

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пантелеева Ивана Алексеевича

«Деформирование горных пород и геосред: анализ развития анизотропной поврежденности и локализации деформации», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела

Автореферат показывает, что диссертация И.А. Пантелеева является научно-квалификационной работой, в которой изложены решения актуальных задач, объединенных направленностью на развитие экспериментальных методов механики и физики разрушения горных пород и создание новых моделей неупругого деформирования сред с анизотропным распределением поврежденности. Работа основана на экспериментальных и теоретических результатах, полученных непосредственно И.А. Пантелеевым на всех этапах исследований: от постановки экспериментов в различных лабораториях в Перми, Москве, Иркутске до разработки новых методик обработки экспериментального материала и обоснования моделей неупругого деформирования неоднородных сред (горных пород) при трехосном непропорциональном нагружении. Все эксперименты проведены на современном оборудовании, получен и обобщен большой объем экспериментальных данных. Исследовалось нагружение высокопрочных горных пород (граниты), осадочных, так называемых полухрупких пород (силвинит) и модельный вязкоупругий материал (глинистая паста).

Цели и основные задачи исследований увязаны с необходимостью многопараметрического мониторинга природно-техногенных процессов в недрах при разработке полезных ископаемых в районах с тектонической и сейсмической активностью. Ряд полученных результатов представляет интерес для задач сейсмологии – развития адекватных моделей очага землетрясения и возникновения геофизических предвестников в окружающей его, более широкой зоне. Примером может быть результат, представленный в Главе 1, п.1.4.: «По мере приближения межстадийной структурной перестройки, неподвижные фрагменты образуют систему преимущественно замкнутых округлых и эллипсоидных фронтов локализованной деформации, оконтуривающих локальные объемы модельного материала, испытывающие вращение». На натурном масштабе зоны локализации деформации предопределяют геофизические аномалии, в частности предвестники. Зоны, где могут наблюдаться среднесрочные предвестники землетрясения, как правило и указывают на концентрацию или локализацию деформаций. Разрыв сплошности (сейсмическое событие) происходит на краю зон с округлыми или эллипсоидными фронтами, но не по месту максимума аномалии. Сходство картины предвестников с описанной в п.1.4 локализацией пластической деформации стоит подчеркнуть в условиях отсутствия надежных объяснений разноса в пространстве самого разрыва и его наблюдаемых предвестников.

Другой пример – результат, полученный в Главе 3, что эффект Кайзера реализуется при условии неизменности ориентации эллипсоида приложенных напряжений, но имеет место лишь избирательно в более общем случае. Согласно автореферату, с.20, это случай, когда наблюдается превышение ранее достигнутого уровня деформаций в направлении действия минимального главного напряжения, но может происходить изменение ориентации упомянутого эллипсоида. Эти особенности проявления эффекта Кайзера могут иметь отношение к проблеме нерегулярного появления некоторых предвестников землетрясений (геофизических полей, связанных с образованием разрывов в период форшоков) при

повторяющейся или весьма сходной картине подготовки землетрясения. Известна квазипериодичность сейсмических событий в ряде регионов, но общепринятого объяснения поведения предвестников нет.

Серьезным научным достижением диссертанта является создание методики определения тензора сейсмического момента (ТСМ) для сигналов АЭ, основанной на выведенном в главе 2. п.2.2 уравнении, связывающем амплитуду нормального смещения поверхности по месту установки датчика АЭ с компонентами тензора сейсмического момента. При исследовании образования и роста микротрещин в граните, испытываемом на изгиб, получено достаточно большое (представительное) количество решений ТСМ, что позволило провести классификацию. Изложенные в Главе 2 результаты могут иметь методологическое значение, далеко выходящее за рамки темы диссертации. При сейсмическом мониторинге ТСМ вычисляется, как правило, для событий с достаточно большими магнитудами. Для слабых сейсмических событий нарастает погрешность промежуточных расчетов. Но если даже для событий АЭ с условными магнитудами  $M_{\text{с}}$ , - (-5) - (-4) возможно массовое определение ТСМ, то значит могут быть разработаны методы расчета этого тензорного параметра для событий микросейсмичности и сейсмоакустической эмиссии. САЭ. Тем самым открывается перспектива использовать подход Пантелеева И.А. для обработки сигналов САЭ, регистрируемых в целях предотвращения горных ударов. Возможно, развитую в диссертации методику определения ТСМ удастся приспособить для решения временной задачи - восстановления динамики роста трещины по волновым формам АЭ. В работе Boatwright. 1980 (Bull. Seismol. Soc. Am, Vol.7 0. P. 1-27) были представлены математические основы алгоритма для решения временной задачи, но в то время аппаратно-программное обеспечение экспериментов с регистрацией АЭ (и даже низкочастотных сейсмических сигналов) не позволяла выполнить расчеты зависимости ТСМ от времени при росте трещины.

Единственное замечание к автореферату касается результата, представленного на рис 2.3 - временные зависимости накопления сигналов АЭ от трещин разных типов. По рисунку видно, что для трещин сдвига быстрый прирост счета событий АЭ начинается раньше (на 5995 -5600 с), чем для трещин другого типа (на 2615 - 2620 с). Этот результат весьма важен, поскольку изменение соотношений между счетом АЭ от источников разных типов может быть признаком близкого макроразрыва. Но в автореферате нет оценки статистической достоверности появления такого различия примерно после 2600 с. Отсутствует и комментарий, может ли оно быть предвестником макроразрыва. Возможно, эта информация отражена в диссертационной работе. Других существенных замечаний к автореферату нет. а на неточностях, таких как нераскрытые сокращения (например ПАЭ. стр 16 - преобразователь АЭ -?) нет смысла останавливаться при общей оценке работы.

Основные положения диссертации, результаты, полученные в ходе исследований, представлены в 22 публикациях, включая 16 статей из Перечня научных изданий, утвержденного ВАК. 13 публикаций, индексируемых в Web of Sciences и/или Scopus. Результаты обсуждались на многих всероссийских и международных конференциях. Важно отметить, что большинство публикаций - в доступных источниках (отсутствует перекоп в сторону WoS и Scopus), что немаловажно для реального использования результатов работы на практике.

Автореферат дает достаточно полное представление о содержании диссертации. Автореферат демонстрирует, что научно-квалификационная работа Пантелеева И.А. является завершенным исследованием, которое проведено лично автором и вносит весомый

вклад в развитие экспериментальных методов механики деформируемого твердого тела и теоретическое обоснование нелинейных моделей процесса разрушения диэлектрических материалов и геосред с анизотропным распределением поврежденности. Диссертация «ДЕФОРМИРОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ГЕОСРЕД: АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ» соответствует всем требованиям, установленным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор - Иван Алексеевич Пантелеев заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. - Механика деформируемого твердого тела.

Богомолов Леонид Михайлович, доктор физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых,

директор ФГБУН Института морской геологии и геофизики  
Дальневосточного отделения Российской академии наук

693022. г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН),

тел.: +7 (4242) 791-517

e-mail: nauka <[imgg.ru](mailto:nauka@imgg.ru)>



Леонид Михайлович Богомолов

**Я.** Богомолов Леонид Михайлович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись Богомолова Леонида Михайловича заверяю.

Ученый секретарь ИМГиГ ДВО РАН.

к.б.н.



А.В. Кордюков