспечивает восстановление плодородия почв за счёт высвобождения питательных элементов при биоразложении матрицы. Работа основана на биотехнологическом подходе и отвечает принципам технологии неорганических веществ, а также соответствует стратегии устойчивого развития и экономики замкнутого цикла.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных представлений о закономерностях формирования структуры вспененных фосфатных носителей в зависимости от состава шихты и температурно-временных параметров. В работе установлены количественные корреляции между содержанием НАФ и структурными характеристиками, что создаёт основу для прогнозирования свойств материалов с заданной архитектурой порового пространства.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается:

- разработкой и обоснованием оптимальных составов шихты (СФУ 48,9–54,3%, НАФ 30,7–36,1%, глицерин 5,4–7,2%, вода 8,2–9,6%) и режимов вспенивания (500–550 °С, 10–15 минут), обеспечивающих формирование мезопористой структуры с прочностью на истирание 60–73% и нефтеёмкостью до 1,2–1,5 г/г;
- разработкой технологической схемы получения сорбентов-носителей и биосорбентов на их основе, оценкой рентабельности;
- апробацией технологии на предприятии «Газпромнефть-ННГ» (акт внедрения от 01 июня 2025 года);
- патентом на изобретение № 2025106947 «Фосфатный сорбент-носитель», что свидетельствует о значительном личном вкладе соискателя в развитие данной области.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в следующих областях:

- В производственном секторе и на предприятиях, специализирующихся на выпуске сорбционных материалов для восстановления загрязнённых территорий (например, в «СКТБ «Катализатор», «Сорбонафт», «Газпром», «ЛАРН 32» и другие, где разработанные составы и технологические решения могут быть интегрированы в действующие производственные линии.
- В научно-исследовательской и образовательной деятельности при подготовке специалистов и аспирантов.

7. Замечания и вопросы по работе

В ходе знакомства с диссертационной работой возник ряд вопросов, замечаний и рекомендаций:

1. В работе приведены значения удельной поверхности и распределения пор по размерам. Как они определялись и каким методом? Каким образом эти характеристики влияют на сорбционную ёмкость и иммобилизацию микроорганизмов?

2. Какими принципами Вы руководствовались, выбирая 2%-ый водный раствор лимонной кислоты для исследования кинетики растворения вспененных фосфатных образцов?

3. В диссертационной работе для иммобилизации на поверхности фосфатных носителей предложен один вид грибов — *Cylindrocarpon magnusianum*. В тексте работы также упоминается гриб *Fusarium equiseti*, обладающий более высокой активностью, однако исключённый из-за фитопатогенности. Какими критериями Вы пользовались при выборе вида грибов для иммобилизации?

4. В работе представлены данные СЭМ и ОМ, наглядно демонстрирующие структуру полученных носителей. Однако отсутствуют данные рентгенофазового анализа для идентификации кристаллических фаз, которые могли бы прояснить причины неудачного вспенивания некоторых составов с различными пенообразователями. Проводились ли исследования кристаллических фаз?

5. Как Вами было доказано, что активным компонентом разрушения нефтезагрязнений при помощи разработанных биосорбентов в условиях Крайнего Севера (наличие вечной мерзлоты, низкой температуры) являются именно иммобилизованные микроорганизмы (грибы *Cylindrocarpon magnusianum*)?

6. В работе имеется много условных обозначений. Хотя они расшифровываются по ходу текста, но отдельная табличка с условными обозначениями была бы неплохим подспорьем при чтении текста диссертации.

7. В качестве рекомендации для дальнейшей работы целесообразно провести сравнительные исследования по кинетике растворения вспененных фосфатных образцов в других средах (например, в дистиллированной воде или в растворах других органических кислот), а также на других видах почв.

В целом, несмотря на отдельные замечания и вопросы, качество проведённых исследований остается на высоком уровне, а основные научные положения и выводы не вызывают сомнений. Диссертационная работа отличается целостностью структуры и логичностью изложения материала. Диссертационная работа по актуальности, новизне, практической значимости, объему и уровню проведенных исследований соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Технология получения сорбентов-носителей на основе стеклообразных фосфатных удобрений для интенсификации очистки нефтезагрязнённых почв», представленная

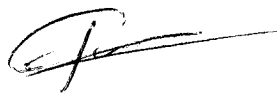
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. – Технология неорганических веществ полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор **Дорош Инна Васильевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Официальный оппонент

Гусева Елена Викторовна

доцент кафедры неорганической химии имени
профессора Н.С. Ахметова (Институт нефти, химии
и нанотехнологий), Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

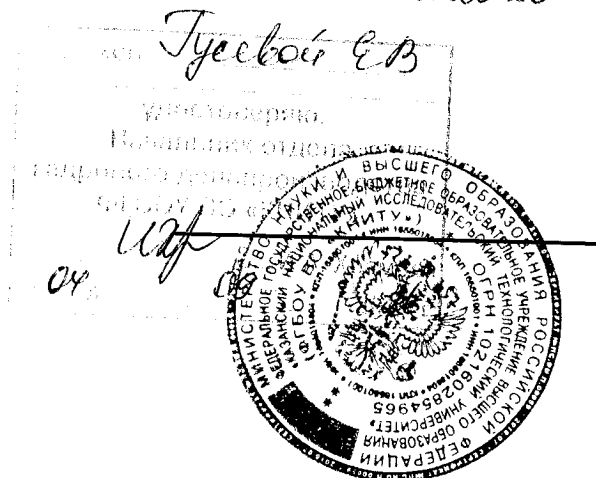
д.х.н., доцент



Гусева Елена Викторовна

04.09.2026

Подпись Гусевой Е.В. заверяю



Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Почтовый адрес: 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д.68

Официальный сайт в сети Интернет: www.kstu.ru

эл. почта: leylaha@mail.ru; телефон: +7 (917) 266-81-38