

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный
исследовательский центр Институт прикладной
физики Российской академии наук»
член-корреспондент РАН



Е. А. Мареев

2017 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Гаврилова Валерия Александровича
«Воздействие переменных электромагнитных полей на геоакустические процессы:
эмпирические закономерности и физические механизмы»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

Актуальность темы исследований. Диссертация В.А. Гаврилова посвящена исследованию физических закономерностей и особенностей механизмов генерации геоакустической эмиссии (ГАЭ) для процессов, проходящих в реальной геофизической среде. Основное внимание при этом уделяется исследованию физических причин и механизмов, обуславливающих модулирующее воздействие слабых электромагнитных полей сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона на интенсивность ГАЭ. В прикладном плане работа направлена на развитие методов и средств геофизического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды в сейсмоактивных регионах, что в значительной степени определяет ее высокую практическую значимость. Важно, однако, что при проведении всех запланированных исследований автор ставит задачу не только установления общих (не будет натяжкой сказать – фундаментальных) закономерностей, характерных для реальной геосреды, но и последовательной физической интерпретации полученных данных и разработки необходимых для этого физических моделей.

Таким образом, представленная к защите диссертация являет собой хороший образец *комплексного геофизического исследования*, содержащего всю необходимую для этого последовательность этапов научного поиска: (1) накопление эмпирических данных (для этого – создание оригинальных технических средств и методик измерений, что представляет очевидную самостоятельную ценность); (2) выявление на этой основе устойчивых эффектов и формирование непротиворечивых имеющимся данным гипотез относительно их происхождения; (3) проверка этих гипотез с постановкой, если необходимо, дополнительных модельных экспериментов; (4) формулировка физических механизмов, способных объяснить данные наблюдений; наконец, (5) практическое применение полученных результатов, которое тоже, в свою очередь, является «инструментом» дополнительной верификации и выявленных эмпирических закономерностей, и развитых на их основе физических моделей.

Исследования такого рода и уровня всегда актуальны по существу, поскольку актуальным является сам процесс научного поиска, направленного на познание природных явлений. Что же касается актуальности в узком смысле, т.е. практической значимости, то и она никаких сомнений не вызывает. Все полученные результаты явным образом указывают на возможность их прямого использования в интересах совершенствования системы мониторинга и прогнозирования сейсмической активности в регионе, где такая система необходима. И не только на возможность, но и практическую реализацию – созданная телеметрическая система регионального мониторинга сейсмической активности уже показала свою работоспособность как средство прогнозирования сильных сейсмических событий. Таким образом, развитые автором методы и средства геофизического мониторинга дают научное обоснование и новые технические возможности для «подключения» установленных в диссертации закономерностей к решению проблемы прогнозирования сильных землетрясений.

Объект и методы исследований. Основным объектом исследования в данной работе является феномен ГАЭ в напряженно-деформированной геосреде и в его естественной взаимосвязи с факторами внешних воздействий. Главный акцент в работе сделан на анализе результатов многолетних измерений, полученных с помощью созданной по инициативе и непосредственному участию автора автоматизированной сети непрерывных геофизических измерений на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне. Принципиально важным отличительным моментом является совокупность тех принципов, которые автор положил в основу разработки созданной сети, а именно: осуществление долговременных скважинных измерений; проведение одновременных измерений на пунктах, находящихся в существенно разных условиях в смысле

воздействующего электромагнитного поля; комплексность геофизических измерений, что позволяет повышать надежность правильной интерпретации результатов измерений о текущем состоянии геосреды. Такой подход снимает возможные вопросы относительно реальной значимости полученного экспериментального материала и тех выявленных на основе его анализа закономерностей, которые положены в основу последующих теоретических построений.

