

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Морозовой Ксении Георгиевны «СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩАЯ РАЗЛИЧНЫЕ РЕЖИМЫ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО РАЗЛОМАМ И ТРЕЩИНАМ», представленную в диссертационный совет Д24.1.059.01 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 - Геофизика

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертации, понимаемая в широком смысле слова, определяется одним из трех главных вызовов перед физическими науками - Физикой очень сложного (другие два вызова: Физика очень большого и очень малого). Адекватное описание разломов, движения их берегов, и деформирование окружающих зон должно дать ответ на этот вызов, однако до настоящего времени сохраняется разрыв между упрощенными моделями, используемыми в сейсмологии и геомеханике, и структурно-геологическим подходом, который вынужденно остается на качественно новом уровне. Лабораторный эксперимент дает возможность быстрого получения детальных данных о скольжении по контактными поверхностям, что является одним из этапов разработки усовершенствованных моделей, учитывающих гетерогенность среды и способных описывать различные режимы скольжения по разломам.

Актуальность, понимаемая в узком смысле, обусловлена необходимостью развития современных систем дистанционного контроля напряженно - деформированного состояния активных сегментов разломов земной коры. Эта информация, а в особенности проявления смены режима скольжения по разлому и/или подготовке динамических событий, важна для горнодобывающих предприятий, расположенных в окрестности разломов. Совершенствование методов обработки данных сейсмических и сейсмоакустических измерительных сетей, выделение наиболее информативных параметров сейсмоакустических сигналов в условиях зашумленности – одна из серьезных задач в проблеме развития средств и методов сейсмического мониторинга разломов. В диссертации предложен возможный вариант частичного решения этой большой задачи.

2. Степень достоверности результатов

Достоверность результатов и выводов диссертации обеспечивается значительным объемом экспериментальных данных, полученных на современном оборудовании, применением надежных методик регистрации и обработки сигналов. Достоверность результатов подтверждена при сопоставлении с имеющимися теоретическими моделями и результатами работ по смежной тематике, согласно которым диссертация органично вписывается в существующую концепцию деформационного процесса в блочно - неоднородной среде. Выводы и защищаемые положения сформулированы автором на основе тщательного анализа результатов проведенных экспериментов.

3. Научная новизна и значимость работы

Научная новизна результатов исследований, представленных в диссертации, определяется тем, что они продемонстрировали преимущества нового метода сейсмоакустического контроля деформирования разломных зон для обнаружения изменений режима движения по разлому. Предложенный метод применен в экспериментах на установке- слайдере. Разработанная методика классификации микросейсмических импульсов «КЛАССИ-k» применена для интерпретации данных по сейсмичности, вызванной промышленными взрывами в шахте на Коробковском железорудном месторождении. Результаты о вариациях масштабных соотношений между параметрами сейсмоакустических импульсов, полученные для данных лабораторного эксперимента и натурных наблюдений, обосновывают возможность и целесообразность нового метода контроля деформационного режима тектонических нарушений.

В диссертации **впервые:**

- отработана методика по реализации на стенде - слайдере разных режимов межблокового скольжения, воспроизводящих разнообразие режимов скольжения по разломам;
- для большого количества волновых записей использованы наиболее эффективные методы выделения импульсов акустической эмиссии, АЭ (по превышению порога в потоке энергии и по информационному критерию Акаике);
- сформирован каталог импульсов АЭ, включающий традиционные параметры и введенные в диссертации новые параметры волновой формы импульсов;

- установлена связь между изменением параметров акустической эмиссии при скольжении блоков со скоростью скольжения и коэффициентом трения на контактной поверхности;
- в совокупности всех зарегистрированных импульсов АЭ и сигналов микросейсмичности выделены кластеры, для которых характерны различные скейлинги;
- обнаружен прогнозный признак приближения динамического события, т.е. неустойчивости при скольжении блоков, основанный на различии вариаций «b-value» для двух групп импульсов АЭ, разделенных по значениям параметра асимметрии волновой формы, WI;
- решены вычислительные задачи, обеспечивающие работоспособность и эффективность алгоритма «КЛАССИ-k» для выделения среди индуцированных микросейсмических событий выборок, отличающиеся по величине приведенной сейсмической энергии.

Диссертация имеет важное методическое значение для развития экспериментальных методов в науках о Земле, так как в ней фактически предложен апгрейд экспериментов по фрикционному испытанию породных образцов с регистрацией акустической эмиссии.

