

На правах рукописи

ГРУНСКАЯ ЛЮБОВЬ ВАЛЕНТИНОВНА

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ
МЕТОДА КОРРЕЛЯЦИОННОГО ПРИЕМА**

Специальность 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы
и устройства телевидения
01.04.03 – Радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Владимир 2006

Работа выполнена во Владимирском государственном университете

Научный консультант доктор технических наук, профессор
Никитин Олег Рафаилович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических
наук, профессор
Разин Владимир Андреевич

доктор технических наук, профессор
Бернюков Арнольд Константинович

доктор технических наук, профессор
Ларцов Сергей Викторович

Ведущая организация: Главная геофизическая обсерватория
им. А.И. Воейкова (ГГО),
г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится «6» июня 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.025.04 во Владимирском государственном университете по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корпус 1, аудитория 211.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Владимирского государственного университета.

Автореферат диссертации разослан «24» апреля 2006 г. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу совета университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ученому секретарю диссертационного совета Д.212.025.04.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.212.025.04
доктор технических наук,
профессор

А.Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Работа связана с исследованием взаимосвязи электрического поля приземного слоя атмосферы с геофизическими процессами с помощью радиотехнических и радиофизических методов и средств.

В последние годы все большее внимание привлекает к себе проблема влияния на состояние окружающей среды геофизических факторов. Исследования электрических характеристик нижней части тропосферы (приземного слоя), где протекает большая часть деятельности человека, играет при этом важную роль. Изменения электрического поля приземного слоя атмосферы происходят под действием различных антропогенных и естественных процессов. Атмосферно-электрические характеристики вблизи поверхности земли тесно связаны с глобальной грозовой активностью, приливными эффектами, метеорологическими явлениями, сейсмической и солнечной активностью.

Работа направлена на проведение мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы и оценку степени воздействия лунно-солнечных приливов на электрические характеристики приземного слоя. Исследования влияния лунно-солнечных приливов на электрические характеристики приземного слоя важны с нескольких точек зрения. Это фундаментальные исследования в разделе геофизики, связанном с атмосферно-электрическими явлениями в приземном слое. Проводимые исследования являются важным шагом при изучении физической природы и характерных признаков взаимосвязи электрических полей с глобальными геофизическими процессами. Существует тесная взаимосвязь техногенных процессов и жизнедеятельности человека как с локальными, так и глобальными вариациями электромагнитных полей. Например, приливные колебания оказались настолько значительными, что без их знания невозможен точный расчет движения искусственных тел в верхней атмосфере. Приливы играют важную роль в формировании геодинамического режима в сейсмоактивных регионах Земли.

Приливные эффекты наблюдаются в гравиметрии, геомагнитном поле, записях атмосферного давления, электрическом поле ионосферы и приземного слоя атмосферы и являются предметом теоретических и экспериментальных исследований в течение последних двух столетий. Подобные исследования проводятся как в нашей стране, так и за рубежом. В настоящее время в России проводятся исследования взаимосвязи приливных явлений с электрическими полями в приземном слое атмосферы в ряде научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений: Объединенном институте физики Земли им. О. Ю.

Шмидта РАН (ОИФЗ РАН); Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН); Иркутском Институте солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ СО РАН); Главной геофизической обсерватории, Санкт-Петербург (ГГО); Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР ДВО РАН); Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова (МГУ), Казанском государственном университете; Санкт-Петербургском государственном университете; Владимирском государственном университете.

При достаточно большом количестве теоретических и экспериментальных работ в данном направлении остается не выясненным ряд вопросов, связанных с вариациями электрического поля в приземном слое атмосферы, методами оценки воздействия приливов на характеристики электрического поля.

Влияние солнечного и лунного приливов на электрическое поле ионосферы теоретически детально исследовано, тогда как задача проникновения электрического поля, вызванного приливами и возникающего на уровне ионосферы, в приземный слой атмосферы, не решена. Экспериментальные исследования воздействия приливных эффектов на электрическое поле приземного слоя атмосферы связаны с необходимостью получения достоверных оценок амплитуды спектральных компонент электрического поля на частотах приливов. Оценка степени воздействия лунно-солнечных приливов на электромагнитные поля в резонаторе Земля – ионосфера осуществлялась на основе результатов, полученных с помощью классических и параметрических методов спектрального оценивания. Указанные методы анализа зависят от разрешающей способности по частоте, связанной с длительностью исходной реализации, и не позволяют провести достоверную оценку амплитуды электрического поля на конкретной частоте прилива.

