

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 в диссертационный совет Д999.004.03 на соискание
автором ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 25.00.29 – . Физика атмосферы и гидросферы

1. Актуальность темы диссертации

Важное место в атмосферном электричестве занимают исследования электрических характеристик приземного слоя, где протекает большая часть деятельности человека. Атмосферно-электрические характеристики вблизи поверхности земли тесно связаны с метеорологическими и геологическими явлениями, солнечно-земными связями, которые в свою очередь определяются процессами взаимодействия между атмосферой и деятельным слоем земной поверхности. Для интерпретации атмосферно-электрических явлений, происходящих в приземном слое, необходимо проведение экспериментальных и теоретических исследований электрогидродинамических процессов, протекающих вблизи земной поверхности.

В экспериментальных исследованиях атмосферы важное место занимают наземные атмосферно-электрические наблюдения. Электрические характеристики приземного слоя атмосферы определяются степенью ионизации воздуха, турбулентным перемешиванием и наличием аэрозольных частиц в атмосфере. Исследование глобальных возмущений электрического поля требует деятельной информации о причинах локальной изменчивости электрических характеристик приземного слоя, которая определяется действием электродного эффекта вблизи поверхности земли.

Таким образом, проведение теоретических и экспериментальных исследований электрических процессов в приземном слое атмосферы является актуальной научной задачей. При этом поиск предикторов характеристик землетрясений является важной практической задачей.

2. Степень достоверности результатов

Основные положения диссертации, выводы и рекомендации подтверждаются: значительным количеством экспериментальных данных, корректностью поставленных теоретических задач и примененными математическими методами их решения; принятыми физическими допущениями, использованными при их решении, основанными на реальных физических закономерностях, а также хорошим согласием численных расчетов с проделанными аналитическими оценками и экспериментальными данными. Научные положения, выносимые на защиту, выводы и практические рекомендации диссертационной работы сформулированы на основе интерпретации полученных лично автором результатов.

3. Научная новизна и практическая значимость работы

В диссертационной работе существенно расширены современные представления о механизмах формирования электрической структуры приземного слоя, основанных на взаимодействии электрических и гидродинамических процессов, протекающих в нижнем слое атмосферы.

Проведено исследование статистических характеристик вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы при различных метеоусловиях и сейсмических процессах.

Диссертантом впервые:

- экспериментально показана связь максимума суточного хода электрического поля с разностью температур воздуха, измеренных на разных высотах;
- выявлен индукционный эффект влияния магнитной бури на электрическое состояние приземного воздуха на среднеширотной обсерватории в условиях «хорошей погоды»;
- описан эффект одновременного отклика акустической эмиссии в приповерхностных породах земли и аэроэлектрического поля от воздействия электрического грозового разряда.
- получены теоретические оценки воздействия сильных землетрясений на вертикальную составляющую электрического поля приземного слоя атмосферы, подтвержденные в ходе экспериментальных исследований.

Разработанные теоретические модели могут быть использованы для расчетов электрических характеристик приземного слоя в различных метеорологических условиях, в том числе для исследования влияния космической погоды на электрические процессы вблизи поверхности земли. Полученные теоретические и экспериментальные результаты могут быть использованы при построении моделей глобальной токовой цепи, учитывающих вклад генераторов объемного заряда, действующих в приземном слое атмосферы. Предложенные практические рекомендации будут использованы для организации, проведения и анализа данных, наземных атмосферно-электрических наблюдений, в частности, в среднеширотных условиях.

5. Публикации по теме диссертационной работы

По теме диссертации, кроме тезисов и статей в трудах конференций, опубликовано **28** статей в рецензируемых отечественных и зарубежном журналах, из которых 26 в реферируемых журналах списка ВАК (проиндексированных в Web of Science и SCOPUS) и 2 статьи в журналах, индексируемых РИНЦ.

