

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию МУБАССАРОВОЙ Виргинии Анатольевны
«Влияние электромагнитных полей на скорость деформации и дефектообразование в
нагруженных образцах горных пород» на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых»

Диссертация В.А. Мубассаровой посвящена исследованию влияния
электромагнитных полей на образцы горных пород, находящиеся в напряженном
состоянии. Объектом исследования являются нагруженные образцы горных пород.
Предметом исследования являются данные по скорости деформации и
дефектообразованию, полученные при воздействии электромагнитными полями на объект
исследования.

АКТУАЛЬНОСТЬ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.

Известно, что перед землетрясением массив горной породы находится в состоянии, близком к неустойчивому равновесию. В этом случае даже при небольших по интенсивности вариациях напряжения, обусловленных различными внешними факторами, могут возникать значительные деформационные изменения (сейсмические события). В качестве такого внешнего фактора может выступать электромагнитное воздействие, что подтверждается известными экспериментами с МГД генераторами на Гармском и Бишкекском полигонах, которые приводили к изменению режима сейсмичности в них. Проведение модельных экспериментов с образцами горной породы является важным элементом для выяснения природы данных эффектов. Поэтому диссертация В.А. Мубассаровой, которая посвящена проведению экспериментов по воздействию электрических и магнитных полей на нагруженные образцы мрамора и гранита безусловно являются актуальной. Подобные эксперименты проводились и ранее, например, на научной станции РАН в г. Бишкеке, но только в настоящее время появились высокочувствительные датчики измерения деформации и акустической эмиссии, благодаря которым появилась возможность регистрировать достаточно слабые изменения в образцах породы. Чему собственно и посвящена данная диссертационная работа.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ.

Обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается корректностью постановки задач на основе современных фундаментальных представлений о природе деформационных изменений происходящих в горной породе при напряжении. В частности при рассмотрении механизмов повышения скорости деформации при нагружении образца горной породы используются известные методы теории дислокаций и теории упругости. Исследование влияния внешнего электромагнитного поля на локализацию деформации образцов горных пород производится на основе теории электрических и магнитных полей. Регистрация и анализ акустоэмиссионных сигналов производится на основе теории распространения волн в твердых средах и теории колебаний.

ДОСТОВЕРНОСТЬ И НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается воспроизводимостью результатов при различных сериях экспериментов, в том числе на разных стенах в нескольких научных организациях (НС РАН и ИМСС УрО РАН). Достоверность обработки и интерпретации материалов экспериментов обеспечивается статистически представительным объемом данных и применением средств измерения деформаций, прошедших тестовые калибровочные испытания. Достоверность выводов по работе в целом подтверждается согласованностью результатов экспериментальных и теоретических исследований, соответствием с результатами с результатами других работ по смежной тематике.

Общая оценка научной новизны основных результатов рассматриваемой диссертации позволяет констатировать, что:

1. Впервые детально рассмотрено изменение скоростей продольной и поперечной деформаций нагруженных образцов мрамора при воздействии скрещенных электрического и магнитного полей. Установлено, что при деформировании образцов мрамора в режиме одноосного сжатия с постоянной скоростью роста нагрузки происходит увеличение скорости продольной деформации под воздействием электрического и магнитного полей, направленных перпендикулярно друг другу и оси сжатия, которое в большинстве случаев происходит синхронно с приростом активности акустической эмиссии.
2. Впервые выявлено пространственное перераспределение очагов акустической эмиссии при воздействии импульсов электрического поля на образцы гранита, испытываемые на одноосное сжатие при постоянной нагрузке.

3. Впервые обнаружены случаи многократного возрастания активности акустической эмиссии при воздействии электромагнитных полей на образцы мрамора и гранита в условиях одноосного сжатия, причем для водонасыщенных образцов мрамора вариации скорости деформации и активности акустической эмиссии имеют характер резких всплесков.

ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ ПОЛУЧЕННЫХ АВТОРОМ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Основная практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследований могут быть использованы в прикладных задачах неразрушающего контроля изделий и конструкций из диэлектрических материалов – мраморов и гранитов. Так же важно, что результаты исследования воздействия электрического и магнитного полей на нагруженные образцы горной породы, выражющиеся в увеличении скорости деформации и активности акустической эмиссии, могут быть использованы при разработке моделей систем оповещения и предупреждения природных и техногенных катастроф.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ, ЕЕ ЗАВЕРШЕННОСТЬ.

