

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова»,
к.т.н., доцент



В. С. Пузин

09 2026 г.

О Т З Ы В

ведущей организации 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.

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность исследования обусловлена высокой антропогенной нагрузкой на окружающую среду, в частности частыми аварийными разливами нефти и нефтепродуктов, которые приводят к масштабному и долговременному загрязнению почв и акваторий. Существующие методы очистки часто являются неэффективными, а применение нефтесорбентов, особенно неорганических, создаёт проблему вторичного загрязнения и сложности с их последующей утилизацией. В связи с этим остро стоит задача разработки технологии новых, эффективных и экологически безопасных неорганических материалов для ликвидации последствий нефтяных загрязнений.

Актуальной научной задачей технологии неорганических веществ в области ресурсосбережения является создание новых материалов для очистки окружающей среды, а именно разработка составов и подбор температурно-временных режимов обработки с целью получения пористых материалов на основе фосфатных стёкол с регулируемой структурой и свойствами. В данной работе получены новые биосорбционные материалы на основе фосфатных стёкол, которые можно синтезировать с использованием техногенного сырья – отходов апатит-

ОТЗЫВ

нефелиновых руд. Особый интерес представляют вспененные пористые материалы, которые после модификации микроорганизмами могут служить биосорбентами, обеспечивая не только поглощение нефти, но и биологическую деструкцию углеводородов, что позволяет интенсифицировать процесс очистки, исключить необходимость сбора и утилизации отработанного материала, а также восстановить плодородие почв за счёт высвобождения питательных элементов при их биоразложении. Работа дополняет существующие исследования в области технологии получения биосорбентов, предлагая оптимизированные составы и технологические параметры для получения эффективных и конкурентоспособных продуктов, способствующих ускоренному восстановлению экосистем, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами.

2. Научная новизна диссертации

В данной диссертационной работе создан сорбент-носитель и биосорбент на его основе, не требующий сбора и утилизации после применения, так как фосфатная матрица носителя постепенно растворяется в почве с высвобождением макро- и микроэлементов. В свою очередь разработанные материалы проявляют себя как нефтесорбенты и являются питательным субстратом, на поверхности которого фиксируются микроорганизмы. Автором предложен комплексный подход «сорбция + биодеструкция = биосорбция», при котором иммобилизация эндотрофных грибов на поверхности фосфатного носителя обеспечивает пролонгированную метаболическую активность с выделением CO_2 в течение 3–6 месяцев, что может способствовать ускоренной рекультивации нефтезагрязнённых почв. Использование техногенного сырья, а именно отходов обогащения апатит-нефелиновых руд, отвечает основам рационального природопользования в минерально-сырьевом комплексе и основам циркулярной экономики.

В работе приведена новая рецептура шихты для получения носителей и биосорбентов на основе фосфатного стекла системы $\text{K}_2\text{O}-(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ совместно с $\text{НАФ}-\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$, на основе которых были установлены зависимости между составом шихты, температурно-временными режимами вспенивания и структурными характеристиками материала. На основе комплексного термического анализа (ДТА и ТГА) обоснован оптимальный режим вспенивания, изменения кажущейся плотности и прочности на истирание, что расширяет фундаментальные представления о технологических интервалах вспенивания фосфатных стекол и позволяет прогнозировать свойства материала.

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

Обоснованность научных положений базируется на комплексном анализе взаимосвязей «состав шихты – режим вспенивания – структура – свойства», подтверждённых количественными данными: для 22 составов определены прочность на истирание, нефтеёмкость, удельная поверхность, объёмная доля

мезопор, а также кинетика растворения вспененных гранул и сорбции. Первое защищаемое положение обосновано данными ДТА/ТГА и стехиометрическими расчётами газовыделения, второе — результатами систематического варьирования состава и сравнительными испытаниями в лабораторных и натурных условиях, что подтверждает преимущество модифицированных биосорбентов перед прототипом.

