

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Гаврилова Валерия Александровича

на диссертацию Аргунова Вячеслава Валерьевича

### «Эффекты землетрясений в низкочастотных электромагнитных сигналах по наблюдениям на востоке Сибири»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

**Актуальность исследований.** Актуальность темы диссертационной работы В.В. Аргунова определяется необходимостью и возможностью использования методики, базирующейся на контроле параметров естественного электромагнитного ОНЧ – излучения, для дистанционного мониторинга возмущений в нижней ионосфере, обусловленных процессами подготовки сильных тектонических землетрясений. Результаты, полученные в ходе исследований по теме диссертации, ориентированы, прежде всего, на использование в системах краткосрочного прогноза землетрясений, т.е. на решение задачи, безусловно актуальной для сейсмоактивных регионов России. В теоретическом плане результаты этих исследований способны внести вклад в развитие физических представлений о природе литосферно - ионосферных связей.

**Цель и задачи исследований.** Целью работы являлось исследование влияния литосферных процессов на параметры импульсных грозовых электромагнитных сигналов (атмосфериков) ОНЧ диапазона, отражающих появление возмущений в нижней ионосфере. Для достижения указанной цели разрабатывалась методика мониторинга возмущений в нижней ионосфере, обусловленных процессами подготовки сильных тектонических землетрясений, базирующаяся на контроле параметров естественного электромагнитного ОНЧ – излучения; исследовались параметры сигналов атмосфериков, распространяющихся в волноводе Земля - ионосфера над областями эпицентров землетрясений; изучались параметры землетрясений, оказывающих влияние на условия распространения сигналов грозовых разрядов; рассматривались модели ионосферных возмущений, удовлетворяющих наблюдаемым характеристикам сейсмических эффектов в сигналах атмосфериков. В основу работы был положен большой экспериментальный материал, содержащий данные инструментальных наблюдений за грозовой активностью, результаты анализа параметров сигналов атмосфериков, а также модельные расчеты трасс распространения грозовых сигналов в волноводе Земля-ионосфера.

**Научная новизна.** Впервые детально исследовано влияние литосферных процессов, происходящих на заключительных стадиях подготовки землетрясений, на параметры

импульсных грозových электромагнитных сигналов ОНЧ диапазона, используя инструментальные наблюдения за грозовой активностью и модельные расчеты трасс распространения грозových сигналов в волноводе Земля-ионосфера. Впервые выявлены особенности проявлений эффектов воздействия землетрясений и их предвестников в зависимости от параметров землетрясений (магнитуды, глубины очага), мест расположения эпицентров относительно приемного пункта и времени суток приема сигналов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (132 наименования). Общий объем работы составляет 177 страниц печатного текста, включая 72 рисунка и две таблицы.

**Во введении** изложены цели, основные задачи работы, актуальность и степень разработанности темы исследования, научная новизна, практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В главе 1** представлен краткий обзор современного состояния исследований по теме диссертации. Проанализированы достоинства и недостатки различных методик, используемых для дистанционного зондирования ионосферы и поиску откликов литосферных процессов в изменениях параметров ионосферы. В том числе, дается оценка возможностям методов, использующих сигналы низкочастотных наземных радиостанций и грозových электромагнитных сигналов ОНЧ диапазона. При этом отмечается, что такие системы позволяют обнаружить ионосферные аномалии над эпицентрами готовящихся землетрясений, однако при этом не всегда удается достаточно точно определять координаты будущего литосферного возмущения. Указывается, что частичное решение этой проблемы возможно с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, осуществляя непрерывный мониторинг вариаций полного электронного содержания (ТЕС) ионосферы над сейсмоактивными зонами. Необходимым условием для эффективного использования такой методики является наличие густой сети наземных пунктов сети GPS.

**В главе 2** дается достаточно подробное описание измерительного комплекса, используемого для мониторинга возмущений в нижней ионосфере. Также представлено описание методик обработки данных мониторинга, ориентированных на выделение аномалий в вариациях параметров сигналов атмосфериков, обусловленных процессами в литосфере при подготовке сильных землетрясений.

**В главе 3** приводятся основные результаты по дистанционному мониторингу за ионосферными возмущениями над сейсмоактивными регионами с использованием электромагнитных сигналов от грозových разрядов. Исследования показали, что



ионосферные эффекты от воздействия землетрясений проявляются в усилении среднечасовой амплитуды атмосфериков обычно в 2-3 раза (максимально – в 7-8 раз) в день события или в интервале трех суток после события. Возможные предвестники литосферных и более глубоких возмущений проявляются, как правило, также в односуточном (в течение одного - нескольких часов) возрастании амплитуды атмосфериков в среднем за 4-10 суток до событий. Также отмечено наличие характерного минимума в амплитуде атмосфериков за 1-3 суток до события. Проявления вышеуказанных эффектов в нижней ионосфере характерно для землетрясений с магнитудами  $M > 4.0$ . Делается вывод, что результаты наблюдений низкочастотных электромагнитных сигналов грозных разрядов (атмосфериков) могут быть использованы в качестве одного из средств комплексного мониторинга возмущений нижней ионосферы, обусловленных сейсмическими процессами. Методика позволяет выявлять как эффекты землетрясений, так и их предвестники. В качестве одного из главных плюсов методики считается возможность проведения мониторинга возмущений в нижней ионосфере одновременно по разным азимутальным секторам, а также возможность проведения азимутального сканирования области над эпицентром конкретного события с целью уточнения местоположения возмущения в нижней ионосфере.