Представленная диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 267 наименований. В работе содержится 202 страницы текста, 111 рисунков, 28 таблиц.

Первая глава диссертации посвящена анализу состояния вопроса в области исследований влияния электромагнитных полей на процесс разрушения геосред. Глава носит в основном теоретический и обзорный характер. В первом разделе изложены наиболее общие, концептуальные представления о триггерных эффектах в контексте проблемы внешних воздействий на сейсмичность. Показано, что перед землетрясением массив горной породы находится в состоянии, близком к неустойчивому равновесию. Особенностью такого состояния является значительное изменение деформации при небольших вариациях напряжения, которые могут возбуждаться при воздействии внешних факторов. Таким образом, возникает принципиальная возможность реализации триггерных эффектов, заключающихся в переходе от одного метастабильного состояния к другому под влиянием внешних воздействий даже небольшой интенсивности. Во втором разделе рассмотрены результаты исследований в области влияния электромагнитных полей на сейсмический процесс. Особое внимание уделено результатам исследований сейсмичности при зондированиях земной коры мощными источниками тока – магнитогидродинамическими генераторами и электроимпульсной генераторной установкой. В завершение этого раздела рассматриваются подходы к определению

механизмов влияния электроздондирований на сейсмичность. Третий раздел данной главы посвящен обзору результатов триггерного влияния электромагнитных полей в лабораторных экспериментах на образцах геоматериалов с помощью метода акустической эмиссии. В заключительной части этого раздела рассмотрены физические основы реакции неупругой деформации геоматериалов на воздействие электромагнитных полей. Рассматривается электропластический и магнитопластический эффекты. В выводах по первой главе обосновывается актуальность и научная значимость экспериментальных исследований, проведенных по теме диссертации.

Во второй главе диссертации рассматривается методика проведения экспериментальных исследований. В первом разделе данной главы описывается общая методика постановки экспериментов для исследования электромагнитных эффектов на образцах горных пород. Показано, что в качестве испытательных машин в условиях одноосного сжатия наиболее целесообразно использовать рычажную установку, которая обеспечивает возможность проведения эксперимента в двух режимах: при нагрузке, нарастающей с заданной скоростью, и при неизменной нагрузке. Кроме этого, в экспериментах, проводимых в ИМСС УрО РАН, использовался гидравлический пресс ОМА. Второй раздел подробно описывает методические аспекты реализации воздействия взаимно перпендикулярными электрическим и магнитным полями, включая описание источников этих полей, их параметры и схему реализации воздействия в течение эксперимента. В третьем разделе представлена методика измерения деформаций и сжимающей нагрузки с детальным описанием принципа работы используемых индукционных датчиков и аппаратурного оснащения. Большое внимание уделено оценке точности измерений нагрузки и деформации, а также описанию принципов калибровки датчиков. В четвертом разделе представлена методика регистрации сигналов акустической эмиссии в одноканальном и многоканальном режимах, а также алгоритм выделения реакции геоматериала на электромагнитное воздействие, определяемой как отклик активности акустической эмиссии. Приведена методика вычитания линейного тренда из активности эмиссии и оценки порога обнаружения акустоэмиссионного отклика на воздействие. В разделе пять данной главы приведено пояснение к выбору исследуемых материалов – мрамора и гранита, а также их формы и размеров.

В третьей главе диссертации рассматриваются результаты экспериментов по измерению скорости деформации и активности акустической эмиссии при воздействии взаимоперпендикулярными электрическим и магнитным полями в сравнении результатами без такого воздействия. В первом разделе представлены результаты экспериментов по одноосному сжатию образцов мрамора без воздействия электрического и магнитного

