

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**о диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**  
**Тарасовой Марии Александровны**  
**на тему: «Разработка методики интерпретации георадарных данных с**  
**использованием параметрических и лабораторных измерений**  
**физических свойств песчано-глинистых отложений»**  
**по специальности 1.6.9. Геофизика (технические науки)**

Диссертационная работа Тарасовой Марии Александровны на тему «Разработка методики интерпретации георадарных данных с использованием параметрических и лабораторных измерений физических свойств песчано-глинистых отложений» состоит из введения, 5 глав и заключения, 47 рисунков и 12 таблиц, а также список литературных источников из 168 наименований. Текст диссертации изложен на 151 странице текста.

Диссертационная работа Тарасовой М.А. посвящена разработке методики интерпретации георадарных данных, обеспечивающей точную привязку георадарных отражений к границам, выделенным в точке независимого наблюдения, а также решению на основе ее применения некоторых прикладных задач геоморфологии, геоархеологии и почвоведения. Для достижения поставленной цели автором было выполнено решение пяти задач, включающих: определение электрофизических свойств песчано-глинистых отложений; сопоставление разных методов измерения диэлектрической проницаемости; разработку технологии построения электрофизической модели; разработку метода совместного анализа данных для геологической привязки георадарных рефлекторов; разработку базы данных диэлектрической проницаемости песчано-глинистых отложений. Для решения поставленных задач автор использует комплекс геофизических данных, полученных разными методами, совокупность которых заявлена как «методология».

В качестве обоснования актуальности своих исследований соискатель указывает три причины. Первая причина связана с недостаточной изученностью формирования отражений георадарного сигнала в песчано-глинистых отложениях, что приводит к неоднозначности интерпретации. Вторая причина обусловлена проблемами корреляции данных георадиолокации и прямых геологических наблюдений. Третья причина вызвана необходимостью более широкого внедрения методов решения обратной задачи (моделирования) в практику георадарных работ. В целом, актуальность представляемого исследования не вызывает нареканий, так как расширение сферы применимости и повышение эффективности георадара требует новых подходов к интерпретации данных.

Основная теоретическая значимость исследования связана с утверждением о смещении границы «георадарного плато» в высокочастотную область. Тогда как новизна работы выражена в базе данных диэлектрической проницаемости песчано-глинистых отложений, наборе калибровочных кривых, сравнительном анализе разных методов исследований. Практическая значимость работы заключается в способе построения калибровочных зависимостей для лабораторных исследований и методических рекомендаций для повышения точности полевых исследований.

Личный вклад автора в решении поставленных задач работы проиллюстрирован в полной мере и отражен в 4 научных публикациях.

Диссертация имеет логичную структуру, демонстрирующую основные этапы исследования. **Введение** содержит все необходимые сведения о целях, задачах, защищаемых положениях, научной новизне работы, ее практической значимости и достоверности результатов, личном вкладе автора и апробации работы, соответствующие требованиям МГУ.

**Глава 1** «Обзор подходов к интерпретации георадарных данных в геологических приложениях» содержит достаточно подробный обзор опыта использования георадиолокации, в том числе зарубежного, для решения широкого круга задач. В ней же рассмотрены способы интерпретации и

существующие проблемы, вызванные ее неоднозначностью. Представленный обзор является сильной стороной работы, так как выполнен обширный ретроспективный анализ литературы.

**Глава 2** «Петрофизические и электромагнитные свойства песчано-глинистых» посвящена анализу песчано-глинистых отложений, их строения, минералогических, гранулометрических и петрофизических свойств. В разделе 2.3. детализируются электромагнитные свойства, в первую очередь диэлектрическая проницаемость. Данный раздел несколько неожиданно заканчивается представлением фактического материала исследования, без объяснения методики лабораторных экспериментов и полевых работ.

**Глава 3** «Инструментальные полевые и лабораторные методы измерения электромагнитных параметров» демонстрирует методы, используемые в исследовании для определения относительной диэлектрической проницаемости (и ее действительной и мнимой частей). Автор разделяет их на две категории: «полевой» – рефлектометрия во временной области, и «лабораторный» – измерения в коаксиальной ячейке. Проводится экспериментальное сопоставление и анализ результатов методов на наборе образцов. В заключение в отдельном небольшом подразделе исследована характеристика «георадарного плато» для песчано-глинистых смесей.

