

**ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**
на диссертационную работу Ермакова Василия Васильевича
**«Разработка многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга
загрязнений земной поверхности углеводородами»,**
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 1.5.15 – Экология

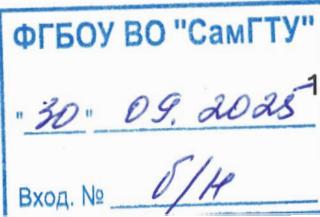
Актуальность темы диссертации

Мониторинг состояния земной поверхности, загрязнённой углеводородами, представляет собой одно из ключевых направлений в обеспечении экологической безопасности и устойчивого природопользования. Аварийные разливы нефти, длительное размещение отходов нефтехимического производства, утечки из трубопроводов и резервуаров наносят существенный ущерб почвенному покрову, водоносным горизонтам и биоте, формируя зоны длительного техногенного прессинга. В условиях растущей промышленной нагрузки и необходимости реабилитации нарушенных территорий особую значимость приобретают современные методы экологического контроля, обеспечивающие высокую оперативность, территориальный охват и достоверность данных.

Особую актуальность в последние годы приобретают подходы, основанные на сочетании различных методов получения информации - от наземных измерений до дистанционного зондирования. Однако существующие на сегодня средства мониторинга, как правило, либо локальны и трудоёмки (лабораторный анализ проб), либо обладают ограниченной точностью и разрешением (космическое зондирование). Отсутствие эффективных интеграционных решений ограничивает возможность получения полной картины загрязнения и оперативного реагирования.

В представленной диссертации обоснована и реализована идея построения многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга нефтяных загрязнений, охватывающей весь спектр масштабов - от наземного экспресс-контроля до спутникового наблюдения. Такая система способна обеспечить непрерывное наблюдение за состоянием геологической среды, синтезируя данные разной природы в единое аналитическое поле. Кроме того, разработка мультисенсорных систем соответствует мировым тенденциям развития технологий мониторинга окружающей среды. К настоящему времени возрастают требования к экологической безопасности нефтегазовых предприятий, и гос-

С отечественным участием  30.09.2025



ударственные программы предусматривают создание автоматизированных систем контроля загрязнений.

Таким образом, исследование, выполненное Ермаковым В. В., отвечает актуальным научным и прикладным задачам в области мониторинга загрязнений углеводородами и направлено на решение проблемы, обладающей как высокой теоретической значимостью, так и безусловной практической востребованностью.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы

Достоверность и обоснованность представленных в диссертации научных результатов обеспечиваются как методологически, так и экспериментально. Автор применяет системный подход к исследованию, включающий анализ физико-химических основ взаимодействия углеводородов с геосредой, разработку сенсорных компонентов, формализацию алгоритмов интерпретации данных и многократную проверку предложенных решений в лабораторных и полевых условиях.

Методическая база построена на использовании современной оптической аппаратуры, охватывающей спектры в видимом, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах. Реализация процедур сенсорной калибровки, верификация на стандартных образцах, проведение регрессионного и многомерного анализа (включая методы PLS и PCA), а также моделирование загрязнённых сред с варьированием ключевых параметров (например, влажности) служат основой для воспроизводимости результатов. Применение комплексных подходов к обработке данных дистанционного зондирования, включая геопривязку, атмосферную коррекцию, алгоритмы классификации и индексирования, дополнительно повышает надежность интерпретации.

Разработанная автором многоуровневая мультисенсорная система мониторинга апробирована в натурных условиях на техногенно нарушенных территориях, что позволило подтвердить её работоспособность, выявить диапазоны чувствительности метода и уточнить принципы сопоставления данных различного уровня. Проведённые испытания позволили определить предельные параметры чувствительности, а также валидировать процедуры согласования данных, полученных с различных уровней наблюдения. В диссертации представлены численные характеристики точности выявления загрязнений, устойчивости сенсорного отклика и степени совпадения расчетных оценок с результатами лабораторного контроля, что указывает на высокий уровень экспериментальной и методической обоснованности работы. В работе приво-

дятся количественные оценки точности обнаружения загрязнений, стабильности отклика сенсоров и соответствия прогнозируемых значений данным лабораторного анализа, что свидетельствует о высоком уровне метрологической и аналитической проработки исследования.

Научная новизна

Диссертационное исследование обладает значительной научной новизной. Автором впервые разработана концепция многоуровневой мультисенсорной системы для экологического мониторинга нефтяных загрязнений почвенного покрова, объединяющая разнотипные сенсоры (спутниковые, авиационные и наземные) в единую информационную сеть. В отличие от ранее применявшимся в отечественной практике разрозненных подходов, работа Ермакова В. В. предлагает системное решение задачи экологического мониторинга, обеспечивающее согласованное взаимодействие наблюдений на различных пространственно-временных масштабах, тем самым восполняя существующий методологический и технологический дефицит в данной области.

