

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Смирнова Сергея Эдуардовича

«ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ КАК ИНДИКАТОРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЭРУПТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА СОЛНЦЕ»,

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

Одной из важнейших научных проблем современной геофизики является изучение физических механизмов взаимосвязи электромагнитных явлений и процессов в атмосфере. По мере технического развития данная проблема имеет не только научную, но и приобретает все большую практическую значимость. Воздействие процессов, происходящих в околоземном космическом пространстве, на состояние нижней атмосферы, осуществляется через взаимодействие магнитосферы с ионосферой и тропосферой посредством электромагнитных процессов, поэтому актуальным вопросом является исследование атмосферно – ионосферно – магнитосферных связей

Диссертация Смирнова Сергея Эдуардовича посвящена одному из разделов этой **актуальной проблемы** геофизики - исследованию временных вариаций вертикальной компоненты квазистатического электрического поля Земли во время экстремальных геофизических процессов. Обобщение результатов более двадцати лет наблюдений электрического поля в приземной атмосфере, в организации, становлении и проведении которых принимал непосредственное участие диссертант, представляет собой большую научно-практическую значимость для понимания взаимодействия различных геофизических оболочек.

Представленная диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящей из 194 источника.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, указаны методы исследований, научная новизна и практическая значимость работы, определен личный вклад автора, а также сформулированы основные научные результаты, выносимые на защиту.

В **первой** главе описываются локальные факторы, влияющие на измерения электрического поля приземного слоя воздуха на среднеширотной обсерватории. Обосновывается необходимость учитывать метеорологические факторы, климатическую обстановку, которая детально описывается для района обсерватории Паратунка. Определяются наиболее благоприятные периоды в климатическом отношении при проведении наблюдений. Выделяются виды сигналов, которые вызываются различными типами осадков, и которые необходимо учитывать при исследованиях как ложные. Диссертант детально рассматривает эффекты грозовой активности в спектрах полезных сигналов. Дано первое для региона количественное описание воздействия единичного грозового разряда на электрическое поле при отсутствии осадков и сплошной облачности, описаны эффекты грозовой активности в спектрах мощности электрического поля. Характер изменения спектральной плотности мощности электрического поля в дни с грозами проявляет большую изменчивость по сравнению со спектрами предвестников землетрясений, как по положению максимумов, так и по их интенсивности.

В заключительном параграфе 1 главы диссертант приводит результаты анализа сезонного и векового тренда электрического поля по данным наблюдения обсерватории Паратунка за 1997-2017 гг.

Вторая глава посвящена аппаратному и программному обеспечению измерений. В ней дается детальное описание используемой аппаратуры – датчиков «Поле-2» и «Электропроводность-2», их технические характеристики. Описывается специальный программно-аппаратный комплекс наблюдений, в разработке которого автор принимал непосредственное участие. Систему измерений отличает комплексный подход, учитывающий различные метеорологические и геофизические факторы, влияющие на результаты измерений.

В **третьей** главе излагаются результаты исследований положительных и отрицательных аномалий электрического поля. В конце первого параграфа автор приводит один из возможных механизмов положительной аномалии. Здесь предполагается, что даже электрически нейтральные примеси в воздухе могут вызывать положительные аномалии в электрическом поле. На Камчатке такие примеси могут образоваться от вулканических шлейфов. Детально были исследованы и отрицательные аномалии в суточном ходе напряженности электрического поля в условиях хорошей погоды. Была исследована возможная связь этих аномалий с землетрясениями и было отмечено, что вероятность такой связи составляет всего 36%. Были построены гистограммы распределения отрицательных аномалий по глубине и по времени.

В **четвертой** главе представлены эффекты восхода Солнца в вариациях электрического поля. Приведены результаты эксперимента, показывающие, что главный максимум суточного хода электрического поля определяется конвективными и турбулентными процессами в приземной атмосфере. Автором был предложен метод измерения разности температур на различных высотах атмосферы в качестве меры конвективных процессов, который оказался очень эффективным в изучении суточных вариаций параметров атмосферного электричества. Полученные результаты подтверждают физический механизм развития эффекта восхода Солнца. Аномальные вариации напряженности электрического поля вблизи восхода Солнца обусловлены процессами турбулентности и конвекции в приземной атмосфере при изменении температуры атмосферы. Был выполнен детальный спектральный анализ временных вариаций напряженности электрического поля и вариаций геомагнитного поля с целью определения природы их короткопериодных колебаний, наблюдаемых одновременно в период восхода Солнца. На восходе Солнца в спектрах мощности напряженности квазистатического электрического поля в приземной атмосфере обнаружено усиление колебаний в полосе периодов менее часа, энергия которых недостаточна для прохождения на высоты динамо-области ионосферы.

