

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

Диссертация Смирнова Сергея Эдуардовича посвящена **актуальной проблеме** геофизики - исследованию вариаций вертикальной компоненты квазистатического электрического поля Земли во время крупномасштабных динамических процессов в сейсмоактивном регионе. Соискателем было дано обобщение результатов наблюдений электрического поля на Камчатке за двадцатилетний период. Этот регион отличается повышенной сейсмической и вулканической активностью, что дает богатый материал для изучения литосферно-атмосферно-ионосферных взаимодействий. Такой экспериментальный материал был собран и тщательно проанализирован диссертантом.

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

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 дано подробное описание типов вариаций сигналов с периодами порядка секунды и выше. Для правильной интерпретации физических причин сигналов привлекались результаты измерений электропроводности воздуха и метеопараметров. Автором сделана попытка обобщения и учета влияния локальных факторов на вариации электрического поля в различных метеорологических условиях, включая грозовые. Отдельное внимание уделено вопросу выделения атмосферных шумов в суточных вариациях, необходимых для тщательного анализа экспериментальных данных. Особый интерес представляют построенные сезонный и вековой тренды электрического поля за 1997-2017 гг. Интересным результатом является обнаружение одновременного отклика акустической эмиссии в приповерхностных породах земли и всплеска в электрическом поле атмосферы от грозового разряда.

Во **второй** главе, которая в значительной мере носит технический характер, описывается программно-аппаратный комплекс измерений, который разработал соискатель. Этот комплекс основан на современных сетевых и Интернет технологиях. Для измерения напряженности электрического поля и электропроводности используются стандартные приборы. Результаты измерений отображаются в реальном времени в сети Интернет, что, в совокупности с другими обсерваториями, позволяет отслеживать состояние возмущенности электрического поля во всех регионах Земли.

В **третьей** главе описываются положительные и отрицательные аномалии электрического поля. Под аномалией в данном случае понимаются резкие изменения напряженности электрического поля в условиях хорошей погоды при невозмущенном термодинамическом состоянии воздуха. Отрицательные аномалии перед землетрясениями наблюдались многими авторами в различных сейсмоактивных районах, но подобные наблюдения носили эпизодический характер. Автором были рассмотрены такие аномалии

на основе анализа непрерывного многолетнего ряда данных наблюдений, исследовано распределение этих аномалий по глубине и по времени. Было получено, что наиболее вероятные значения напряженности электрического поля, зарегистрированные на Камчатке при "бухтообразных" понижениях, составляют (0... -300) В/м, а длительности этих аномалий составляет 40-60 мин с дополнительным максимумом в спектре распределения около 160 мин. Показано, что в 36% случаев аномалии сопровождаются землетрясениями через 1-24 ч. Показано, что отрицательные аномалии в электрическом поле могут быть связаны с сейсмической активностью, а положительные - с вулканической.

В **четвертой** главе исследованы эффекты формирования суточного хода вариаций электрического поля на восходе Солнца, связанные в первую очередь с турбулентными и конвективными процессами в пограничном слое атмосферы. Показано, что главный максимум суточного хода электрического обусловлен утренним конвективным генератором. Обнаружено усиление колебаний в полосе периодов менее часа, энергия которых, однако, не достаточна для достижения высоты динамо-области ионосферы.

В **пятой** главе более подробно описываются эффекты сейсмической активности в вариациях электрического поля. Проанализированы особенности динамики электрического поля в период подготовки землетрясений и после них на основе данных по отдельным сильным землетрясениям в период 1997-2002 гг. С помощью спектрального анализа было выявлено возрастание интенсивности колебаний в диапазоне внутренних гравитационных волн в период сейсмической активности.

В **шестой** главе представлены результаты исследования влияния эффектов геомагнитных возмущений в вариациях электрического поля. Подробно проанализированы спектры вариаций различных геофизических параметров и проведено их сопоставление. Продемонстрировано, что во время Форбуш-понижения влияние галактических космических лучей на электрическое поле дополнительно проявляется на периоде атмосферных волн планетарного масштаба. Показано, что в волновых возмущениях диапазон периодов внутренних гравитационных волн отвечает за экстремальные сейсмические события, а периоды волн планетарного масштаба являются откликом эруптивных явлений на Солнце.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации. Наиболее значительными из них мне представляются следующие:

1. Экспериментально исследованы основные особенности формирования суточного хода электрического поля в условиях «хорошей погоды» на Камчатке. Выявлена роль утреннего конвективного генератора. Исследован вечерний максимум электрического поля, обусловленный суточным ходом электропроводности.
2. Получены статистические характеристики отрицательных аномалий градиента потенциала электрического поля, связанных с сейсмической активностью. Предложен механизм положительных аномалий и возможную связь с вулканической активностью.
3. Обнаружено усиление интенсивности спектральной плотности мощности электрического поля в диапазоне периодов внутренних гравитационных волн, Показано, что 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 возросла по сравнению со спектрами в спокойных метеорологических условиях, но была ниже на порядок по величине при наличии осадков.
4. 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.