На наш взгляд, именно эта надежная экспериментальная основа представляет собой наибольшую ценность данной диссертации. Установленные в ней эффекты могут и должны обсуждаться с различных точек зрения и с привлечением различных физических моделей, но сами они, вне всякого сомнения, могут быть отнесены к природным закономерностям, стимулирующими развитие современных представлений об «устройстве» реальной геосреды. Вместе с тем, как уже отмечено выше, автор не ограничил свое исследование получением уникального экспериментального материала и разработкой необходимых для этого инструментальных средств, но продвинулся заметно дальше, предложив непротиворечивые физические модели обнаруженных эффектов.

Содержание диссертации. Значимость полученных результатов. Глава 1 диссертации играет роль развернутого введения, в котором автор представил обзор существующих представлений и экспериментальных данных относительно источников ГАЭ, модулирующего воздействия различных физических процессов в геосреде на уровень ГАЭ, обоснование своего подхода, базирующегося на получении натурных данных при глубинных скважинных измерениях. Глава также содержит хронологически первые (в начале 2000-х годов) результаты выполненных измерений, которые стимулировали все последующее исследование – наличие суточных вариаций ГАЭ и выявление эффекта их деградации во временных окрестностях достаточно сильных местных землетрясений.

Глава 2 носит в большей степени методический характер и посвящена изложению вопросов инструментальной базы и технического обеспечения измерений. В этой главе автор демонстрирует достигнутый им уровень реализации тех отмеченных выше принципов, которые были изначально положены им в основу построения системы измерений. На наш взгляд, созданная автором телеметрическая система, обеспечивающая долговременную, непрерывную, скважинную и широкополосную регистрацию взаимодополняющих геофизических характеристик среды в целом ряде (до пяти на сегодняшний день) пространственно-разнесенных пунктов в таком сейсмически «живом» районе как Петропавловск-Камчатский регион, представляет собой *значительное и самостоятельное достижение* в области экспериментальной геофизики. Особое

внимание автор уделит необходимым вопросам метрологического обеспечения и помехоустойчивости измерений, критической оценке влияния различных фоновых воздействий, что является важным достоинством работы в целом. Подчеркнем также, что созданная система мониторинга реализована в значительной степени на основе *оригинальных технических решений*. Это касается, прежде всего, разработки и использования оригинальных скважинных геофонов, подземных электрических антенн и методик измерений на их основе, позволяющих контролировать фоновые вариации электромагнитного излучения (ЭМИ) различного происхождения и удельное сопротивление околоскважинных пород.

Глава 3 продолжает материал заключительной части главы 1 и содержит результаты и сравнительный анализ *многолетних* скважинных измерений, выполненных автором с использованием разработанных средств в трех пунктах регистрации. Важно, что эти пункты (скважины Г-1, Р-2 и К-33 в обозначениях автора) расположены в существенно различных условиях наблюдений, которые определяются наличием (для скважин Г-1 и К-33) или практическим отсутствием (для скважины Р-2) техногенных электромагнитных излучений СНЧ диапазона. В этой главе автор убедительно показывает, как именно работают созданный им инструментарий геофизического мониторинга и критически анализирует полученный экспериментальный материал в целях выявления ключевых закономерностей. По существу этот анализ направлен на установление физических причин, способных дать объяснение обнаруженных суточных вариаций ГАЭ в долговременных временных рядах и физических причин существенных изменений характера этих вариаций (вплоть до практического исчезновения) во временных окрестностях относительно сильных землетрясений.

Долговременная стабильность обоих эффектов в разных пунктах измерений – и самой периодичности вариаций ГАЭ, и ее «отклика» на предстоящие сейсмические события с последующим восстановлением – указывает на то, что они не являются следствием каких-либо локальных условий и (или) спорадических воздействий, но *характерным явлением* для полигона в целом. Гипотеза, которую выдвигает здесь и затем доказывает автор, заключается в модулирующем воздействии на уровень ГАЭ внешних ЭМИ, причем результат этого воздействия оказывается зависящим от напряженно-деформированного состояния геосреды.

