

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН ОИВТ РАН
академик

 О.Ф.Петров

«28» января 2019 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Мубассаровой Виргинии Анатольевны

«Влияние электромагнитных полей на скорость деформации и дефектообразование в нагруженных образцах горных пород», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика. Геофизические методы поиска полезных ископаемых»

Диссертация посвящена экспериментальному исследованию триггерного воздействия электромагнитных импульсов различной формы на поведение образцов горных пород, динамику трещинообразования и их разрушение. Выполненные исследования позволили выявить новые закономерности деформирования образцов в условиях одноосного сжатия благодаря высокоточному непрерывному измерению всех трех размеров, что является одной из отличительных черт рассматриваемой работы. Эти особенности поведения образцов увязаны с уровнем нагрузки, типом нагружения, интенсивностью акустической эмиссии, перераспределением в объеме образца очагов акустической эмиссии, что позволяет создать общую картину процессов, сопровождающих нагружение образцов вплоть до стадии потери ими механической устойчивости.

Объем и структура работы.

Диссертация изложена на 202 страницах, включает в себя 111 рисунков, 28 таблиц, 267 наименований литературных ссылок. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

Глава I посвящена обзору состояния исследований в области триггерных эффектов в геосистемах. Проанализированы имеющиеся литературные данные как по натурным (полевым) наблюдениям, так и полученные в лабораторных условиях. Приводится также краткий обзор теоретических разработок, в которых геосреда описывается как нелинейная диссипативная система, находящаяся при определенных условиях в состоянии, близком к

критическому, выйти из которого она может в том числе в виде режима с обострением. Именно в этом состоянии и могут проявляться триггерные эффекты.

Автор описывает имеющиеся данные, полученные в полевых экспериментах по влиянию электромагнитных полей на сейсмический режим. Таких работ к настоящему времени накоплено достаточно много, и все они нашли свое отражение в этом анализе. Следующий раздел этой главы посвящен обзору и обобщению лабораторных экспериментов по триггерному воздействию внешних электромагнитных полей на процесс трещинообразования в образцах горных пород. Здесь же описаны известные из литературы физические модели, которые рассматривались различными авторами для объяснения наблюдаемых явлений. Здесь следует подчеркнуть, что общепринятой модели такого типа в настоящее время нет, что подчеркивает целесообразность постановки дополнительных экспериментов в этом направлении. Выполненный автором обзор литературы по проблеме свидетельствует о хорошем знании современного положения дела в этой области.

В главе II описана методика эксперимента. Автор анализирует методические особенности различных экспериментальных режимов и обосновывает целесообразность реализации как непрерывных режимов медленного нагружения, так и режимов с квазистационарной стадией («с полочкой»). Детально описаны схемы организации воздействий электрическими и комбинированными (скрещенными электрическим и магнитным) полями, методики измерения деформаций, приложенной нагрузки и регистрации акустических сигналов. Анализ измерительных систем выполнен тщательно и оценки точностей вполне обоснованы. В качестве объектов исследования выбраны мрамор и гранит. Эти два материала характеризуются достаточно разными физико-механическими свойствами и типами разрушения, и вместе с тем они изучались рядом авторов, что делает возможным провести сравнение получаемых результатов с другими данными.

В главе III приведены полученные результаты экспериментов на мраморе естественной («комнатной») влажности в режиме одноосного медленного нагружения. Эти эксперименты позволили выявить специфику поведения и характеристик образца при последующих нагружениях в условиях повторяющихся циклов электрического и/или комбинированного воздействия. При этом автор анализировала не только поведение компонент деформаций, но и их производных, что является элементом новизны в данной работе. Эксперименты были проведены на трех образцах, что давало основание делать суждения о воспроизводимости и представительности полученных результатов. Одной из отличительных особенностей данной диссертационной работы является комплексный анализ параметров деформации, акустической эмиссии и параметра b -value. По результатам

такого анализа выявлено разбиение всей области нагружения на две подобласти с границей $k^* \sim 0,7$. Именно к этой границе приурочена, по-видимому, перестройка структуры трещин и дефектов и начало развития процесса неустойчивости.

