

Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук
Шипилова Сергея Эдуардовича
на диссертационную работу
Тарасовой Марии Александровны
«Разработка методики интерпретации георадарных данных с использованием
параметрических и лабораторных измерений физических свойств песчано-глинистых
отложений» по специальности 1.6.9 – «Геофизика»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность исследования

Метод георадиолокации (ГПР) в настоящее время широко применяется для изучения верхней части разреза, сложенной песчано-глинистыми отложениями, при решении задач инженерной геологии, геоморфологии, геоархеологии и почвоведения. Ключевой проблемой, ограничивающей эффективность метода, остаётся неоднозначность интерпретации георадарных данных, особенно при привязке отражённых волн к геологическим границам в скважинах или обнажениях. Эта неоднозначность обусловлена наличием «нестратиграфических» отражений, интерференцией сигналов в тонких слоях, а также градиентным характером изменения физических свойств. Существующие подходы, такие как радарная стратиграфия, часто носят качественный характер и не позволяют решить эти проблемы с требуемой точностью.

Диссертация Тарасовой М.А. посвящена разработке количественной методики интерпретации, основанной на совместном анализе полевых георадарных данных, лабораторных и полевых измерений электромагнитных и петрофизических свойств (диэлектрической проницаемости, влажности, гранулометрического состава), а также математическом моделировании (лучевом и полноволновом). Тема исследования является безусловно актуальной, поскольку её результаты направлены на повышение достоверности и детальности геологической интерпретации георадарных данных, что востребовано как для решения фундаментальных задач, так и в прикладных областях.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, практическая значимость и защищаемые положения.

В **первой главе** выполнен подробный обзор подходов к интерпретации георадарных данных в седиментологии, геоморфологии, геоархеологии и почвоведении.

Автором проанализированы причины неоднозначной интерпретации (нестратиграфические отражения, интерференция, градиент свойств) и показано, что перспективным, но недостаточно развитым является комплексный подход, сочетающий измерения свойств среды и моделирование.

Вторая глава посвящена петрофизическим и электромагнитным свойствам песчано-глинистых отложений. Рассмотрены состав, строение порового пространства, факторы, влияющие на диэлектрическую проницаемость (ДП) и проводимость. Важным результатом главы является создание базы данных значений ДП (160 образцов) и построение частотно-зависимых калибровочных кривых для лабораторного метода измерений, что составляет одно из защищаемых положений.

Третья глава содержит описание полевого (TDR) и лабораторного (коаксиальная ячейка) методов измерения электромагнитных свойств. Ключевым элементом является физический эксперимент по сравнению этих методов на искусственных песчано-глинистых смесях. Установлены количественные расхождения между методами (до 64%) и определена зона «георадарного плато» для таких отложений (500–3000 МГц), что имеет важное значение для учёта частотной дисперсии.

Четвертая глава представляет собой ядро диссертации – разработанную автором методику интерпретации. Детально описаны этапы: качественный анализ волновой картины, выбор метода и шага измерений свойств, построение электрофизической модели с использованием статистических критериев (коэффициент вариации), лучевое и полноволновое моделирование (в программе grgMax), а также методика совместного анализа всех данных для уточнения привязки отражений.

Пятая глава посвящена апробации разработанной методики на двух реальных объектах: при изучении почвенного профиля (пойма р. Гусь) и в геоархеологических исследованиях (стоянка Быки, Курская обл.). Показано, что предложенный подход позволяет идентифицировать недиагностические (почвы) и нестратиграфические (пески) отражения, выполнить однозначную привязку границ с точностью, не превышающей разрешающую способность метода (7 см и 18 см соответственно), и объяснить петрофизические причины формирования отражений.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы работы.

Теоретическая ценность

Впервые для песчано-глинистых отложений получены частотно-зависимые калибровочные кривые для лабораторного метода измерения ДП, что расширяет возможности количественной интерпретации георадарных данных. Уточнены границы «георадарного плато»: экспериментально показано, что для песчано-глинистых отложений диапазон минимальной дисперсии ДП составляет 500–3000 МГц, а не 100–1000 МГц, как считалось ранее. Это значимо для учёта дисперсии при интерпретации.

Разработана и теоретически обоснована методика построения электрофизической модели разреза на основе статистической обработки двумерных полевых измерений ДП и проводимости (с использованием коэффициента вариации $CV < 30\%$). Предложен и апробирован метод совместного анализа петрофизических (гранулометрия, влажность) и электромагнитных параметров, позволяющий идентифицировать природу георадарных отражений (стратиграфические vs. нестратиграфические).