Кроме того в данной главе представлен значительный по важности (для последующего анализа) материал, касающийся прямых лабораторных экспериментов на образцах горных пород по исследованию откликов акустической эмиссии на электромагнитное воздействие (работы сотрудников Научной станции РАН в г. Бишкеке

обсуждаются автором корректно и с указанием необходимых ссылок) и сопоставлению их результатов с данными натурных измерений. Один из ключевых выводов здесь заключается в том, что степень водонасыщения образца значительно влияет на уровень эмиссионного отклика на воздействие внешнего ЭМИ. Следовательно, есть основания полагать, что именно присутствие в геосреде жидкого флюида и обусловленные им фильтрационные процессы объясняет отклик ГАЭ на суточные вариации фоновых ЭМИ естественного и техногенного происхождения. Но важны, очевидно, не только общие соображения, но и порядки величин. Эксперименты, проведенные с участием автора на Бишкекском полигоне показали, что скважинные сигналы ГАЭ дают отклик на электрические поля в среде при уровне последних ~ 0.5 мВ/м и даже ниже, что отвечает уровню вариаций фоновых ЭМИ в скважинах Петропавловск-Камчатского полигона. Это, в свою очередь, указывает на обоснованную возможность сопоставления результатов приведенных экспериментов с данными скважинных измерений с целью подтверждения «электромагнитной» модели суточных вариаций уровня ГАЭ.

Дополнительным аргументом, хотя и косвенным, такого подтверждения является материал заключительной части главы 3, в котором приведено сопоставление суточных вариаций числа слабых землетрясений на Камчатке в целом с суточными вариациями ЭМИ СНЧ диапазона естественного происхождения. Установлена высокая (на уровне 0.9) корреляция этих вариаций, что указывает на возможный общий генезис эффекта суточной периодичности уровня ГАЭ и слабых землетрясений. Само по себе значение коэффициента корреляции еще не говорит о причинно-следственных связях двух процессов, но в контексте всего материала данной главы предположение автора о физической причине суточной периодичности слабых землетрясений по всему региону выглядит достаточно убедительно.

В совокупности, материалы Глав 2 и 3 относятся к той части содержания диссертации, которая отражена в ее названии как эмпирические закономерности. Вне сомнения, этот материал не только оригинален, интересен и важен, но и обладает тем неформальным признаком, который может быть охарактеризован термином «докторский уровень».

Глава 4 «отвечает» за физические механизмы установленных автором эмпирических закономерностей (по сути, новых физических явлений). Здесь автор делает попытку конкретизировать, каким именно образом вариации внешних ЭМИ могут повлиять на вариации уровня ГАЭ и по какой именно причине это влияние радикально уменьшается на завершающей стадии подготовки землетрясения в некоторой (зависящей от интенсивности) удаленности от пункта измерений, т.е. каким именно образом это

влияние связано с напряженно-деформированным состоянием геосреды. Несмотря на то, что данная глава продолжает последовательность изложения материала во всей его совокупности, представляется, что эта глава вполне может играть самостоятельную роль «внутренней диссертации». Действительно, здесь есть своя мотивация исследования (накопленный автором экспериментальный материал), дополнительные натурные эксперименты, обработка полученных ранее и новых данных под углом зрения предложенных физических моделей, специально поставленные лабораторные эксперименты с образцами скважинных пород, наконец, необходимые теоретические построения и подробный критический анализ возможных физических механизмов с опорой на экспериментальные данные.

