

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Ермакова Василия Васильевича**

**«Разработка многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга за-
грязнений земной поверхности углеводородами»,**

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук

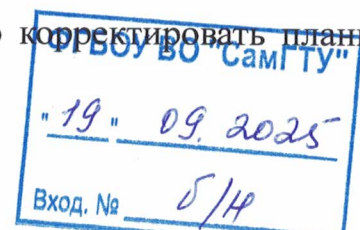
по специальности 1.5.15. Экология

Актуальность темы

В последние десятилетия масштабы техногенного воздействия на природные экосистемы в районах нефтедобычи и нефтепереработки существенно увеличивается. Ежегодное образование миллионов тонн нефтесодержащих отходов, их накопление в шламонакопителях и утечки в приповерхностные слои почвы создают устойчивые очаги загрязнения, оказывающие комплексное отрицательное воздействие на биоту, гидрологические режимы и качество почвенных вод. При этом традиционные методы экологического контроля не способны в полной мере учесть пространственную неоднородность и временную изменчивость нефтяных загрязнений. Задержка в выявлении новых очагов загрязнения, позволяет нефти проникнуть в более глубокие пласты почвы и значительно усложнить процесс рекультивации.

Поэтому важно разработать методы и технические решения, позволяющие получать количественные оценки степени и площади загрязнения в режиме, близком к реальному времени. Современные вычислительные алгоритмы и инновационные полевые спектроскопические сенсоры создают предпосылки для сокращения времени между возникновением утечки и принятием управленческих решений до нескольких часов. Оперативный мониторинг нефтяных загрязнений позволяет своевременно корректировать планы

с отзывом  19.09.2025



локализации, минимизировать распространение загрязнений и значительно снизить затраты на восстановление экосистем.

Следует отметить, что точная картография и количественная оценка накопленных нефтесодержащих отходов открывают перспективу их использования в качестве вторичного сырья. Без адекватных моделей пространственного и глубинного распределения углеводородов усилия по рекультивации оказываются неэффективными, а экономический потенциал переработки отходов остаётся невостребованным.

Многоуровневая мультисенсорная система мониторинга решает ключевую задачу современного экологического контроля: она обеспечивает оперативный и полный обзор текущего состояния нефтяных загрязнений. Её внедрение позволит значительно ускорить принятие решений, минимизировать негативное воздействие на природные экосистемы и оптимизировать затраты на их восстановление.

Достоверность и обоснованность результатов работы

Достоверность и обоснованность представленных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются комплексным подходом, включающим теоретическое обоснование, широкую экспериментальную базу, использование современных аналитических методов и инструментов, а также многократную апробацию разработанных решений в лабораторных, полевых и прикладных условиях.

Методологическая основа исследования опирается на системный анализ процессов, связанных с загрязнением территорий нефтью и размещением нефтесодержащих отходов (НСО), а также на интеграцию данных многоуровневого мониторинга — от дистанционного зондирования Земли до контактных методов спектрального анализа. Автор использует современное спектральное оборудование, охватывающее видимый, ближний и средний инфракрасный диапазоны, что позволяет получать достоверные данные о физико-химическом состоянии загрязнённых грунтов. Применение методов

многомерной калибровки, регрессионного анализа и разработка специализированных алгоритмов обработки спектральной информации обеспечивают воспроизводимость и надёжность результатов.

Экспериментальная база включает обработку и анализ более чем 4000 проб НСО в аккредитованной лаборатории научно-аналитического центра, что формирует достоверную референтную основу для калибровки сенсоров и построения классификационных моделей. Использование стандартных методик отбора проб и выполнения измерений, обеспечивает соответствие исследований нормативным требованиям. Разработанные методики контактного и дистанционного зондирования прошли многоэтапную валидацию: от моделирования образцов с варьируемым содержанием нефтепродуктов и влаги до натуральных испытаний на реальных объектах размещения НСО.

Разработанная автором многоуровневая мультисенсорная система (ММС) мониторинга прошла опытную апробацию в натуральных условиях на территориях нефтегазового и нефтехимического комплекса, включая тестирование на объектах с известным и неизвестным загрязнением. Результаты показали высокую эффективность алгоритма классификации гиперспектральных снимков в выявлении нефтезагрязнённых участков, в том числе тонких нефтяных плёнок и объектов без априорной информации о загрязнении. Работоспособность системы подтверждена валидацией на независимых тестовых данных и сопоставлением результатов дистанционного зондирования с данными полевых обследований и лабораторного анализа.