Практическая ценность

Созданная база данных значений ДП (160 образцов, привязанных к гранулометрии, влажности, частоте и геоморфологии) может быть непосредственно использована специалистами для перевода радарограмм в глубинный масштаб и для предварительной интерпретации. Разработанные частотно-зависимые калибровочные кривые обеспечивают метрологическое сопровождение лабораторного метода измерения ДП, позволяя корректно пересчитывать измеренные значения в весовую влажность. Предложенная методика интерпретации (включающая алгоритм построения модели, этапы лучевого и полноволнового моделирования) является готовым инструментом для выполнения точной привязки георадарных отражений к геологическим границам в задачах почвоведения, геoarхеологии и геоморфологии. Это подтверждено успешной апробацией на реальных объектах. Полученные количественные оценки расхождений между полевым (TDR) и лабораторным (коаксиальная ячейка) методами позволяют обоснованно выбирать метод измерений или корректно сопоставлять их результаты.

Апробация

Основные результаты диссертации докладывались на всероссийских и международных конференциях, в том числе: «ГеоЕвразия» (2024, 2025), «Почвоведение: Горизонты будущего» (2023), «Инженерная и рудная геофизика» (2023). По теме диссертации опубликовано 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ. Автореферат полностью отражает содержание работы.

Достоверность полученных результатов

Достоверность обеспечивается использованием сертифицированного оборудования (георадар ОКО-3, TDR200, векторный анализатор цепей Planar S5045, лазерный анализатор Microtrac Bluewave), применением апробированных методик измерений, корректным использованием математического аппарата (статистические методы, конечно-разностное моделирование FDTD), а также совпадением полученных результатов с данными других исследователей и их верификацией на реальных объектах (почвенный шурф, скважина).

Замечания по работе

При общей положительной оценке диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

1. В главе 2 при построении базы данных ДП и калибровочных кривых (рис. 16) автор использует кубические полиномы. Чем обоснован выбор именно такой аппроксимирующей функции, а не, например, степенной или экспоненциальной? Не приводит ли кубическая зависимость к немонотонному поведению кривой при экстраполяции за пределы экспериментальных данных?
2. При построении электрофизической модели по стенке шурфа (раздел 5.1.5) используется статистический критерий $CV < 30\%$ для выделения однородных слоёв. Выбранное пороговое значение является эмпирическим. Проводилась ли оценка чувствительности результатов моделирования к изменению этого порога при больших и меньших значениях этого параметра?
3. Автор экспериментально подтверждает наличие дисперсии ДП песчано-глинистых отложений. Однако при полноволновом моделировании, как следует из описания (раздел 5.1.5, 5.2.6), в каждом слое задаются постоянные (не зависящие от частоты) значения ДП и проводимости, выбранные в диапазоне 500–1000 МГц для ДП и на минимальной частоте 10 МГц для проводимости. Неучёт частотной зависимости параметров в условиях, когда зондирующий импульс имеет широкий спектр, может приводить к искажениям формы синтезированного сигнала, особенно его затухания во времени. Использование дисперсионной модели позволило бы более точно воспроизводить дисперсионное «расплывание» импульса и его асимметрию, наблюдаемые на полевых данных.
4. В 3-м защищаемом положении идет речь о разработке алгоритма интерпретации, позволяющем идентифицировать нестратиграфические отражения. Однако в выводах по главе 5 (геоархеологический пример) автор отмечает, что из-за редкого шага отбора образцов (20 см) не удалось зафиксировать изменения свойств, вызывающие некоторые отражения. Не является ли это ограничением предлагаемой методики? Какой минимальный шаг отбора образцов необходим для идентификации всех отражений?
5. В тексте диссертации используется одно обозначение ω для весовой влажности и частоты сигнала, что вызывает неудобство при анализе формул.

Заключение

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:

Шипилов Сергей Эдуардович, доктор физико-математических наук (01.04.03 Радиофизика), профессор кафедры радиофизики, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

ШИПИЛОВ Сергей Эдуардович

02 апреля 2026 г.

Контактные данные:

тел.: ·

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.04.03. Радиофизика

Адрес места работы: 634055, Российская Федерация, г. Томск, ул. Лыткина, д. 28-г, корпус 11

Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический факультет

тел.: 8 (3822) 413-964, e-mail: decanat_rff@mail.tsu.ru

Подпись официального оппонента Шипилова Сергея Эдуардови

Шипилов С.Э.