К новым научным результатам можно отнести следующее:

- обоснована возможность применения оптических сенсоров на всех уровнях мониторинга - от спутникового до наземного. Это позволило обеспечить единый принцип регистрации данных и разработать методики совместной обработки гиперспектральных изображений и спектров, полученных в полевых условиях;

- разработаны и внедрены алгоритмы классификации и распознавания признаков нефтяного загрязнения на мультиспектральных и гиперспектральных изображениях с использованием кластерного анализа данных. Это позволило автоматически выделять на спутниковых/авиационных снимках участки, потенциально загрязненные углеводородами, с учетом спектральных характеристик, подтвержденных наземными измерениями;

- предложен новый метод калибровки спутниковых данных по отражательной способности загрязненной поверхности с помощью мобильного наземного спектрометра. Разработан способ корреляции спектров, позволяющий корректировать спутниковые измерения на переменные условия съемки (угол солнца, погодные условия) посредством привязки к данным, полученным на поверхности, что существенно повышает точность количественного определения параметров загрязнения;

- сформулированы основные требования к построению многоуровневой системы мониторинга, включая параметры чувствительности сенсоров, пространственно-временное разрешение и способы объединения данных. На ос-

нове этих требований предложена архитектура системы, включающая распределённую сеть сенсорных узлов и средства централизованной обработки информации.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретическая значимость работы состоит в развитии научных основ построения мультисенсорных систем экологического мониторинга. В диссертации обоснованы подходы к объединению данных, получаемых с разных уровней (спутникового, авиационного и наземного), что расширяет существующие представления о системном анализе экологической информации. Разработаны математические модели распространения оптического сигнала в средах, загрязнённых углеводородами, а также алгоритмы обработки гиперспектральных данных. Эти решения дополняют и развивают теорию спектральных методов анализа. Кроме того, предложены научно обоснованные требования к архитектуре многоуровневых систем мониторинга, которые могут быть использованы в дальнейшем при создании аналогичных систем для других видов техногенных загрязнений.

Практическая значимость результатов обусловлена их применимостью к реальным задачам экологического контроля. Разработанная система мониторинга позволяет эффективно выявлять утечки нефти и нефтепродуктов на ранних стадиях, оценивать масштабы и степень загрязнения территорий. Это особенно важно при ликвидации аварий и планировании работ по рекультивации. Система может быть использована предприятиями нефтегазового сектора, эксплуатирующими трубопроводы, резервуары и месторождения, а также экологическими службами и надзорными органами для постоянного наблюдения за состоянием окружающей среды в зонах повышенного риска.

Практическая ценность полученных результатов подтверждена внедрением в деятельность ряда организаций. В АО «РКЦ «Прогресс» алгоритмы обработки гиперспектральных изображений, разработанные Ермаковым В.В. в рамках диссертационного исследования, использованы при отработке технологий выделения зон загрязнений на спутниковых снимках, полученных с аппаратов серии «Ресурс-П». В ООО «РИВТ-М» методы экспресс-анализа и соответствующее оборудование применяются для оценки состава нефтесодержащих отходов при принятии решений по их переработке, что позволяет повысить производственную эффективность и снизить затраты на лабораторные исследования. Внедрение результатов исследования также осуществлено в ООО «РосЭкайл», где предложенные методики используются для предварительной оценки накопителей отходов, что способствует повышению ресурс-

соэффективности процессов утилизации. Кроме того, материалы диссертации интегрированы в образовательный процесс ФГБОУ ВО «СамГТУ» при подготовке студентов по направлениям в области техносферной безопасности и ресурсосберегающих технологий.

Публикация результатов диссертации и их апробация

По теме диссертации опубликовано 41 работа, в том числе 14 из них – статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science. Основные тезисы диссертационной работы представлены на международных и всероссийских конференциях.

Структура и содержание

Диссертация состоит из введения, пяти глав, библиографического списка литературы и 4 приложений. Объем работы составляет 238 страницы и содержит 63 рисунка, 22 таблицы. Библиографический список литературы включает 325 наименований. Структура изложения материала диссертации логически связана с основными положениями научной новизны исследования.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, определены научная новизна и практическая значимость, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния научных и прикладных разработок в области мониторинга углеводородных загрязнений. Рассматриваются существующие методы дистанционного и контактного контроля, их преимущества и ограничения. Особое внимание уделяется спектральным методам и возможностям их применения в системах экологического мониторинга.