полей. Проведен анализ скорости продольной деформации и показано, что в испытаниях без воздействия, ее усредненное за час изменение не превышает 10%, эта величина была определена как пороговый уровень обнаружения реакции материала на электромагнитное воздействие в скорости продольной деформации. Во втором разделе представлены результаты экспериментов по одноосному сжатию образцов мрамора при сеансовом (кратковременном) воздействии взаимоперпендикулярными электрическим и магнитным полями. В ходе экспериментов обнаружены превышения порогового уровня значений скорости продольной деформации, тем самым установлено влияние комбинированного воздействия электрического и магнитного полей на скорость деформации образцов мрамора. В области напряжений ниже 0.7 от уровня разрушения приросты скорости деформации были отмечены в половине случаев, а при более высоких значениях напряжения – в большинстве сеансов с электромагнитными воздействиями. Величина изменений скоростей деформации, являющихся реакцией материала на воздействие, варьировалась от минимальных значений до нескольких порядков. Отклики активности акустической эмиссии при напряжениях ниже 0.7 от уровня разрушения были зарегистрированы в 73% случаев и имели небольшую амплитуду прироста. При более высоких сжимающих напряжениях процент сеансов с откликами эмиссии возрастал до 85%, причем амплитуда откликов становилась в разы и десятки раз больше. В разделе три данной главы произведено обсуждение результатов экспериментов. Установлено, что акустическая эмиссия оказалась более чувствительным параметром, чем деформация и ее скорости, т.к. приросты активности зарегистрированы в одиннадцати сеансах из двенадцати (85%), против 69%, в которых наблюдались вариации скорости деформации. Для подтверждения триггерной природы электромагнитного воздействия были рассмотрены результаты экспериментов в условиях непрекращающегося в течение всего времени эксперимента воздействия взаимоперпендикулярными электрическим и магнитным полями. В данном случае было установлено существенное отличие и от экспериментов без воздействия и от испытаний с сеансовыми электромагнитными воздействиями. В них практически отсутствовали значительные приращения деформации, а приросты активности акустической эмиссии имели меньшую амплитуду, чем в случае сеансовых воздействий.

В четвертой главе диссертации рассматриваются результаты экспериментов по изучению особенностей реакции различных образцов горной породы на воздействия взаимоперпендикулярными электрическим и магнитным полями. В первом разделе представлены результаты экспериментов, проведенных на водонасыщенных образцах мрамора для подтверждения гипотезы, что в земной коре присутствие воды в поро-

трещинном пространстве повышает чувствительность среды к воздействию электрического и магнитного полей, в том числе при зондированиях с применением мощных источников тока. Для экспериментов использовались образцы мрамора из той же партии, что и сухие образцы, рассмотренные в главе три. После насыщения водой боковые поверхности образцов были обмазаны силиконовой смазкой для предотвращения испарения влаги. Методика испытания водонасыщенных образцов с воздействием электрического и магнитного полей не отличалось от использованной в третьей главе. Было установлено, что для водонасыщенных образцов мрамора, наряду с проявлениями эффекта Ребиндера – уменьшением предела прочности и модуля упругости, выявлены увеличения скоростей продольной и поперечных деформаций, а также активности акустической эмиссии. Амплитуды приростов скоростей деформации и активности эмиссии достигали десятков и сотен раз и наблюдались при относительных значениях напряжений 0.5 от разрушения, что ниже, чем для неводонасыщенных образцов. В более чем половине сеансов изменения скоростей деформаций происходили одновременно в продольном и поперечном направлении. Во втором разделе данной главы представлены результаты экспериментов, проведенных на сухих образцах мрамора, испытанных в режиме ступенчатого роста нагрузки. Установлено, что в сеансах электрического и магнитного полей в половине случаев происходили изменения скорости продольной деформации в среднем в десятки раз. В ряде сеансов одновременно изменялись скорости продольной и поперечных деформаций. Отклики активности акустической эмиссии на воздействие электромагнитных полей имели небольшую амплитуду и длительность и наблюдались в небольшом числе сеансов. В третьем разделе представлены результаты экспериментов, проведенных в ИМСС УрО РАН, на образцах гранита. В данной серии экспериментов применялось воздействие только электрическим полем, а регистрация акустической эмиссии производилась в 6-канальном режиме, что позволяло производить локацию источников акустоэмиссионных сигналов. Было установлено, что при нагрузках выше уровня 0.4 от разрушения возникают значительные отклики активности акустической эмиссии на воздействие импульсов электрического поля напряженностью до 1 кВ/м в подавляющем большинстве сеансов. Активность эмиссии, инициируемая электровоздействиями, возрастила в 2-40 раз по сравнению с трехкратным среднеквадратическим отклонением ее активности до воздействия. Показано, что кумулятивные распределения сигналов акустической эмиссии по условным (электрическим) энергиям описываются линейной зависимостью, аналогичной закону Гутенберга-Рихтера в сейсмологии. Локация акустоэмиссионных источников показала, что в период пригрузки и до воздействия они диффузно рассеяны по всему объему образца. При подаче электрических импульсов число