В **пятой** главе детально описываются эффекты сейсмической активности в вариациях электрического поля. Диссертант проанализировал эффекты в электрическом поле от 37 землетрясений, но более детально были исследованы самые сильные землетрясения, произошедшие на Камчатке 5 декабря 1997 г., 1 июня 1998 г., 8 марта 1999 г., 18 сентября 1999 г., 8 октября 2001 г., 16 октября 2002 г. Обобщая результаты этих исследований, автор делает следующие выводы:

- аномалии напряженности E_z -компоненты электрического поля возникают за сутки до главного толчка землетрясений, как в одиночных толчках, так и при их рое;

- наблюдалось усиление интенсивности шумов в полосе периодов 0.5 – 3 ч. (и соответствующее усиление спектров мощности шумов по сравнению с фоновыми уровнями) при наличии отрицательной аномалии в суточном ходе электрического поля бухтообразной формы при нормальных метеорологических условиях.

- при наличии неблагоприятных метеорологических условий (дождь, снег) перед землетрясением вариации Ez-компоненты поля были очень изменчивыми без выраженных аномалий. При осадках, так же, как и в случае аномалий, сопровождаемых землетрясениями, происходит усиление интенсивности шумов, которые «замазывают» эффекты в электрическом поле литосферной природы.

Были рассмотрены спектры мощности электрических сигналов в различных условиях: без осадков, с осадками, при наблюдении аномалий в различных диапазонах периодов.

Было выявлено с помощью спектрального анализа возрастание интенсивности колебаний в диапазоне внутренних гравитационных волн в период сейсмической активности.

В результате было получено, что спектральная плотность мощности в аномалии электрического поля, сопровождаемой землетрясением, на один-полтора порядка по величине превышает соответствующие фоновые значения, но на порядок ниже при наличии осадков.

В **шестой** главе диссертант рассмотрел влияние солнечных событий на вариации электрических величин. Предваряя результаты своих исследований, автор сделал обстоятельный обзор литературы по обсуждаемой тематике.

В отличие от предшествующих работ, для исследования эффектов геомагнитных бурь в электрическом поле в приземной атмосфере на Камчатке (обс. «Паратунка») использован более широкий набор различных геофизических и метеорологических величин, наблюдаемых одновременно.

На основе анализа 27 вспышечных событий на солнце делается вывод в пользу утверждения, что в основном все наблюдаемые аномалии в электрическом поле связаны с метеорологическими эффектами. Эти метеорологические события, влияющие на параметры вариаций электрического поля, вызывается в основном солнечной радиацией.

Далее диссертант представляет результаты исследования эффектов геомагнитных возмущений в спектрах мощности вариаций электрического поля.

Были проведены детальные исследования возможных эффектов экстремальных геомагнитных возмущений в вариациях электрического поля в приземном слое воздуха на примере трех супербурь - буря октября 2003 г., буря ноября 2004 г., буря 5 апреля 2010 г.

Выбор этих бурь был обусловлен развитием экстремальных событий на Солнце, проявление которых детально рассмотрено в поведении многих геофизических процессов в магнитосфере и ионосфере Земли.

Эруптивные явления на Солнце могут вызывать различные эффекты в электрическом поле приземной атмосферы. Во время Форбуш – понижения влияние галактических космических лучей на электрическое поле дополнительно проявляется в появлении гармоник на периодах атмосферных волн планетарного масштаба (T~48ч).

В **Заключении** сформулированы и суммированы основные результаты диссертации за более чем 20 летний период работы (судя по публикациям). Наиболее значительными из них являются следующие:

1. Получены статистические характеристики отрицательных аномалий градиента потенциала электрического поля. Наиболее вероятные значения бухт понижения градиента потенциала электрического поля составляют величины $-100 \div 300$ В/м, а длительности этих аномалий колеблется от 40 до 60 мин с дополнительным максимумом на 160 мин. Показано, что в 36% случаев аномалии сопровождаются землетрясениями через 1–24 ч.

2. Обнаружено усиление интенсивности спектральной плотности мощности электрического поля в диапазоне периодов внутренних гравитационных волн, что подтверждает «поршневой» механизм воздействия в канале литосфера-атмосфера-ионосфера.

3. Описан эффект одновременного отклика акустической эмиссии в приповерхностных породах земли и аэроэлектрического поля от воздействия электрического грозового разряда, обнаружено повышение уровня эмиссии в диапазоне 6.5 – 11 кГц в осадочных породах.