4. Публикации по теме диссертационной работы

По теме диссертации, кроме тезисов и статей в трудах конференций, опубликовано 7 статей в рецензируемых научных журналах по специальности 1.6.9 «Геофизика», входящих в перечень ВАК.

5. Структура и содержание диссертации

Структура и оформление диссертации соответствуют рекомендованного ВАКом ГОСТа 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Диссертация работа Морозовой К.Г. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 208 наименований. Работа содержит 144 страницы текста, 57 рисунков и 9 таблиц.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, а также защищаемые положения. Указана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Охарактеризован личный вклад диссертанта, отмечено, что диссертационная работа успешно прошла апробацию на 12 всероссийских конференциях.

В первой главе, в двух первых разделах дано краткое описание современных представлений о режимах скольжения геоблоков по тектоническим разломам и сейсмических проявлениях этого процесса. Отмечено, что упругие волны в среде возбуждаются вследствие изменений локальной структуры материала как на макроуровне (натурном масштабе для очагов землетрясений), так и на микроуровне (акустическая эмиссия нагруженных геоматериалов), и на промежуточном уровне (шахтная сейсмичность, сейсмоакустическая эмиссия, САЭ). Далее, в последующих разделах проведен обзор современных методов обнаружения сейсмоакустических событий («детектирования» по терминологии диссертации) во временных рядах (сейсмограммах), регистрируемых различными сейсмическими приборами. Также обсуждаются закономерности в потоке сейсмических и сейсмоакустических событий, выделенных традиционными методами детектирования. Сделан вывод об актуальности разработки новых подходов к анализу коротких сейсмоакустических рядов для повышения их информативности при измерениях в районах шахтных полей в условиях зашумленности. Проведенный в Главе 1 обзор библиографии указал на наличие качественного сходства сейсмоакустических проявлений деформационных процессов в разломных зонах на метровом и километровом масштабах, а также их сходство с акустической эмиссией нагруженных породных образцов. Это повышает интерес к данным лабораторных экспериментов с регистрацией АЭ от фрикционных источников, которые можно использовать для отработки методических вопросов сейсмоакустического контроля подвижек по разломам. В частности, перспективно использование методов машинного обучения для анализа временных рядов распознавания сейсмоакустических событий.

Во второй главе, в первых двух разделах диссертации детально описаны постановка и проведение фрикционного эксперимента. Приведены сведения о размерах скользящих блоков, материалах блоков и веществ-заполнителей, системе нагружения, задающей скорость смещения подвижного блока относительно неподвижного, и измерительной системе. Описание призывает, что для экспериментального исследования закономерностей скольжения блоков использована современная высокоточная система измерений перемещения, силы (пересчитываемой на сдвиговое напряжение) и акустической эмиссии. Важная особенность методики непрерывной регистрации акустической эмиссии: сочетание высокого разрешения во времени при оцифровке аналогового сигнала (частота 1 МГц) и применения фильтров, соответствующих рабочему диапазону частот (20 – 80 кГц) первичного

преобразователя АЭ. Это обеспечило эффективность обоих использованных методов выделения импульсов АЭ во временных рядах: по превышению порога в потоке энергии и по информационному критерию Акаике.

Далее в главе 2 изложены методические вопросы формирования каталога импульсов АЭ для последующего статистического анализа и сопоставления с параметрами сейсмических каталогов. Для каждого выделенного импульса определялись и заносились в каталог следующие параметры: время обнаружения (т.е. начало импульса), его амплитуда и длительность, энергия (в условных единицах), обратная скорость нарастания амплитуды, RA, средняя частота, и параметр асимметрии нарастания/убывания сигнала (введенный в диссертации под укороченным названием «параметр волновой формы, WI»).

Важным результатом, представленным в главе 2, является обобщение, что в экспериментах на установке - слайдере реализуется все разнообразие режимов межблокового скольжения. Обращено внимание на предельные режимы: регулярное прерывистое скольжение (стик-слип, с квазипериодическими событиями значительного сброса усилия сдвига); нерегулярного прерывистого скольжения (со случайным чередованием быстрых и медленных событий проскальзывания); переходные режимы. При вариациях вещественного и гранулометрического состава заполнителя межблокового контакта происходит «выбор» того или иного режима, что проявляется в значительных изменениях волновой формы акустоэмиссионных сигналов. Для отдельных событий межблокового проскальзывания предложена удобная классификация, основанная на максимальной величине смещения блоков при проскальзывании, максимальной скорости подвижного блока и длительности события. Установлено, что по относительной скорости случай «быстрых» событий отличался от «медленных» более, чем в 200 раз, длительность первых была менее 0.8 с, а вторых – 2-15 с.

