

На правах рукописи

**Смирнов Сергей Эдуардович**

**Динамические характеристики вертикальной компоненты  
квазистатического электрического поля в приземной  
атмосфере на Камчатке**

Специальность 25.00.29. Физика атмосферы и гидросферы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

с. Паратунка Елизовского р-на, Камчатская обл.  
2006

Диссертация выполнена в Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Михайлов Юрий Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Гдалевич Геннадий Лазаревич  
кандидат физико-математических наук Исаев Николай Васильевич

Ведущая организация:

Институт геоэлектромагнитных исследований ОИФЗ РАН

Защита состоится «28» ноября 2006 г. в 16 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д002.237.01 при Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН по адресу: 142190, г. Троицк, Московская обл. ИЗМИРАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗМИРАН

Автореферат разослан «\_26\_»\_октября\_\_\_\_\_ 2006 г.

И.о.ученого секретаря  
диссертационного совета  
д.ф.-м.н.

Деминов М.Г..

## Общая характеристика работы

Диссертация посвящена исследованию динамических характеристик вертикальной компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке.

**Актуальность темы.** Интерес к изучению динамических характеристик атмосферного электричества в сейсмоактивных регионах мира зародился давно. Причиной этому послужило обнаружение аномальных эффектов в суточных вариациях напряженности электрического поля с опережением землетрясений от нескольких часов до нескольких суток. Это навело на мысль об использовании аномального эффекта в качестве одного из возможных предвестников землетрясений и стимулировало интенсивные исследования динамических характеристик электрического поля во многих сейсмически активных регионах мира. В СССР такие целенаправленные наблюдения проводились в Таджикистане, Узбекистане, в Крыму, в Армении. В азиатском сейсмоактивном регионе наиболее продолжительные наблюдения выполнялись в Японии и Китае. На Камчатке как наиболее сейсмоактивном регионе России регулярные наблюдения с целью прогноза землетрясений были начаты в 1991 г. в районе Паратунской гидротермической системы (обс. «Паратунка»,  $\varphi = 52^{\circ}58,3' \text{ N}$ ,  $\lambda = 158^{\circ}14,9' \text{ E}$ ) Институтом космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО РАН и продолжают в настоящее время.

В отличие от ранее проводимых экспериментов, современные наблюдения выполняются в комплексе с регистрацией многих геофизических параметров, непосредственно и опосредованно связанных с динамическими характеристиками электрического поля. Увеличение объема получаемой информации, в свою очередь, потребовало внедрения современных вычислительных средств сбора и первичной обработки данных с целью создания банка данных.

Другая сторона проблемы изучения динамических характеристик электрического поля в сейсмоактивных регионах связана с исследованиями различных механизмов взаимодействия в системе литосфера - атмосфера – ионосфера. В современных теоретических моделях, рассматривающих это взаимодействие, электрическое поле вводится как один из основных параметров, участвующих в модификации нестационарной ионосферы по всей ее толще и в подготовительную фазу

землетрясений. В некоторых моделях – это величины аномальной напряженности электрического поля перед отдельными землетрясениями, которые неоднократно публиковались в печати. Вместе с тем в ряде других моделей взаимодействие рассматривается через атмосферные волны, в частности, через внутренние гравитационные волны. Существенно, что систематические экспериментальные данные такого рода до последнего времени отсутствовали в литературе. Вместе с тем в диссертации показано, что именно этот диапазон периодов атмосферных волн оказался наиболее чувствительным к литосферным процессам. Это стимулировало детальные экспериментальные исследования *спектров мощности* напряженности электрического поля, которые впервые выполнены в рамках рассматриваемой работы. Спектральные вариации электрического поля использованы в ней в качестве одного из средств исследования динамики атмосферы в сейсмоактивном регионе.

**Целью исследования** является поиск и выделение эффектов литосферной природы во временных и спектральных вариациях электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке в различных метеорологических и сейсмических условиях.

Для достижения этой цели в работе необходимо было выполнить следующие **задачи**:

- проведение регулярных наблюдений напряженности электрического поля в комплексе с регистрацией полного набора метеорологических параметров (осадки, давление, температура, облачность, ветер);
- автоматизация сбора и первичной обработки экспериментальных данных с использованием современных информационных систем;
- анализ временных вариаций напряженности электрического поля в спокойных и возмущенных метеорологических условиях, а также в период повышенной сейсмической активности;
- статистическая обработка аномальных вариаций напряженности электрического поля за длительный период наблюдений 1997 – 2002 гг.;
- анализ спектров мощности суточных вариаций напряженности электрического поля в широком диапазоне периодов 0,5 – 24 ч, совпадающих с периодами тепловых приливных атмосферных волн и внутренних гравитационных волн.

Для выполнения этих задач использованы:

- результаты регулярных наблюдений вариаций напряженности электрического поля специальными приемными устройствами на базе автоматизированного комплекса аппаратуры в обс. «Паратунка».

- статистические методы оценки характеристик аномальных временных вариаций напряженности электрического поля с одновременным контролем вышечеречисленных метеорологических параметров, существенно влияющих на динамические характеристики электрического поля;

- цифровые методы спектрального анализа суточных вариаций напряженности поля.

**Достоверность** полученных в диссертации результатов определялась следующим:

- устойчивостью работы приемно-регистрающей аппаратуры;
- выбором эффективных алгоритмов сбора, первичной и последующей обработки экспериментальных данных;

- хорошей корреляцией с результатами других исследователей.

**Предмет исследования:** градиент потенциала электрического поля в приземной атмосфере, который определяет напряженность вертикальной компоненты электрического поля, совпадает с ней по величине и отличается по знаку. В работе используется термин напряженности поля  $E_z$  в В/м. Рассматриваются динамические характеристики напряженности поля *в приземном слое атмосферы*, которые определяются не только глобальной грозовой активностью, но и локальными процессами, такими, как турбулентность, конвекция, радиоактивность, наличие аэрозолей и рельефа места наблюдения. По своему географическому положению п/о Камчатка отличается от открытых пространств над океаном и от континентов, таких как Средняя Азия. Поэтому в диссертации уделено особое внимание описанию метеорологических характеристик на Камчатке. Присутствие аэрозольных частиц в приземной атмосфере в результате вулканических выбросов оказывает также локальное влияние на электрическое поле. В силу вышесказанного следовало ожидать специфического поведения суточных вариаций электрического поля, свойственных только для сейсмического региона Камчатки.