Экспериментальные исследования таких процессов, как лунно-солнечные приливы могут эффективно осуществляться путем анализа результатов регистраций электрического поля в сети разнесенных в пространстве на большие расстояния станций. Организация подобных экспериментов является сложной, но реальной задачей.

Основная задача исследований связана с проведением мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы с оценкой степени воздействия на электрическое поле лунно-солнечных приливов и обеспечением возможности на этой основе прогнозирования и анализа техногенных процессов и сейсмической активности.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научная проблема совершенствования методов исследования электрического поля приземного слоя атмосферы и она определяется необходимостью

проведения мониторинга атмосферного электрического поля в сети разнесенных в пространстве станций; решения задачи о распространении возмущений электрического поля, вызванных приливами и возникающих на уровне ионосферы, в приземный слой атмосферы; анализа законов распределения экспериментальных данных по электрическому полю в приземном слое атмосферы; оценки амплитуды спектральных компонент электрического поля приземного слоя на частотах лунно-солнечных приливов.

Цель исследований

Целью диссертации является исследование радиофизическими методами вариаций амплитуды электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах лунно-солнечных приливов на основе разработанной радиотехнической системы мониторинга в сети разнесенных в пространстве станций.

Объекты исследования:

- электрические поля приземного слоя атмосферы;
- модели электрических процессов в приземном слое атмосферы;
- методы и алгоритмы обработки экспериментальных данных;
- методы спектрального оценивания;
- лунно-солнечные приливы в электрическом поле приземного слоя.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

1. Организация и проведение мониторинга электрического поля в сети разнесенных в пространстве специализированных радиотехнических станций.
2. Оценка амплитуды спектральных компонент электрического поля и отношения сигнал/шум на частотах лунно-солнечных приливов по экспериментальным данным станций ВлГУ и ГГО НИЦ ДЗА.
3. Разработка теоретической модели электрических процессов в приземном слое атмосферы. Решение задачи проникновения электрического поля, возникающего на уровне ионосферы под действием лунно-солнечных приливов, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной электрической проводимости земной коры.
4. Исследование адекватности разработанной теоретической модели экспериментальным данным.
5. Исследование статистических характеристик анализируемых сигналов.
6. Разработка каталога спектров электрических полей в приземном слое атмосферы в диапазоне лунно-солнечных приливов.

Методы исследований

Работа основывается на результатах десятилетних экспедиционных

и стационарных измерений электрического поля в приземном слое атмосферы, проводившихся на разнесенных в пространстве станциях. Разработка приемно-регистрирующего комплекса осуществлялась с помощью радиотехнических методов и средств. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с применением корреляционного и спектрального анализов. Оценка уровней спектральных компонент на частотах лунно-солнечных приливов осуществлялась с помощью радиофизических методов. Установленные экспериментально закономерности сопоставлялись с результатами аналитического и численного моделирования, а также с широким комплексом наземных геофизических данных других станций.

Достоверность полученных в работе экспериментальных результатов определяется:

- обоснованной методикой постановки эксперимента, отбора и первичной обработки экспериментальных данных;
- повторяемостью выделенных экспериментально закономерностей на большом статистическом массиве данных;
- сопоставимостью результатов экспериментальных исследований с выводами, полученными по результатам теоретического моделирования;
- совпадением основных установленных в работе закономерностей поведения электрических полей с закономерностями, полученными с помощью экспериментальных данных других станций.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основе мониторинга электрических полей на специализированных радиотехнических станциях, разнесенных в пространстве, получены каталоги спектров электрического поля приземного слоя атмосферы вблизи частот лунно-солнечных приливов.
2. Достоверно выделены и оценены амплитуды гармонических компонент вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах, соответствующих лунно-солнечным приливам, дана оценка отношения сигнал/шум на частотах приливов.
3. Разработана модель проникновения электрического поля, возникающего на уровне ионосферы под действием лунно-солнечных приливов, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной проводимости земной коры. Получены теоретические оценки воздействия приливных сил на вертикальную составляющую электрического поля приземного слоя атмосферы, подтвержденные в ходе экспериментальных исследований.
4. Впервые проведен статистический анализ амплитуд электрического поля приземного слоя атмосферы на больших массивах экспериментальных данных. Данные для статистического анализа получены по записям электрического поля приземного слоя атмосферы станций на физическом полигоне ВлГУ; в ВлГУ; ГГО НИЦ ДЗА. Анализ

гистограмм распределения амплитуды электрического поля показал, что наиболее часто встречающимися являются нормальный закон распределения, законы распределения Коши и Лапласа.