**В главе 4** на основе моделирования распространения сигналов на трассах, проходящих в волноводе Земля-ионосфера над эпицентрами землетрясений, приведены расчеты амплитудно-спектральных вариаций сигналов атмосфериков, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера, при воздействии сейсмических возмущений на ионосферу. Возможные модели ионосферных возмущений, обусловленных сейсмическими событиями, задавались через высотные профили концентрации электронов в нижней ионосфере и высоту волновода. Результаты расчетов показывают, что регистрирующиеся возрастания амплитуды сигналов в периоды сильных сейсмических событий могут быть объяснены увеличением крутизны профиля электронной концентрации (повышением концентрации) и/или повышением высоты волновода.

В Заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

#### **Замечания** по содержанию диссертации.

1. В разделе 1.1 главы 1 приводится краткая информация о современной ситуации с краткосрочным прогнозом землетрясений. Учитывая, что представленная информация базируется на работах конца прошлого столетия, она не может отражать современное состояние проблемы.

2. В разделе 3.1.1 главы 3 обсуждаются данные, полученные во временной окрестности сильнейших сейсмических событий, произошедших в Японии в марте 2011 года. В этом и во многих других случаях основное внимание диссертант уделяет доказательствам «типичности» проявлений регистрируемых эффектов от землетрясений и их «предвестников». Акцент на «типичность» регистрируемых эффектов заметен и в разделе 3.1.2, где на рисунке 3.7 представлены вариации амплитуды атмосфериков, полученные методом наложения эпох для 17 землетрясений, произошедших в различных регионах. Данные, приводимые на рис. 3.7, можно рассматривать, как попытку представить некий обобщенный «образ предвестника», позволяющий успешно решать задачи краткосрочного прогноза землетрясений. Однако здесь необходимо учитывать два обстоятельства. Во-первых, данные, приводимые на рис. 3.7, связаны, в основном, с землетрясениями с магнитудами не более 6.0. Между тем, как показывают результаты, полученные другими исследователями, проявление заключительной стадии подготовки землетрясений с магнитудой более 8.0, во многих случаях значительно отличается от того, что было характерно для более слабых сейсмических событий. Во-вторых, как показывает опыт исследований, сильные землетрясения могут приводить к многолетнему и очень значительному изменению характеристик геосреды в большой зоне. В таких случаях привычные «предвестники землетрясений» могут надолго перестать проявляться и их обобщение в виде некоего образа теряет смысл.

3. В разделе 3.2.1 анализируются данные о вариациях амплитуд атмосфериков в зоне над эпицентром сильнейшего ( $M=8.3$ ) глубокофокусного ( $h=609$  км) землетрясения, произошедшего 24.05.2013 г. («Охотоморское» землетрясение). Эпицентр землетрясения находился примерно в 360 км к северо-западу от г. Петропавловска-Камчатского в районе Охотского моря. Диссертантом был проанализирован большой объем различных данных, на основании которых был сделан вывод, «что даже очень глубокие землетрясения могут иметь предвестники в виде возмущений нижней ионосферы». Между тем, в указанном случае при анализе данных диссертант не учитывал, что почти одновременно с глубоким Охотоморским землетрясением на Камчатке в районе Авачинского залива произошел рой сильных землетрясений («Майский рой») с глубинами гипоцентров порядка 20 км. Эпицентры землетрясений роя были расположены приблизительно в 150 – 190 км к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского. С 16 по 23 мая в районе роя было зарегистрировано 358 землетрясений класса  $K_S \geq 8.5$ , в том числе, три землетрясения с магнитудами  $M_W \geq 6.0$ . По этой причине аномалии амплитуд атмосфериков в этом случае могли быть связаны не только с глубоким Охотоморским землетрясением, но и с Майским роем землетрясений.



Сделанные замечания не снижают достаточно высокой оценки научного уровня работы.

Диссертация В.В. Аргунова является законченной научно-квалификационной работой, основные результаты которой в должной мере отражены в научных публикациях в изданиях из перечня ВАК и прошли апробацию на международных и российских конференциях. Научные положения и выводы обоснованы в достаточной степени, достоверность защищаемых положений и результатов не вызывает сомнений. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Аргунова Вячеслава Валерьевича на тему «Эффекты землетрясений в низкочастотных электромагнитных сигналах по наблюдениям на востоке Сибири» соответствует требованиям и критериям (9-14) «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации №842 от 24.09 2013 г.), а Аргунов Вячеслав Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы».

**Официальный оппонент:**

**Гаврилов Валерий Александрович**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геодезии и дистанционных методов исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН).

Почтовый адрес: 683006, г. Петропавловск Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9.

телефон: 8 900-44-230-43, e-mail: vgavr@kscnet.ru

Я, Гаврилов Валерий Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Гаврилов Валерий Александрович

27.09.2018 г.

Подпись Гаврилова  
В. А.

заверяю.

Зав. ОК ИВиС ДВО РАН Мельникова С. В.