событий акустической эмиссии возрастает, и большая доля источников концентрируется в некоторой области, которая, по мнению автора, является зоной зарождения магистральной трещины.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Автореферат диссертации соответствует основному содержанию диссертационной работы и положениям, выносимым на защиту.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. При проведении лабораторных экспериментов необходимым условием является точность измерений, поэтому крайне важно использовать измерительное оборудование, прошедшее стендовые измерения основных характеристик и калибровочные испытания непосредственно в период проведения экспериментов. В экспериментах, представленных в диссертационной работе, измерялись продольная и две поперечные компоненты деформации образцов при помощи датчиков LVDT, и акустическая эмиссия при помощи датчиков SE-2MEG-P производства компании DECI, США. Кроме этого в экспериментах в ИМСС УрО РАН для измерения акустической эмиссии и локации ее источников была использована диагностическая система Amsy-5 производства компании Vallen System, Германия. Если методика и результаты калибровки датчиков LVDT в диссертации достаточно подробно описаны, то по поводу калибровки датчиков акустической эмиссии информация в работе не приведена, так же не приведено значение их чувствительности. Соответственно возникает вопрос, насколько можно доверять таким акустоэмиссионным измерениям, даже если основной величиной при регистрации акустической эмиссии является ее активность, т.е. количество зарегистрированных импульсов в единицу времени?

2. Наблюдается определенная небрежность в подготовке текста диссертационной работы и иллюстративного материала. В частности в представленном тексте диссертации на стр. 43 одно предложение выделено голубым цветом. Значения и подписи осей графиков выполнены в сильно различающихся масштабах, например рис. 1.11 имеет очень мелкий, трудно читаемый текст, а следующий рисунок 1.12 наоборот имеет очень крупный масштаб. В первой главе в названии пунктов используется глубина вложения до 4 цифр, например, есть пункт с номером 1.2.2.1, что затрудняет ознакомление с материалом. В тексте диссертационной работы после главы 4 приведен отдельный раздел «Обсуждение результатов экспериментов», в структуре автореферата данный раздел отсутствует.

Перечисленные недостатки не снижают общей научной значимости оппонируемой диссертационной работы, так как не опровергают основные выводы и заключения, сформулированные на основании ее результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Мубассаровой В. А. является законченным исследованием по актуальной тематике, обладающим несомненной научной и практической значимостью. Все основные результаты научно-квалификационной работы получены ее автором лично. На основании проведенных соискателем экспериментальных и теоретических исследований в диссертации разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной задачи по оценке комплексного воздействия электрического и магнитного полей на нагруженный образец горной породы, вносящее вклад в развитие геофизических методов исследования природных сред. Научные результаты представлены в 11 статьях в российских и зарубежных рецензируемых журналах, 5 из которых входят в перечень ВАК РФ для публикации основных результатов диссертационных работ.

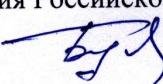
Таким образом, диссертационная работа «Влияние электромагнитных полей на скорость деформации и дефектообразование в нагруженных образцах горных пород», соответствует критериям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней от 24 сентября 2013 года № 842, а соискатель, Мубассарова Виргиния Анатольевна, достойна присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент:

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук 
31 января 2019 г.

Адрес: 684034, Камчатский край, Углоземский район, с. Паратунка, ул.Мирная, д. 7,
тел. 8 (41531) 33193, e-mail: matr@yandex.ru

Подпись Ю.В. Марапульца удостоверяю.

Ио ученого секретаря Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук,
кандидат технических наук 

Булгакова Валентина Борисовна