**Глава 4** «Методика интерпретации георадарных данных» содержит методические приемы, направленные на уточнение интерпретации георадарных данных, которые автор рассматривает как практические рекомендации. В виде разделов последовательно изложены отдельные этапы, с обоснованием каждого шага: 4.1 Анализ волновой картины, 4.2 Измерения электромагнитных свойств, 4.3 Определение гранулометрического состава отложений и влажности, 4.4 Методика построения электрофизической модели разреза, 4.5 Лучевое моделирование, 4.6 Полноволновое моделирование. В разделе 4.7 приводится описание методики совместного анализа комплексных данных. Завершается глава блок-схемой, которая показывает совокупность

методических приемов интерпретации, рекомендованных автором к использованию.

**Глава 5.** «Результаты интерпретации георадарных данных в геологических приложениях» иллюстрирует опыт апробации разработанных методических приемов интерпретации для решения реальных задач. Далее по разделам демонстрируются достаточно разноплановые материалы полевых работ и интерпретация георадарных данных в почвенных исследованиях (раздел 5.1), а также в геоархеологических исследованиях (раздел 5.2). Эта глава содержит представительные комплексные полевые данные, которые представляют значительный интерес для мировой практики метода георадиолокации. Выполнен подробный совместный анализ результатов полевых наблюдений, математического моделирования, петрофизических измерений и прямых наблюдений в шурфах. Несомненно, такой подход позволяет наиболее полно охарактеризовать особенности распространения георадарного сигнала в почвенном разрезе, выявить закономерности формирования волнового поля и обосновать приемы интерпретации.

В **Заключении** обобщены результаты исследования, а также предложены рекомендации по дальнейшей разработке темы – пополнение базы данных диэлектрической проницаемости, а также расширение методики для уточнения интерпретации георадарных данных, полученных в иных средах: эстуарии, районы распространения многолетнемерзлых пород.

В общем виде, диссертационная работа Тарасовой М.А. является завершенным научным исследованием, в котором анализируется диэлектрическая проницаемость в песчано-глинистых отложениях, рассмотрены некоторые закономерности георадарного отклика от стратиграфических границ верхней части разреза, а также предлагаются новые подходы к повышению качества интерпретации георадарных данных. Цель и задачи, поставленные перед соискателем, можно считать достигнутыми. Представленный автореферат по содержанию соответствует содержанию диссертационной работы.

На основании проведенных исследований Тарасовой М.А. были сформулированы следующие защищаемые положения:

1. Разработанный способ построения частотно-зависимых калибровочных кривых позволяет воспроизводить значения петрофизических параметров по результатам лабораторных измерений комплексной диэлектрической проницаемости.

2. Предложенная методика интерпретации позволяет построить физически обоснованную модель среды и произвести однозначную привязку георадарных отражений к границам, выделенным в точке независимого наблюдения с помощью разных подходов к классификации изучаемого разреза рыхлых грунтов.

3. Разработанный алгоритм интерпретации позволяет идентифицировать на радарограмме нестратиграфические отражения.

В целом, такие положения находят свое подтверждение в тексте работы. Однако хотелось бы отметить не очень удачные формулировки положений, которые приводят к неоднозначности.

По содержанию диссертационной работы имеется несколько замечаний, преимущественно стилистического и технического характера.

1. В первом защищаемом положении декларируется возможность воспроизводить значения петрофизических параметров по результатам измерения комплексной диэлектрической проницаемости. Такая формулировка оставляет ряд вопросов – какие конкретные параметры могут быть воспроизведены, если на рисунке 16 показаны кривые только для влажности? С точки зрения почвоведения влажность относится к водно-физическим свойствам.
2. Предложенные уравнения (19–21) имеют вид кубических полиномов, по аналогии с известным уравнением Топпа, поэтому для лучшего понимания было бы правильно сравнить полученные результаты с другими исследованиями (моделями).

3. Не в полной мере показано обоснование калибровочных кривых, особенно на фоне утверждения их применимости для лабораторных измерений. Отсутствует описание метрологического обеспечения – калибровка, оценка погрешностей и повторяемости и т.п. Хотя частично такие данные приводятся в Главе 3. Также было бы лучше показать диаграмму рассеивания для зависимости диэлектрической проницаемости от весовой влажности и привести коэффициенты детерминации и корреляции, чтобы можно было ценить правомерность аппроксимации полиномом.
4. Не ясен диапазон применимости предлагаемых калибровочных кривых, трудно считать, что они будут универсальны и для песчаных грунтов, и, например, для торфа. В базе данных лабораторных измерений присутствует геологическое описание грунтов, которые по составу варьировались от песков до суглинков. Правильнее было бы анализировать зависимости с учетом гранулометрического состава.
5. Непонятно по какой причине были исключены из расчетов калибровочных кривых измерения диэлектрической проницаемости на частоте 400 МГц, включенных в базу данных.
6. Предложенное сопоставление измерений образцов песчано-глинистых смесей методом временной рефлектометрии и в коаксиальной ячейке заслуживают внимания (рис. 20), однако из-за отсутствия повторности и оценки стандартных отклонений нельзя быть окончательно уверенным, что выявленные расхождения не являются следствием измерительной погрешности.
7. На основе выполненного анализа «георадарного плато» предлагается частотный диапазон 500–3000 МГц для которого наблюдается минимальная дисперсия диэлектрической проницаемости песчано-глинистых отложений. Автор утверждает, что в нижнем диапазоне частот дисперсия вызвана эффектом Максвелла-Вагнера, хотя в классических исследованиях граница влияния поляризации