6. Структура диссертации

Структура и оформление диссертации соответствуют рекомендованного ВАКом ГОСТа 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Диссертационная работа Смирнова С.Э. состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, содержащего 194 наименований. Работа содержит 259 листов машинописного текста, 112 рисунков и 13 таблиц.

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. Кратко изложены структура и содержание работы.

В **первой главе** описываются локальные факторы, влияющие на измерения электрического поля приземного слоя воздуха на среднеширотной обсерватории.

В 7 разделах данной главы достаточно подробно обсуждаются особенности пункта наблюдений, состав аппаратуры, факторы землетрясений и метеоусловия в динамике вариаций вертикального градиента потенциала. В четности, показано:

- Суточная вариация электрического поля приземной атмосферы на обсерватории «Паратунка» в условиях «хорошей погоды» отличается от унитарной вариации. Обосновывается необходимость учитывать метеорологические факторы, на больших временных масштабах климатическую обстановку. В сейсмически активном регионе необходимо учитывать возможные процессы подготовки землетрясений.

- На территории проведения исследований наблюдаются сильные сезонные колебания среднемесячных значений атмосферного давления (585 - 1005 гПа) с относительной устойчивостью в августе - октябре месяцах. В сезонном ходе среднемесячных значений температуры наблюдаются сильные колебания $\pm 20^{\circ}\text{C}$, с относительной стабильностью в августе - первой половине октября месяца. В сезонном ходе силы ветра наиболее неблагоприятные периоды приходятся на март - апрель и сентябрь - декабрь месяцы. Из-за специфического расположения обсерватории, окруженной грядками сопков, ветер не оказывает существенного влияния на вариации электрического поля.

- Особенностью электрического состояния атмосферы на Камчатке является малое количество гроз. Дано первое для региона количественное описание воздействия грозового разряда на электрическое поле при отсутствии осадков и сплошной облачности. Описаны эффекты грозовой активности в спектрах мощности электрического поля.

- Исследуются атмосферные шумы, наложенные на суточные вариации напряженности электрического поля. В спектрах мощности суточных вариаций электрического поля E_z были выделены компоненты с периодами, совпадающими с регулярными тепловыми приливными волнами в атмосфере: $T = 24, 16, 12, 8, 4$ ч., а также с колебаниями внутренних гравитационных волн с периодами менее 4 ч.

- Представлены сезонный и многолетний тренд электрического поля в приземной атмосфере на obs. «Паратунка».

Вторая глава посвящена аппаратному и программному обеспечению измерений.

Дается описание основным инструментам измерений, приводятся подробные характеристики датчикам «Поле-2» и «Электропроводность-2». Описываются принципы действия этих приборов. Методика проведения измерений. В разделе представлено описание специального аппаратно-программного комплекса наблюдений. Состав аппаратного комплекса, методика проведения измерений.

В **третьей главе** описываются положительные и отрицательные аномалии электрического поля.

Развитие положительной аномалии, по мнению автора, связаны с появлением в воздухе тяжелых примесей, что приводит к уменьшению электропроводности, а уменьшение электропроводности приводит к увеличению напряженности поля. Отрицательные аномалии поля «хорошей погоды» могут являться факторами землетрясений. Показано, что в 36% случаев аномалии сопровождаются землетрясениями через 1–24 ч. Не обнаружено зависимостей этих величин от класса землетрясения и от расстояния до эпицентра, что указывает на сложный мозаичный характер процессов в литосфере Земли в период подготовки землетрясений.

В **четвертой главе** представлены эффекты восхода Солнца в вариациях электрического поля.

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

В **пятой главе** более подробно описываются эффекты сейсмической активности в вариациях электрического поля.

