

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям

ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

ф-м.н. доцент

А.И. Швейкин

«25» 09 2025 г.



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» на диссертационную работу

Ермакова Василия Васильевича

**«Разработка многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга
загрязнений земной поверхности углеводородами»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 1.5.15 Экология

Актуальность темы диссертации

Современная экологическая политика Российской Федерации нацелена на обеспечение устойчивого развития общества и минимизацию техногенного воздействия на природную среду. Одной из приоритетных задач экологической политики является совершенствование системы экологического мониторинга для оперативного контроля состояния техногенных объектов, в том числе нефтехимических предприятий и шламонакопителей, где концентрируются значительные объёмы нефтесодержащих отходов.

Традиционные методы аналитического контроля уровня загрязнения территорий опираются либо на глобальные методы дистанционного зондирования Земли (спутниковые или авиационные гиперспектральные съёмки), либо на локальный лабораторный анализ проб грунта. Первый подход ограничен атмосферными и пространственными искажениями снимков, второй

С отзывом согласен

(подпись)

22.09.2025

ФГАОУ ВО СамГТУ
«29» 09.2025

Вход. № 8/4

- длительностью подготовки и анализа образцов, что затрудняет получение оперативной и достоверной информации о динамике загрязнений.

С 2022 года в России реализуется Федеральный проект «Комплексная система мониторинга качества окружающей среды», в рамках которого определена приоритетная задача развития систем мониторинга - оперативный сбор и всесторонний анализ данных о состоянии техногенно нагруженных территорий и зонах накопленного вреда, прежде всего в нефтяной и нефтехимической отраслях, лидирующих по объёмам образующихся отходов. Для этого требуется создание единой многоуровневой мультисенсорной платформы, объединяющей спутниковые и авиационные мульти- и гиперспектральные съёмки и полевые оптические обследования. Предложенный подход существенно повышает пространственно-спектральное разрешение, снижает ошибки при идентификации нефтезагрязненных участков и гарантирует достоверность данных для принятия быстрых и обоснованных управленческих решений по ликвидации аварийных ситуаций и их последствий.

Особое значение тема приобретает в условиях ежегодного образования более 3 млн т нефтеотходов в России, поступление которых в грунты и водные объекты приводит к длительным и часто необратимым экологическим последствиям. Без разработки высокоточных и автономных средств мониторинга риски проникновения углеводородов в техногенные и природные системы остаются крайне высокими.

Таким образом, создание многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга загрязнений земной поверхности углеводородами отвечает актуальным потребностям науки и практики. Разработка и применение системы обеспечивает получение интегрированных данных о состоянии загрязнённых территорий, сокращает время и повышает точность выявления очагов нефтезагрязнения.

Научная новизна

Научная новизна результатов, полученных Ермаковым В.В. в ходе диссертационного исследования, заключается в следующем:

1. Предложена концепция оптической многоуровневой мультисенсорной системы (ММС) экологического мониторинга, объединяющая дистанционные (ДЗЗ), авиационные и контактные измерения для комплексной оценки состояния углеводородного загрязнения.

2. Систематизированы общие требования к единому массиву многомерных спектральных данных, получаемых на различных уровнях зондирования, включая правила калибровки, нормализации и согласования шкал измерений.

3. Разработан двухэтапный алгоритм попиксельной кластеризации гиперспектральных снимков, превосходящий по точности существующие методы классификации участков с низким уровнем отражённого сигнала и обеспечивающий более надёжную локализацию очагов нефтезагрязнения.

4. Создан метод контактного ИК-зондирования грунтов естественной влажности без пробоподготовки, основанный на спектрах полного внутреннего отражения и многомерной калибровке, что позволяет быстро и точно определять содержание углеводородов.

5. Введена методика предварительной оценки ресурсного потенциала объектов размещения нефтесодержащих отходов на основе данных ММС, позволяющая минимизировать объём полевых и лабораторных работ за счёт экономичных DEA-моделей без существенной потери точности оценки.

