

ОТЗЫВ

официального оппонента Зейгарника Владимира Альбертовича
на диссертацию 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»

Диссертационная работа В.А. Гаврилова посвящена исследованию влияния слабых электромагнитных сверхнизкочастотных (СНЧ) полей на геоакустическую эмиссию (ГАЭ), установлению физического механизма этого влияния, а также закономерностям изменения ГАЭ при изменениях напряженно-деформированного состояния среды и степени ее влагонасыщенности.

Тема диссертации несомненно актуальна, поскольку решение поставленной задачи открывает возможности лучшего понимания характера текущего геодинамического процесса и на этой основе получать дополнительные данные о сейсмической опасности в контролируемом регионе. В качестве объекта натурных исследований выбран Петропавловск-Камчатский геодинамический полигон, что делает выполненные автором исследования одновременно и особенно интересными и представительными, поскольку этот регион является одним из самых сейсмически активных в мире. Дополнительным доводом в пользу актуальности этой работы является открывающаяся перспектива использования разработанных автором подходов при мониторинге напряженно-деформированного состояния среды в других сейсмоактивных регионах. Таким образом, решение автором поставленной задачи является важно как в теоретическом, так и в практическом плане.

Научная новизна исследований состоит в том, что автору на основе данных комплексных скважинных наблюдений впервые удалось выявить эффект модуляции слабыми электромагнитными СНЧ полями интенсивности ГАЭ горных пород вплоть до глубин порядка 1000 м, предложить на основе этого эффекта совершенно новый прогностический признак, создать физическую модель обнаруженного явления, разработать единую физическую модель вариаций ГАЭ и удельного сопротивления массива пород околоскважинной зоны в контексте особенностей напряженно-деформированного состояния и влагонасыщенности среды. Важнейшие научные экспериментальные результаты, полученные впервые, в диссертации четко сформулированы.

Достоверность полученных результатов и обоснованность сделанных автором выводов и рекомендаций подтверждается высоким уровнем повторяемости результатов

скважинных наблюдений, сопоставлением результатов лабораторных и натурных измерений, постановкой дополнительных специальных измерений, сопоставлением экспериментальных и расчетных данных, метрологическим обеспечением аппаратуры.

Структура диссертации хорошо продумана и логически выстроена. В главе 1 проанализированы известные на сегодняшний день источники ГАЭ; при этом справедливо обращается внимание на значительную роль флюидодинамических и, в частности, фильтрационных процессов, рассматриваются различные процессы, оказывающие влияние, в том числе периодическое (модулирующее), на параметры ГАЭ. Отдельный раздел посвящен суточным вариациям ГАЭ; в нем автор уделяет особое внимание анализу явления деградации суточных вариаций ГАЭ перед сильными сейсмическими событиями, поскольку этим фактом в последующем автор широко пользуется при анализе различных рядов наблюдений.

В главе 2 приведено описание созданной по инициативе автора и при его непосредственном самом активном участии сети автоматизированных комплексных скважинных наблюдений. В частности, приведена номенклатура измерительных средств с их техническими характеристиками. Особенно следует отметить оригинальные технические решения, касающиеся внутрискважинных (подземных) вертикальных электрических антенн, используемых для электромагнитных измерений, в том числе мониторинга кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород. Большое внимание уделено анализу характеристик внешнего возбуждающего поля техногенного и естественного происхождения. Показано, что в рамках решавшихся задач применение подземных вертикальных электрических антенн, основным конструктивным элементом которых является обсадная колонна скважины, имеет ряд ощутимых преимуществ перед наземными антеннами.

Под руководством и при участии В.А. Гаврилова были также разработаны скважинные трехкомпонентные геофоны на основе пьезоэлектрических датчиков А1612, а также ряд других технических средств. В итоге на базе скважинных телеметрических пунктов непрерывного наблюдения, основой которых являются современные технические микропроцессорные средства с устройствами предобработки данных в режиме реального времени, а также центра сбора и обработки информации, в районе г. Петропавловска – Камчатского была создана непрерывно функционирующая сеть комплексных скважинных измерений, обеспечившая получение многолетних рядов данных.

Анализируя опыт многолетних измерений, автор подчеркивает важность правильного выбора мест расположения пункта наблюдения, что требует изучения геологических, гидрогеологических и геофизических характеристик участков выбираемых

скважин. Также обращается внимание на необходимость обоснованного выбора видов измерений, проводимых на измерительных пунктах сети, учитывающего не только решаемые задачи, но и особенности используемых скважин.