Таким образом, достоверность работы подкреплена использованием современных аналитических технологий, строгой методической базой, обширной экспериментальной проверкой и успешной апробацией в реальных условиях. Приведённые в диссертации количественные оценки чувствительности, точности детекции, стабильности сенсорного отклика и соответствия с лабораторными данными свидетельствуют о высокой степени научной обоснованности и практической значимости полученных результатов.

Научная новизна исследований и полученных результатов

В диссертации Ермакова В.В. обоснована концепция многоуровневой мультисенсорной системы, включающая космический, авиационный и наземный уровни контроля, что позволяет синергетически оценивать состояние нефтезагрязнений на больших территориях и с различными масштабами детализации.

Важнейшим результатом является разработка двухстадийного попиксельного алгоритма кластеризации гиперспектральных снимков, который демонстрирует существенно повышенную чувствительность к выявлению слабо выраженных нефтяных пятен на фоне сложного ландшафта.

Для полевых условий предложен метод контактного ИК-зондирования без предварительной пробоподготовки, обеспечивающий оперативный отбор и количественный анализ углеводородов непосредственно на площадке исследования.

Автором создана статистико-аналитическая методика оценки ресурсного потенциала нефтесодержащих отходов, которая по сравнению с существующими подходами снижает относительную погрешность оценок более чем на треть.

Внедрение гибридной процедуры калибровки и валидации многомасштабных данных гарантирует воспроизводимость результатов мониторинга и их сопоставимость в долгосрочной перспективе.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации и дальнейшем развитии научных подходов к организации многоуровневого экологического мониторинга техногенно нагруженных территорий. В диссертации обосновано применение распределённых мультисенсорных систем, основанных на единой физической природе аналитического сигнала, что создаёт предпосылки для эффективного сенсорного слияния данных на информационном уровне. Разработанная концепция комплексирования данных дистан-

ционного, близкодействующего и контактного зондирования позволяет формировать целостную и достоверную картину состояния объектов, что углубляет теоретические основы интегрированного экологического мониторинга и оценки ресурсного потенциала техногенных отложений.

Практическая значимость исследования состоит в создании научно обоснованной методики, позволяющей оперативно и с высокой точностью оценивать степень загрязнения территорий и состав нефтесодержащих отходов. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования систем управления отходами в нефтегазовой и химической промышленности, в том числе при планировании ликвидации объектов накопленного экологического вреда. Разработанные подходы способствуют повышению эффективности природоохранных мероприятий, снижению негативного воздействия на окружающую среду и рациональному использованию вторичных ресурсов, что делает их востребованными для экологических служб, проектных и научно-исследовательских организаций.

Практическая ценность исследования подтверждена его успешным внедрением в производственную практику.

1. Созданные алгоритмы интеграции и обработки спектральных данных внедрены в программный комплекс АО «РКЦ Прогресс», что позволило сократить затраты на мониторинг на 60 % и ускорить получение результатов с нескольких недель до одних суток.

2. Разработан и запатентован мобильный контактный ИК-анализатор, обеспечивающий количественную оценку ресурсного потенциала нефтесодержащих шламов прямо в полевых условиях.

3. На основе данных мультисенсорной системы и методики DEA-анализа рассчитаны показатели относительной ресурсной ценности 69 шламонакопителей Самарской области, что дало возможность обосновать приоритеты ликвидационных и рекультивационных мероприятий; данная методика прошла апробацию и внедрена в ООО «Росэкойл» и ООО «Ривт-М».

4. Разработанные для кафедры «Химическая технология и промышленная экология» СамГТУ учебно-методические материалы интегрированы в учебный процесс и способствуют повышению квалификации будущих специалистов в области экологического мониторинга.

Публикация результатов диссертации и их апробация

По теме диссертации опубликована 41 работа, в том числе 7 из них – статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 7 статей в индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science. Основные положения диссертационной работы представлены на конференциях с международным участием.

Структура и объем диссертации

Общий объем диссертации составляет 238 страниц. Диссертация состоит из введения, 5 глав, содержит 22 таблицы и 63 рисунка, приложения. Список литературы включает 325 наименований отечественных и зарубежных авторов.