4. Обнаружен эффект воздействия солнечного события на электрическое поле приземной атмосферы среднеширотной обсерватории. Магнитная буря с внезапным началом вызывает индукционный эффект в электрическом поле. В спектрах электрических параметров приземной атмосферы происходит усиление волн планетарного масштаба, которое является следствием изменения волновых характеристик потока галактических космических лучей.

Новым результатом является обнаружение одновременного отклика акустической эмиссии в приповерхностных породах земли и всплеска в электрическом поле атмосферы от молниевых разрядов. Было выявлено, в каком диапазоне частот акустической эмиссии следует искать такие отклики.

Были определены диапазоны периодов, в которых электрическое поле реагирует на землетрясения и на солнечные события. Обнаружено, что в период подготовки землетрясения с аномалией в суточном ходе электрического поля интенсивность спектров в полосе периодов внутренних гравитационных волн на порядок по величине и более возрастала по сравнению со спектрами в спокойных метеорологических условиях. Во время солнечных эруптивных вспышек в атмосферном электричестве возбуждаются волны планетарного масштаба. Экспериментально показано, что в суточном ходе электрического поля, измеренного на суше, главный максимум определяется не унитарной вариацией, а конвективными и турбулентными процессами в приземной атмосфере.

Научно-практическое значение представленной работы можно отметить по следующим направлениям:

1. Генерация акусто-гравитационных волн во время сейсмических событий является одним из механизмов передачи энергии от литосферы в ионосферу. Полученные соискателем результаты исследования усиления интенсивности колебаний в диапазоне внутренних гравитационных волн могут быть использованы в моделях литосферно-атмосферно-ионосферного взаимодействия.

2. В моделях влияния солнечной активности на климат Земли есть два подхода. Один рассматривает приход дополнительной энергии от Солнца в атмосферу Земли, другой изучает степень модификации свойств атмосферы под действием солнечной активности. Подмеченная соискателем закономерность, что во время солнечных событий возрастают ночные минимумы температур, подсказывает, что влияние Солнца заключается не столько

в дополнительном притоке энергии, сколько в усилении парниковых свойств атмосферы за счет формирования облачности.

3. Отрицательные аномалии в электрическом поле могут быть использованы как один из компонентов комплексного подхода к прогнозу землетрясений.

4. Акустическая эмиссия в различных породах от электрического разряда была хорошо изучена в лабораторных условиях другими авторами. Соискателем в соавторстве впервые была обнаружена акустическая эмиссия в приповерхностных породах от электрического грозового разряда в естественных условиях. Результаты этих наблюдений могут быть использованы для изучения генерации акустической эмиссии от искусственных электрических источников в натурных экспериментах для изучения свойств природных сред.

Не вызывает сомнений и значительный личный вклад автора в представленной работе. Тексты диссертации и автореферата явно свидетельствуют о доминирующей роли С.Э.Соловьева, как в получении экспериментального материала, так и в интерпретации и осмысливании результатов.

Перейдём теперь к замеченным недостаткам диссертации. По существу работы у меня практически нет сколько-нибудь серьезных замечаний. Основные замечания связаны с её оформлением и стилем изложения.

В четвертой главе диссертант делает анализ временных вариаций напряженности электрического поля и вариаций геомагнитного поля. Цель - выявление природы короткопериодных колебаний в электрическом поле, наблюдаемых в период восхода Солнца.

Для такого анализа он использует данные магнитовариационных наблюдений среднеширотной ст. Паратунка и авроральной обсерватории Барроу. По моему мнению выбор ст.Барроу не совсем корректен, так как между меридианами Паратунки и Барроу разброс по долготе составляет около 50 градусов. А долготный размер суббури в авроральной зоне порой не превышает 30 град по долготе. Логичнее было бы использовать данные обс.Шмидта или Уэлена

Аналогичный анализ диссертант проводит и в шестой главе, где приводятся результаты исследования эффектов геомагнитных возмущений в спектрах мощности вариаций электрического поля, используя для этих целей также материалы наблюдения обс.Барроу.

Далее хочу отметить, что структура изложения материала диссертации и ее оформление не свободны от редакционных и стилистических недостатков. Диссертация содержит 6 глав, при этом главы 2-6 имеют по два параграфа, которые избыточны информацией. Такая компоновка, на мой взгляд, несколько осложняет чтение и понимание текста.