Обнаружено усиление интенсивности спектральной плотности мощности электрического поля в диапазоне периодов внутренних гравитационных волн, что подтверждает «поршневой» механизм воздействия в канале литосфера-атмосфера-ионосфера. В дни с землетрясениями с аномалией в суточном ходе электрического поля интенсивность спектров в полосе периодов $T=0.5 - 3$ ч на порядок по величине и более возрастала по сравнению со спектрами в спокойных метеорологических условиях, но была ниже на порядок по величине при наличии осадков. 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** представлены исследование эффектов геомагнитных возмущений в вариациях электрического поля.

В результате исследования суточных вариаций электропроводности воздуха, напряженности электрического поля и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий было обнаружено увеличение электропроводности воздуха накануне геомагнитной бури в результате действия солнечных космических лучей и уменьшение ее во время Форбуш - понижения галактических космических лучей с соответствующим ростом напряженности электрического поля. Последовательность сильных солнечных вспышек, сопровождаемых усилением излучения в оптическом диапазоне электромагнитного излучения Солнца, сопровождаются аномальным повышением температуры и влажности атмосферы, что приводит к развитию конвективных облаков.

В разделе «**Заключение**» приведены важные научные результаты, полученные лично соискателем при выполнении всей работы.

7. Наиболее важными результатами диссертации, имеющими высокую степень новизны и научной значимости, являются:

1. Статистические характеристики отрицательных аномалий градиента потенциала электрического поля. Наиболее вероятные значения напряженности электрического поля, зарегистрированные на Камчатке при бухтообразных понижениях, составляют $-(0... -300)$ В/м, а длительности этих аномалий - (40-60) мин с дополнительным максимумом 160 мин. Диссертантом получено, что в 36% случаев аномалии сопровождаются землетрясениями через 1-24 ч. Не обнаружено зависимостей этих величин от класса землетрясения и от расстояния до эпицентра.

2. Аномальные значения напряженности поля в период перед землетрясениями в отсутствие атмосферных осадков достигающие величины ± 200 В/м, а при осадках - ± 1000 В/м. Во время и в период подготовки землетрясений происходит усиление колебаний напряженности вертикального электрического поля в полосе периодов внутренних гравитационных волн.

3. Автором получено, что определяющим фактором суточного хода напряженности электрического поля в приземном слое воздуха на равнинной среднеширотной местности в условиях хорошей погоды, является утренний конвективный генератор.

4. Показано, что во время магнитных бурь в электрических характеристиках приземной атмосферы происходит усиление волн планетарного масштаба. Обнаружен эффект воздействия солнечного события на электрическое поле приземной атмосферы среднеширотной обсерватории. Магнитная буря с внезапным началом вызывает индукционный эффект в электрическом поле. В спектральной области электрических параметрах приземной атмосферы происходит усиление волн планетарного масштаба, которое является следствием изменения волновых характеристик потока галактических космических лучей.

8. Соответствие автореферата диссертации.

Текст автореферата написан хорошим научным языком и дает полноценное представление о постановке задач и результатов диссертации. В автореферате кратко и достаточно ясно изложено содержание диссертационной работы.

9. Практическая ценность результатов

В силу новизны полученных результатов исследование имеет вполне определенную фундаментальную и практическую значимость.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования для фундаментальной науки состоит в существенном расширении границ наших знаний о природе атмосферного электричества и факторах формирующих его временные изменения. Полученные взаимосвязи вариаций поля земли при землетрясениях могут быть использованы для целей прогноза и мониторинга землетрясений. Важным направлением исследований в теории солнечно-земных взаимосвязей является развитый автором подход в оценке роли космической погоды в вариациях поля приземной атмосферы. Результаты диссертации найдут практическое применение при решении задач радиофизики.

10. Апробация работы и публикации.

Материалы диссертации прошли апробацию на 22 российских и международных конференциях в период 1998-2018 гг. Работа, выполненная по теме, была поддержана грантами РФФИ №№ 00-05-65020; 00-05-79047; 00-05-65380; 04-05-65100 и рядом программ фундаментальных исследований РАН.

11. Замечания по диссертации.