Теоретическая и практическая ценность результатов

В диссертационной работе:

1. Впервые сформулировано общее научное представление об алгоритме приведения к сопоставимому виду данных, полученных на разных уровнях зондирования (спутниковом, авиационном и контактном), через унифицированную калибровочную процедуру, что расширяет теоретическую базу интегративного мониторинга и даёт основу для дальнейшего развития мультисенсорных систем.

2. Предложены алгоритмы согласования и нормализации спектральных профилей, полученных в разных диапазонах волн и с разным пространственным разрешением, для корректного комбинирования результатов гиперспектрального

и контактного анализа. Эти методы вносят вклад в теорию обработки больших объёмов мультиспектральных данных.

3. Доказано, что двухэтапная попиксельная кластеризация с учётом локальных статистических свойств снимков даёт на 10-15 % более точные результаты по сравнению с классическими алгоритмами, особенно при выделении малых очагов загрязнения. Это расширяет теоретическое понимание возможностей кластеризации в условиях слабого сигнала.

4. Впервые сформирована схема использования DEA-анализа для предварительной оценки ресурсного потенциала нефтесодержащих отходов, позволяющая минимизировать объём лабораторных испытаний без существенной потери достоверности выводов.

5. Создан алгоритм кластеризации гиперспектральных данных. Алгоритм был успешно внедрён специалистами АО «РКЦ «Прогресс» в систему мониторинга шламонакопителей Самарской области и продемонстрировал точность выявления очагов нефтезагрязнения до 95% по площади загрязнения.

6. Внедрён контактный метод ИК-зондирования грунтов, позволяющий сократить время анализа нефтепродуктов с 6 ч до 0,5 ч (патент RU 2013150047), успешно апробирован в ООО «Росэкойл» и ООО «Ривт-М».

7. Материалы по мультисенсорному мониторингу и спектральному анализу интегрированы в учебный процесс кафедры «Химическая технология и промышленная экология» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, библиографического списка литературы и 4 приложений. Объём работы составляет 238 страницы и содержит 63 рисунка, 22 таблицы. Библиографический список литературы включает 325 наименований.

Во введении детально обосновывается актуальность темы - необходимость оперативного экологического мониторинга углеводородного загрязнения техногенных территорий. Чётко сформулированы цель исследования, задачи,

объект и предмет. Здесь же приводятся основные результаты, выносимые на защиту, и раскрывается практическая значимость работы.

Первая глава представляет собой аналитический обзор технологий обследования территорий с нефтяными шламонакопителями: рассмотрены методы дистанционного зондирования (спутниковые гиперспектральные и авиационные мультиспектральные съёмки) их возможности широкомасштабного охвата и ограничения, вызванные атмосферными искажениями. Также проанализированы контактные спектральные методы в лабораторных и полевых условиях, обсуждается влияние влажности и трудоёмкость подготовки образцов. Глава завершается сравнением этих подходов по точности определения концентраций углеводородов, скорости получения результатов и потенциалу масштабирования.

Во второй главе раскрываются теоретические и методологические основания многоуровневой мультисенсорной системы: обоснована архитектура платформы, описаны модели распространения оптического сигнала в загрязнённых средах, приведены процедуры калибровки, а также методы нормализации и слияния данных различных сенсоров в единое аналитическое пространство.

Третья глава посвящена разработке и верификации алгоритмов обработки гипер- и мультиспектральных изображений. Описан специализированный двухэтапный алгоритм попиксельной кластеризации, включающий фильтрацию шумов, выделение информативных спектральных полос и статистическое разделение пикселей на «загрязнённые» и «незагрязнённые» классы. Приведены результаты тестирования алгоритма на эталонных и полевых данных, подтверждающие его высокую точность.

