

О Т З Ы В

официального оппонента, кандидата геолого-минералогических наук, *Рязанцева Павла Александровича* на диссертацию *Мингалева Татьяны Андреевны* на тему: «Комплексирование методов малоглубинной геофизики для выявления участков загрязнения грунтов на территориях нефтехранилищ», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9. Геофизика.

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность выбранной темы диссертационного исследования Мингалева Т.А. достаточно обоснована и не вызывает сомнений. По имеющимся оценкам значительная часть резервуаров хранения нефтепродуктов эксплуатируются с нарушением нормативных сроков, при этом неизбежны потери при перевалке и распределении нефтепродуктов. Как результат, происходят регулярные разливы и утечки нефтепродуктов в окружающие грунты. Автор в диссертации приводит оценку Министерства природных ресурсов и экологии РФ по утечкам нефтепродуктов из резервуарных парков в 0,5–2 % от величины их годового оборота. Размеры, миграция и концентрация подобных загрязнений значительно меняются исходя из возраста эксплуатации резервуара, инженерно-геологического строения вмещающего грунтового массива и гидрогеологической ситуации. Нормативный системный мониторинг включает в первую очередь оценку состояния конструкций резервуаров (ГОСТ 31385–2023), а также геодезические методы нивелирования (ГОСТ 24846-2019), но не предусматривает исследования мест загрязнений вмещающих грунтов. Хотя, как правильно отмечено в работе Мингалева Т.А., сведения о глубине и площади распространения нефтепродуктов в результате утечек важны для проведения экологической экспертизы и планирования рекультивации территории. Научно-обоснованный рациональный комплекс геофизических методов действительно способен способствовать решению подобных геоэкологических задач. Следует отметить, что дополнительно автор не упомянул особую важность подобных работ в криолитозоне, где наличие нефтепродуктов в грунтах может оказывать растепляющее воздействие на мерзлые породы и, как следствие, приводить к возникновению аварийных ситуаций.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы отражена в четырех отдельных пунктах. Первый пункт включает петрофизическое изучение образцов дисперсных грунтов разной степени загрязнения нефтепродуктами и формирование обобщающей физико-геологической модели для речных террас. Этот пункт находит подтверждение в Главе 2 и Главе 4 работы. Во втором пункте заявлена методика проведения комплекса геолого-геофизических исследований на площадях, загрязненных нефтепродуктами. Формулировка данного пункта неудачная, скорее правильнее говорить о предложенном и обоснованном рациональном геолого-геофизическом

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-576 от 13.09.26

комплексе, позволяющим выявить пути миграции нефтепродуктов. Материалы по составу методов в комплексе, условия применимости и принципы совместной интерпретации отражены в диссертационной работе. Третий пункт декларирует разработку нового алгоритма анализа разнородных геофизических данных. Для алгоритма приводится свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, а его практическая работа проиллюстрирована в Главе 3. Четвертый пункт новизны связана с разработанным подходом к реконструкции структуры загрязнения на основе комплексных данных. Реализация такого подхода продемонстрирована на примере речных террас Волжского речного бассейна.

В целом следует заключить, что все заявленные пункты, отражающие новизну диссертационного исследования, правомерны и подтверждаются фактическими данными. Однако ряд новых и интересных моментов диссертационной работы в научной новизне отражен не был. Например, не указаны: новый алгоритм RGB-синтеза для комплексной интерпретации, установленные интерпретационные критерии для разделения аномалий, связанных с загрязнениями и геологическими особенностями,

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

В качестве защищаемых в диссертационной работе выносятся три положения. **Первое положение:** Опыт научно-производственных исследований нефтебаз Волжского бассейна в сочетании с комплексом лабораторного и физико-математического имитационного моделирования расслоенных разрезов речных террас, загрязненных нефтепродуктами, обосновывает высокую петрофизическую контрастность основных литолого-стратиграфических горизонтов и различных типов загрязнения грунтов нефтяными продуктами и информативность применения для их изучения комплекса электроразведочных (вертикальное электрическое зондирование, электротомография, метод естественного поля), сейморазведочных (метод преломленных волн, многоканальный анализ поверхностных волн) съемок и результатов газогеохимии.

