ОТЗЫВ

официального оппонента
д.геогр.н., профессора Бузмакова Сергея Алексеевича
на диссертационную работу
Быковой Татьяны Владимировны
«Система методов оперативной оценки биотопов для ликвидации последствий их загрязнения поллютантами»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.15 - «Экология»

Диссертационное исследование Быковой Татьяны Владимировны изложено на 146 страницах и состоит из введения, 4 глав, списка использованных источников из 146 наименований, содержит 29 рисунков, 20 таблиц и 6 приложений. Структура работы отвечает принятой логике построения диссертационных исследований.

Актуальность темы диссертации

Техногенез и соответствующая трансформации природной среды характерны для территорий длительного и краткого промышленного освоения. Механогенез и битумизация определяют параметры почвенно-грунтового компонента, состав природно-техногенных потоков, миграцию, аккумуляцию и деструкцию загрязняющих веществ.

Техногенные нагрузки формируют неоднородные геохимические поля: локальные аномалии чередуются с фоновыми зонами. Их положение определяется источником поступления, рельефом, свойствами грунтов, условиями миграции и длительностью воздействия.

Нефтяное загрязнение меняет физико-химические свойства эдафотопа, формируются техногенные аномалии, идут сукцессионные изменения биогеоценоза. Лабораторно-аналитический контроль точен, но весьма громоздок, а при неравномерном пространственно-временном загрязнении его репрезентативность зависит от плотности наблюдений, что обуславливает увеличение числа рост затрат.

Актуальна разработка оперативных методов и методик, позволяющих быстро и дешево выявлять пространственную структуру загрязнения и оптимизирующих соответствующим образом лабораторные исследования.

Подход Т.В. Быковой через контактную БИК-спектроскопию с обработкой данных и количественной оценкой позволяет повысить плотность наблюдений, выявить локальные неоднородности.

Научно-исследовательская работа отвечает современным задачам восстановления природной среды, техногенно нарушенных биотопов; её актуальность несомненна.

Оценка содержания и структуры диссертации

Во **введении** последовательно обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования. Далее приведены положения, выносимые на защиту, и представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сведения об апробации и личном вкладе соискателя. Содержание введения даёт достаточное представление о замысле работы и направлении проведённых исследований.

Первая глава посвящена теоретическим и нормативно-методическим основам диагностики техногенно трансформированных территорий. Почвенно-грунтовая среда

С отзывом ознакомлена.
28.09.2026г

ФГБОУ ВО "СамГТУ"
"25" 09. 2026
Вход. № 5/14

рассматривается как биотоп (абиотический компонент биогеоценоза), определяющий условия функционирования природно-техногенной системы. Проанализированы современные представления о формировании загрязнения биотопа, методы экологического обследования и нормативные требования к оценке загрязнённых грунтов.

Существенное внимание уделено пространственной неоднородности техногенных геохимических полей как фактору, обусловливающему мозаичность биотопов и неоднородность экологических условий. Показано, что распределение поллютантов определяется совокупным действием природных и техногенных факторов, вследствие чего часто выборка проб не позволяет достаточно полно восстановить пространственную картину загрязнения и корректно диагностировать состояние биогеоценозов.

В главе рассмотрены возможности ближней инфракрасной спектроскопии, её физические основы и способы математической обработки спектральной информации. Проанализированы факторы, влияющие на спектральный отклик почвогрунтов, включая влажность, гранулометрический состав и содержание органического вещества. По результатам проведённого анализа обосновано направление дальнейшего экспериментального исследования.

Используемые концепции вызывают удовлетворение, поскольку они позволяют рассматривать диагностику техногенно трансформированных территорий через призму целостного биогеоценоза, учитывая взаимосвязи абиотических и биотических компонентов, что открывает новые перспективы для экологических исследований.

Во второй главе представлены методика проведения исследований и принципы формирования экспериментальной базы.

