

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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 поисков  
полезных ископаемых

Диссертационная работа В. А. Мубассаровой посвящена исследованию триггерных эффектов воздействия электромагнитных (ЭМ) полей на деформирование образцов горных пород.

Изучение катастрофических явлений, к которым относятся крупные землетрясения, является одним из приоритетов в области наук о Земле. Принятие решений, направленных на снижение ущерба от природных катастроф, требует достаточной ясности в понимании их физических механизмов. В этой связи исключительно важным является понимание того, как процессы зарождения неустойчивости в горном массиве инициируются экзогенными воздействиями. Понимание этой проблемы позволит заметно продвинуться в направлении снижения ущерба от крупных природных катастроф. Кроме того является необходимым разработка количественных моделей триггерного воздействия ЭМ полей на протекание деформационных процессов в земной коре. Всё выше представленное обуславливает актуальность настоящей диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 266 наименований и содержит 203 страницы текста, 111 рисунков, и 28 таблиц. Объем диссертации слегка завышен за счет представления общеизвестной основополагающей информации, которая не погружает в конкретику работы.

**Во введении** обсуждаются вопросы актуальности работы, цели и задачи, новизна исследования, личный вклад автора. Представлено три защищаемых положения, которые удовлетворяют требованиям ВАК.

**В первой главе диссертации** представлен подробный аналитический обзор методов, подходов и моделей, используемых при рассмотрении задач отклика среды на ЭМ воздействие. Представлены натурные эксперименты по электроразведанию и его влиянию на сейсмичность полигона исследования. Большое внимание уделено физическим основам электропластического и магнитопластического эффектов. На основе выполненного обзора делается вывод, что установление закономерностей влияния электромагнитных полей на

скорость деформации и дефектообразование в нагруженных образцах мрамора и гранита является актуальным.

**Вторая глава** посвящена методике проведения экспериментов. Сначала представлена общая информация по постановке экспериментов по моделированию ЭМ воздействия. Обосновано проведение экспериментов на рычажном прессе.

Далее подробно описаны все измерительные каналы и используемые датчики, а также модельные источники ЭМ полей. Представлена методика измерений компонент деформаций и сжимающей нагрузки, а также методика регистрации акустической эмиссии (АЭ) и выделения акустоэмиссионных откликов. Большое внимание уделено выбору модельных материалов, их описанию и представлению их характеристик.

**Третья и четвертая главы** являются, пожалуй, ключевыми с точки зрения получения дополнительных сведений о закономерностях влияния электромагнитных полей на скорость деформации и активность дефектообразования. **В третьей главе** подробно описаны вначале результаты испытаний образцов без ЭМ воздействия, а затем еще подробнее - результаты экспериментов с воздействием при непрерывном нагружении. При анализе закономерностей изменения скоростей деформирования рассматриваются их вариации только во время проведения сеансов электромагнитного воздействия. Представленные результаты показывают существенную изменчивость эффекта изменения скорости: может наблюдаться как увеличение скорости, так и её постоянство, и даже снижение. При анализе наблюдаемых изменений скоростей деформаций определяется только доля реализаций, при которых наблюдается рост скорости. Обращает на себя внимание тот факт, что деформация образца по разным компонентам не согласована, при этом коэффициент Пуассона, определенный автором, существенно отличен от нуля.

Также в ходе экспериментов определяется акустоэмиссионный отклик на ЭМ воздействие и его задержка по отношению к началу воздействия. Наиболее устойчиво эффект ЭМ воздействия регистрируется при напряжениях выше 0.7 величины предела прочности. При этом акустоэмиссионный отклик зачастую не совпадает по времени с изменением скорости деформации.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментов, направленных на верификацию и уточнение результатов, представленных в Зей главе. Описаны испытания с водонасыщенными образцами мрамора с непрерывным нагружением, а также специальная серия экспериментов на установке в лаборатории физических основ прочности ИМСС УрО РАН со ступенчатым нагружением. В ходе испытаний показано, что предел прочности водонасыщенных

образцов мрамора на 40% ниже значения для сухих образцов, а модуль Юнга в два раза меньше. Автором установлено, что для водонасыщенного образца прирост скорости продольной деформации наблюдается в 71% случаев при напряжениях более 0.5 величины предела прочности. Сопоставляя результаты автора, представленные в 3ей и 4ой главах, можно отметить, что доля реализаций, в которых выявлены изменения скоростей деформаций, наиболее высока именно в случае водонасыщенных образцов.