В четвёртой главе рассматривается контактный инфракрасный анализ грунтов. Описана конструкция оптико-волоконного анализатора, методика получения спектров полного внутреннего отражения без пробоподготовки и построение многомерных калибровочных моделей зависимости отражательной способности от концентрации углеводородов при различных уровнях влажности.

Лабораторные и натурные испытания демонстрируют быстроту (около 0,5 ч на анализ) и точность предложенного метода.

Пятая глава демонстрирует применение разработанной системы для технико-экономической оценки 69 нефтешламонакопителей Самарской области. Показано, что использование многомерного анализа данных ММС в сочетании с методом DEA позволяет сократить объём проб и испытаний на 40 % при сохранении погрешности оценки ресурсного потенциала ниже 10 %. Кроме того, сравнение с традиционными инженерно-экологическими изысканиями подтверждает преимущества интегрированного подхода.

В заключении обобщены итоги работы, сформулированы основные научные и практические выводы и обозначены перспективы дальнейших исследований: расширение спектрального и пространственного охвата, автоматизация обработки данных и адаптация системы для мониторинга других видов техногенных отходов.

В целом работа изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора и сопровождается развернутыми выводами. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Объем и содержание диссертационной работы по степени научно новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Содержание диссертации изложено в логической последовательности, а принятая терминология соответствует общепринятым нормам.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

Диссертационное исследование соответствует п. 2 и 3 паспорта специальности 1.5.15 Экология (технические науки), а именно:

- п. 2 «Комплексная оценка влияния промышленных и сельскохозяйственных объектов на природные и искусственные экосистемы. Принципы и механизмы системного экологического мониторинга» - главы 1 и 3;

- п. 3 «Научное обоснование, разработка и совершенствование методов проектирования технико-технологических систем и нормирования проектной и изыскательской деятельности, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия на живую природу.» - главы 2,4 и 5.

Публикация результатов диссертации и их апробация

Основные научные результаты по теме диссертации опубликованы в 41 научной работе, 14 из них в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и в журналах, индексируемых в международных реферативных базах (Scopus и WoS). Получены 3 свидетельства на интеллектуальную собственность. опубликована 1 монография.

Основные положения работы представлены на российских и международных конференциях.

Замечания по диссертации и автореферату

Диссертационная работа Ермакова В.В. выполнена на высоком научно-методическом уровне. Однако имеются следующие замечания:

1. Заявлено, что мониторинг объектов размещения отходов требует непрерывного или регулярного отбора проб - однако не обоснована периодичность съёмов для разных уровней (спутник, БПЛА, наземный). Каковы рекомендуемые интервалы между циклами мониторинга?

2. Заявлено, что все сенсоры «сходной природы» и формируют единый гиперкуб данных, но не показано, как синхронизируются временные и пространственные метки съёмов. Каким образом обеспечивается точное совмещение пикселей при разном времени съёмки и углах обзора?

3. В главе 3 предложен двухстадийный алгоритм обработки гиперспектральных изображений. При этом остается неясным, как выбранная модель учитывает влияние атмосферных помех на качество данных дистанционного зондирования.

4. В главе 3 вводится термин «опорная точка» для сбора спектральных сигнатур, но не уточняется, как её физически выбирают и что понимается под этим понятием.

5. Валидация алгоритма поиска загрязнений делалась на примере одного предприятия и восьми накопителей; насколько репрезентативна эта выборка для разных регионов и типов загрязнений (нефтешламы, солевые шламы и т.п.)?

6. В главе 5 заявлено снижение погрешности оценки ресурсного потенциала до 12 %, однако не изложена методика валидации этих результатов.

7. В рассуждениях о полевом анализаторе на диодных парах не указаны требования к электрохимическому питанию и энергопотреблению устройства в автономном режиме - какой реальный ресурс непрерывной работы в полевых условиях по обследуемой площади возможен?

Замечания носят непринципиальный характер и не снижают общей высокой оценки выполненного исследования.