Во **второй главе** изложены теоретические основы построения многоуровневых мультисенсорных систем. Обоснованы принципы интеграции данных, получаемых с различных платформ (спутниковых, авиационных, наземных), приведены модели распространения оптического сигнала в загрязнённых средах и методы формирования единого аналитического пространства.

Третья глава посвящена использованию методов дистанционного зондирования. Разработаны алгоритмы обработки гипер- и мультиспектральных

изображений, обеспечивающие автоматическое выявление загрязнённых участков на основе спектральных признаков нефтепродуктов.

В **четвёртой главе** рассматриваются наземные спектральные методы анализа. Описан созданный зондовый анализатор, представлены результаты лабораторных и полевых исследований, а также построенные калибровочные зависимости, учитывающие влияние внешних факторов.

Пятая глава демонстрирует применение разработанной системы для оценки состояния нефтешламонакопителей. Показано, как комплексная обработка данных позволяет выполнять технико-экономическую оценку объектов и принимать решения по их дальнейшему использованию или рекультивации.

В **заключении** обобщены итоги работы, сформулированы основные научные и практические выводы, а также обозначены перспективные направления дальнейших исследований.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вопросы и замечания по работе

1. Автор позиционирует разработанную систему как универсальную для мониторинга нефтяных загрязнений. Однако в работе недостаточно подробно рассмотрены ограничения её применения в различных сезонных и ландшафтных условиях. Возникает вопрос: насколько эффективно работают оптические методы при наличии снежного покрова, плотной растительности или в условиях затенения поверхности? Поскольку такие факторы могут существенно влиять на возможность регистрации отражённого сигнала, желательно уточнить, предусматривались ли в системе механизмы компенсации подобных помех и каким образом предлагается проводить мониторинг в условиях, где прямое наблюдение затруднено.

2. В диссертации подчёркивается, что данные с различных сенсорных уровней обрабатываются в единой системе. Вместе с тем, не совсем ясно, каким образом обеспечивается метрологическая прослеживаемость разноуровневой информации: применяется ли единая модель обработки, либо интеграция осуществляется поэтапно?

3. Автор предлагает метод калибровки спутниковых данных по наземным измерениям. Возникает вопрос: как часто требуется такая калибровка и в какой мере она связана на проведение полевых работ? Если для получения корректных результатов каждый раз необходим выезд с портативным спектрометром, то система может терять часть своей оперативности и экономической эффективности. Следовало бы пояснить, предусмотрены ли в системе

какие-либо автоматизированные или отложенные по времени методы самокалибровки, которые снижают необходимость частого участия исследователя.

4. Диссертация в основном сосредоточена на технической реализации и метрологической оценке системы. В то же время, вопрос стоимости создания, эксплуатации и обслуживания многоуровневой сенсорной сети практически не затронут. Для оценки реальной применимости системы в промышленной или ведомственной практике желательно представить хотя бы ориентировочную оценку затрат на внедрение и возможный экономический эффект от предотвращения или раннего обнаружения загрязнений.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов

Разработанная в диссертационной работе Ермакова В.В. многоуровневая система мониторинга может быть использована при решении прикладных задач, связанных с оценкой состояния территорий, подвергшихся загрязнению углеводородами. Прежде всего, результаты представляют интерес для предприятий нефтегазового сектора, где важно быстро выявлять утечки и контролировать распространение загрязнений, а также для подрядных организаций, выполняющих рекультивационные работы.

Предложенные алгоритмы и методы обработки спектральной информации могут быть адаптированы в рамках существующих программ дистанционного и наземного мониторинга, особенно в условиях ограниченного доступа к территориям. Также результаты могут использоваться в научно-исследовательской и проектной деятельности, связанной с созданием локальных или региональных систем экологического наблюдения.

Заключение

В диссертационной работе Ермакова В.В. решается актуальная научно-практическая проблема, связанная с разработкой многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга загрязнений земной поверхности углеводородами.

Диссертация соответствует предметной области научной специальности – 1.5.15 Экология (технические науки).

Считаю, что представленная научно-квалификационная работа отвечает заявленной научной специальности и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с п. 9-14 Положения о по-

рядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор -Ермаков Василий Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.5.15 – Экология.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор
кафедры «Фундаментальной химии
и методики обучения химии»
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

Ашихмина
Тамара Яковлевна

Адрес: 610000, г. Киров, ВятГУ ул. Московская, д. 36
Тел: 8 (8332) 37-02-77;
e-mail: usr08619@vyatsu.ru

Я, Ашихмина Тамара Яковлевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ермакова Василия Васильевича, и их дальнейшую обработку.

« 3 » сентября 2025 г.

Ашихмина

Тамара Яковлевна

Подпись профессора Ашихминой Тамары Яковлевны заверяю.