Максвелла-Вагнера оценивается до 100 МГц. Тогда как анализ рисунка 21 позволяет визуально очертить наиболее стабильный уровень диэлектрической проницаемости в интервале 600–2000 МГц, что особенно проявляется в водонасыщенных образцах. Автор не учитывает содержание гигроскопической влаги в используемых воздушно-сухих смесях, тогда как глина обладает гораздо большими влагоудерживающими свойствами. Очевидным упущением автора было исключить из анализа мнимую компоненту диэлектрической проницаемости, а также электропроводность. В результате заявленный диапазон скорее умозрительен и недостаточно обоснован.

8. Второе защищаемое положение рассматривает «методику интерпретации», при этом в тексте диссертации фигурирует «методика совместного анализа» и «последовательность методических приемов интерпретации». Не соблюдение терминологической строгости несколько ухудшает впечатление несмотря на то, что общая логика исследования понятна. Там же используется не совсем корректный термин «физически обоснованная модель», хотя речь вероятно идет о эмпирическом обосновании модели (получаемой полноволновым моделирование) прямыми наблюдениями в скважинах и шурфах. Следует полагать, что подобная модель учитывает конкретные геологические особенности изучаемого разреза и позволяет выявить закономерности волнового поля, которые в последствии могут быть обнаружены при интерпретации георадарных данных.
9. Результаты использования заявленного алгоритма интерпретации, позволяющего выявлять не стратиграфические отражающие границы на радарограммах, убедительно проиллюстрирована в Главе 5 на полевых примерах. Однако, к сожалению, не было подготовлено некой обобщающей блок-схемы (графа обработки), которая демонстрировала бы последовательность логически связанных действий, позволяющих

решить задачу по определению рефлекторов не геологической природы.

10. Несколько неудачно сформирована структура диссертации. Как уже отмечалось, часть результатов, показанных в Главе 2 предшествует описанию методов. Кроме того, нет единообразия в описании глав и разделов: в Главе 1 есть выводы к разделу 1.1, тогда как по другим разделам выводы не сделаны. В Главе 1 есть раздел «Выводы по главе», а в главах 2–5 таких разделов нет. Нарушена нумерация подразделов в Главе 5, подраздел 5.2.6 сменяется на подраздел 5.1.7.
11. Созданная база данных по диэлектрическим параметрам, показанная в таблице 8 уместнее, смотрелось бы как приложение. Но в тоже время ее следовало бы более детально проанализировать с точки зрения вариативности электрофизических свойств.
12. Автору следовало бы более строго относиться к определению специфики объекта исследования, так как почвы, описанные в Главе 1 и исследованные в Главе 2, песчано-глинистые отложения, заявленные в названии и цели исследования, а также песчано-глинистые смеси, используемые для лабораторных экспериментов в Главе 3 и представляющих собой некоторые упрощенные модели реальных грунтов, не одно и то же, что необходимо учитывать при описании результатов и формулировании выводов.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9. Геофизика (по техническим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Тарасова Мария Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. Геофизика.

**Официальный оппонент:**

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории четвертичной геологии и геоэкологии Института геологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук"

**РЯЗАНЦЕВ Павел Александрович**

*07.04.2026 г.*

Контактные данные:

тел.: +7 (8142) 76-96-00, e-mail: [priazantsev@krc.karelia.ru](mailto:priazantsev@krc.karelia.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Адрес места работы: 185035, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11, ИГ КарНЦ РАН

тел.: +7 (8142) 78-27-53, e-mail: [geolog@krc.karelia.ru](mailto:geolog@krc.karelia.ru)

Подпись сотрудника

Института геологии КарНЦ РАН П.А. Рязанцева удостоверяю:

**ПОДПИСЬ 3.**  
**ГЛАВНЫЙ ДОКУМ**  
**Н. С. ПРОТАСОВА**  
*\*07\* 04*