Достоверность экспериментальных данных обеспечена применением современных сертифицированных методик и поверенного оборудования (рентгенофлуоресцентный анализ, термический анализ, сканирующая электронная микроскопия, газовая хроматография, флуориметрия и др.), соответствующих требованиям ГОСТ и отраслевых нормативных документов. Все эксперименты проведены в аккредитованных лабораториях на базе Санкт-Петербургского горного университета и Удмуртского государственного университета с проведением параллельных измерений и статистической обработкой результатов, что гарантирует воспроизводимость данных.

Выводы и рекомендации соответствуют поставленным задачам, подтверждены актом внедрения на предприятии АО «Газпромнефть-ННГ» и патентом на изобретение, а также апробацией на пяти научно-практических конференциях, включая четыре международных. Экономические расчёты рентабельности выполнены с учётом материального баланса, что свидетельствует о практической значимости и реализации предложенных технологических решений. Таким образом, можно заключить, что степень достоверности работы оценивается как высокая, а обоснованность — как достаточная для защиты научных положений.

4. Научные результаты, их ценность

Ценность работы заключается в том, что разработанные составы и технологические параметры получения пористых фосфатных материалов на основе стеклообразных систем позволяют синтезировать материалы с регулируемой структурой и свойствами, предназначенные для использования в качестве сорбентов-носителей с последующей иммобилизацией микроорганизмов на их поверхности с целью получения биосорбентов. Применение разработанных фосфатных материалов может обеспечить ускоренное восстановление плодородия почв.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень Минобрнауки России), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus); получен 1 патент РФ на изобретение.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей формирования пористой структуры фосфатных материалов системы $K_2O-(Mg, Ca)O-P_2O_5$ в зависимости от составов шихты и температурно-временных параметров вспенивания. Выявлены зависимости между содержанием НАФ и характеристиками материала: объёмной долей мезопор, удельной поверхностью, прочностью на истирание и нефтеёмкостью. Расширены представления о границах кристаллизации фосфатных стёкол и кинетике их растворения, что создаёт основу для прогнозирования свойств материалов с заданной структурой и скоростью биоразложения. Обоснован выбор нитроаммофоски как эффективного пенообразователя для фосфатных систем с учётом кажущейся энергии активации, рассчитанной по экспресс-методу термодеструкции, что дополняет теоретические основы технологии вспенивания неорганических материалов.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологии получения фосфатных носителей и биосорбентов на их основе, сочетающей функции нефтесорбента и питательного субстрата для иммобилизованных микроорганизмов, что позволяет интенсифицировать очистку нефтезагрязнённых почв по сравнению с прототипом, а также ускорить рекультивацию, исключая стадию сбора отработанного материала.

Практическая значимость подтверждена 1 патентом РФ и актом внедрения, который фиксирует потенциальную применимость данных материалов в особо сложных климатических условиях – арктических, а также носит рекомендательный характер при внесении изменений в рецептурный состав с дополнительной обработкой материала полипропиленгликолем или полиэтиленгликолем с целью создания защитной плёнки. Экономические расчёты подтверждают рентабельность производства, а использование техногенного сырья обеспечивает ресурсосбережение и снижение техногенной нагрузки. Полученные результаты могут служить основой для создания нормативно-технической документации, регламентирующей их применение, что создаёт стимул для промышленной реализации фосфатных носителей и биосорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и рекультивации почв.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы имеют прикладной характер и могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях химической и экологической направленности, занимающихся очисткой почв и водных сред от нефти или нефтепродуктов. В первую очередь они представляют интерес для производственных компаний, специализирующихся на выпуске сорбентов и биопрепаратов для рекультивации земель, где целесообразно производить пористые носители с последующей иммобилизацией микроорганизмов, что

позволит перейти от традиционных методов очистки к более эффективной и безотходной технологии, таких как ООО «Естественные технологии», г. Санкт-Петербург, ООО «Техноинтеллект», г. Москва.