Главным достижением автора в данной главе является, на наш взгляд, предложенный и обоснованный им последовательный физический механизм влияния слабых (при напряженности на уровне единиц мВ/м) ЭМИ на интенсивность ГАЭ. Физически, для действия подобного механизма необходим «проводник», связывающий вариации ЭМИ с вариациями ГАЭ, и в качестве такого проводника автор указывает на электрически заряженный объем порового флюида в двойном электрическом слое на границе раздела твердой и жидкой фаз горной породы. Появление самого этого слоя является универсальным электрохимическим эффектом взаимодействия различных фаз в реальной геосреде, поэтому основанный на его присутствии и свойствах механизм выглядит не только убедительно с качественной точки зрения, но дает возможность привлечь данные минералогического и электрохимического анализа скважинных пород на полигоне и получить количественные оценки требуемых величин. С другой стороны, на этот механизм естественным образом «ложатся» экспериментальные результаты натурных и лабораторных экспериментов, показывающие прямое влияние на интенсивность ГАЭ фильтрационных процессов просачивания флюида в пористо-трещиноватой среде. После этого автору остается установить *количественную связь* вариаций ГАЭ с вариациями скорости флюида в микротрещине и довести разработку физического механизма до стадии численных расчетов и оценок. Это и сделано автором, причем на каждом шаге своих модельных рассуждений он обращается к соответствующим экспериментальным данным, стараясь минимизировать умозрительные рассуждения (неизбежные, с учетом сложности структуры горных пород и протекающих в них процессах, непосредственное наблюдение которых невозможно).

При формулировке основных результатов автор избежал указания в явном виде на то, что выполненное им исследование позволило установить и физически обосновать *принципиально новый диагностический признак динамики напряженно-деформированного*

состояния геосреды, предшествующей разрядке напряжений в виде землетрясения. Конечно, отбор и конкретные формулировки результатов – сугубо авторское дело, но с нашей точки зрения такой результат действительно имеет место и является, по существу, одним из ключевых.

Отметим, что разработка автором обсуждаемого физического механизма претерпела несколько стадий, и постепенно он приобрел вид законченной (подкрепленной экспериментально и теоретически) модели тех двух ключевых эффектов, которое являются выводами из многолетних эмпирических данных. На протяжении последних лет автор неоднократно рассказывал о результатах своих исследований на семинарах Отделения геофизических исследований ИПФ РАН, и потому нам кажется важным подчеркнуть значительную сложность и даже смелость предпринятой автором попытки построить непротиворечивую модель весьма неочевидного явления и высокий уровень ее (попытки) реализации. На наш взгляд, эта глава, хотя и может оставлять вопросы относительно некоторых оценок и приближений, является украшением диссертации, подкрепляя богатый экспериментальный материал предыдущих двух глав обоснованным ответом на вопрос о фундаментальных причинах установленных (и затем практически примененных) закономерностей.

Глава 5 содержит примеры применения полученных автором результатов и созданной им системы скважинного мониторинга состояния геосреды на Петропавловск-Камчатском полигоне в приложении к решению проблемы прогноза сильных землетрясений. Опираясь на результаты предыдущих глав, автор убедительно доказывает не просто потенциальную, но *фактическую возможность реализации краткосрочного и среднесрочного прогноза* (в зависимости от интенсивности) землетрясений на основе развитых им физических принципов, методов и средств мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды. Несмотря на успех сразу нескольких таких прогнозов, сделанных в реальном времени за последние несколько лет, автор не делает однозначных утверждений относительно решения данной проблемы. Однако, значительный шаг в этом направлении, на наш взгляд, им сделан, и приведенные в данной главе результаты говорят сами за себя.

Касаясь общей характеристики диссертации, отметим ясность изложения представленного (весьма обширного и разнородного) материала, аккуратный подбор иллюстраций, практическое отсутствие каких-либо опечаток и смысловых неточностей. Видно, что автор тщательно и даже скрупулезно подошел к написанию своей диссертации как труду, подводящему итог своих многолетних исследований, вполне отдавая себе отчет в их важности и научной значимости.

Автореферат диссертации также подготовлен с необходимой тщательностью и дает достаточно полное представление о выполненной диссертационной работе.

По совокупности представленных в диссертации результатов, уровню их новизны, научной и практической значимости, а также по объему личного вклада автора, данная диссертация не оставляет сомнений в ее соответствии ученой степени доктора физико-математических наук.