**Научная новизна работы:**

- впервые в вариациях спектров мощности электрического поля обнаружен полный набор колебаний, совпадающих с периодами тепловых приливных волн (24, 16, 12, 8, 4 ч) и внутренних гравитационных волнами (0,5 – 3 ч) в приземной атмосфере;

- показано, что в период подготовки землетрясений происходит усиление колебаний в полосе периодов внутренних гравитационных волн;

- по результатам регулярных наблюдений за 1997 – 2002 гг. за сутки до землетрясения впервые получены статистические распределения аномальных эффектов (величины и длительности аномалий) и их связь с магнитудой землетрясений и расстоянием до эпицентра;

- показано, что осадки вызывают аномальные эффекты во временных и спектральных вариациях электрического поля, которые подобны эффектам в период подготовки землетрясений. Этот факт существенно ограничивает использование аномальных эффектов электрического поля в качестве краткосрочного прогноза землетрясений;

- показано, что даже в условиях «хорошей погоды» вероятность использования аномалий в электрическом поле в качестве возможного прогноза землетрясений составляет величину порядка 36%;

- разработана и внедрена автоматизированная система сбора и первичной обработки экспериментальных данных в obs. «Паратунка» ИКИР ДВО РАН с использованием современных информационных технологий. По своим функциональным возможностям она соответствует современным мировым стандартам. Система предназначена для решения широкого круга научных задач, в том числе и для исследования динамических характеристик электрического поля. Создана база данных для решения широкого круга экспериментальных и теоретических задач.

### **Научная значимость работы**

Полученные в работе результаты по динамике электрического поля в приземной атмосфере Камчатки как во временной, так и в частотной области имеют научное и прикладное значение при построении теоретических моделей взаимодействия литосфера – атмосфера – ионосфера через электрический канал связи, который включает в себя и внутренние гравитационные волны. Кроме того, спектральные вариации электрического поля могут в дальнейшем использоваться в качестве одного из средств исследования динамических процессов в приземной атмосфере Земли. Результаты оценки вероятности прогноза землетрясений по аномалиям электрического поля также могут быть приняты во внимание при разработке системы прогнозов в комплексе с дополнительными геофизическими параметрами.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Установлено в результате статистической обработки более 100 случаев бухтообразных аномалий напряженности электрического поля, зарегистрированных в период наблюдений 1997 – 2002 гг. на Камчатке, что наиболее вероятные значения бухт понижения напряженности поля составляют величины минус (100 – 300) В/м, а длительности этих аномалий – (40 – 60) мин с дополнительным максимумом 160 мин. 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.

2. В спектрах мощности суточных вариаций напряженности электрического поля обнаружены 2 полосы собственных колебаний атмосферы:  $T=0.5 - 3$  ч и  $4 - 24$  ч, которые соответствуют модам внутренних гравитационных и тепловых приливных волн. Обнаружено, что в период подготовки землетрясения 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.

3. Разработана и внедрена автоматизированная система сбора и первичной обработки экспериментальных данных в obs. «Паратунка» с использованием современных информационных технологий, которая позволяет проведение регулярных наблюдений электрического поля и связанных с ним метеорологических параметров: осадки, давление, температура, ветер.

### **Апробация работы**

Основные результаты работы, составляющие содержание диссертации, докладывались на секциях Ученых советов ИКИР ДВО РАН, ИЗМИРАН, на международных и российских конференциях, опубликованы в Трудах этих конференций:

Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава и сотрудников ПКВМУ. 20 – 26 марта 1997 г. Петропавловск-Камчатский.

Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений. Петропавловск-Камчатский. 18 - 21 августа 1998 г. с. Паратунка. Камчатская обл.

Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений. 14 - 19 августа 2001 г. с. Паратунка. Камчатская обл.

Intern. Conf. Problems of Geocosmos. June 3 - 8, 2002. St.-Petersburg. Russia.

III Intern. Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology (MEEMSV-2002), September 3 - 6, 2002. Moscow. Russia.

Всероссийская научная конференция, посвященная 10-летию Российского фонда фундаментальных исследований. "Геофизика на рубеже XX и XXI веков" 8 - 10 октября 2002 г. Москва.

23 General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics. June 30 – July 11, 2003. Sapporo, Japan.

Пятая Российская конференция по атмосферному электричеству. 21-26 сентября 2003 г. г.Владимир.

Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока. 11 - 15 августа 2003 г. с. Паратунка. Камчатская обл.

III Международная конференция. Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений. 16-21 августа 2004 г. с. Паратунка. Камчатская обл.

Вторая Всероссийская школа-семинар по электромагнитному зондированию Земли. 28-30 ноября 2005 г. г. Москва.

#### **Личный вклад автора**

- в полном объеме выполнена статистическая обработка аномальных вариаций электрического поля в период 1997 – 2002 гг.;

- внесен существенный вклад в исследования спектральных особенностей электрического поля в сотрудничестве с коллективом исполнителей ИЗМИРАН;

- выполнена обширная работа по автоматизации широкого комплекса наблюдаемых геофизических параметров, разработаны алгоритмы и программы сбора и первичной обработки сигналов для создания банка данных.

Участие С.Э.Смирнова в программах фундаментальных исследований РАН в качестве основного исполнителя: № 13 (04-1-02-008, 05-1-0-02-051), № 30 (Государственный контракт № 10104-71/П-30/041-404/300605-116 от 30.06.2005), № 16 (06-I-0-00-070), № 16 (Государственный контракт 10104-34/П-16/041-404/310506-014 от 31.05.2006).

Работа, выполненная по теме, была поддержана грантами РФФИ №№ 00-05-65020; 00-05-79047; 00-05-65380; 04-05-65100.