Глава IV содержит 3 раздела. В первом из них приведены результаты эксперимента на влагонасыщенных образцах мрамора и показано, что такие образцы более чувствительны к электровоздействию; эффекты, выявленные на сухих образцах, проявляются на влагонасыщенных еще более выражено. Второй раздел содержит результаты экспериментов на образцах мрамора естественной влажности, но выполненных в условиях нагружения с этапами квазистатического равновесия (КСР), т.е. в режиме ступенчатого нагружения. В целом, по приведенным графикам можно сделать вывод, что к каким-либо принципиальным особенностям реализации квазистационарного режима не приводит по сравнению с режимом непрерывного медленного нагружения. Наконец, третий раздел посвящен результатам эксперимента на установке ОМА на образцах гранита. Отличительной особенностью этих экспериментов было проведение локации источников акустических сигналов, которая позволила выявить явление кластеризации трещин в области формирующегося разрыва в процессе электрического воздействия. На изменения характера трещинообразования указывает также и изменение значения b -value во время электровоздействия. Выявить эти эффекты удалось благодаря использованию высокочувствительной системы регистрации Amsy-5.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. Полученные экспериментальные данные различных авторов не обладают той исчерпывающей полнотой, которая давала бы возможность с определенностью формулировать физические механизмы, которые лежат в основе эффектов, наблюдаемых как в натурных, так и в лабораторных условиях. Без решения этой проблемы будет трудно продвинуться в вопросе практической реализации выдвигаемой идея искусственного воздействия на сейсмический режим.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые изучено изменение скоростей компонент деформации нагруженных образцов при комбинированном воздействии электрического и магнитного полей. Показано, что при непрерывном медленном нагружении в значительном числе случаев при внешнем воздействии компоненты деформации изменяются синхронно с откликами активности акустической эмиссии. Впервые выявлено пространственное перераспределение очагов акустической эмиссии при воздействии импульсов электрического поля на образцы гранита, испытываемые на одноосное сжатие при ступенчатом режиме нагружения.

Научная значимость работы. Автору удалось показать, что при деформировании образцов мрамора (как «сухих», так и влагонасыщенных) в режиме медленного одноосного сжатия происходит увеличение скорости продольной деформации под комбинированным воздействием электрического и магнитного полей и это увеличение скорости в большинстве случаев происходит синхронно с приростом активности акустической эмиссии. Важным в научном отношении результатом является обнаружение заметного изменения коэффициента (b -value) графиков энергетического распределения сигналов АЭ для образцов гранита, находящихся в состоянии одноосного сжатия, при нагрузках, близких к разрушению, вызванному воздействием электрического поля.

Практическая значимость работы. Полученные в работе результаты, несомненно, будут способствовать поиску подходов к практической реализации выдвигаемой идеи искусственного воздействия на сейсмический режим, а также интерпретации результатов электромагнитного и сейсмического мониторинга земной коры как для исследований геодинамических процессов, так и для задач разведочной геофизики.

Апробация работы. Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, были представлены на более, чем 10 международных и всероссийских конференциях и симпозиумах, список которых приведен в диссертации и автореферате.

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 11 статьях в рецензируемых научных журналах, из них 5 – в изданиях, рекомендуемых ВАК и проиндексированных в реферативных базах Web of Science и SCOPUS, и 6 – в научных журналах, индексируемых РИНЦ.

Вместе с тем по диссертационной работе В.А.Мубассаровой можно сделать следующие **замечания:**

1. Было бы более информативно хотя бы некоторые экспериментальные данные, полученные для трех образцов совместить на одном графике, чтобы можно было составить представление об уровне воспроизводимости результатов для одного и того же материала. Конечно же, как показывают различные экспериментальные данные, образцы горных пород казалось бы очень близкого состава и структуры проявляют себя в области потери устойчивости и начала разрушения довольно поразному – и этот факт находит свое теоретическое объяснение. И тем не менее, наглядная демонстрация того, насколько полученные для трех «одинаковых» образцов результаты согласуются друг с другом была бы полезна.