5. На среднеширотной обсерватории исследованы эффекты воздействия солнечных событий на электрическое поле приземной атмосферы.

Научно-практическое значение представленной работы состоит в следующем:

Создан программно-аппаратный комплекс измерений, основанный на современных сетевых технологиях.

Получены и проанализированы статистические характеристики отрицательных аномалий градиента потенциала электрического поля, связанных с сейсмической активностью.

Выявлен вклад локальных метеорологических факторов в динамику приземного электрического поля на Камчатке.

Следует отметить ряд недостатков диссертации.

1. Композиция изложения материала выглядит не вполне продуманной. Первая глава занимает достаточно большой объем, но материал ее слишком обширен и не однороден по содержанию. Глава называется «Локальные факторы, влияющие на измерения электрического поля» и, судя по названию, носит вспомогательный характер, тем более что в конце главы нет четко сформулированных выводов. Между тем эффект одновременного отклика акустической эмиссии в приповерхностных породах земли и возмущения атмосферного электрического поля, связанного с воздействием грозового разряда, описан именно в этой главе – в разделе 1.4. Раздел 1.6 «Атмосферные шумы, наложенные на суточные вариации напряженности электрического поля» вполне соответствует названию главы, хотя более подробный анализ спектров шума, начатый в этом разделе, продолжен в следующих главах, так что в этой главе его можно было бы не приводить. Раздел 1.7 (в оглавлении и в самом тексте этот раздел пронумерован как 1.6, что является опечаткой) под названием «Сезонный и вековой тренд электрического поля», вопреки названию главы, посвящен не только локальным факторам. Это весьма интересный раздел, но его результаты не нашли отражения в результатах диссертации в целом.

2. В Заключение отмечено, что «если ранжировать вклад различных механизмов в суточный ход электрического поля в условиях «хорошей погоды», то ... на третьем месте стоит унитарная вариация». К сожалению, в диссертационной работе уделено очень мало внимания исследованию этого важнейшего механизма формирования суточной вариации в пункте измерения.

3. На стр. 104 обсуждение взаимно наблюдаемых аномалий в электрическом поле приземного воздуха и аномалий в ионосфере не вполне понятно.

4. На стр. 118 было бы полезно пояснить показатель степени проводимости в эмпирическом уравнении, связывающем проводимость с амплитудой электрического поля.

5. В очень интересной главе 4 не хватает ссылок на некоторые важные работы, в частности, на статью [Marshall et al., A study of enhanced fair-weather electric fields occurring soon after sunrise, Journal of Geophysical Research, 1999, V.104, D20, P.24455], где наряду с результатами наземных измерений электрического поля анализировались данные по профилям электрического поля до высот в несколько сотен метров, измеренным с помощью электростатического флюксметра на привязном аэростате.

Указанные недостатки не снижают, однако, общей высокой оценки работы. Диссертация С.Э. Смирнова представляет собой законченное научное исследование с убедительными результатами. Основные положения, выводы и рекомендации обоснованы и достоверны; они подтверждаются большим объемом экспериментальных данных, корректностью использованных методов их анализа, а также использованием апробированных

теоретических методов анализа механизмов вариаций атмосферного электрического поля. Основные результаты являются новыми. Диссертация полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

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 диссертации написан хорошим научным языком, структура изложения логична. Текст автореферата диссертации соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Смирнова С.Э. соответствует критериям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждения 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:

Мареев Евгений Анатольевич,
член-корреспондент Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
руководитель Отделения геофизических исследований

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

« 01 » 10 2018 г.

Место печати

Подпись

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46
Тел.: +7(831) 416-47-92
e-mail: mareev@appl.sci-nnov.ru

Подпись Мареева Е.А. заверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН
к.ф.-м.н.



И.В.Корюкин