#### **Публикации по работе**

По теме диссертации, кроме тезисов и статей в трудах конференций, опубликовано **6 статей** в рецензируемых отечественных и зарубежном журналах.

## Структура и объем работы

Диссертация включает в себя 4 главы, Введение, Заключение, содержит 101 страницу текста, 44 рисунка, 7 таблиц. Библиографический список содержит 57 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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 **главе первой** дается краткий обзор состояния исследований динамических характеристик электрического поля в сейсмических районах. Ранее обнаружено, что в суточном ходе напряженности электрического поля наблюдаются эффекты, превышающие унитарную вариацию, выделенную в записях на открытых пространствах. В частности, выделены процессы, связанные с локальными факторами, вызывающими изменения проводимости в приземном слое атмосферы. Более того, эпизодически в разных пунктах земного шара (в том числе и в СССР) в суточных вариациях напряженности электрического поля были обнаружены аномальные эффекты с разным временем опережения момента наступления землетрясения. В качестве причины таких аномалий рассматривался радон, интенсивно поступающий с подпочвенными газами в приземную атмосферу в период активного трещинообразования перед землетрясениями. Однако эти измерения носили эпизодический характер, и вся история их исследований диктовала необходимость регулярных целенаправленных наблюдений для практического использования в качестве краткосрочных прогнозов землетрясений. На Камчатке также эпизодически наблюдались аномальные эффекты в суточных вариациях напряженности электрического поля. Опыт наблюдений показал, что независимо от места регистрации их необходимо проводить в комплексе с регистрацией метеорологических параметров, существенно влияющих на вариации электрического поля. Первые системы с использованием ЭВМ были разработаны и внедрены в Главной геофизической обсерватории (ГГО). В настоящее время в России, кроме ГГО, такие автоматизированные системы функционируют в obs. «Борок», во Владимирском университете и в obs. «Паратунка» ИКИР ДВО РАН, единственной в сейсмоактивном

регионе России. Регулярные наблюдения напряженности электрического поля с целью прогноза землетрясений здесь были начаты в 1996 г. и продолжаются в настоящее время.

В главе второй описаны климатические особенности и орография в районе расположения обс. «Паратунка». В этом регионе 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 также сильные колебания  $(-20 + 20)^{\circ} \text{C}$ , 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. Но из-за специфического расположения обсерватории, окруженной грядками сопков, ветер не оказывает существенного влияния на вариации электрического поля. Грозы и град – довольно редкие явления на Камчатке. В силу этих климатических особенностей наиболее благоприятным периодом для исследования динамических характеристик электрического поля с целью выделения эффектов литосферной природы является период с августа по октябрь месяц.

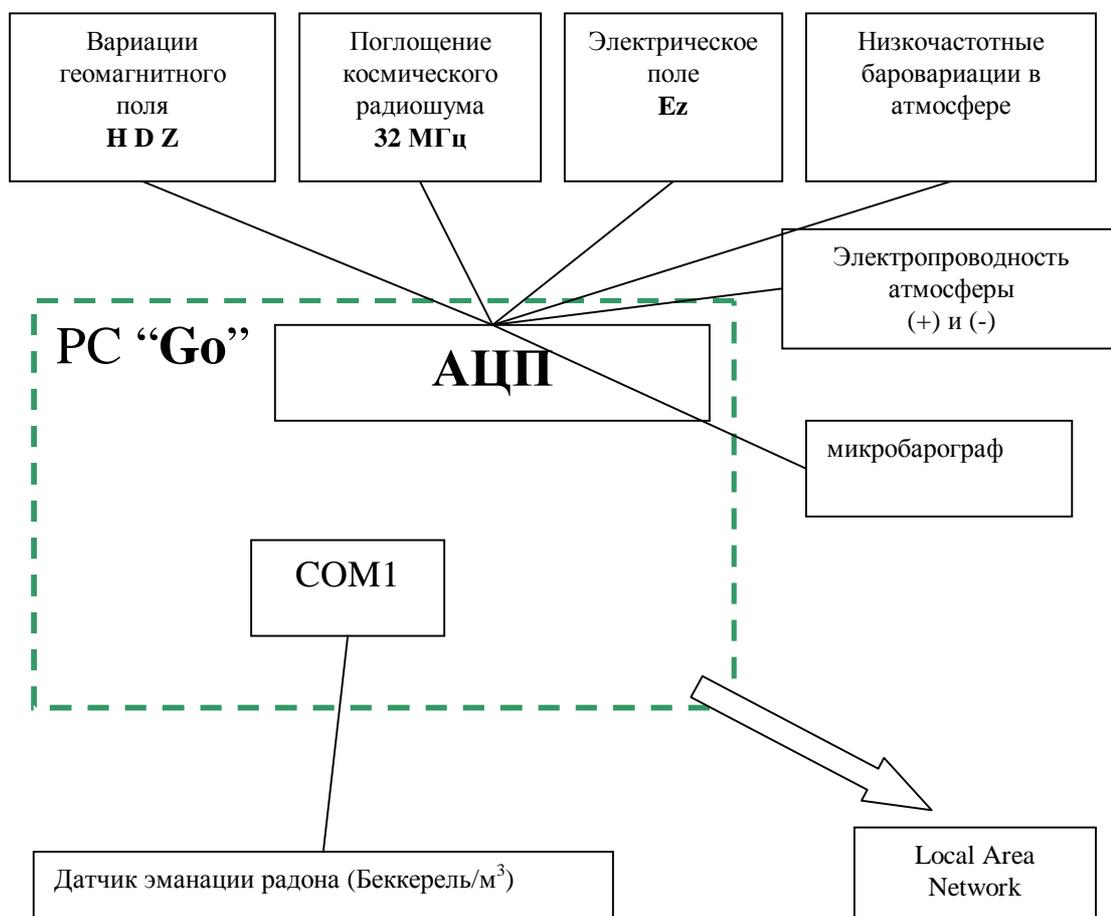


Рис. 1 Схема подключения датчиков на компьютер с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В **третьей главе** описывается основной инструмент, методика проведения измерений и компоненты информационного комплекса. Основным инструментом измерений – это датчик «Поле-2», разработанный И.М. Имянитовым. Методика проведения измерений соответствует руководящему документу Главной геофизической обсерватории. Для многофункционального измерительного комплекса, изображенного на рис. 1, был разработан ряд следующих программ:

- оповещение в случае сбоев работы каждого измерительного канала;
- контроль корректности измерений для каждого канала;
- выборка данных для каждого вида измерений;
- визуальное представление данных;
- коррекция измеренных данных (линейная регрессия);
- коррекция временных сдвигов.