Несмотря на неудачную формулировку первого положения его фактическое содержание соответствует материалам диссертации – был получен новый опыт научно-производственных работ, позволяющий обосновать существования контраста в геофизических полях для грунтов фоновых и загрязненных нефтепродуктами. При этом из формулировки положения было бы правильно исключить утверждение о высокой контрастности. Контрастность безусловно есть, но как показывает исследование она может меняться в широких пределах, из-за не всегда можно однозначно обнаружить и локализовать загрязнение.

Второе положение: Разработанная технологическая схема обработки и интерпретации комплекса геофизических данных обеспечивает изучение структурно-вещественных параметров разреза речной террасы Волжского бассейна. Для выявления особенностей загрязнения и характера миграции нефтепродуктов в грунтах технология дополняется данными газогеохимической съёмки и результатами повторных геофизических наблюдений.

Данное положение также основывается на фактических данных. Для исследуемого геологического разреза и областей загрязнений нефтепродуктами были определены и структурированы основные геофизические признаки, а также проинтерпретированы взаимоотношения этих признаков. Характер миграции исследован на основе данных разновременной съёмки. Необходимо отметить, что несмотря на интересные результаты, отсутствие детального описания условий эксперимента с точки зрения повторяемости не позволяет оценить их достоверность.

Третье положение: Обобщенная модель районов нефтяных баз Волжского речного бассейна характеризуется наличием трех петрофизически контрастных горизонтов: 1) зона аэрации, выполненная насыпными грунтами и песками; 2) слой суглинков; 3) водонасыщенный слой песков. На этом фоне развиваются такие типы загрязнений, как: верхний ареал, приуроченный к основанию нефтеналивных резервуаров; ареал загрязнения над безнапорным водоносным горизонтом; ареал просачивания в гидрогеологическом окне водоупорного слоя; ареал загрязнения нижнего водоносного горизонта.

Начальная формулировка положения не совсем корректная, так как обобщенная модель составлена конкретно для речных террас, а не для абстрактных районов нефтяных баз. Тем не менее выполненная типизация загрязнений достаточно обоснована, а полученная обобщенная физико-геологическая модель была достаточно удачно представлена в виде графической схемы, на которую нанесены типы загрязнений и их ключевые геологические элементы, и геофизические признаки.

Выводы диссертационной работы полностью соответствуют поставленной проблематике и основаны на полученных результатах исследования.

4. Научные результаты, их ценность

Полученные Мингалева Т.А. научные результаты достаточно обширны, диссертация имеет ряд сильных сторон и представительную фактуру. Выявленные закономерности между геофизическими параметрами и уровнем загрязнения грунта достаточно убедительно доказаны петрофизическими измерениями образцов дисперсных грунтов разного состояния. Способность методов геофизики фиксировать места загрязнения нефтепродуктами обоснована на основе обобщающего анализа соответствующей научной литературы, а также большим объемом численного и имитационного моделирования. Весьма интересно использование RGB-синтеза для интеграции комплексных данных и последующая классификация изучаемых площадей на основе цветовых сочетаний. Разработанная физико-геологическая модель для речных террас Волжского речного бассейна основывается на фактических полевых данных, включающих как геофизическую съёмку, так и результаты бурения. Утверждение о полезности предложенного комплекса на ранних этапах обследования нефтезагрязнённых территорий для снижения неопределённости интерпретации и оптимизации сети бурения имеет научно-практическое обоснование и не вызывает сомнений.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 9 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 ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2021616804).

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

В качестве теоретической значимости хотелось бы отметить представленный в Главе 1 систематический анализ факторов, оказывающих влияние на миграцию нефтепродуктов, и стадий распространения загрязнений в геологической среде, дополненный обоснованием их проявления в геофизических полях. Подробное теоретическое обобщение предпосылок важно при разработке методик экспериментальных работ при решении геоэкологических задач методами геофизики. Также автором были исследована взаимосвязь между геофизическими параметрами и содержанием нефтепродуктов в грунтах, на основании чего был наглядно показан сложный характер взаимосвязи. Исследование таких взаимосвязей с использованием имитационного моделирования в баке и численного моделирования позволило определить интерпретационные критерии, позволяющие отличать геоэлектрические проявления нефтезагрязнения от эффектов, связанных с литологическим строением грунтового массива.