Практическая значимость и реализация результатов работы:

1. Создана система мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций с достоверной оценкой степени воздействия глобальных геофизических процессов. Разработан переносной приемно-регистрирующий комплекс с установкой его на выездных пунктах работы, служащий для непрерывных регистраций электрического поля приземного слоя атмосферы и метеопараметров с привязкой к системе единого времени. Мобильность и компактность комплекса позволяют применять его в удаленных и труднодоступных пунктах наблюдений за параметрами природной среды.
2. Получены оценки амплитуд спектральных компонент электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах лунно-солнечных приливов по данным разнесенных в пространстве станций.
3. Предложена модель проникновения электрического поля, возникающего на уровне ионосферы под действием лунно-солнечных приливов, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной проводимости земной коры. Получены теоретические оценки воздействия приливных сил на вертикальную составляющую электрического поля приземного слоя атмосферы, подтвержденные в ходе экспериментальных исследований.
4. Созданы базы экспериментальных данных и каталоги спектров электрического поля приземного слоя атмосферы за период с 1997 по 2005 годы по разнесенным в пространстве станциям, позволяющие проводить анализ воздействия геофизических процессов, сезонных и суточных изменений E_z , анализ взаимосвязи атмосферного электричества с динамикой метеопроцессов и сейсмической активностью в приземном слое атмосферы.
5. Включение в информационно-навигационные системы МЧС в сейсмоопасных районах малогабаритных приемных комплексов электрического поля позволяет проводить мониторинг сейсмоопасных районов и значительно повысить достоверность прогнозов сейсмической активности, техногенных катастроф, значительно снизить ущерб от катастроф природного характера, сохранить жизнь людей.

6. В диссертации на основе радиотехнических разработок и применения радиофизических методов решена крупная научная проблема современной геофизики, связанная с изучением влияния лунно-солнечных приливов на электрическое поле в приземном слое атмосферы.

Полученные на основе теоретических и экспериментальных исследований результаты могут быть использованы при создании систем мониторинга электрического поля приземного слоя на разнесенных в пространстве станциях; для организации атмосферно-электрических наблюдений; для расчетов электрических характеристик приземного слоя атмосферы; исследования влияния глобальных геофизических процессов, метеопараметров и радиоактивности воздуха на электрические поля вблизи поверхности земли; контроля антропогенного воздействия на атмосферу; при прогнозировании опасных природных явлений (землетрясений, гроз).

Результаты исследований имеют практический интерес для университетов и научно-производственных объединений, работа которых связана с теоретическими и экспериментальными проблемами радиофизики и геофизики. Часть результатов может быть использована в лекционных курсах по радиотехнике, радиофизике и геофизике.

Внедрение:

1. Разработанная цифровая система регистрации с программой автоматического сбора данных для приема информации внедрена в практику работ филиала Главной геофизической обсерватории Научно-исследовательского центра дистанционного зондирования атмосферы (г.Санкт-Петербург).
2. Разработанная методика обработки экспериментальных данных регистраций электрического поля приземного слоя атмосферы и полученные результаты спектральной обработки временных рядов с помощью корреляционного приемника использованы при выполнении НИР «Научно-методическое руководство сетью пунктов наблюдений за атмосферным электричеством» в филиале Главной геофизической обсерватории Научно-исследовательского центра дистанционного зондирования атмосферы.
3. Разработанная мобильная система регистрации электрического поля в приземном слое атмосферы прошла испытания на Владимирском заводе «Электроприбор» и внедрена в производство с разработкой конструкторской документации и изготовлением опытных образцов.
4. Система регистрации электрического поля приземного слоя атмосферы внедрена в практику исследований атмосферно-электрических явлений в приземном слое на экспериментальной базе Иркутского института солнечно-земной физики СО РАН (п. Листвянка).

5. Мобильный приемно-регистрирующий комплекс мониторинга электрических полей в приземном слое внедрен в информационно-навигационную систему Байкальского поисково-спасательного отряда Сибирского регионального центра МЧС.
6. Методика измерения электрической составляющей электромагнитного поля крайненизкочастотного диапазона в среде (грунте) внедрена в практику экспериментальных работ Пензенского научно-исследовательского электротехнического института (ПНИЭИ).
7. Научные и практические результаты диссертации, а именно – исследования воздействия геофизических факторов на атмосферное электрическое поле; оценка амплитуды спектральных компонент электрического поля приземного слоя на частотах глобальных геофизических процессов; приемно-регистрирующий комплекс для исследования воздействия геофизических процессов на электромагнетизм приземного слоя – используются в учебном процессе на кафедре радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета по специальности «Радиофизика», дисциплина «Радиофизические методы исследования и зондирования природных сред Земли».

