

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

**Солодчук Александры Андреевны**

«Пред- и постсейсмический отклик высокочастотной геоакустической эмиссии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности – 25.00.10

«Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Рецензируемая диссертационная работа является преимущественно экспериментальным исследованием и построена на богатом фактическом материале, полученном лично автором в течение ряда лет на Камчатке в пункте наблюдений «Микижа» ИКИР ДВО РАН.

Отметим, что проблема выявления и исследования закономерностей высокочастотной геоакустической эмиссии (ГАЭ) сопровождающей деформацию верхних слоев земной коры на различных стадиях сейсмического процесса в сейсмоактивных регионах всегда была интересна и значима как практически, так и в фундаментальном аспекте. Диссертационная работа Солодчук А.А. лежит в русле этих исследований.

Работа посвящена исследованию фоновых характеристик геоакустической эмиссии в малоисследованном диапазоне частот (от нескольких единиц до первого десятка килогерц) не только перед землетрясением, но и после них. Ранние исследования геоакустической эмиссии в указанном частотном диапазоне были направлены на изучение закономерностей геоакустической эмиссии в качестве индикатора предсейсмических предвестниковых аномалий, а геоакустическая эмиссия в процессе релаксации остаточных напряжений после землетрясения не рассматривалась. Поэтому, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Актуальность исследования также во многом определяется важностью полученных научных и практических результатов для изучения

взаимодействия деформационных и геофизических полей, развития акустических методов диагностики природных сред, создания методов локации областей повышенных напряжений и оценки уровня сейсмической опасности.

Обоснованность и достоверность защищаемых положений и результатов обеспечиваются корректным применением основных положений теории упругости, векторно-фазовых методов в акустике, статистических методов обработки и анализа данных, качеством и представительным объемом экспериментальных данных, подтверждаются соответствием результатам исследований, проводимых по смежной тематике.

Результаты диссертационной работы и сформулированные на их основе положения, выносимые автором на защиту, являются новыми. Впервые в сейсмоактивном регионе на Камчатке обнаружены пред- и постсейсмические изменения азимутального распределения геоакустических импульсов и получена статистика их появления за длительный период времени. Также впервые обнаружена связь между суточными изменениями температуры и вариациями высокочастотного геоакустического излучения.

Перейдем к рассмотрению обоснованности защищаемых положений.

Для доказательства первого защищаемого положения диссертантом сделан специальный обзор работ, который позволяет обосновать использование направленных свойств высокочастотной геоакустической эмиссии на основе данных, полученных гидроакустической системой, построенной на базе комбинированного приемника. Отмечено, что в периоды активизации деформационных процессов, в частности, обусловленных землетрясениями, наблюдается увеличение акустической активности и диаграммы ее азимутального распределения существенно изменяются: в них появляются ярко выраженные максимумы по отдельным направлениям. В спокойные же дни, когда средний уровень акустической активности не превышает значения 0.01 имп./с., практически не наблюдается увеличения количества импульсов по отдельным направлениям.

Для доказательства следующего защищаемого положения в диссертации приводится статистический анализ изменения направленности высокочастотной геоакустической эмиссии перед землетрясениями и при последующей релаксации напряжений для каталога из 339 сейсмических событий, произошедших в период с августа 2008 г. по январь 2016 г. В результате установлено наличие аномалий направленности геоакустического излучения в окрестностях 251 землетрясения из 339, что составляет 74%. Аномалии направленности высокочастотной геоакустической эмиссии возникают за 10–30 ч перед землетрясением и в большинстве случаев продолжают в течение 6–20 ч после него. Длительность аномалий варьируется в диапазоне от 10 до 50 ч, а повышенная активность регистрируется в основном с направлений, соответствующих азимутам  $50^\circ$ ,  $155^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $320^\circ$ .

Для доказательства третьего защищаемого положения исследованы фоновые характеристики высокочастотной геоакустической эмиссии. Установлено наличие суточной вариации с периодом равным 24 ч. Обнаружена статистическая связь между этой вариацией и суточной вариацией температуры. Показано, что наиболее вероятной причиной выявленной связи является влияние суточной разницы температур на приповерхностные осадочные породы, в которых генерируется эмиссия. Влияния других метеорологических величин, а также землетрясений на суточную составляющую не выявлено.

Таким образом, защищаемые положения можно считать доказанными.

Диссертационная работа Солдчук А.А. является самостоятельным научным исследованием. Она состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, содержащего 72 наименования, и приложения. Работа содержит 113 листов машинописного текста, 42 рисунка, 6 таблиц.