Замечания. Несмотря на высокую оценку данной диссертации, отметим ряд замечаний. Прежде всего, они касаются части наиболее важных формулировок диссертации и автореферата.

1) Фактически, автор не делает различий между такими характеристиками своего исследования, как научная новизна, выносимые на защиту положения и основные результаты. Предложенные им здесь формулировки в значительной степени повторяют друг друга, но по сути это разные вещи – новизна результата не есть сам результат, а защищаемое положение должно сводиться к некоторому утверждению, которое полученными результатами подтверждается и доказывается, но не к ним самим.

2) Собственно результаты диссертации (в Заключение) формулируются частично в той манере обсуждения, которая не кажется нам адекватной подобному разделу – здесь содержатся обороты типа «следует отнести», «предполагается», «могут быть» и т.п. Неудачной представляется и формулировка самого главного результата в изложении автора – «создание основы нового научного направления, связанного с исследованием...» Очевидно, это весьма расплывчато для собственно результата и более подходит для некоторого заключительного вывода *на основе* полученных результатов, и само направление при этом явно не формулируется, а указывается только, с чем оно связано.

3) При описании геодинамического полигона автор указывает на организацию пяти действующих пунктов измерений, но при изложении и обсуждении результатов ограничился только тремя из них. Причины подобной селекции остаются непонятными. Возможно, оставшиеся два пункта обустроены недавно и потому не попадают под определение «многолетних исследований», но все же имело бы смысл, для характеристики современного состояния полигона, провести сравнительный анализ всех имеющихся данных.

Заключение

Диссертация В.А. Гаврилова «Воздействие переменных электромагнитных полей на геоакустические процессы: эмпирические закономерности и физические механизмы» представляет собой законченную квалификационную работу, результаты которой в совокупности можно квалифицировать как крупное научное достижение в области

геофизики. Представленная к защите диссертация имеет важное значение для разработки фундаментальных основ новых методов геофизического мониторинга геодинамических процессов и их внедрения в практику современных геофизических исследований. По объему выполненных исследований, новизне, научной и практической значимости полученных результатов работа полностью соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842, установленным для диссертаций на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, Гаврилов Валерий Александрович, безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация В.А. Гаврилова обсуждена на заседании квалификационного научного семинара Отделения геофизических исследований ИПФ РАН 21.10.2016 г., отзыв на нее в качестве официального отзыва ведущей организации обсужден и утвержден на заседании Ученого совета Отделения геофизических исследований Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федерального исследовательского центра Института прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) 06.03.2017, протокол № 2.

Заведующий отделом геофизической акустики ИПФ РАН
кандидат физико-математических наук

 А.И. Малеханов

Заведующий лабораторией акустики гетерогенных сред ИПФ РАН
доктор физико-математических наук

 А.В. Лебедев

Персональные сведения о сотрудниках, подписавших отзыв:

Малеханов Александр Игоревич

Заведующий отделом ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук

Адрес ИПФ РАН: 603950 г. Нижний Новгород, ГСП-120, ул. Ульянова, 46

Тел.: (831) 4368352, факс: (831) 4365976, E-mail: almal@appl.sci-nnov.ru

Лебедев Андрей Вадимович

Заведующий лабораторией ИПФ РАН, доктор физико-математических наук

Адрес ИПФ РАН: 603950 г. Нижний Новгород, ГСП-120, ул. Ульянова, 46

Тел: (831) 4164723, факс: (831) 4365976, E-mail: swan@hydro.appl.sci-nnov.ru

Мы, Малеханов Александр Игоревич и Лебедев Андрей Вадимович, даем согласие на включение наших персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подписи А.И. Малеханова и А.В. Лебедева заверяю:

Ученый секретарь ИПФ РАН
к.ф.-м.н.



И.В. Корюкин