Важный теоретический вывод был сделан в Главе 2 на основании достаточно представительных петрофизических исследований – «геофизические аномалии фиксируют преимущественно вторичные геохимические эффекты, а не содержание нефтепродуктов». Автору следовало сфокусироваться на данном утверждении, так как из него следуют подходы к интерпретации. Наиболее амбициозная практическая значимость связана с заявленным переходом от качественной интерпретации геоэлектрических аномалий к количественной оценке параметров загрязнений.

Практическая значимость результатов связана с совершенствованием технологий мониторинга и рекультивации объектов хранения и транспортировки нефтепродуктов. Выполнено обоснование рационального комплекса, обеспечивающего эффективное исследование территорий, загрязненных нефтепродуктами. Предполагаемый экономический эффект выражен в оптимизации и снижении стоимости работ по нахождению областей загрязнений грунтовых массивов на территории нефтехранилищ. Практическая значимость подтверждается актом внедрения в деятельность компании ООО «Технотерра».

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Так как результаты диссертационной работы имеют выраженную прикладную направленность было бы полезно оформить их в виде строго методического пособия, учитывая существующую нормативную базу требований к инженерно-геологическим изысканиям. Полученные материалы достаточно представительны, что в перспективе позволят расширить

методические указания СП 11-105-97 (часть VI), где рекомендации для исследований загрязнений представлены в виде достаточно сжатого пункта 6.1.14 «Определение в плане и разрезе положения границ загрязненных пород (в том числе радиоактивными веществами)». В этом пункте есть важные замечания – «выбор методов осуществляется на основе априорного знания свойств пород, претерпевших изменения и степени изменений» и «целесообразно выполнение специальных параметрических измерений». Очевидно, что такая постановка задач отвечает исследованиям, представленным в диссертации. Поэтому необходимы дальнейшие усилия для внедрения разработанной технологии в практику геоэкологического мониторинга, в том числе за счет сотрудничества с изыскательскими и сервисными организациями, занимающимися строительством и эксплуатацией нефтехранилищ и нефтепроводов.

7. Замечания и вопросы по работе

1. Представленная диссертационная работа, достаточно насыщена разноплановым фактическим материалом и экспериментальными данными. Однако структура изложения выбрана не совсем удачно. Например, после Главы 2, включающей петрофизические исследования, правильно было бы перейти к демонстрации данных численного и имитационного моделирования, которые вынесены в разделы 3.5 и 3.6. Результаты полевых работ начинаются с комплексной интерпретации в разделе 3.3, а описание инженерно-геологического строения объекта и геофизические критерии выявления загрязнений работ приводятся много позже, в разделе 4.1 и 4.2 Главы 4. По какой-то причине в работе есть раздел 3.3 «Комплексная интерпретация данных, в котором сравниваются карты геофизических параметров». А продолжение анализа таких данных, вынесено в отдельный раздел 3.7 «Мониторинговая интерпретация геофизических и газогеохимических данных». Как результат, описание материалов исследования получается менее структурированным, нарушается целостность изложения, и, как следствие, ухудшается восприятие диссертации.

2. Для диссертационной работы необходимо отметить еще одно важное упущение – отсутствие детального описания методов исследований. Для метода ВЭЗ не описывается шаг разносов электродов АВ и MN, количество точек на декаду, регистрируемые уровни разности потенциалов и тока, погрешности подбора моделей и т.п. Для метода электротомографии не показано распределение и количество точек наблюдений в протоколе, псевдоразрезы полученных и рассчитанных данных, погрешности инверсии. Описание метода сейсморазведки не содержит количество ударов, их суммирования, используемых фильтров, описание диапазонов V_p и V_s . Вместо детального анализа возможностей и ограничений каждого метода, то есть оценки их возможной информативности в Главе 2 фрагментарно приводятся результаты полевых работ (рисунки 2.1–2.4, рисунки 2.16–2.18). Без контекста эти данные непонятны.

