



УТВЕРЖДАЮ

Директор ГЦ РАН, чл.-корр. РАН

А.А. Соловьев

2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизического центра Российской академии наук на диссертационную работу Чумакова Андрея Александровича на тему: **«Разработка метода определения типа водопроводимости трещин в массиве скальных пород на основе ультразвуковых измерений»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Диссертационная работа Чумакова Андрея Александровича посвящена разработке ультразвукового метода определения типа водопроводимости трещин в массиве скальных пород.

Актуальность исследований. При оценке изолирующих свойств породных массивов, рассматриваемых в качестве естественного геологического барьера при захоронении радиоактивных отходов, одной из важнейших научно-практических задач является прогноз возможной миграции радионуклидов по трещинам, поскольку именно они являются основными путями движения подземных вод и потенциального переноса растворённых компонентов. Существующие ультразвуковые, акустические, оптические и гидрогеологические методы позволяют получать информацию о трещиноватости горных пород, однако они ориентированы либо на интегральную оценку трещинной зоны, либо на изучение поверхности стенки скважины. Задача определения водопроводимости отдельных трещин остаётся недостаточно проработанной. В связи с этим разработка ультразвукового метода характеристики отдельных трещин с целью определения типа их водопроводимости является актуальной научной задачей, имеющей значение для развития горной геофизики, гидрогеологии и инженерной геологии.

Целью работы является исследование особенностей изменения спектра ультразвуковой волны при её прохождении через трещины с различной величиной раскрытия и разработка на этой основе метода определения типа водопроводимости трещин в массиве горных пород.

Идея работы заключается в нахождении взаимосвязей параметров упругих волн и характеристик трещин, определяющих тип их водопроводимости, а также в разработке

оборудования для получения численных значений найденных параметров упругих волн в условиях неводозаполненных скважин.

Структурно диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложения, изложена на 137 страницах, содержит 78 рисунков, 10 таблиц, список использованных источников из 121 наименования.

Во введении автором обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель, идея и задачи исследования, приведены основные научные положения, выносимые на защиту, определены научная новизна и практическая значимость работы. Также представлены сведения о методах исследования, личном вкладе автора, апробации результатов и публикациях по теме диссертации.

В первой главе выполнен аналитический обзор современного состояния методов описания и исследования трещин в массивах горных пород, а также методов определения их водопроницаемости. Автором рассмотрены структурно-геологические особенности трещинных систем и зон повреждения массивов, теоретические и методологические основы фильтрации и переноса в трещиноватых средах, экспериментальные методы определения параметров трещиноватых пород, а также лабораторные и скважинные ультразвуковые методы исследования трещиноватости. В результате анализа показано, что фильтрационные и гидрогеологические свойства трещиноватых массивов в решающей степени определяются структурой и параметрами трещинной сети. При этом ключевую роль играют раскрытие, шероховатость и пространственная организация трещин. Автором обоснован вывод о том, что существующие методы исследования трещиноватости не обеспечивают в полной мере решение задачи определения типа водопроницаемости единичных трещин, что послужило основанием для постановки задач диссертационного исследования.

Во второй главе представлены результаты лабораторных исследований по выявлению связи между раскрытием трещины, шероховатостью её поверхности и параметрами проходящих через трещину ультразвуковых волн. Для решения данной задачи автором разработана лабораторная установка, позволяющая фиксировать две части одного образца и обеспечивать контролируемое изменение раскрытия трещины. Исследования выполнены на образцах гнейса с искусственно сформированной и естественной трещинами. В ходе экспериментов определялись параметры проходящей через водозаполненную трещину упругой волны, в том числе энергия первого вступления. Установлено, что энергия первого вступления продольной волны зависит от величины раскрытия трещины и шероховатости её поверхности. Полученные результаты позволили автору определить

условия, при которых происходит изменение типа водопроводимости трещины с диффузионного на гидравлический.