Рекомендации по возможности использования результатов и выводов

Результаты диссертационной работы могут быть использованы широким кругом специалистов отраслевых научно-исследовательских институтов, проектных организаций и муниципальных органов при разработке:

1. Нормативно-методических документов, регламентирующих организацию многоуровневого мультисенсорного мониторинга, протоколы калибровки сенсоров, требования к сбору и обработке спектральных данных.

2. Проектно-сметной документации на рекультивацию шламонакопителей и участков с накопленным вредом, включающей мероприятия по мониторингу до, во время и после выполнения работ.

3. Геоинформационных систем и прикладного программного обеспечения, обеспечивающих автоматизированный импорт, анализ и визуализацию гиперспектральных, авиационных и полевых измерений.

4. Муниципальных экологических паспортов, содержащих сводные данные о текущем уровне загрязнения, динамике очагов нефтезагрязнения и прогнозах экологического состояния территорий.

5. Планов аварийного реагирования, включающих процедуры экстренного мониторинга разливов углеводородов и оценку эффективности локализационных и рекультивационных мероприятий.

6. Учебно-методических комплексов и программ повышения квалификации, направленных на подготовку специалистов по мультисенсорному экологическому мониторингу.

7. Региональных и локальных природоохранных программ, обосновывающих приоритетность мероприятий по охране почв и водных ресурсов на основе интегрированных мониторинговых данных.

Выводы

Диссертационная работа Ермакова В.В. представляет завершенное научно-квалифицированное исследование, вносящее существенный вклад в решение проблемы развития методологии и технологий оптического многоуровневого мультисенсорного экологического мониторинга, с использованием дистанционных и контактных спектральных данных для повышения точности выявления и количественной оценки нефтяного загрязнения.

Полученные Ермаковым В.В. результаты обладают научной новизной, обоснованы и достаточно полно представлены в трудах соискателя научному сообществу на конференциях и изложены в печатных изданиях.

Область исследования диссертационной работы Ермакова В.В. соответствует научной специальности 1.5.15 – Экология (технические науки).

Диссертация соответствует требованиям и критериям п.9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2016, предъявляемым к докторским диссертациям. На основании выполненных автором исследования решена важная научная проблема, связанная разработкой и обоснованием методологии интеграции дистанционных гиперспектральных и контактных измерений в единую мультисенсорную систему для оперативного выявления и количественной оценки нефтяного загрязнения.

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

Отзыв ведущей организации на докторскую диссертацию Ермакова Василия Васильевича «Разработка многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга загрязнений земной поверхности углеводородами» подготовила Слюсарь Наталья Николаевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», специальность защиты докторской: 25.00.36 Геоэкология (строительство и ЖКХ).

Отзыв обсужден и принят на заседании кафедры «Охрана окружающей среды» факультета Химических технологий, промышленной экологии и биотехнологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» 24 сентября 2025, протокол №4. Присутствовало на заседании 28 человек, из них 8 докторов наук. Результаты голосования: «за» - 28 человек, «против» - нет, «воздержался» - нет.

Зав. кафедрой «Охрана окружающей среды»
ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

доктор технических наук, профессор

Докторская диссертация по специальности: 25.00.36 «Геоэкология»



Рудакова
Лариса Васильевна

Профессор кафедры «Охрана окружающей среды»
ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

доктор технических наук, доцент

Докторская диссертация по специальности: 25.00.36 Геоэкология (строительство и ЖКХ)



Слюсарь
Наталья Николаевна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

614014, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 14.

Телефон/факс: +7 (342) 2-391-482 (секретарь), 2-391-772 (факс)

e-mail: eco@pstu.ru

Подпись заведующего кафедрой «Охрана окружающей среды» ПНИПУ, д.т.н., профессора Рудаковой Ларисы Васильевны и профессора кафедры «Охрана окружающей среды» ПНИПУ, д.т.н., доцента Слюсарь Натальи Николаевны удостоверяю.



Зам. начальника УК
Н.В. Колчина