Во введении обоснованы актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, показан личный вклад автора, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава носит обзорный характер. В ней рассматриваются основные источники и механизмы генерации акустической эмиссии, способы ее регистрации и диапазоны измерений, применимость в геофизических исследованиях. Приводятся результаты исследований акустической эмиссии в широком диапазоне частот в сейсмоактивных регионах в периоды подготовки землетрясений. Основным результатом первой главы можно считать обоснование возможности использования акустической эмиссии с частотами от нескольких единиц до первых десятков килогерц для исследования процессов подготовки и развития землетрясений. Важным выводом по главе 1 является также и то, что эффекты возникновения фоновых суточных вариаций высокочастотного акустического излучения, изменение его направленности при подготовке и во время землетрясений в настоящее время мало изучены и требуют более детального рассмотрения.

Во второй главе подробно описан объект исследования:

Вторая глава посвящена описанию сигналов геоакустической эмиссии, зарегистрированных с помощью аппаратно-программного измерительного комплекса в пункте наблюдений «Микижа» на Камчатке, в фоновые периоды и при активизации деформационного процесса, в том числе перед землетрясениями и после них. В этой главе представлены примеры сигналов эмиссии, их спектры и аномальные возмущения в огибающих сигналов, имеющие деформационную природу. Подробно рассматривается суточная составляющая геоакустической эмиссии. Основным результатом второй главы является доказательство существования связи между суточными вариациями температуры воздуха и геоакустической эмиссии, обусловленной влиянием суточной разницы температур на приповерхностные осадочные породы, в которых генерируется эмиссия, т.е. термодиформацией пород.

В третьей главе обсуждаются результаты исследования направленности высокочастотного геоакустического излучения на различных стадиях сейсмического процесса. Приводится описание методов определения направления на источник звука, применяющихся в рамках векторно-фазового

подхода. Рассматриваются активность геоакустической эмиссии и ее азимутальное распределение в сейсмичные и асейсмичные периоды. Показано, что при активизации деформационного процесса частота следования геоакустических импульсов довольно резко увеличивается по сравнению со спокойными периодами (при отсутствии деформационных и метеорологических возмущений), и на диаграммах ее азимутального распределения появляются ярко выраженные максимумы по отдельным направлениям. Обсуждается изменение направленности геоакустических сигналов в окрестности землетрясений и оценивается статистика изменчивости направленности акустического излучения. Наиболее значимым результатом третьей главы можно считать утверждение о том, что аномальные изменения направленности высокочастотной геоакустической эмиссии возникают за несколько часов перед землетрясениями и сохраняются после них.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Следует отметить структуру диссертационной работы Солодчук А.А. Диссертация представляется целостным, логически обоснованным научным исследованием. Цели и задачи исследования, сформулированные автором, достигнуты. Работа написана ясным и хорошим научным языком. Оформление работы выполнено на высоком уровне.

Остановимся на редакционных замечаниях по тексту работы и автореферата.

К рецензируемой работе можно предъявить следующие замечания:

Методику выявления суточной составляющей следовало выделить в отдельный пункт, т.к. в работе только отмечено только, что «очищенные с помощью вейвлет-преобразования от мешающих шумов». Этот недостаток можно отнести и ко всей работе, потому что, к сожалению, совсем не приведены алгоритмы созданных в процессе работы программных комплексов, описание методик и программного обеспечения.

Присутствует невнимательность в приведенных формулах, так при описании нормальных напряжений указаны неверные индексы.

Не все, но часть рисунков выполнена небрежно, и требует отдельного замечания. Можно отметить следующее:

- Некоторые рисунки слишком светлые, что затрудняет их восприятие.
- Не всегда удачно выбран интервал изменения величин, что делает графики менее информативными.
- Не всегда присутствуют обозначения осей, а есть только единицы измерений (2.7, 2.13, 2.15 и т.п.).
- На некоторых графиках отсутствуют подписи осей абсцисс (3.21 - 3.23)

Однако в целом отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают высокую научную и практическую значимость рассматриваемой кандидатской диссертации.

Подводя итог, следует отметить, что рецензируемая диссертационная работа является законченным научным исследованием, содержит богатую экспериментальную часть, теоретические оценки, физическое моделирование, обзоры выполненных ранее наблюдений и моделей процессов в среде. В работе есть оригинальные решения и новые подходы в методике обработке и интерпретации данных. Обоснованность основных результатов не вызывает сомнений. Личный вклад автора присутствует на всех этапах работы. Основные положения и результаты опубликованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Солодчук Александры Андреевны на тему «Пред- и постсейсмический отклик высокочастотной геоакустической эмиссии», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней» от 24

сентября 2013 года № 842, а соискатель, Солодчук Александра Андреевна, достойна присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного Совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Исполняющий обязанности заведующего лабораторией моделирования энергонасыщенных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научная станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке, кандидат физико – математических наук  
720049, Кыргызстан, Бишкек-49, Научная станция РАН. +996 (312) 61-31-40. sychev@gdirc.ru

  
28.08.17

Сычев  
Владимир  
Николаевич

Подпись Сычева Владимира Николаевича заверяю.  
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научная станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке



Забинякова  
Ольга  
Борисовна