Для нефтяных и сервисных компаний, занимающихся ликвидацией аварийных разливов и биоремедиацией, таких как ООО «Газпромнефть», и предприятий, использующих биоразлагаемые сорбенты, разработанные биосорбенты могут стать эффективным решением для рекультивации загрязнённых территорий. Проектные институты и научно-исследовательские организации в области экологии могут использовать установленные закономерности формирования структуры при разработке новых носителей под конкретные типы загрязнений и штаммы микроорганизмов. Кроме того, результаты работы могут быть учтены предприятиями агропромышленного комплекса и экологическими службами при разработке регламентов применения биосорбентов на различных типах почв.

7. Замечания и вопросы по работе

Наряду с несомненной актуальностью и научной новизной, представленная работа вызывает ряд вопросов и замечаний, требующих дополнительных пояснений:

1. В работе указано, что носители получены по технологии, аналогичной технологии получения пеностекол. Однако из текста не ясны критерии выбора данного метода среди других возможных способов синтеза пористых сорбционных материалов. Почему именно этот технологический подход является предпочтительным для получения носителей и биосорбентов? Каковы его преимущества и ограничения по сравнению с другими методами?

2. В разделе 3.6.1 приведена кинетика растворения вспененных образцов только в 2%-ном водном растворе лимонной кислоты. Для обоснованного прогноза высвобождения питательных элементов целесообразно располагать данными о растворимости носителей в почвенных растворах (как кислых, так и щелочных), а также в присутствии солей, характерных для реальных условий эксплуатации. В связи с этим требуется пояснить, чем обусловлен выбор лимонной кислоты?

3. В разделе 5.1.1 описана физическая иммобилизация эндотрофных грибов методом статической адсорбции в течение 21 суток. Однако в работе не учтены не менее важные параметры, определяющие эффективность иммобилизации: концентрация клеток в суспензии, интенсивность перемешивания (если она применялась), степень обрастания поверхности мицелием и др.

4. В работе представлена технологическая схема и выполнены экономические расчёты. Однако не проанализированы возможные изменения свойств материала при масштабировании процесса. Как изменение режимов термообработки и неравномерность температурного поля может повлиять на

структурные характеристики и качество готовых носителей при масштабировании процесса?

5. В работе продемонстрирована эффективность биосорбентов при очистке почв от нефтяных загрязнений, но не приводятся данные о влиянии внесённых микроорганизмов на почвенную микрофлору.

6. Замечания по оформлению работы:

- на с. 6 впервые встречается аббревиатура «НАФ»;
- при переносе части таблиц на другую страницу нужно или дублировать название столбцов, или нумеровать их;
- при представлении графической части материала на зависимостях следует указывать доверительный интервал значений величин.

Приведенные замечания и вопросы в целом не снижают положительной оценки работы.

8. **Заключение по диссертации**

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ, технические науки, в частности, направлениям исследования: «1. Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты»; «4. Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические продукты».

Автореферат составлен по материалам диссертации и в полной мере отражает ее содержание.

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 «Положение 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., является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки составов и технологических параметров получения пористых фосфатных материалов на основе стеклообразных систем с регулируемой структурой и свойствами, имеющие существенное значение для развития страны, а ее автор –

Дорош Инна Васильевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Отзыв на автореферат и диссертацию подготовили д.т.н. (научная специальность 05.17.01 – Технология неорганических веществ), профессор, заведующий кафедрой Шабельская Нина Петровна, доцент, к.т.н. (научная специальность 2.6.7. Технология неорганических веществ) Меденников Олег Александрович.

Диссертация и автореферат диссертации **Дорош Инны Васильевны** обсуждены и отзыв утвержден на расширенном заседании кафедры «Экология и промышленная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», протокол № 2 от 01.09.2026 года.

Заведующий кафедрой «Экология и промышленная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» доктор технических наук, профессор

Шабельская Нина Петровна

Секретарь

Сулима Елена Васильевна

Подпись Шабельской Н.П., Сулима Е.В. заверено

Ученый секретарь ученого совета ЮРГПУ (НПИ)



Н.Н. Холодкова

01.09.2026г.

Сведения о ведущей организации:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)).

Почтовый адрес: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132, официальный сайт в сети Интернет: <https://www.npi-tu.ru>, эл. почта: v.puzin@npi-tu.ru, телефон: +7 (863) 525-53-94.