Экспериментальные исследования выполнены на натурных почвенно-грунтовых образцах и модельных образцах с контролируемым содержанием нефтепродуктов. Для моделирования нефтяного загрязнения применялись сырая нефть, турбинное масло ТП-22 и петролейный эфир в диапазоне концентраций 0,1–50 % масс. Применение нескольких типов почвенно-грунтовых матриц и различных нефтесодержащих модельных систем обеспечило возможность оценки характера изменения спектрального отклика при варьировании состава грунта и уровня загрязнения.

Для натурных образцов был определён комплекс агрохимических и физико-химических характеристик. На лабораторном этапе использовалась унифицированная схема подготовки материала, что обеспечило сопоставимость спектральных данных при формировании калибровочных зависимостей.

Спектральные исследования осуществлялись с применением Thermo Scientific MicroPHAZIR RX и Ocean Optics STS-NIR. Выбранные спектральные диапазоны использовались для решения различных диагностических задач — оценки нефтяного загрязнения и изучения взаимосвязей между спектральными характеристиками и отдельными агрохимическими показателями.

Методическая схема исследования реализована в несколько последовательных этапов: закономерности спектрального отклика устанавливались в контролируемых лабораторных условиях, после чего разработанные диагностические зависимости верифицировались на натурных техногенно изменённых грунтах.

Третья глава содержит основные экспериментальные результаты диссертационной работы, которые с биогеоценологической точки зрения могут рассматриваться как развитие методов диагностики состояния абиотического компонента биогеоценоза (почво-грунтов и биотопа) в условиях техногенной трансформации.

Соответственно исследованы особенности спектрального отклика натурных и модельных почвогрунтов. Для нефтезагрязнённых образцов установлены изменения спектральных характеристик, связанные с увеличением содержания углеводородных компонентов; рассмотрено влияние типа почвенно-грунтовой матрицы. В общем контексте это означает, что техногенное поступление углеводородов изменяет свойства биотопа, а, следовательно, может отражать изменение экологических условий, определяющих функционирование биогеоценоза.

При обработке спектральной информации использованы методы предварительной обработки данных, анализ главных компонент и метод многомерного статистического анализа, используемый для построения прогностических моделей. Установлены статистически выраженные связи между спектральными характеристиками и рядом исследованных показателей. С позиций общей экологии это позволяет перейти от отдельных измерений к параметризации эдафических условий биотопа и оценке его пространственной изменчивости.

Наряду с многомерными моделями автором разработан индексный подход. Для оценки агрохимических характеристик предложены индексы K1–K6. Наиболее значимые результаты получены применительно к фосфору и натрию: коэффициенты детерминации однофакторных моделей составили соответственно 0,88 и 0,78. Для диагностики состояния биотопа эти показатели важны, поскольку фосфор и натрий участвуют в формировании трофического и ионного режима биотопа, влияющего на состав и продуктивность сукцессионных стадий биогеоценоза. Перспективно выглядят результаты по натрию, т.к. получение достоверных результатов с применением сенсоров трудно решаемая задача. Кроме того, открывается возможность репрезентативных исследований природного и техногенного галогенеза.

Основные результаты в части диагностики нефтяного загрязнения связаны с разработкой модифицированного углеводородного индекса. В диапазоне содержания нефтепродуктов до 10 % масс. коэффициент детерминации валидации составляет не менее 0,982 при среднеквадратической ошибке не более 0,51 % масс.; в интервале 10–30 % масс. — не менее 0,917 при среднеквадратической ошибке не более 2,00 % масс. При более высоком содержании нефтепродуктов наблюдается насыщение индекса, что ограничивает область его количественного применения. С биогеоценологической точки зрения данный индекс может служить инструментом оценки степени техногенной трансформации биотопа, однако его ограничения при высоких концентрациях указывают на необходимость сочетания спектральных лабораторных и полевых методов при диагностике экстремальных состояний биогеоценозов.