В **третьей главе** изложены результаты статистического анализа параметров акустической эмиссии при различных режимах скольжения вдоль поверхности контакта блоков. В первом разделе анализируются временные зависимости смещения блоков и энергетической характеристики АЭ. Для анализа корреляций введены параметры: дефицит (отставание) смещения от линейного тренда со скоростью u_s , δX , средняя скорость выделения энергии АЭ, e и дефицит выделенной энергии δE . Параметр δX характеризует отставание деформационного процесса от нагрузочного устройства на лабораторном масштабе (сантиметры), а параметр макроуровне, а

параметр δE – на масштабе единиц – десятков микрон. Также введен обобщенный параметр дефицита, G , как среднеквадратичное от нормированных δX и δE .

По экспериментальным данным установлено, что в режиме регулярного прерывистого скольжения параметры дефицита δX и δE практически синхронизированы: коэффициент корреляции более 0.9. При нерегулярном режиме скольжения составляет 0.7, и картина более сложная. При событиях быстрого скольжения отмечено резкое снижение δE и δX , но в случае событий медленного скольжения уменьшается только дефицит смещения δX , но не δE . Для отношения e/μ обнаружен сюрпризный результат – линейная зависимость от коэффициента трения на контакте блоков. Другой оригинальный результат состоит в том, что индикатором состояния межблокового контакта может быть скорость приращения обобщенного дефицита, G . Эксперименты выявили, что на заключительной стадии процесса перед наступлением неустойчивости при скольжении блоков снижение скорости приращения G описывается степенной функцией от аргумента $(1 - t/t_d)$, где t_d - время динамического события. Знание этой аппроксимации позволяет надежно контролировать ход подготовки динамического события.

Во втором разделе главы 3 представлены результаты анализа составленного диссертантом каталога событий АЭ, который содержит информацию о параметрах импульсов АЭ, в частности амплитуду, длительность импульсов и параметр WI , описывающий асимметрию волновой формы. Эту часть диссертации можно считать центральной, определяющей ее значимость для наук о Земле. Каталог импульсов АЭ определяет, что распределение числа импульсов (динамических событий) по амплитудам описывается степенным законом, аналогичным закону Гутенберга - Рихтера. При этом параметр «b-value» - угловой коэффициент графика повторяемости в билогарифмических единицах столь же информативен, как и в сейсмологии. При сравнении значений этого параметра для разных режимов скольжения обнаружена высокая антикорреляция этого параметра с коэффициентом трения. Для временных зависимостей активности АЭ $p(t)$ имеют место аналог закона Омори для интервала времени после неустойчивого проскальзывания и параболическое нарастание активности перед такими событиями (аналогично форшоковым последовательностям или реализациям режимов с обострением).

В случае регулярного прерывистого скольжения времени на изменения $p(t)$ влияет, в основном, изменение скорости смещения подвижного блока $V(t)$. При этом в «асейсмичный период» и при скоростях скольжения менее 3-4 мкм/с зависимость $p(V)$

быстро нарастающая, а при более высоких скоростях рост замедляется или сменяется плавным убыванием. Этот результат важен для исследования триггерных эффектов, из него естественно вытекает гипотеза о наибольшей эффективности «триггеров» при скоростях $V \sim 3-4$ мкм/с, или при нагрузках, обеспечивающих такие скорости.

Далее во втором разделе главы 3 проведено исследование распределения количества импульсов $AЭ$, N_p , по параметру WI . Это распределение является независимым от амплитудного распределения ввиду отсутствия корреляций между параметрами $AЭ$ и WI . Выявлена характерная форма зависимости относительной доли импульсов от значений WI , по которой выделено две моды импульсов. Импульсы с $WI \leq 0.1$ образуют моду I с распределением N_p в форме плато (т.е. зависимость от WI практически отсутствует). Эта мода представляет собой кластер из импульсов с наиболее быстро нарастающей амплитудой и длительностью до 5 мс. Импульсы с $WI > 0.1$ (их длительность более 10-15 мс), составляют моду II, при которой относительная доля N_p убывает с ростом WI по степенному закону. Моды I, II различаются по поведению вариаций «b-value» перед событием динамического скольжения. При моде I, в режиме регулярного прерывистого скольжения вариации b - value имели случайный характер, или не вообще не наблюдались. При моде II сразу после очередного события динамического скольжения параметр b возрастает до квазистационарного уровня, который сохраняется в «асейсмичный период», а затем, на этапе перед следующим событием, b - value убывает. Это позволило сформулировать критерий приближения неустойчивости по сочетанию случайных вариаций b-value для моды I и монотонного уменьшения параметра b для импульсов моды II. Момент времени, когда в трех точках отмечено такое поведение b-value, считается временем появления прогностического признака («объявления тревоги» в терминах диссертации). Эффективность этого критерия оценивалась по ретроспективным данным по методике Молчана и составила 0,59–0,83 для всех проанализированных случаев регулярного режима скольжения и 0,4 – 0,65 для реализаций нерегулярного режима.