Для создания информационного комплекса была построена иерархическая система классов на языке программирования Си++. С помощью этой системы был получен банк данных за период начиная с 1996 г. по настоящее время.

В **четвертой главе** приводятся результаты исследований временных и спектральных характеристик электрического поля на Камчатке.

В параграфе 4.1 рассматриваются временные характеристики электрического поля, динамика суточных кривых в зависимости от различных геофизических параметров. На рис.2 приведены среднесуточные значения осадков, атмосферного давления, концентрации радона, измеренной в двух точках на разных глубинах, напряженности электрического поля и глобальной геомагнитной активности. Видно, что среднесуточные вариации электрического поля в противофазе с вариациями атмосферного давления. Обильные осадки приводят к резкому понижению напряженности поля, а вариации геомагнитного поля не оказывают на него существенного влияния. Не обнаружено однозначной связи между электрическим полем и содержанием радона в подпочвенном газе. Причина этого не ясна.

Более детально динамика суточных вариаций в зависимости от различных параметров прослежена по индивидуальным суточным графикам. В диссертации приведены обобщенные результаты анализа непрерывных наблюдений в период сентябрь-октябрь месяцы 1999 г. Типичные суточные кривые напряженности поля для

различных геофизических условий приведены на рис. 3. в дни без осадков (16.09 и 27.09), накануне землетрясения (17.09), в день землетрясения (18.09) и в день с сильными осадками (26.09). Видно, что при отсутствии осадков днем и ночью сохраняется относительно спокойный уровень порядка 100-150 В/м, на восходе Солнца в результате повышения температуры в приземном слое атмосферы напряженность электрического поля заметно возрастает за счет уменьшения объемного заряда (конвективные потоки теплого воздуха выносят вверх объемный заряд). При заходе Солнца не наблюдается ни минимум напряженности, свойственный унитарной вариации, ни максимум, характерный для суточных вариаций поля на континентах. Как и в ранее проводимых наблюдениях на Камчатке, аномалии в суточном ходе напряженности поля перед землетрясениями проявляются в виде бухтообразных понижений различной длительности и глубины. Однако подобные эффекты имеют место и при осадках, которые могут маскировать литосферные эффекты.