По результатам проведённых исследований сформирована система оперативной оценки состояния почвенно-грунтовой среды, объединяющая контактную регистрацию спектральной информации, индексную обработку и использование локальных калибровочных моделей. В биогеоценологическом плане это представляет собой методическую основу для мониторинга абиотического компонента природно-техногенных биогеоценозов, позволяющую оперативно выявлять участки с изменёнными экологическими условиями.

Четвёртая глава посвящена практической проверке разработанного подхода и оценке возможности его использования при обследовании техногенно нарушенных территорий. Здесь решается задача по оценке пространственной неоднородности биотопа, поскольку именно мозаичность экологических условий во многом определяет этапы сукцессий биогеоценоза.

Рассмотрены модели равномерного и мозаичного распределения загрязнения, сопоставлены традиционная схема отбора объединённой пробы типа «конверта» и сеточное контактное обследование. Проведённое моделирование показывает, что при

локальном характере техногенной аномалии результат обследования существенно зависит от положения точек наблюдения относительно зоны загрязнения. Применительно к контактной спектральной диагностике это обосновывает необходимость повышения плотности наблюдений. В экологическом контексте это подтверждает, что техногенное загрязнение формирует мозаичный биотоп, и его адекватная диагностика невозможна без пространственно детализированной схемы опробования.

Далее автор переходит к исследованию реальных техногенных объектов. При практической апробации метода выполнены поверхностные и глубинные измерения. На поверхности обследовано 54 точки, для каждой из которых регистрировалось не менее трёх спектров с последующим усреднением. Исследовано также 166 глубинных проб; измерения выполнялись непосредственно после извлечения грунта.

Полученные данные показали существенную пространственную неоднородность нефтяного загрязнения. В разрезах наблюдается чередование интервалов с различным содержанием нефтепродуктов и отдельные локальные максимумы. Сплошного фронта загрязнения не выявлено. Техногенная трансформация биотопа имеет пятнистый, мозаичный характер, а экологические условия даже на относительно небольшой территории могут существенно варьировать.

Сопоставление результатов спектрального и лабораторного определения для глубинных проб показало систематическое смещение 0,095 % масс. и среднеквадратичную ошибку 0,126 % масс. Эти результаты свидетельствуют о возможности применения разработанного подхода для адекватного изучения техногенеза. Для экологических исследований это важно, поскольку предложенный подход обеспечивает оперативную оценку состояния почвенно-грунтового биотопа с точностью, достаточной для выявления участков техногенной трансформации и последующего анализа их влияния на биогеоценоз в целом.

Основные достижения работы заключаются в разработке инструментальной базы для диагностики абиотического компонента биогеоценоза, в количественной оценке мозаичности техногенно трансформированных биотопов и в обосновании методических требований к пространственной плотности наблюдений. Используемые автором концепции открывают новые познавательные перспективы: позволяют рассматривать техногенное загрязнение не как локальную геохимическую аномалию, а как фактор преобразования биотопа и, следовательно, всего биогеоценоза, открывая возможности организации для комплексного экологического мониторинга и прогнозирования состояния природно-техногенных систем.

Исследованы особенности спектрального отклика натурных и модельных почвогрунтов. Для нефтезагрязненных образцов установлены изменения спектральных характеристик, связанные с увеличением содержания углеводородных компонентов, рассмотрено влияние типа почвенно-грунтовой матрицы.

При обработке спектральной информации использованы методы предварительной обработки данных, анализ главных компонент и PLS-моделирование. Установлены статистически выраженные связи между спектральными характеристиками и рядом исследованных показателей.

Наряду с многомерными моделями автором разработан индексный подход. Для оценки агрохимических характеристик предложены индексы K1–K6. Наиболее значимые результаты получены применительно к фосфору и натрию: коэффициенты детерминации однофакторных моделей составили соответственно 0,88 и 0,78.