Содержание работы

Во введении работы обосновывается актуальность темы, связанной с необходимостью эффективного мониторинга и оценки нефтесодержащих отходов с применением современных мультисенсорных и дистанционных технологий. Определяются цели и задачи исследования, формулируется научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассматриваются принципы организации многоуровневых экологических мониторинговых систем, включающих наземные, воздушные и космические уровни наблюдения. Описывается архитектура оптических мультисенсорных систем и их применение в лабораторной и промышленной практике. Уделено внимание методам дистанционного зондирования, включая использование мультиспектральных и гиперспектральных снимков для анализа состояния окружающей среды.

Во второй главе дано определение многоуровневой мультисенсорной системы экологического мониторинга и описаны общие принципы её работы.

В третьей главе описаны методы обработки данных дистанционного зондирования, включая паншарпенинг, атмосферную коррекцию и построение индексов. Рассматриваются подходы к классификации изображений, включая разработку специализированного алгоритма, используемого для обработки данных зондирования.

В четвёртой главе представлены результаты калибровки и построения регрессионных моделей для определения содержания нефти и воды в нефтесодержащих отходах на основе ИК-спектроскопии. Применяются методы многомерной калибровки. На их основе предложены конструкции анализаторов и методы выполнения измерений

Пятая глава посвящена разработке методики оценки стоимости нефтесодержащих отходов с использованием DEA-метода (анализ эффективности использования данных) для сравнения эффективности различных подходов к оценке ресурсного потенциала: аддитивного, на основе данных дистанционного зондирования Земли и при использовании многоуровневой мультисенсорной системы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания и вопросы

1. В диссертации сформулировано и озвучено требование по применению алгоритмов повышения разрешения гиперспектральных данных, однако не вполне ясно, как выбирается оптимальный метод для конкретных условий съёмки?
2. Заявлено, что гибридная процедура калибровки и валидации обеспечивает сопоставимость результатов разных уровней мониторинга. Вместе с тем не уточняется, каким образом согласуются характеристики шумов и систематических погрешностей между спутниковыми, авиационными и полевыми измерениями: используются ли сквозные калибровочные эталоны или корректировка выполняется независимо для каждого уровня?

3. Утверждается, что ДЕА-анализ позволяет формировать приоритеты ликвидационных работ, однако не показано, как изменение ключевых экономических параметров (колебания цен на углеводороды, транспортные тарифы) влияет на финальный рейтинг шламонакопителей.
4. Требуют пояснения данные приведенные в главе 4. В таблице 14 приведены 56 составов модельных грунтов и 1 состав модельной почвы. В таблице 15 приведены данные по 25 образцам модельных грунтов, в таблице 16 приведены данные по 5 образцам на основе модельной почвы. В приложении 1 приведены данные по 70 составам модельных грунтов. Как были использованы составы модельных грунтов, представленные в таблице 14 и приложении 1?
5. Замечания редакционного характера:
 - отсутствие выводов после каждой главы в диссертационной работе не позволило автору четко сформулировать и оценить промежуточные результаты научных исследований;
 - таблицы с техническими характеристиками приборов и рисунки с их фотографиями следовало бы поместить в раздел «Приложения»;
 - на страницах 6, 17, 19, 50, 154 допущены опечатки, отсутствует ссылка по тексту на таблицу 6.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Ермакова В.В.

Общее заключение по работе

Диссертационная работа Ермакова Василия Васильевича на тему: «Разработка многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга загрязнений земной поверхности углеводородами» на соискание ученой степени доктора технических наук отвечает требованиям п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям и представляет собой завершенную научно – квалификационную работу, в ко-

торой представлены обоснованные концептуальные решения по построению многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга нефтяных загрязнений, разработаны и экспериментально протестированы оригинальные алгоритмы обработки гиперспектральных данных и методы полевого ИК-зондирования, выполнена комплексная оценка ресурсного потенциала нефте-содержащих шламов с применением DEA-анализа и сформулированы практические рекомендации по их внедрению в систему оперативного экологического контроля.

Ермаков Василий Васильевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.5.15. Экология.

Официальный оппонент:
доктор технических наук, профессор
кафедры «Инженерная химия
и естествознание»

Шершнева
Мария Владимировна

« 9 » сентября 2025г.

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»

Адрес: 610000, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9.
Тел: (812) 457-86-44; e-mail: him@pgups.ru

Я, Шершнева Мария Владимировна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ермакова Василия Васильевича, и их дальнейшую обработку.

« 9 » сентября 2025 г.

Шершнева
Мария Владимировна

Подпись профессора Шершневой Марии Владимировны заверяю.