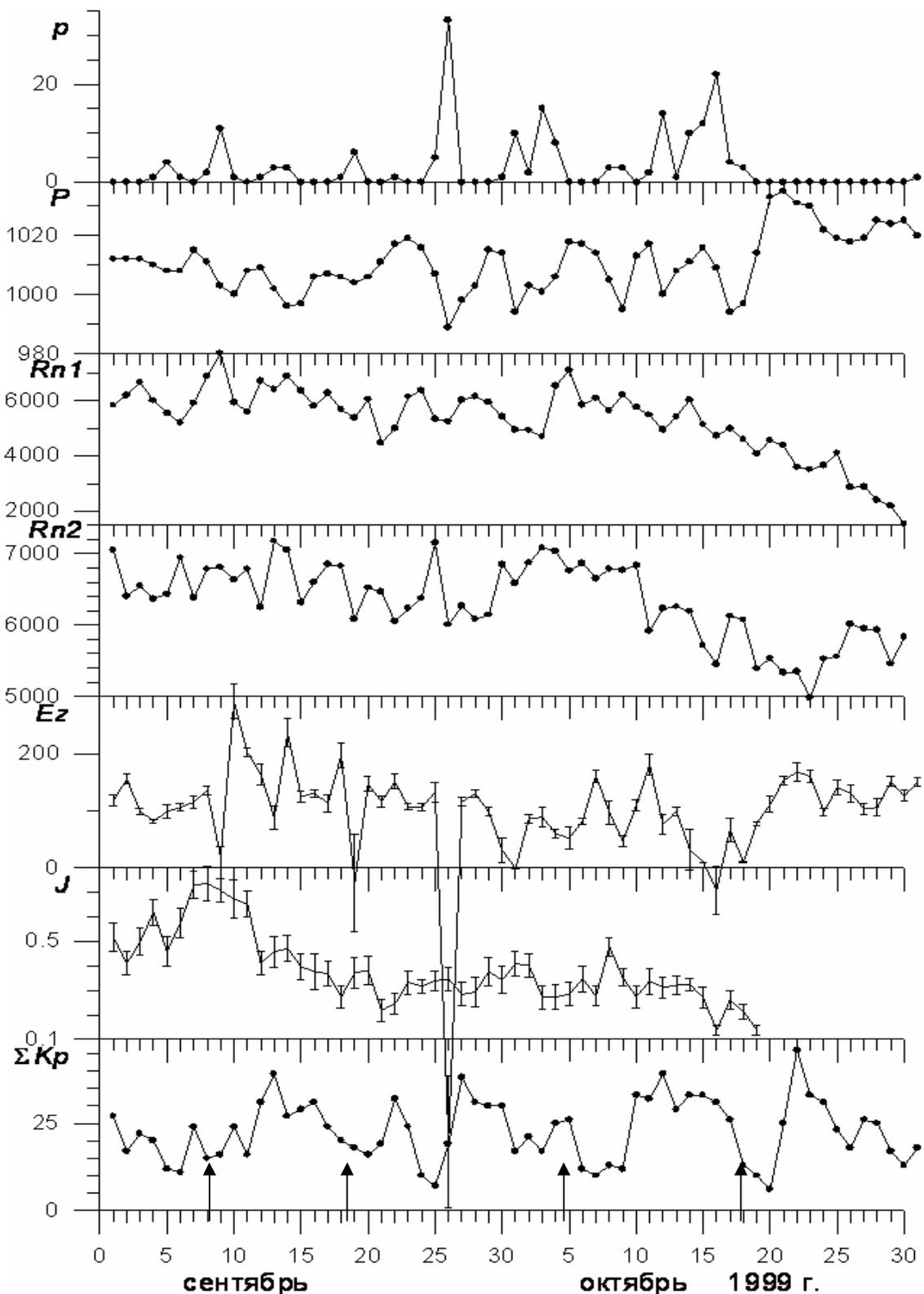


Рис.2. Среднесуточные вариации осадков в  $\text{мм/м}^2$  ( $p$ ); давления в гПа ( $P$ ); радона в  $\text{Вк/м}^3$  в т.1 ( $Rn1$ ) и в т.2 ( $Rn2$ ); напряженности атмосферного электрического поля в  $\text{В/м}$  ( $Ez$ ); естественного электромагнитного излучения на  $f = 5.3$  кГц в отн. ед. ( $J$ ); глобальной геомагнитной активности  $\Sigma Kp$ . Вертикальные отрезки прямых линий – среднеквадратические отклонения. Стрелками указаны моменты землетрясений.

Принимая во внимание вывод из предыдущего параграфа, в параграфе 4.2 детально исследованы аномалии в суточном ходе напряженности электрического поля

только в спокойных метеорологических условиях. В период с 1997 по 2002 г. было обнаружено 103 случая таких аномалий. Гистограммы распределения длительностей бухты и величины понижения напряженности поля в бухте показаны на рис.4. Наиболее вероятные длительности аномалий составляют величину 40 – 60 мин с дополнительным максимумом ~ 160 мин, а величины понижения напряженности поля ~ минус 100 – 300 В/м. Была исследована связь этих аномалий поля с землетрясениями. За положительное событие принималась ситуация, когда в интервале времени 24 ч после аномалии происходило одно или несколько землетрясений класса К от 11 до 15 ( $M = 4,7 - 6,7$ ) с эпицентрами в области с координатами  $(45-55)^{\circ}N$ ,  $(155-165)^{\circ}E$ , включающей пункт регистрации. В 37(36%) случаях после аномалии через 1-24 ч происходили землетрясения. Не обнаружена зависимость длительности бухты и величины понижения напряженности поля ни от класса землетрясения, ни от расстояния до его эпицентра.

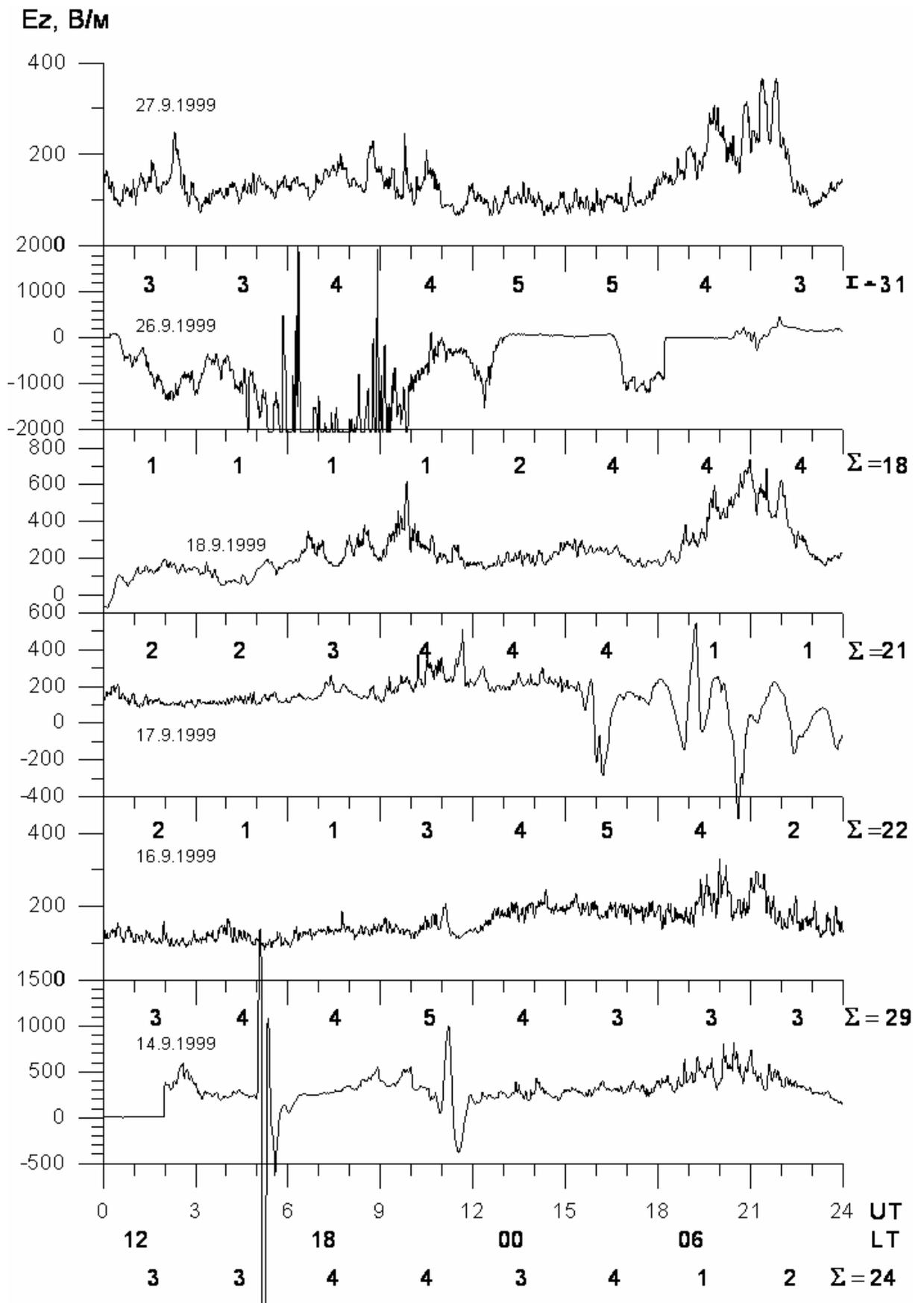


Рис.3. Типичные суточные вариации напряженности атмосферного электрического поля  $E_z$  в (В/м) в разных геофизических условиях.