В главе 3 также описано использование методов машинного обучения (алгоритм «случайный лес») для определения по данным $AЭ$ момента начала неустойчивого проскальзывания как такового (в первом разделе) и времени ожидания этого события при различных режимах деформирования (во втором разделе). Продемонстрирована эффективность алгоритма, даже с использованием малых выборок параметров, режима регулярного прерывистого скольжения.

В четвертой главе метод классификации импульсов АЭ на основе параметров волновой формы WI и др. адаптируется и применяется для анализа сейсмоакустических сигналов, зарегистрированных в шахте на Коробковском железорудном месторождении Курской магнитной аномалии после взрывов в период прекращения горных и строительно-монтажных работ. Для регистрации использовались сейсмические приборы (6 широкополосных акселерометров), расположенные в шахте на глубине 300 м. По записям акселерограмм определялись, параметры WI , RA (темп нарастания амплитуды), AF (средняя частота в импульсе), а также очаговые параметры: сейсмический момент M_0 , угловая частота f_0 и сейсмическая энергия E_s . На основе алгоритма кластеризации k -средних и банка данных по вышеупомянутым параметрам предложен новый метод классификации сейсмоакустических импульсов, который может использоваться для выделения в генеральной выборке событий кластеров с различными регрессиями для зависимостей энергии и длительности импульсов от M_0 . Метод получил название «КЛАСИ- k ». При применении этого метода установлено, что 95% вариаций данных объясняются изменениями трех параметров WI , RA , AF .

Результатом классификации импульсов микросейсмичности по набору параметров волновой формы (WI , RA , AF) стало выделение двух групп (кластеров) в потоке событий, инициированных взрывами. Для первой группы событий значение приведенной сейсмической энергии, E_s/M_0 значительно выше, чем для второй. При одинаковых сейсмических моментах у импульсов, отнесенных к первой группе, длительность, как правило, больше, чем у импульсов второй группы.

Классификация импульсов микросейсмичности после тех же взрывов была также проведена по альтернативному набору параметров: (E_s , M_0 , f_0 , E_s/M_0). Выбор очаговых параметров в качестве целевых для метода «КЛАСИ- k » представляет интерес, так как эти параметры определяются при стандартном сейсмическом мониторинге. При классификации по очаговым параметрам методом «КЛАСИ- k » снова было выделено две группы событий. Для импульсов из первой группы значения приведенной сейсмической энергии, E_s/M_0 , как правило, выше уровня 10^{-7} , а для импульсов из второй группы – ниже этого уровня. Для первой группы характерная длительность импульсов с одинаковым сейсмическим моментом меньше, чем для второй. Количество импульсов в группах отличается при классификации по разным наборам. Тем не менее, разделение по повышенным и пониженным значениям отношения E_s/M_0 оказалось эффективным для обоих наборов целевых параметров

В разделе «**Заключение**» приведены наиболее важные научные результаты работы, полученные лично соискателем.

6. Наиболее важными результатами диссертации, имеющими научную значимость и/или оригинальный характер, являются:

Отработана методика воспроизведения различных режимов межблокового скольжения в экспериментах на стенде - слайдере. Проведена серия фрикционных экспериментов с непрерывной регистрацией акустической эмиссии и показано, что изменение вещественного и гранулометрического состава заполнителя межблокового контакта приводит к существенному изменению волновой импульсов АЭ.

Реализован эффективный алгоритм выделения в непрерывной волновой записи импульсов АЭ, генерируемых при сдвиговое деформирование межблокового контакта. Сформирован каталог импульсов АЭ большого объема, содержащий параметры, описывающие их волновую форму и время детектирования.

Установлена взаимосвязь потока излучаемой энергии АЭ со скоростью скольжения по контакту блоков и коэффициентом трения на контакте, а также устойчивая антикорреляция между параметром «b-value» из амплитудного распределения количества импульсов АЭ и коэффициентом трения.