Основные результаты в части диагностики нефтяного загрязнения связаны с разработкой модифицированного углеводородного индекса HD». В диапазоне

содержания нефтепродуктов до 10% масс. значение R^2 валидации составляет не менее 0,982 при RMSE не более 0,51% масс.; в интервале 10-30% масс. - не менее 0,917 при RMSE не более 2,00% масс. При более высоком содержании нефтепродуктов наблюдается насыщение индекса, что ограничивает область его количественного применения.

По результатам проведенных исследований сформирована система оперативной оценки состояния почвенно-грунтовой среды, объединяющая контактную регистрацию спектральной информации, индексную обработку и использование локальных калибровочных моделей.

В **заключении** обобщены результаты выполненных исследований и сформулированы основные выводы, соответствующие поставленным задачам и содержанию экспериментальных глав.

Диссертационная работа Быковой Татьяны Владимировны выполнена на хорошем научном и методическом уровне. Материал изложен последовательно, основные положения работы взаимосвязаны, выводы соответствуют поставленным задачам и полученным результатам. По своему содержанию диссертация представляет собой законченное научно-квалификационное исследование.

Научная новизна исследования диссертационной работы определяется разработкой и экспериментальным обоснованием методического комплекса (системы) оперативной диагностики состояния почвенно-грунтовой среды на основе контактной БИК-спектроскопии и индексной обработки спектральных данных.

Научная новизна работы заключается в развитии и адаптации метода контактной ближней инфракрасной спектроскопии с индексной обработкой данных для целей диагностики техногенеза и техногенно трансформированных территорий. В отличие от известных подходов, ориентированных преимущественно на количественную оценку загрязнения, предложенный метод позволяет оперативно оценивать состояние почв и грунтов биотопа. Разработан и метрологически обоснован модифицированный углеводородный индекс, а также предложена система оперативной оценки, объединяющая полевые измерения, индексную обработку и локальные калибровочные модели. Обоснована необходимость пространственно детализированного опробования для адекватной диагностики мозаичных техногенных аномалий.

Автором исследованы закономерности изменения спектральных характеристик почвогрунтов в зависимости от их состава и содержания загрязняющих веществ, разработана система спектральных индексов для оценки отдельных характеристик грунтовой среды.

Для диагностики нефтяного загрязнения предложен модифицированный углеводородный индекс. В диапазоне содержания нефтепродуктов до 10% масс. получены наиболее устойчивые количественные зависимости; при концентрациях от 10 до 30% масс. сохраняется возможность количественной оценки. Установление области применимости разработанной зависимости имеет определяющее значение для корректной интерпретации результатов контактных измерений.

Исследован характер изменения индекса для различных почвенно-грунтовых матриц. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения относительных спектральных показателей для снижения влияния матричных эффектов в исследованном диапазоне условий.

Для оценки отдельных агрохимических характеристик предложены спектральные индексы K1-K6. Наиболее выраженные зависимости получены для фосфора и натрия. Разработанные модели подтвердили возможность использования индексного подхода для оперативной оценки соответствующих показателей.

Наиболее существенным результатом в части научной новизны следует считать переход от установления отдельных спектральных зависимостей к их использованию в составе системы оперативного обследования техногенно нарушенных территорий. Контактная регистрация спектров, индексная обработка и локальное калибровочное моделирование рассматриваются автором как взаимосвязанные элементы единого методического комплекса.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методических представлений об использовании спектрального отклика почвенно-грунтовой среды в качестве диагностического признака ее техногенной трансформации биотопа.

Почва и грунт представляют собой сложные многокомпонентные системы, спектральные характеристики которых зависят от минерального состава, содержания органического вещества, влажности, гранулометрических особенностей и других свойств. Поступление нефтепродуктов изменяет исходный спектральный отклик, однако характер этих изменений определяется не только концентрацией загрязняющего вещества, но и особенностями самой почвенно-грунтовой матрицы. Данное обстоятельство учтено автором при построении диагностических зависимостей и оценке области их применимости.