2. Выбранные для регистрации датчики акустической эмиссии SE-2MEG-P имеют частотный диапазон 200 кГц - 2 МГц. Этот частотный диапазон представляется избыточно высокочастотным и дефицитным в части низких частот (от 20 до 200 кГц), поскольку акустическая эмиссия, сопровождающая образование трещин миллиметрового и субмиллиметрового масштаба, как нам представляется, захватывает преимущественно этот диапазон.
3. Поведение компонент деформации (продольной и двух поперечных) как правило не вписывается в ожидаемый упрощенный сценарий: сжатие (укорочение) образца сопровождается увеличением его поперечных размеров. Ход соответствующих кривых гораздо более сложный. В частности, две поперечные компоненты имеют зачастую разные производные. Очень показателен в этом плане график на рис.3.2(а), на котором можно увидеть самые различные сочетания характера изменения трех компонент. Хотелось бы, чтобы автор привел экспериментальные подтверждения достоверности соответствующих измерений и отсутствия каких-то систематических ошибок в этом плане. В частности, было бы полезным провести (или привести данные, если такие измерения проводились) измерения поперечных компонент деформации на двух противоположных боковых гранях образца. И в любом случае было бы интересно и уместно привести соображения автора о причинах такого поведения поперечных компонент деформации.
4. В начале раздела 4.2. автор сформулировал как одну из частных задач экспериментальную проверку эффекта Кайзера. Но из последующего текста ответа на этот вопрос извлечь не удалось.
5. Было бы целесообразным в заключении отразить вопрос, в какой мере полученные автором результаты могут способствовать разработке *количественных* моделей триггерного воздействия электромагнитных полей на протекание деформационных процессов в земной коре, в соответствии со сформулированной в самом начале текста диссертации общей задачей исследований такого рода.
6. На стр. 5 автор указывает, что в большинстве более ранних работ не представлены данные об увеличении полной деформации $\delta\epsilon$ в инициированном электромагнитными полями процессе переходов между метастабильными состояниями. Этот постулат не вполне корректен. Во-первых, вертикальная компонента деформации регистрировалась во многих работах. Во-вторых, данные о полной деформации самим автором приводятся лишь однажды на рис. 3.6 и относятся они к ситуации монотонного нагружения без электромагнитного воздействия. В-третьих, даже на этом графике мы видим преимущественно

уменьшение объемной деформации за исключением одного фрагмента в момент времени около $14 \cdot 10^4$ с.

7. На стр. 160 написано: «Изменения компонент деформаций ϵ_x и ϵ_y , а также их скоростей начались при нагрузке 28 кН ($k^*=0.24$) (таблица 4.9, рисунок 4.19).» Вместе с тем на рис.4.19 приведены кривые лишь для компоненты ϵ_x и совсем для других значений k^* .
8. Имеются и такие мелкие шероховатости как два рисунка под одним и тем же номером 4.11.

Отмеченные выше недостатки не снижают общей высокой оценки работы.

Тема диссертации соответствует указанной научной специальности 25.00.10 – «Геофизика. Геофизические методы поиска полезных ископаемых». Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Публикации также отражают основное содержание диссертации.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Мубассарова Виргиния Анатольевна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика. Геофизические методы поиска полезных ископаемых».

Диссертация была обсуждена и одобрена на научном семинаре ФГБУН Объединенного института высоких температур РАН (протокол № 26 от 19 декабря 2018 г.).

ОТЗЫВ СОСТАВИЛИ

Зав. лабораторией импульсной энергетики
в геофизике
кандидат технических наук

В.А.Новиков

Старший научный сотрудник
доктор технических наук

В.А.Зейгарник

Подписи Новикова Виктора Александровича и Зейгарника Владимира Альбертовича
заверяю

Ученый секретарь ОИВТ РАН
доктор-физ.-мат. наук, профессор
123557 Москва, Ижорская улица, 13, стр.2

Р.Х.Амиров

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт
высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)
123557 Москва, Ижорская улица, 13, стр.2 +7(495)4858345 office@ihed.ras.ru