Показано, что обобщенный дефицит межблокового контакта, G , определяемый при непрерывной регистрации АЭ, позволяет объединить информацию о скорости смещения вдоль контактной поверхности и потоке энергии АЭ. Скорость приращения дефицита может рассматриваться как комплексный показатель состояния межблокового контакта, указывающий достаточно точно на подготовку эпизодов динамического скольжения.

Разработан метод классификации импульсов АЭ, сопровождающих скольжение по межблоковому контакту, по параметру асимметрии волновой формы WI . В ансамбле импульсов АЭ выделено 2 моды. Для импульсов первой моды характерно резкое вступление, значения $WI \leq 0,1$, для второй – медленное нарастание амплитуды импульса во времени, $WI > 0,1$. При подготовке эпизодов динамического скольжения для импульсов первой моды отмечены случайные изменения «b-value», а для второй - вариации с уменьшением «b-value». Сочетание вариаций «b-value» для двух мод импульсов может считаться прогнозным признаком неустойчивости при скольжении блоков.

Обоснована возможность и целесообразность использования параметров очагов: сейсмического момента M_0 , излученной энергии E_s и частоты среза f_0 в качестве целевых параметров метода «КЛАСИ-k» при анализе данных шахтной микросейсмичности, в том числе инициированной промышленными взрывами.

Полученные результаты позволяют считать хорошо обоснованными защищаемые положения диссертации. В совокупности они могут свидетельствовать, что использование предложенного в диссертации метода классификации сейсмоакустических импульсов позволяет восстанавливать режим скольжения по разлому при анализе данных, собранных даже в относительно короткие периоды времени. Поэтому считаю, что цель и показатели новизны, указанные в диссертации, достигнуты.

7. Соответствие автореферата диссертации.

В автореферате кратко, но с достаточной полнотой изложено содержание диссертационной работы. Сделан на описание постановки экспериментов, методику обработки данных и полученные результаты. Текст автореферата написан ясным научным языком, хорошо иллюстрирован графическими объектами, которые способствуют пониманию основных результатов диссертации.

8. Практическая ценность результатов

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых сейсмических и/или сейсмоакустических сетей около горнодобывающих предприятий, когда к программному обеспечению для мониторинга предъявляются повышенные требования к обработке данных для полноты извлекаемой информации.

Развитые в диссертации алгоритмы обработки записей волновых форм и каталогов импульсов могут быть использованы для углубленной интерпретации результатов сейсмических наблюдений в разломных зонах.

Методы и алгоритмы вычисления параметров волновой формы импульсов акустической эмиссии, RA и WI, целесообразно включить в стандартный набор программного обеспечения для систем неразрушающего контроля нагруженных материалов и конструкций на основе регистрации АЭ.

Для адекватного описания деформационных процессов в зоне тектонических нарушений перспективно использование метода классификации сейсмоакустических импульсов «КЛАСИ-k» совместно с методами машинного обучения. Это может обеспечить контроль режима скольжения по разлому на основе анализа данных, собранных за сравнительно короткие периоды времени.

9. Апробация работы и публикации.

Материалы диссертации прошли апробацию на 12 всероссийских конференциях в период 2019-2023 гг. Результаты диссертации изложены в 16 публикациях, в том числе в 7 статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 8 статьях в сборниках трудов конференций и тематическом ежегоднике «Динамические процессы в геосферах».

10. Замечания по диссертации.

1) Формулировка цели диссертации почти повторяет «научную новизну». Возможно, цель: «Разработка научных основ метода сейсмоакустического контроля режима деформирования тектонических нарушений...» действительно ставилась в ходе выполнения работы. Но когда работа завершена лучше было бы или по-разному охарактеризовать цель и научную новизну, или особо оговорить, что в данном случае формулировки совпадают. Одна из возможностей – написать, что целью диссертации является получение новых знаний по вопросу о сейсмоакустической эмиссии при различных режимах скольжения по разломам и трещинам, которые необходимы для развития новых методов сейсмоакустического контроля. Уместно сравнить такую цель с тем, что перед многими институтами, где проводятся фундаментальные исследования, ставится цель – генерация знаний. Подчеркиваю свое уважение к диссертанту и научному руководителю, что не использовали для формулировки цели универсального прикрытия типа «изучение особенностей параметров АЭ в экспериментах на слайдер-модели»