Полученные результаты расширяют представления о возможностях использования контактной БИК-спектроскопии для диагностики нефтяного загрязнения и отдельных характеристик почвенно-грунтовой среды. В более общем плане работа развивает инструментальное направление экологических исследований природно-техногенных систем, основанное на сочетании лабораторно-аналитических методов с оперативными способами получения дополнительной информации о состоянии исследуемого объекта.

Практическая значимость диссертационной работы определяется возможностью повышения пространственной детальности обследования загрязненных территорий. Проведенное автором моделирование различных схем наблюдений показывает, что результат экологической оценки зависит не только от точности отдельного аналитического определения, но и от того, насколько принятой сетью наблюдений отражается пространственная структура загрязнения.

Работоспособность разработанного подхода подтверждена при обследовании реального техногенного объекта. Контактные измерения выполнены в 54 поверхностных точках, исследовано также 166 глубинных проб. Полученные данные позволили выявить пространственную неоднородность нефтяного загрязнения, локальные участки повышенного содержания нефтепродуктов и особенности их распределения по глубине.

Практическое значение предложенного метода состоит прежде всего в возможности оперативно получать дополнительную информацию непосредственно в ходе обследования территории. Контактная спектральная съемка может использоваться для выявления неоднородности загрязнения, локализации аномальных участков и уточнения сети последующего контрольного пробоотбора. При этом разработанный подход следует рассматривать как дополнение к лабораторно-аналитическим методам, а не как их замену.

Результаты исследования внедрены в деятельность ООО «УкуЛаб», использованы при выполнении работ по рекультивации техногенно деградированных земель Самарской области и в образовательном процессе. По материалам работы получен патент Российской Федерации № 2827683 C1 на способ определения содержания фосфора в почве.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений и выводов определяется объемом проведенных исследований, характером сформированной экспериментальной базы, использованием лабораторных методов контроля и статистической обработкой полученных данных.

В работе исследованы натурные и модельные почвенно-грунтовые образцы. Модельные системы формировались в диапазоне содержания нефтепродуктов от 0,1 до 50% масс. Использованы сырая нефть, турбинное масло ТП-22 и петролейный эфир.

Для натурных образцов выполнен комплекс лабораторных исследований. Спектральные данные сопоставлялись с результатами прямых лабораторно-аналитических определений. При математической обработке материала применялись методы многомерного статистического анализа, включая PCA и PLS-моделирование, проведена оценка качества полученных калибровочных зависимостей.

Обоснованность результатов определяется также последовательным характером исследования. Выполнен переход от контролируемого модельного эксперимента и установления спектральных закономерностей к их проверке на натурных образцах и, далее, к апробации метода непосредственно на техногенно нарушенной территории. Тем самым работоспособность предложенного подхода проверена не только на подготовленных образцах, но и на грунтах, исследованных непосредственно после отбора.

Представленный объем экспериментального материала, применение лабораторных методов контроля и статистическая оценка результатов позволяют считать основные научные положения и выводы диссертации достаточно обоснованными и достоверными.

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы представлены в 12 научных публикациях, в том числе в **двух** статьях в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. По теме исследования опубликована монография, получен патент на изобретение. Также нужно отметить представление результатов на региональных и российских научных конференциях.

Личный вклад Т.В. Быковой состоит в проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, разработке спектральных индексов и методических решений.

Степень апробации результатов соответствует характеру и объему выполненной кандидатской диссертационной работы.

Анализ диссертации актуализирует ряд дискуссионных вопросов:

1. В первой главе автор обосновывает необходимость изучения неоднородности пространства фундаментальным подходом к биотопу и экосистемам, популяциям и экологическим нишам ссылками на учебники Ю.Одума (1986 г) и М.Бигон (1989). Замечательно, что автор исследования понимает связь биотопа и биогеоценоза и популяции. Но логичнее было рассмотреть эти вопросы по монографиям классиков биогеоценологии В.Н.Сукачёва, Н.В. Дылиса, а также их учеников и последователей О.В. Смирновой, Б.М. Миркина и др.