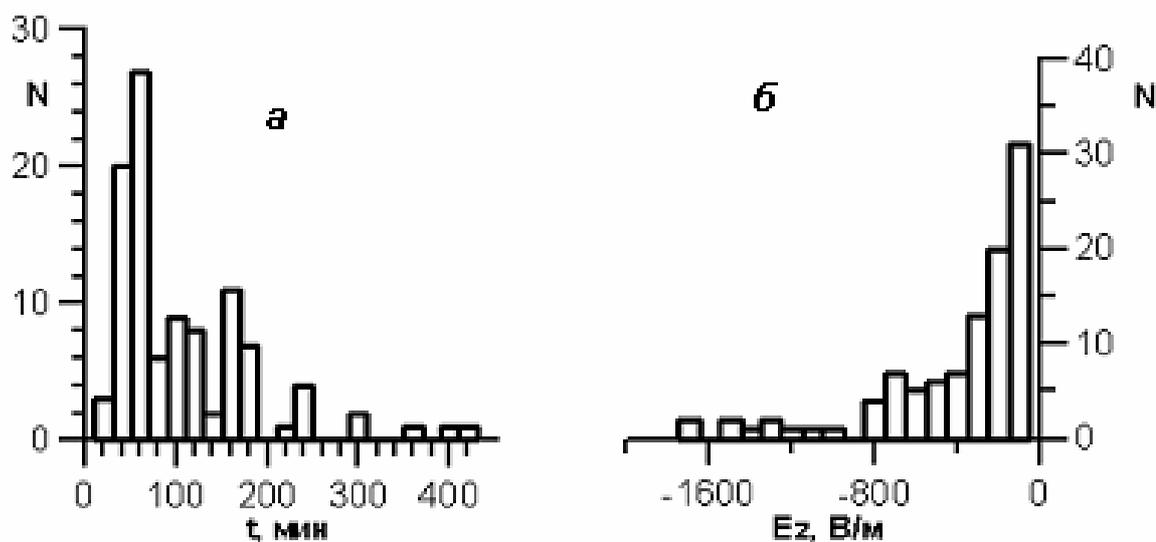


Рис.4. Гистограммы распределения аномалий напряженности электрического поля по длительности бухты (а), по величине понижений напряженности поля (б).

Природа наблюдаемых на Камчатке аномалий квазистатического электрического поля перед землетрясениями до сих пор не ясна. В литературе предложено несколько моделей этого явления. Одна из этих моделей предлагает причину аномалий в вариациях  $E_z$  в приземной атмосфере в результате изменения концентрации радона. Содержание его в земной коре и поступление в атмосферу тесно связано с состоянием деформационных процессов в поверхностных слоях Земли в период активного образования трещин при подготовке землетрясений. Другая модель рассматривает образование зарядов на стенках трещин в горных породах, порождающих квазистатическое поле в атмосфере в дополнение к фоновой величине. Результаты совместных наблюдений напряженности электрического поля и электропроводности, выполненных в ИКИР, подтверждают факт влияния радона в период активного трещинообразования. Вместе с тем низкий процент аномалий электрического поля, сопровождаемых землетрясениями, указывал на то, что, по-видимому, должны существовать еще какие-то дополнительные условия. Поэтому была предпринята попытка поиска литосферных эффектов в вариациях спектров мощности электрического поля.

В параграфе 4.3 рассмотрены спектральные характеристики электрического поля, полученные в результате анализа непрерывных записей в сентябре-октябре 1999 г. Метод спектральной обработки состоял в следующем. Из суточного хода напряженности поля (с дискретностью  $\Delta t = 1$  мин) исключались среднесуточные значения. Результирующая кривая дополнялась нулями до 2048 точек, необходимых

для использования алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Спектр мощности этого ряда значений рассчитывался методом периодограмм с прямоугольным временным «окном» на частотах  $f_k = k\Delta f$  с соответствующим шагом по частоте  $\Delta f = 1/2048\Delta t = 8,14 \cdot 10^{-6}$  Гц и периодами  $T_k = 1/f_k$ , где  $k = 1, 2, \dots, 1024$ . Оказалось, что в результирующих спектрах мощности преобладали гармоники с максимальным периодом, равным 12 ч, также присутствовали более слабые колебания с периодами менее 5 ч. Для получения статистически надежных спектров и выделения устойчивых максимумов было использовано осреднение по числу дней без осадков и землетрясений (22 дня), отдельно для дней с осадками (11 дней), и выделен индивидуальный спектр для 17 сентября с аномалией в суточной кривой напряженности поля. Результирующий спектр для дней без осадков приведен на рис.5.