В третьей главе приведены результаты численного моделирования влияния единичной водозаполненной трещины на параметры упругой волны в ходе проведения ультразвукового каротажа. Автором рассмотрены особенности прохождения упругих волн через трещину, описана методика моделирования, граничные условия и результаты расчётов. Полученные данные использованы для подтверждения информативности выделенных в ходе лабораторных исследований параметров ультразвукового сигнала.

Четвёртая глава посвящена созданию скважинного акустического зонда и дополнительных технических устройств, необходимых для проведения ультразвуковых измерений в неводозаполненных скважинах. Автором рассмотрены состав и назначение зонда, акустические развязки, ультразвуковые преобразователи, а также система пневматического прижима преобразователей к стенке скважины. Особое внимание уделено обеспечению устойчивого ввода упругих колебаний в породный массив и регистрации сигнала после прохождения исследуемого участка. Разработанный зонд предназначен для проведения ультразвуковых измерений в неводозаполненных скважинах и позволяет получать параметры упругих волн, необходимые для определения типа водопроводимости трещин.

В пятой главе описаны результаты физического моделирования влияния единичной водозаполненной трещины на спектральные характеристики упругой волны. Для проверки работоспособности разработанного скважинного зонда автором создана физическая модель скважины и проведены лабораторные испытания с различными заполнителями трещин. В ходе исследований также подтверждено, что наличие водозаполненной трещины проявляется в изменении амплитудных и спектральных характеристик регистрируемого сигнала.

Шестая глава посвящена проведению полевых исследований трещиноватых зон в окрестности горной выработки. В главе приведено описание геологических условий участка расположения выработки, методики проведения исследований, использованного оборудования, диапазонов и состава регистрируемых параметров, а также результатов обработки полученных данных. Исходя из полученных результатов автором показано, что разработанный ультразвуковой каротажный аппаратный комплекс может применяться для выделения водозаполненных трещин и определения типа их водопроводимости в натуральных условиях. Полученные полевые результаты были сопоставлены с результатами опытных

нагнетаний и позволили определить тип водопроницаемости обнаруженных трещин, что подтверждает практическую применимость разработанного метода.

Результаты диссертационного исследования легли в основу предложенного автором алгоритма определения типа водопроницаемости трещин в массиве скальных пород на основе ультразвуковых измерений, включающего лабораторные и натурные исследования.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, её цель, задачи, научные положения, научную новизну, практическую значимость и основные результаты. Основные выводы, представленные в автореферате, соответствуют материалам диссертации.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций

Новизна проведённого автором исследования заключается в разработке метода определения типа водопроницаемости трещин в массиве скальных пород на основе ультразвуковых измерений, позволяющего перейти от общей характеристики трещиноватости к оценке водопроницаемости отдельных трещин.

Составляющими научной новизны являются:

1. определение порогового значения энергии первого вступления упругой волны, проходящей через водопроницающую трещину, при котором наблюдается переход типа водопроницаемости трещины от диффузионной к гидравлической;
2. установление факта влияния шероховатости поверхности трещины на величину граничного раскрытия, при котором происходит изменение типа водопроницаемости с диффузионно-проницаемой на гидравлически проницаемую;
3. обоснование перечня информативных характеристик упругой волны, получаемых при проведении ультразвукового каротажа в неводозаполненной скважине, по которым можно судить о наличии единичной водозаполненной трещины в массиве горных пород.

Полученные результаты соответствуют современному уровню развития ультразвуковых и акустических методов исследования горных пород. При этом работа развивает существующие подходы за счёт решения более специализированной задачи – определения типа водопроницаемости отдельных трещин, что имеет важное значение для повышения достоверности гидрогеологических и геофизических интерпретаций.

Практическая значимость полученных результатов диссертационной работы и рекомендации по их дальнейшему использованию

Практическая значимость диссертационной работы заключается в создании лабораторной установки, ультразвукового каротажного аппаратного комплекса и метода определения типа водопроводимости трещин в массиве скальных пород.