2. Очень важна отсылка на фундаментальные исследования в работах геохимиков Н.С.Касимова, А.Н.Геннадиева, Ю.И.Пиковского. Однако нет даже упоминания концепции битумизации, которую разработала их коллега Н.П.Солнцева.

В этой теории наиболее подробно объяснены закономерности миграции углеводородов в грунтах и почвах.

3. Есть довольно сложная проблема отделения природных и техногенных углеводородов. Можно ли отличить с помощью разработанного методического комплекса в черноземных почвах природную органику от техногенных углеводородов?

4. В исследовании показано достоверное определение натрия и фосфора в грунтах. Считается, что это сложные объекты из-за их слабого спектрального выражения и обычно показывают ограниченную точность определения. Какими факторами можно объяснить столь позитивный результат на при полевых и экспериментальных исследования?

5. Можно организовать сплошные обследования техногенных территорий, если располагать сенсоры БИК-спектроскопии на платформе БПЛА. Насколько разработанная система оперативной оценки биотопов близка к такому применению?

Высказанные предложения не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Они касаются главным образом границ интерпретации полученных результатов и направлений дальнейшего развития предложенного методического подхода.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа Быковой Татьяны Владимировны «Система методов оперативной оценки биотопов для ликвидации последствий их загрязнения поллютантами» представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, посвященное актуальной задаче экологической диагностики техногенно трансформированных территорий.

Автором проведен значительный объем лабораторных и полевых исследований, сформирована экспериментальная база натурных и модельных почвогрунтов, установлены зависимости между спектральными характеристиками и отдельными показателями состояния грунтовой среды, разработаны спектральные индексы и выполнена их практическая апробация.

Наиболее значимым результатом считаю возможность повышения пространственной детальности экологического обследования. При техногенном загрязнении, которое редко имеет равномерный характер, получение большого числа оперативных измерений позволяет выявлять локальные аномалии, уточнять границы загрязненных участков и обоснованнее размещать точки лабораторного контроля.

Разработанный методический комплекс не заменяет существующие лабораторно-аналитические методы и, по существу, не должен решать такую задачу. Его преимущество заключается в возможности дополнить традиционную систему экологического обследования оперативным инструментом пространственной диагностики.

Дальнейшее развитие этого направления целесообразно связывать с включением спектральных данных в геоинформационные системы, учетом пространственно-временной динамики техногенных процессов и сопоставлением уровня загрязнения с реакцией биотических компонентов. Это позволит перейти от диагностики отдельного компонента среды к более полной оценке техногенной трансформации природного объекта.

Основные положения диссертации опубликованы и прошли необходимую апробацию. Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Содержание диссертации соответствует заявленной специальности

1.5.15 - Экология.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.), а её автор Быкова Татьяна Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.15 – «Экология».

Официальный оппонент Бузмаков Сергей Алексеевич

д.геогр.н., профессор

«21» 09 2026 г.

Шифр специальности, по которой защищалась докторская диссертация Бузмакова Сергея Алексеевича 25.00.36. Геоэкология (географические науки).

Доктор географических наук, заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы географического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Контактные данные:
тел.: (342) 239-63-93, e-mail: lep@psu.ru
Адрес места работы:
614068, Пермский край г. Пермь, ул. Букирева, д.15,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», географический факультет
Тел.: общего отдела: 239-64-35
Факс: 237-16-11; e-mail: info@psu.ru

Я, Бузмаков Сергей Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Быковой Татьяны Владимировны, и их дальнейшую обработку.

«21» 09 2026 г. Бузмаков Сергей Алексеевич

Подпись С.А.Бузмакова удостоверяю:

Секретарь Ученого совета Пермского государственного национального исследовательского университета
Елена Петровна Антропова