3. В работе заявлена разработка рационального комплекса методов малоглубинной геофизики. Автором были исследованы и обоснованы некоторые необходимые параметры – информативность и контрастности свойств, но упущена оценка экономической эффективности. Кроме того, если предлагается технологическая схема использования рационального

комплекса, то желательно чтобы она включала обоснование масштабов съёмки, необходимый объем работ, дискретность наблюдений.

4. В Главе 3 автор сразу демонстрирует итоговые интерполированные карты геофизических параметров, не указывая методики интерполяции и размера регулярной сети. Отсутствуют рассуждения о разрешающей способности методов в контексте решаемой задачи. По полевым данным не всегда приводятся конкретные диапазоны геофизических параметров для грунтов разного состава и степени загрязнения. Отдельные описательные элементы, ожидаемые в Главе 3 можно обнаружить в заключительном разделе 4.3 Главы 4, таблица 4.4 и 4.5. Как результат, это не только снижает доказательную базу, но и исключает анализ влияния условий и параметров геофизической съёмки из итоговой интерпретации и формулирования конечных результатов.

5. Интересные результаты петрофизических исследований приводятся в разделе 2.2.3 «Корреляции УЭС–НФП». Однако, методика измерений не была описана, обработка и осмысление данных выполнены ограничено, без достаточного анализ взаимосвязей, в том числе путем привлечения методов статистики (хотя статистический анализ был упомянут в тексте). Полученные степенные зависимости (2.1–2.5) являются предметом дискуссии. Вызывают вопросы и перекрывающиеся диапазоны КУЭС чистых и загрязнённых грунтов. Это принципиальные моменты, так как на них основывается интерпретация полевых данных.

6. На рисунке 3.2 приводятся важные полевые данные, по которым сравнивается УЭС грунтов и мощность линзы нефтепродуктов. Автор использует линейную зависимость и экспоненциальную зависимость названную логарифмической. Возникает закономерный вопрос – как эти данные коррелируют со степенными зависимостями, полученными по петрофизическим данным? Почему в качестве модельных не были опробованы регрессии, полученные в Главе 2? Кроме того, несколько неочевидна логика выполнения сопоставления. Почему не использовались данные со всех скважин? Например, данные скважины 33 анализировались, хотя непосредственно на ней нет точки ВЭЗ, а соседняя скважина 37, над которой ВЭЗ есть, исключена из анализа? При этом на рисунке 3.7 они обе включены в интерпретацию комплекса геофизических данных. Было бы правильно продемонстрировать и описать характер всех полученных кривых ВЭЗ совместно с литологическими колонками, как было частично представлено на рисунках 2.1, 2.2 и 4.9.

7. В описании практической значимости работы указано, что предложенный алгоритм RGB-синтеза служит средством комплексной интерпретации данных сейсмических методов. Однако в разделе 3.3 его работа реализуется с использованием карты скоростей продольных волн. В связи с чем неясны границы применимости алгоритма. Кроме того, непонятны критерии выделения цветовых классов и каковы его преимущества в сравнении с методами машинного обучения, типа кластеризации k-means.

8. В заключении Главы 3 в пункте 7 указана возможность количественной оценки загрязнений нефтепродуктами по геофизическим данным. Это не подтверждается имеющимися

данными и на текущий момент не соответствует разработанности темы. Скорее полученные результаты показали сложность и неоднозначность решаемой обратной задачи, необходимость комплексирования и наличия интерпретационных критериев для корректных выводов.

9. Не ясно почему геологическое описание представлено только в Главе 4 и почему оно настолько сжатое. Большое количество скважин и образцов из них (которые брались для петрофизических измерений) позволяют детально описать гранулометрический состав, фильтрационные свойства и т.п. Однако в работе представлено только общие характеристики. Большое упущение – отсутствие важных данных об электропроводности грунтовых вод и воды в реке Волга.

10. Геоэлектрические модели, представленные на рисунках 4.12, 4.13, 4.15, 4.16, сопровождаемые литологическими колонками, недостаточно детально проанализированы. Какой способ инверсии использовался, было ли сглаживание? Возможно, подбор оптимальной обработки улучшил бы сходимость. В текущем виде не оценено расхождение с буровыми данными и геоэлектрическими границами. Используемая аппаратура Скала-48 позволяет регистрировать параметр ВП – заряжаемость. Было бы полезно привлечь его в качестве дополнительного предиктора при обосновании геоэлектрических признаков (таблица 4.1).