1. Автор в диссертации в качестве основных публикаций приводит только 26 статей, что явно не отражает общее количество публикаций по теме работы. Согласно информации на стр. 10...13 автор не включил в перечень работ (автореферат стр 30...33) материалы различных конференций. Не на все свои основные работы ссылается автор в диссертации (всего на 16). В этой связи рекомендуется в заключение совета отразить количество всех работ по теме диссертации.

2. Разработки автора: оригинальная программа сбора и анализа данных суточных вариаций напряженности электрического поля приземной атмосферы. 32 [Смирнов, 1997], база данных их значений следовало зарегистрировать в Российской системе ЕГИСУ, а методику их обработки следовало оформить в соответствии с ГОСТ.

3. Автор для мониторинга градиента потенциала приземной атмосферы использует регистратор («Поле -2», разработка ГГО) 50-х годов прошлого столетия. В настоящее время в ряде регионов используют современные отечественные разработки: «Рябина» (разработка ВКА им. Можайского, С.-Петербург), зарубежные EFM 550 (разработка фирмы Vaisala, Финляндия) и др. Указанные датчики значительно превосходят по тактико-техническим

характеристикам измеритель Поле-2. В работе нет упоминаний об этих устройствах, как в обзорной части, так и в главе 2 с описанием используемой в работе аппаратуры.

4. Некоторые рисунки читаются плохо, переполнены излишней информацией (рис. 54, 102, 110, 111, 112). Есть редакционные неточности:

Значения порядка минус (100-300), класс землетрясений, вторая степень в выражении (4), знак $\sum$ в выражениях (2), (8) и др. Повторяются формулы (2), (7) и (18), (4) и (7). Не совсем корректно используется географическое слово «бухта». В некоторых случаях оно используется для обозначения пакета сигнала E_z за определенное время (стр. 99) или формы сигнала.

5. При поиске аномалий суточных вариаций E_z (глава 3) автор ограничился определением долей (процентом) того или иного значения градиента потенциала при сейсмических событиях. Работа выиграла бы, если автор провел бы корреляционный анализ взаимосвязей аномалии поля и сейсмических событий, что, по-видимому, будет предметом дальнейших исследований автора.

6. Длительность молниевых разряда, как правило, десятки микросекунд. В этой связи зарегистрирована реакция поля на разряд молнии 2 октября 2008 г. в 30 сек требует обоснования. Не связано ли это с инерционностью используемой аппаратуры?

7. В работе отмечается сравнительно низкий уровень значения градиента потенциала электрического поля. Следует пояснить, является ли это локальной особенностью места измерения. Требуется обоснование полученный отрицательный тренд в многолетних среднесуточных значениях напряженности поля (рис. 3). Связано ли это с локальными или глобальными факторами?

12. Заключение

Отмеченные недостатки, по мнению оппонента, носят дискуссионный характер и не снижают ценности диссертационной работы.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты, выполненные на высоком научном уровне, оригинальны и обладают научной новизной. Практическая значимость работы не вызывает сомнений.

Считаю, что диссертационная работа Смирнова С.Э., представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержащую ряд новых научных положений и практических результатов, имеющих важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационная работа является законченным фундаментальным научным исследованием электрических процессов в приземном слое атмосферы. Совокупность выполненных теоретических и экспериментальных исследований является крупным научным достижением в области атмосферного электричества и вносит существенный вклад в развитие нового научного направления: электродинамика приземного слоя атмосферы.

Научные результаты диссертации соответствуют пунктам 1, 2 и 8 Паспорта специальности 25.00.29. – «Физика атмосферы и гидросферы».

Аджиев Анатолий Хабасович
Доктор физико-математических наук, профессор
Заведующий отделом стихийных явлений
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Адрес: 360030, КБР, г.Нальчик, пр.Ленина, 2,
adessal@yandex.ru
тел.8(8662)40-19-16

«17.09.2018» «»

Дата Подпись

8