Также в 4ой главе представлены результаты испытаний с применением многоканальной системы регистрации АЭ Vallen Amsy-5, что позволило лоцировать импульсы АЭ. Результаты локации показывают, что в период ступенчатой нагрузки источники распределены диффузно во всём объеме образца, в то время как при ЭМ воздействии большая боля источников концентрируется в некоторой локальной области, которая является зоной зарождения магистральной трещины. Кроме того, анализ распределений акустических импульсов по энергиям во время сеансов ЭМ воздействия показал, что всплеск активности АЭ сопровождается снижением  $b$ -value. Если при нагрузках ниже 0.9 величины предела прочности относительное изменение  $b$ -value не превышает 0.25, то при напряжениях более 0.9 величины предела прочности  $b$ -value может измениться в 2 раза.

**В качестве достоинства диссертационного исследования** следует отметить проведение большого количества экспериментов с ЭМ воздействием и отдельно исследования по пространственному перераспределению очагов АЭ при воздействии импульсов. Особого внимания заслуживает выполненный аналитический обзор по теме исследования.

**В ходе ознакомления с диссертацией у оппонента возник ряд замечаний и вопросов:**

1. В разделе 2.1 (стр.71) утверждается, что триггерные эффекты могут проявляться в стадии нелинейного деформирования вблизи порога устойчивости, и именно этот участок интересует автора. Однако в диссертации огромное внимание уделено стадии линейного деформирования образцов. Какие научные предпосылки легли в основу выявления триггерного эффекта именно на линейной стадии деформирования?
2. При определении коэффициентов преобразования датчиков возникает вопрос точности измерений и получаемых величин. Так, на рис. 2.15 коэффициенты прямой аппроксимации определяются с точностью до 5ого знака после запятой, коэффициент преобразования датчика MHR010 (ось OY) составляет 0.90992 В/мм, но для канала измерения коэффициент преобразования уже определяется как  $k_{\gamma}=1.1$  мкм/В.

3. При ознакомлении с результатами деформационных измерений возникает вопрос согласованности деформаций по разным компонентам. Так, могут наблюдаться существенные скачки по одной компоненте (которые автором определяются именно как особенности процесса деформирования), при этом другие компоненты остаются неизменными. Кроме того, на рис.3.2. показано, что при сжатии образца по оси OZ, изменения компонент деформаций  $\varepsilon_y$  и  $\varepsilon_x$  имеют противоположные знаки ( $\varepsilon_y$  – увеличивается,  $\varepsilon_x$  – уменьшается).

5. При выявлении эффекта ЭМ воздействия, по мнению автора, изменения должны наблюдаться синхронно на трех компонентах деформации, однако автором представлены примеры с изменением одной какой-либо компоненты и/или несинхронные изменения нескольких компонент. Является ли это погрешностью измерений или это, например, избирательность эффекта ЭМ воздействия?

6. Все эффекты ЭМ воздействия описываются в весьма коротком интервале времени, те или иные изменения скоростей деформаций и активности АЭ выявляются только во время сеанса воздействия. Отсутствует анализ, имеются ли такие же вариации скоростей деформаций на участках без воздействия, при этом, например, на рис.3.25в, наблюдаются 4 одинаковых скачка скорости продольной деформации. В этой связи, на взгляд оппонента, необходим более серьезный статистический анализ выявленных автором триггерных эффектов и анализ наблюдаемых времен их задержки. Кроме того, необходимо выполнить оценку вероятности того, что тот или иной скачок скорости и/или активности АЭ не является случайным.

7. Бросается в глаза некоторая небрежность в оформлении диссертации. Например, рисунки представлены черно-белые, а в подписях они "цветные", использование английского в обозначениях на рисунках, несогласованность предложений (например, последнее предложение главы 1).

Подводя итог можно сказать, что диссертационная работа В.А. Мубассаровой является законченным исследованием, оформленным в соответствии с требованием ВАК. Работа выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит попытку решения задачи, имеющей существенное значение для геофизики, - выявление закономерностей триггерных эффектов при ЭМ воздействии на образцы горных пород, что позволит продвинуться в направлении контролируемого изменения деформационных процессов, протекающих в земной коре.

В автореферате диссертации в достаточной для ознакомления степени изложено содержание всех материалов работы. Все материалы, привлеченные автором из других источников, сопровождаются корректными ссылками.

Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842) для ученой степени кандидата наук, а её автор – Мубассарова Виргиния Анатольевна достойна присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

*Официальный оппонент*

*Остапчук Алексей Андреевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории деформационных процессов в земной коре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН).*

*Я, Остапчук Алексей Андреевич, даю свое согласие на обработку персональных данных и их включение в документы, связанные с работой диссертационного совета.*

11 февраля 2019 года

А. А. Остапчук

Адрес организации: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, дом 38, корпус 1, тел.: +7 (495) 939 75 11, e-mail: [ostapchuk@idg.chph.ras.ru](mailto:ostapchuk@idg.chph.ras.ru)

*Личные подписи к.ф.-м.н. А. А. Остапчука заверяю.*

*Ученый секретарь ФГБУН ИДГ РАН,  
доктор геолого-минералогических наук*



Н. В. Болдовский