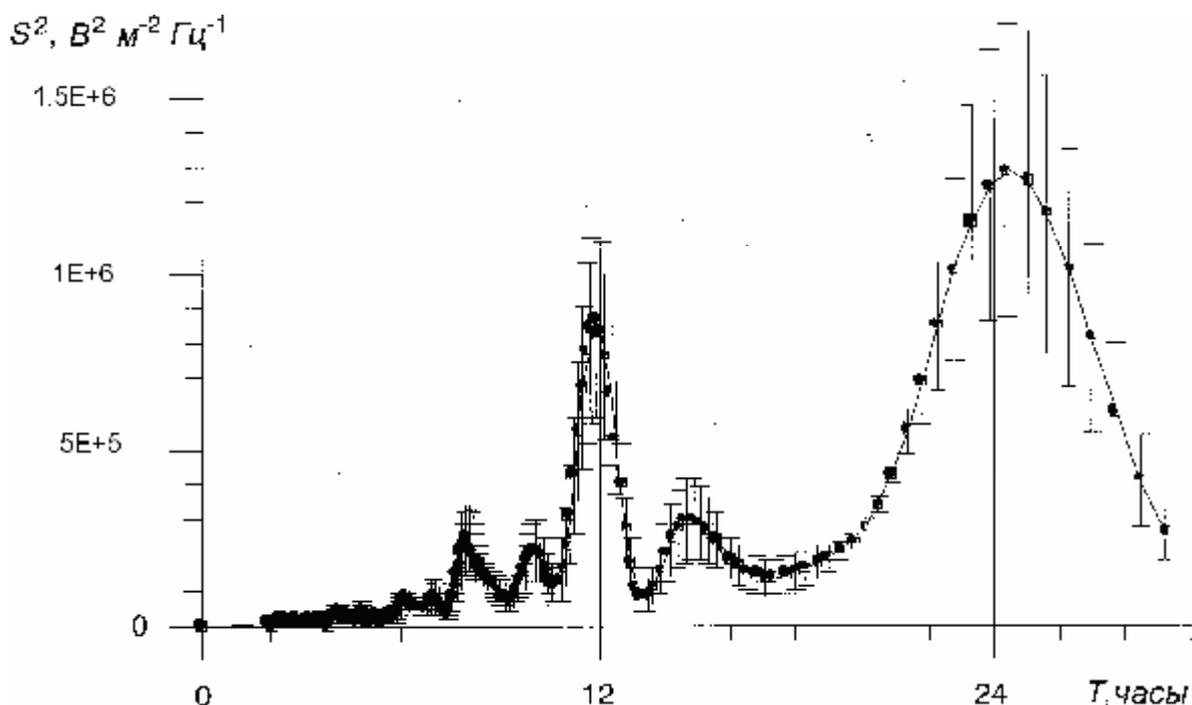


Рис.5. Осредненный спектр мощности электрического поля  $E_z$  с периодами  $2 \text{ ч} < T < 60 \text{ ч}$  для дней с хорошей погодой в период с 1 сентября по 29 октября 1999г.

Выделенные в осредненных спектрах мощности колебания с периодами  $T = 24, 12, 8$  ч совпадают с регулярными тепловыми приливными волнами в атмосфере, связанными с вариациями температуры подстилающей поверхности. Полоса периодов ниже 4 ч, выделенная в результирующих спектрах (рис.6), совпадает с периодами внутренних гравитационных волн, которые отчетливо проявляются в сейсмогравитационных колебаниях Земли и связанных с ними возмущениях давления в приземной атмосфере. Если принять «поршневой» механизм генерации колебаний

атмосферного давления колебаниями поверхности Земли, предложенный в литературе, то колебания электрического поля, по-видимому, могут быть вызваны сейсмогравитационными колебаниями Земли. Усиление этих колебаний перед землетрясениями послужило основанием для более детального анализа особенностей частотных и временных вариаций электрического поля в этой полосе периодов. Во временной форме эти колебания представляют собой шумовой фон, наложенный на суточные вариации напряженности электрического поля.

В параграфе 4.4 приведены результаты исследования особенностей атмосферных шумов, наложенных на вариации квазистатического электрического поля. Метод выделения шумов из суточных вариаций напряженности электрического поля состоял в следующем. После выделения в результирующем спектре мощности индивидуальной суточной кривой полосы периодов 0,5-3,0 ч выполнялось обратное преобразование Фурье. Этот метод был использован для обработки суточных вариаций в период сентябрь-октябрь 1999 г. По временным вариациям интенсивности шумов были оценены экстремальные значения в течение часа, а также среднеквадратичные значения. Кривые распределения этих величин показали следующее. Экстремальные фоновые значения этих колебаний в нормальных метеорологических условиях составляют наиболее вероятные величины в пределах  $\pm 20$  В/м.

При аномалии напряженности поля, сопровождаемой землетрясением в отсутствие осадков эти значения достигают величины  $\pm 200$  В/м, а при осадках -  $\pm 1000$  В/м. Спектральная плотность мощности шумов в полосе периодов 0,5-3,0 ч в аномалии электрического поля, сопровождаемой землетрясением, на один-полтора порядка по величине превышает соответствующие фоновые значения, но на порядок ниже при наличии осадков.