Результаты диссертационной работы целесообразно рекомендовать к использованию организациям, выполняющим инженерно-геофизические, гидрогеологические и геоэкологические исследования скальных массивов, в том числе при изучении участков, рассматриваемых для размещения подземных объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов и иных объектов. Практическое применение результатов возможно в ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», АО «Красноярская горно-геологическая компания», научных коллективах НИТУ МИСИС, ИГЕМ РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, ИГД СО РАН, а также в организациях, выполняющих и занимающихся развитием методов горной геофизики, ультразвукового контроля, геоакустики, гидрогеологического моделирования и исследования трещиноватых сред.

Следует также отметить, что результаты диссертационной работы в части разработанного алгоритма определения типа водопроводимости трещин в массиве скальных пород на основе ультразвуковых измерений приняты к использованию в ИБРАЭ РАН, являющимся научным руководителем работ по проекту создания ПГЗРО, что подтверждает их практическую значимость.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные и практические результаты диссертационной работы опубликованы в 6 научных работах, из них 4 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и входящих в международную систему цитирования Scopus.

Результаты работы докладывались и обсуждались на международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2023; 2024; 2025» в Москве, научно-технической конференции «Экологические аспекты горного и перерабатывающего производств» в Москве в октябре 2022 г., а также на конференции XXIV Школа молодых учёных ИБРАЭ РАН в Москве в 2025 г.

Замечания по диссертации

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Полевые исследования подтверждают работоспособность разработанного подхода, однако объём натурной апробации представляется ограниченным для более

широкого обобщения результатов. В работе приведена проверка метода в конкретных геологических и горнотехнических условиях. Желательно расширить полевую базу за счёт участков с различной литологией, разной степенью трещиноватости, разными гидрогеологическими условиями и различным состоянием стенок скважин.

2. Для внедрения метода в инженерно-геологическую и геофизическую практику важно регламентировать состояние стенок скважины, допустимые отклонения диаметра, требования к очистке, число повторных измерений на интервале, критерии отбраковки сигналов, требования к регистрации исходного и повторного сигнала после ОФР. Для дальнейшего использования методики разными исполнителями и организациями следует привести более формализованное описание этих процедур, что повысит воспроизводимость метода.

3. В работе основное внимание уделено неводозаполненным скважинам, что соответствует заявленной цели исследования. Вместе с тем какие ограничения адаптации разработанного метода к другим условиям скважинных исследований, включая случаи частичного обводнения ствола скважины, существуют?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, поскольку имеют преимущественно уточняющий и рекомендательный характер.

Заключение

Диссертационная работа Чумакова Андрея Александровича «Разработка метода определения типа водопроводимости трещин в массиве скальных пород на основе ультразвуковых измерений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему.

В работе решена научная задача, имеющая значение для развития горной геофизики, инженерной геологии и гидрогеологических исследований трещиноватых скальных массивов. Автором разработан метод определения типа водопроводимости трещин в массиве скальных пород на основе ультразвуковых измерений, создано необходимое лабораторное и скважинное оборудование, обоснованы информативные параметры ультразвукового сигнала и предложены критерии выделения водозаполненных трещин.

Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Предложенные автором решения аргументированы результатами лабораторных экспериментов, численного и физического моделирования, а также полевых исследований.

По актуальности, научной новизне, практической значимости, достоверности полученных результатов и уровню выполненных исследований диссертационная работа

Чумакова Андрея Александровича соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в НИТУ МИСИС, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Чумаков Андрей Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Отзыв рассмотрен и обсужден на заседании лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН 15 мая 2026 г., протокол № 3, и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Татаринов Виктор Николаевич
доктор физико-математических наук
член-корреспондент РАН
заместитель директора по науке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизического центра Российской академии наук
Адрес: 119296, г. Москва, ул. Молодёжная, д. 3
E-mail: v.tatarinov@gcras.ru
Тел.: +7 (495) 930-05-46

 — Татаринов Виктор Николаевич

Подпись Татаринова Виктора Николаевича заверяю.

Главный специалист по кадрам ГЦ РАН

В.П. Дасаева

«26» мая 2026 г.