11. В разделе 4.2.4 отмечена гидрогеологическая задача метода МПВ по выделению зон повышенной влажности и выделения путей возможной миграции загрязнения. По какой причине в комплексном анализе не использованы карты V_p , а только карты V_s , полученные методом MASW? В качестве дополнительного сейсмического признака можно было предусмотреть использование отношения V_p/V_s для оценки насыщения флюидами.

12. Не очень понятен статус метода ЕП. Автор утверждает «метод ЕП отражает фильтрационные и электрохимические процессы, сопровождающие миграцию нефтепродуктов» и сопоставляет геоэлектрохимические и газогеохимические признаки элементов разреза (таблица 4.3). Но в обобщенную физико-геологическую модель и обобщенные петрофизические признаки уровень ΔU не включен.

Отдельно стоит выделить некоторые замечания сугубо технического характера.

1. Крайне неудачная формулировка первого защищаемого положения, фактический смысл которого скрыт за перечислениями объектов и методов исследования. Во втором защищаемом положении заявлено, что «технология дополняется данными газохимической съёмки», хотя исходя из технологической схемы на рисунке 3.1 такая съёмка является неотъемлемой частью комплекса.

2. Отдельным пунктом не сформулирована теоретическая значимость исследования, хотя в работе она безусловно присутствует. Должным образом не выделена научная новизна в пункте, посвященном разработке и обоснованию методики.

3. Отсутствует терминологическая строгость – в ряде случаев используется сокращение КУЭС, удельное электрическое сопротивление, удельное сопротивление.

4. В разделе 3.3 в начале есть описание методики электротомографических работ, в заключении раздела указано, что такие данные входят в совместный анализ, однако во всей Главе 3 не представлены геоэлектрические модели или какие-то иные результаты.

5. На некоторых рисунках неправильные шкалы значений геофизических параметров, например: на рис. 3.8a, b, а на рис. 3.10b шкала не соответствует заливке карты.

6. На рис. 3.10a, b вместо зоны аэрации представлена RGB-раскраска уровня полного водонасыщения.

8. Заключение по диссертации

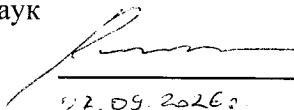
Диссертация «Комплексирование методов малоглубинной геофизики для выявления участков загрязнения грунтов на территориях нефтехранилищ», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9. Геофизика, соответствует требованиям раздела 2 «Положения 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 от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – **Мингалева Татьяна Андреевна** – заслуживает присуждения ученой степени геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9. Геофизика.

Официальный оппонент

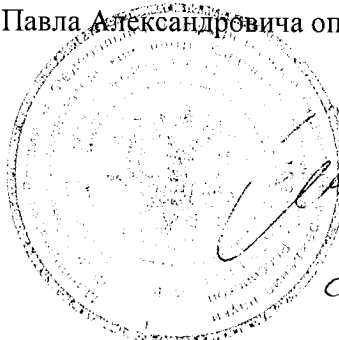
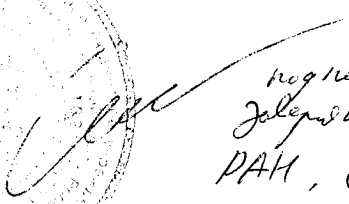
ведущий научный сотрудник лаборатории четвертичной геологии и геоэкологии

Института геологии КарНЦ РАН

кандидат геолого-минералогических наук

 **Рязанцев Павел Александрович**
07.09.2026

Подпись Рязанцева Павла Александровича оппонента заверяю

 
подпись Рязанцева П.А.
заверено. Директор ИГ КарНЦ
РАН, Селев С.А., 9.5.26.
08.09.26

Сведения об официальном оппоненте:

Организация: Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»

Почтовый адрес: 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д.11, КарНЦ РАН

Официальный сайт в сети Интернет: <http://www.krc.karelia.ru/>

эл. почта: prizantsev@krc.karelia.ru

телефон: +7 (8142) 76-96-00