2) В диссертации неоднократно упомянуто наличие связи между параметрами волновой формы импульсов АЭ и напряженно - деформированным состоянием, НДС. Но, судя по схеме и фотографии стенда – слайдера, на котором проводились эксперименты (рис. 2.2), НДС блоков неоднородно, сдвиговые деформации локализованы в слое у контактной поверхности. К какой части объема блоков относится утверждение о взаимосвязи параметров НДС и волновой формы импульсов? По описанию в главе 2 понятно, что двухканальная система регистрации АЭ не может дать информацию о расположении источников в неподвижном гранитном блоке (на котором закреплены преобразователи АЭ), или в подвижном мраморном блоке, или в гранулированном материале – заполнителе. В этой ситуации, крайне полезно было бы привести какие-то оценки, возможно основанные на решении задачи о распределении сдвиговых напряжений до наступления стадии неупругого деформирования. Или же увязать сделанное утверждение с неровностями на контактной поверхности (asperities),

вокруг которых формируются зоны концентрации напряжений. Вероятно, именно в этих зонах генерируется наибольшая часть импульсов АЭ.

3) Сопутствующее замечание о роли материала подвижного блока, которая не обсуждается. Выбор материалов блоков не совсем понятен. Почему нижний (неподвижный блок) гранитный, а верхний (подвижный) – мраморный, а не наоборот? Существенно ли, что блоки изготовлены из разных материалов, и, тем самым, реализовано то, что в англоязычной литературе 70х - 80 х годов называлось «dissimilar media faulting»? В этих работах отмечалась возможность возбуждения необычных упругих волн. Так что следовало уделить внимание вопросу о влиянии материала подвижного блока на режим скольжения и параметры импульсов АЭ? Можно предположить такое влияние, исходя приведенных в Табл. 2.1 данных о разнообразии параметров скольжения при различных заполнителях. А возможен ли эксперимент, когда верхний (подвижный) блок изготовлен из материала с пластическим типом разрушения, не излучающий импульсы АЭ? Будут ли тогда воспроизведены какие - то из описанных режимов скольжения?

4) Местами изложение материала чересчур тезисное. Вот характерный пример – при описании методики указано, что «В данной работе использовалось два метода выделения импульсов АЭ превышение потока энергии порогового уровня и информационный критерий Акаике». Но нет пояснения, включались ли импульсы АЭ в каталог, если они выделялись по обоим этим критериям, или достаточно было обнаружения по одному критерию. Возможно, намерение диссертанта было сократить объем диссертации, следуя известной рекомендации – до 150 стр. В таком случае рекомендую дополнительно опубликовать разделы 2, 3 в виде тематического обзора или электронной книги.

5) Для научно - квалификационной работы удачная терминология весьма важна. Как уже отмечено выше, введенные параметры волновой формы AR, WI названы не лучшим образом. В работе по геофизике (а не информатике) параметр RA с размерностью секунды не должен называться «скоростью нарастания амплитуды». Параметр WI должен явно указывать на асимметрию начала и конца импульсов АЭ, т.е интервалов RT и DT. Лучше его называть параметром асимметрии волновой формы и обозначить W_{AI} (waveform asymmetry indicator) вместо WI (waveform indicator), взятого, по - видимому, из мануала по регистрации АЭ.

6) Имеется ссылка на источник, не приведенный в списке литературы.

Замечания не влияют на положительную и высокую оценку работы в целом.

11. Заключение

Диссертация Морозовой К.Г. является законченным научно-квалификационным исследованием закономерностей сейсмоакустической эмиссии при разных режимах скольжения по разломам, в котором получено множество новых результатов, имеющих важное значение для наук о Земле и отраслей народного хозяйства, связанных с использованием недр. Работа выполнена на высоком научном уровне, является оригинальной и обладает несомненной научной новизной и практической значимостью. Научные результаты диссертации соответствуют пунктам 5, 6, 8, 10, 13 Паспорта специальности 1.6.9. «Геофизика».

Таким образом, диссертация «Сейсмоакустическая эмиссия, сопровождающая различные режимы скольжения по разломам и трещинам» соответствует критериям «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что за новые научно обоснованные разработки метода сейсмоакустического мониторинга режимов деформации в разломных зонах, имеющие существенное значение для безопасности горных работ и сейсмической безопасности России, соискатель Морозова Ксения Георгиевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 «Геофизика».

Богомолов Леонид Михайлович



22.08.2023

Доктор физико-математических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук» Адрес: 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б, 2, nauka@imgg.ru, bleom@mail.ru, тел. 8 (4242) 791517

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

Подпись Богомолова Л.М. заверена
Ученый секретарь ИМГиДВО РАН
Кандидат биологических наук



А.В.Кордюков