Как уже отмечалось, работа актуальна и имеет большую значимость для научного сообщества, занимающегося исследованием атмосферного электричества. По сути некоторая часть диссертации является как бы паспортом обсерватории Паратунка при проведении электрических наблюдений. Логичным применением результатов диссертации были бы рекомендации при организации подобных наблюдений в других регионах и научных организациях в любом удобном формате.

В целом диссертация оформлена хорошо. Тем не менее, есть ряд замечаний. Так на стр. 103 в тексте отмечается – «..метод ЗТ прогноза...» - нет пояснений, что это за метод.

На стр. 116 делается ссылка на работу «... (Атмосфера, 1991), с.395 ...».- целесообразней было бы изложить коротко суть вопроса в тексте диссертации.

Стр. 117, строка 4 снизу; диссертант вводит параметр $\lambda\Sigma$, в тексте нет пояснения, что это за параметр.

На стр. 152 «Рисунок 82 повторяет Рисунок 33». Проще было бы сделать нормальную подпись под рисунком 82, чем читателю листать диссертацию в поисках нужной надписи.

Стр. 161. Диссертант отмечает: «...четко выделяются гармоники с $T = 8, 12, 24$ ч. Это солнечные тепловые (приливные) волны в нижней атмосфере.» Корректней было бы отметить, что эти гармоники в электрическом поле вызываются тепловыми приливными волнами.

Есть претензии к оформлению рисунков.

Стр.35, рис.17. Обозначения, приведенные в подписи к рисунку, не обозначены на рисунке

Стр. 62 рис 33. Часть 4 и 5. Обозначения, приведенные на рис: $-8E+6$, $4E+6$ не расшифровываются ни в подписи, ни в тексте.

Стр. 134. Рис 69. Не указан момент восхода солнца

Стр. 150, рис.80. В подписи к рисунку нет указаний, что означает 1,2,3,4.

Рис. 54 (с.91), рис.67 (стр.128), рис.68 (стр.130), рис.101, 102 (стр.206) имеют мелкие надписи, затруднительные для чтения.

Имеются стилистические погрешности в тексте – стр.32 (строка 4 сверху- «...белее 60 град»), стр. 78 (строка 11 снизу- «...извергается...»; стр. 95 (7 строка сверху- «...Е.А.Чернявкий...»;

Стр.121(строка 12 сверху-...по семи наиболее характерным ходам...

Стр. 135, (строка 5 сверху) «...вариации аргумента взаимных спектров...»

Несмотря на указанные недочеты, диссертация С.Э. Смирнова представляет собой законченное научное исследование с четкими и убедительными результатами. Текст диссертации написан хорошим языком, структура изложения логична.

По теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе 26 в реферируемых журналах из списка ВАК РФ и 2 статьи в журналах, индексируемых РИНЦ. Эти научные публикации в полной мере отражают содержание исследований, основные выводы и защищаемые положения диссертации. Результаты работы докладывались на общероссийских и международных конференциях. Текст автореферата диссертации соответствуют содержанию диссертации.

Совокупность теоретических и практических результатов автора можно классифицировать как значительное достижение в области изучения атмосферного электричества. Автор системно подошел к исследованию различных видов сигналов в электрическом поле. Определил, что такое норма сигнала и что является отклонением от нормы. Экспериментально показал, чем обусловлен суточный ход в условиях хорошей погоды. Определил, какие виды помех в электрическое поле приносят различные метеорологические факторы. В итоге это позволяет выделять аномалии, не связанные с погодой, а обусловленные экстремальными геофизическими явлениями (такими как землетрясения и магнитные бури). С помощью спектрального анализа рядов наблюдений атмосферного электричества выявил, что усиление колебаний в диапазоне периодов внутренних гравитационных волн происходят во время сейсмических событий, а усиление колебаний в диапазоне планетарных волн обусловлено солнечными эруптивными вспышками.

Таким образом, диссертационная работа Смирнова С.Э. соответствует критериям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к докторским диссертациям. Автор диссертации «Вариации электрического поля земли в сейсмоактивном регионе как индикаторы сильных землетрясений и эруптивных явлений на Солнце» Смирнов Сергей Эдуардович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Официальный оппонент:

Рахматулин Равиль Анатольевич,

доктор физико-математических наук,

заведующий комплексной магнитно-ионосферной обсерваторией.

Я, Рахматулин Равиль Анатольевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«27» 09 2018 г.



Подпись

Место печати

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126-а, а/я 291

Тел.: +7(3952)428265

e-mail: uzel@iszf.irk.ru

Подпись Рахматулина Р.А. заверяю



 Семахридзе И.И.