Здесь нельзя не отметить, что создание в рамках академической структуры такой наблюдательной сети - пусть и с ограниченным числом пунктов наблюдений - в первой декаде 2000 годов в условиях жесткого недофинансирования фундаментальной науки является ярким свидетельством целеустремленности, изобретательности и научного энтузиазма автора. Ценность созданного под руководством В.А.Гаврилова Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона становится еще более значительной, если учесть, что таких полигонов, на которых проводятся непрерывные комплексные наблюдения в реальном времени в современной России можно насчитать не более 5

Вместе с тем нельзя не отметить, что большинство приведенных в диссертации данных получены на базе пунктов Г-1 и в небольшой степени Р-2, а пункты Е-1 и К-33 к анализу рядов наблюдений практически не привлекались. Это обстоятельство в работе никак не объяснено. Можно предположить, что их привлечение не повлияло бы на результаты. Но если это так, то автору следовало бы об этом прямо сказать. Здесь же следует заметить, что расширение сети, детализация наблюдений, совместная обработка даже однородных рядов, как правило, расширяет базу данных, но одновременно умножает случаи нестыковок и противоречий между данными, что объективно отражает существенную неоднородность исследуемых сред.

Глава 3 посвящена собственно анализу влияния электромагнитных воздействий на ГАЭ. Прежде всего, рассмотрена суточная периодичность изменений интенсивности ГАЭ. Проанализировав данные по всем четырем скважинам Г-1, Р-2, Е-1 и К-33, автор показал, что компоненты электромагнитного излучения (ЭМИ) в темное время суток заметно превышают значения в светлое время суток. Установлено, что физические причины исследовавшихся вариаций ГАЭ связаны с модулирующим влиянием на интенсивность эндогенных геоакустических процессов внешних переменных электромагнитных полей звукового диапазона частот, воздействующих на геосреду в зонах соответствующих скважин. Суточным вариациям низкочастотного электромагнитного излучения (до 1000 Гц) соответствуют практически синхронные вариации ГАЭ на тех же частотах. Помимо фиксации этого важной закономерности, автор на основе анализа этих двух временных рядов на интервалах, предшествовавших сильным землетрясениям с $S \geq 9\%$, показал, что перед землетрясениями имеет место деградация суточной периодичности ГАЭ. Впоследствии этот эффект был использован автором как некий прогностический признак.

Весьма важными представляются приводимые автором результаты, полученные при проведении натурных экспериментов на Бишкекском геодинамическом полигоне с использованием источника электромагнитного воздействия ЭРГУ-600-2. В ходе этих экспериментов было показано, что отклики ГАЭ на электромагнитное воздействие в случае размещения геофонов в скважинах могут надежно регистрироваться уже при уровне напряженности воздействующего электрического поля порядка 0.5 мВ/м. Указанные результаты по порядку величины совпадают с результатами скважинных измерений на скважине Р-2 Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона.

Глава 4 посвящена анализу возможных механизмов влияния вариаций электромагнитного поля на характеристики ГАЭ. Рассмотрены различные факторы, которые могли бы быть ответственны за наблюдаемый эффект. В частности, делается принципиальный - вместе с тем и ожидаемый – вывод об определяющей роли влагонасыщенности на амплитуду и форму геоакустического отклика. Для подтверждения этого вывода были привлечены данные дополнительного полевого эксперимента на скважине Г-1 с частичной откачкой воды из скважины. Очень важным и интересным представляется раздел 4.2.3.1 о физическом смысле трендовых составляющих рядов ГАЭ. Сделанный автором вывод о том, что при достаточной водонасыщенности околоскважинного пространства трендовые составляющие рядов ГАЭ отражают интенсивность движения жидкости в порово-трещиновой структуре этого пространства, в последующем используется при интерпретации результатов многолетнего мониторинга и для объяснения наблюдаемых особенностей во временной окрестности сильных землетрясений. Этот результат представляется совершенно новым и весьма перспективным для последующего использования.

В целом, предложенная автором модель физических процессов, с помощью которой дается объяснение выявленному эффекту модулирующего влияния на интенсивность ГАЭ внешнего переменного электрического поля представляется вполне обоснованной

В главе 4 приводится много примеров различных рядов наблюдений с анализом возможных причин тех или иных временных вариаций и степени коррелированности этих рядов. Известно, что это задача не из легких, поскольку не всегда выявленные вариации воспроизводятся от события (сейсмического) к событию и не всегда эта корреляция проявляется, что имело место и в настоящей работе. Вместе с тем следует отметить очень большую тщательность и критичность, проявленные автором при анализе полученных рядов наблюдений.

Главу 5 следует квалифицировать как оценку перспектив практического использования полученных результатов. На примере конкретных сильных сейсмических событий продемонстрировано, что комплексный геофизический мониторинг, опирающийся на глубинные скважинные измерения вариаций ГАЭ ЭМИ с подземными электрическими антеннами, может дать ценную информацию о напряженно-деформируемом состоянии среды и служить основой для экспертной оценки текущей сейсмической опасности. Вполне можно согласиться с автором в том, что ГАЭ-сигналы являются весьма чувствительным индикатором напряженно-деформируемого состояния геосреды. Многочисленные рисунки глав 4 и 5 это убедительно подтверждают. Вместе с тем, следует согласиться с автором, что полученные результаты нельзя расценивать как свидетельство разработки метода прогноза землетрясений. Они могут быть эффективной компонентой при проведении экспертного анализа текущей сейсмической опасности.