$$S^2, B^2 m^{-2} \Gamma \mu^{-1}$$

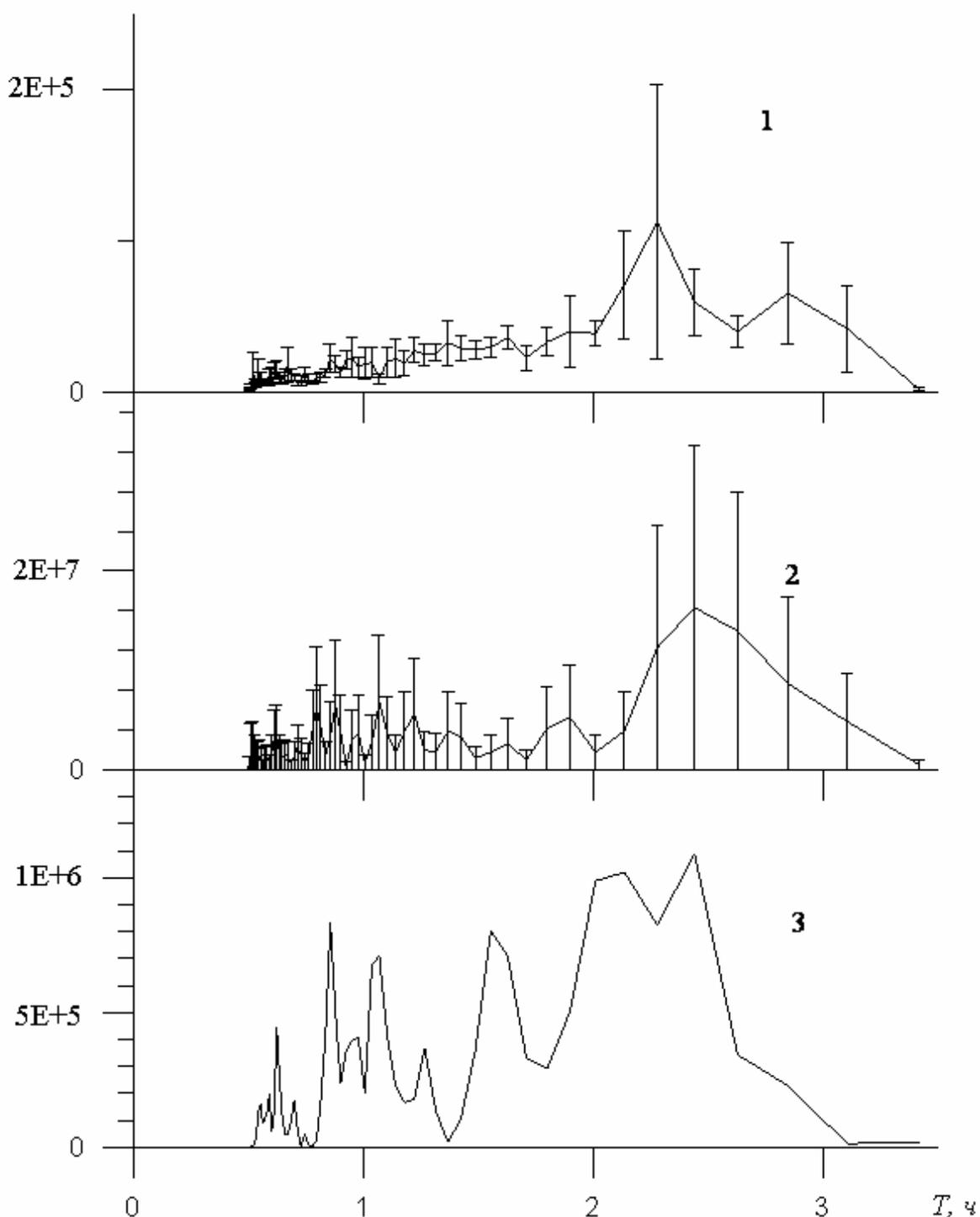


Рис.6. Спектры атмосферных шумов в сентябре 1999: для нормальных метеорологических условий (1), дней с осадками (2) и 17 сентября (3).

В качестве следующего шага были детально проанализированы временные и спектральные вариации шумов в полосе периодов 0,5-3,0 ч на примере индивидуальных землетрясений: 5 декабря 1997 г., 1 июня 1998 г., 8 марта 1999 г., 8 октября 2001 г., 16 октября 2002 г., 30 августа 2004 г. Результаты, приведенные в параграфе 4.5, показали следующее. В бухте аномалии электрического поля при

нормальных метеорологических условиях наблюдалось усиление интенсивности шумов и соответствующее усиление спектров мощности по сравнению с фоновыми уровнями. При наличии неблагоприятных метеорологических условий (дождь, снег) перед землетрясениями вариации интенсивности шумов были очень изменчивыми без выраженных аномалий, и наблюдалось усиление их интенсивности.

В **Заключении** сформулированы основные выводы:

1. Установлено в результате статистической обработки более 100 случаев бухтообразных аномалий напряженности электрического поля, зарегистрированных в период наблюдений 1997-2002 гг. на Камчатке, что наиболее вероятные значения бухт понижения напряженности поля составляют величины минус (100-300) В/м, а длительности этих аномалий – (40-60) мин с дополнительным максимумом 160 мин. 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.
2. В спектрах мощности суточных вариаций напряженности электрического поля обнаружены две полосы собственных колебаний атмосферы:  $T=0,5-3,0$  ч и 4-24 ч, которые соответствуют модам внутренних гравитационных и тепловых приливных волн. Этот экспериментальный результат позволяет использовать вариации спектров электрического поля в качестве одного из средств изучения волновых процессов в приземной атмосфере. Обнаружено, что в период подготовки землетрясения с аномалией в суточном ходе электрического поля интенсивность спектров в полосе периодов 0,5-3,0 ч на порядок по величине и более возростала по сравнению со спектрами в спокойных метеорологических условиях, но была ниже на порядок по величине при наличии осадков.
3. Разработана и внедрена автоматизированная система сбора и первичной обработки экспериментальных данных в obs. «Паратунка» с использованием современных информационных технологий, которая позволяет проведение регулярных наблюдений электрического поля связанных с ним метеорологических параметров: осадки, давление, температура, ветер. Создан банк этих данных в период с 1996 г. по настоящее время.

### **Практическая значимость полученных результатов**

Вся совокупность полученных в работе результатов о динамике электрического поля в приземной атмосфере Камчатки как во временной, так и в частотной области имеет прикладное значение при построении теоретических моделей взаимодействия литосфера-атмосфера-ионосфера через электрический канал связи и через внутренние гравитационные волны.

### **Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Депенева А.Х., Бузевич А.В., Дружин Г.И., **Смирнов С.Э.**, Фирстов П.П. Вариации различных атмосферно-ионосферных параметров в периоды подготовки землетрясений на Камчатке: предварительные результаты // Геомagnetизм и аэрономия. - 2002. - Т. 42. №6.- С. 805-813.

Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., **Смирнов С.Э.** Вариации спектров мощности электрического поля приземной атмосферы на Камчатке // Геомagnetизм и аэрономия. - 2003. - Т. 43. №3.- С. 750-758.

Mikhailov Yu. M., Mikhailova G. A., Kapustina O. V., Buzevich A. V. **Smirnov S. E.** Power spectrum features of near-Earth atmospheric electric field in Kamchatka //Annals of Geophysics. - 2004. - Vol. 47. №1. - P. 237-245.

**Смирнов С.Э.** Особенности отрицательных аномалий квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Геомagnetизм и аэрономия. - 2005. - Т. 45. №2.- С. 282-287.

**Смирнов С.Э.** Программы мониторинга обсерваторских геофизических измерений // Информатика и системы управления. - 2005. № 2(10). - С. 195-198.

Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., **Смирнов С.Э.** Особенности атмосферных шумов, наложенных на вариации квазистатического поля в приземной атмосфере Камчатки // Геомagnetизм и аэрономия. - 2005. - Т. 45. №5. - С. 690-705.

Содержание работы и полученные в ней результаты соответствуют специальности 25.00.29.Физика атмосферы и гидросферы.