Очень важным с практической точки зрения представляется раздел 5.2. В нем систематизированы сформулированные автором определенные формализованные признаки, позволяющие анализировать реальную ситуацию в плане подготовки заключений о текущей сейсмической опасности. Фактически этот раздел является обобщением большого объема экспериментального материала.

Диссертация хорошо оформлена, написана ясным языком, отдельные повторы сделаны к месту, поскольку способствуют лучшему пониманию изложения, почти не содержит досадных опечаток. Однако две из них следует упомянуть: речь идет о том, что для глубинности и эпицентрального расстояния Охотского землетрясения 14.08.2012 г. на рис.5.13 и стр.321, с одной стороны, и на врезке к рис. 5,15 - с другой, стоят несколько различающиеся величины. Кроме того, на стр. 313 и 316, следовало бы в соответствии с рис.5.14 писать, что уменьшение амплитуды ГАЭ длилось вплоть до июля 2012 года, а не 2011 года, как в тексте.

Результаты работы докладывались на многих конференциях, совещаниях и симпозиумах, а также опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, а также в зарубежных изданиях, включенных в систему цитирования WoS, в трех коллективных монографиях. В этих работах нашло свое полное отражение основное содержание диссертации.

Автореферат полно отражает содержание диссертации, в нем сформулированы актуальность и новизна исследования, а также основные научные результаты и выносимые на защиту основные положения.

Определяющий личный вклад диссертанта в абсолютно все разделы работы не вызывает сомнений.

По диссертации можно сделать несколько замечаний:

1). На стр.215 упоминается ряд работ, где приводится объяснение суточной периодичности землетрясений. В этом перечне отсутствует работа G.Duma, Y.Ruzhin. *Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations. Natural Hazards and Earth System Sciences* (2003) 3: 171-177, где, на мой взгляд, приводится одна достаточно простая и вполне убедительная модель этого явления.

2). В пояснениях к рис. 2.4 никак не комментируются две кривых резистометрии: чему они соответствуют.

3). Не очень ясна причина того факта, что амплитуда ЭМИ для скважины Р-2 (рис.3.15а) в диапазоне 300-1000 Гц вдвое-вчетверо больше, чем для Г-1, хотя у Р-2 отсутствует или снижена техногенная составляющая, если только это не связано с «чувствительностью» антенны-диполя, поскольку они были разных типов.

4). Большая часть представленных данных относится к скважине Г-1 и отчасти Р-2, а данные по двум другим скважинам почти отсутствуют. Было бы крайне интересно сопоставить поведение исследуемых параметров на всех четырех скважинах в преддверии одного из значительных сейсмических событий.

5). Сделанное заключение о сейсмической опасности от 29.01.16 г. (стр.346) в связи с надвигающимся Жупановским землетрясением скорее надо отнести на интуицию авторов, поскольку из приведенных на рис. 5.25 кривых только на двух выявляется выраженная аномалия.

6). На стр. 239 утверждается, что значительные изменения параметров ГАЭ в 2009 году связаны с подготовкой землетрясения Тохоку ($R=2059$ км, $M=9,0$). Можно предполагать, что сопоставимые вариации ГАЭ должны были быть в связи подготовкой чуть более слабого, но более близкого землетрясения с $R=409$ км, $M=8,3$. Было бы интересно сопоставить картину для этих двух событий.

Сделанные замечания не снижают положительного впечатления от диссертационной работы В.А. Гаврилова. Это большая, глубокая и очень содержательная работа, представляющая собой законченное исследование и содержащая обоснованные выводы и заключения. Главным результатом проведенной работы является создание основы научного направления, связанного с исследованием модулирующего воздействия слабых электромагнитных СНЧ полей на интенсивность геоакустической эмиссии горных пород в условиях их естественного залегания.

Все пять сформулированных диссертантом защищаемые положения полностью раскрыты в тексте работы.

Диссертация Гаврилова Вячеслава Александровича «Воздействие переменных электромагнитных полей на геоакустические процессы: эмпирические закономерности и физические механизмы» полностью соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Гаврилов Вячеслав Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент: Доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Адрес института: 125412, Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2

Зейгарник Владимир Альбертович

Тел. 8 (495)485-93-18, zeigarnik@ihed.ras.ru

Я, Зейгарник Владимир Альбертович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Подпись д.т.н. Зейгарника В.А. заверяю:

Ученый секретарь ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН,
доктор физико-математических наук

Р.Х. Амиров