Положения, выносимые на защиту:

1. Специализированная радиотехническая система мониторинга электрического поля в приземном слое атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций.
2. Оценка амплитуды спектральных компонент электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах термогравитационных солнечных приливов.
3. Модель проникновения электрического поля, возникающего на уровне ионосферы под действием лунно-солнечных приливов, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной проводимости земной коры. Теоретические оценки амплитуд спектральных компонент электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах лунно-солнечных приливов.
4. Статистические характеристики электрических полей приземного слоя атмосферы.
5. Результаты спектрального анализа с помощью корреляционного квадратурного приемника экспериментальных данных по электрическому полю приземного слоя атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций в диапазоне лунно-солнечных приливов. Каталоги спектров электрического поля приземного слоя атмосферы.

Апробация работы

Основные результаты работы, составляющие содержание диссертации, докладывались на научных семинарах ВлГУ, ИЗМИРАН,

ИФЗ РАН, ИКИ РАН, ГАИШ МГУ, НИРФИ. Основные положения диссертации докладывались на международных и всероссийских конференциях и симпозиумах и опубликованы в материалах и трудах:

- всесоюзной конференции «Прием и анализ СНЧ колебаний», Воронеж, 1987 год;

- международной научной конференции «Геометризация физики-IV», Казань, 1999 год;

- Второй Международной конференции «Фундаментальные проблемы физики», Саратов, 2000 год;

- VI Региональной конференции по распространению радиоволн, Санкт-Петербург, 2000 год;

- всероссийской конференции «Геофизика и математика», Пермь, Горный институт УРО РАН, 2001 год;

- XXXIV Тектонического совещания «Тектоника неогей: общие и региональные аспекты», Москва, Геологический институт РАН, 2001 год;

- IV Международной конференции «Проблемы геокосмоса», Санкт-Петербург, 2002 год;

- Международной школы-семинара «Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», Апатиты, 2002 год;

- Шестой Всероссийской научно-технической конференции «Методы и средства измерения физических величин», Нижний Новгород, 2002 год;

- Третьего Всероссийского симпозиума по прикладной и промышленной математике, г. Сочи, 2002;

- V Российской конференции по атмосферному электричеству, Владимир, 2003 год;

- Международной конференции по атмосферному электричеству, ICAE-2003, Париж, 2003 год;

- V Международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации», Владимир, 2003 год;

- 10-й Международной научно-технической конференции «Радиофизика», Москва, 2004 год;

- V Международной конференции «Проблемы геокосмоса», Санкт-Петербург, 2004 год;

- всероссийской научно-технической конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии» Сочи, 2004 год;

- 6-й Международной конференции «Физика и радиоэлектроника в

медицине и экологии», г. Владимир, 2004 год;

- VI Международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации», г. Владимир, 2005 год.

Личный вклад автора

Основные результаты диссертации были получены автором в ходе выполнения научно-исследовательских работ, проводимых на кафедре физики ВлГУ в период с 1972 по 2005 годы.

Исследования, составляющие основу данной работы, проводились в рамках проектов, в которых автор выступал научным руководителем: научно-техническая программа «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» (2003 – 2004 гг.) № 209.06.01.035; гранты РФФИ: № 98-05-64346; № 00-05-79028; № 01-05-64652; № 01-05-79027; № 02-05-79011; №03-05-79130; №03-05-06151; № 04-05-64895.

Все основные виды работ выполнялись лично автором или осуществлялись под его руководством. Автору принадлежат: разработка структуры станций, разнесенных в пространстве; непосредственное участие в создании аппаратного комплекса на экспериментальном полигоне ВлГУ, в радиофизическом корпусе ВлГУ, на станции ГГО НИЦ ДЗА; разработка методик обработки результатов измерений, создание алгоритмов и программ для расчетов на ЭВМ; получение и обработка экспериментальных данных по мониторингу электрического поля в приземном слое атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций; постановка и решение задач теоретического моделирования процесса распространения возмущений электрического поля из ионосферы в нижнюю атмосферу с учетом конечной и бесконечной электрической проводимости земной коры; организация и проведение ежегодных (с 1997 года) экспедиционных работ на полигоне ВлГУ и с 2002 года на станции в ГГО НИЦ ДЗА.

Публикации по работе:

По теме диссертации опубликовано 78 работ, в том числе 29 статей – из них 13 в центральных журналах, 46 публикаций в трудах конференций и тезисах докладов, монография, получены авторское свидетельство СССР и патент Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения,

пяти глав и заключения, списка литературы, насчитывающего 284 наименования. Работа изложена на 258 страницах и содержит 46 рисунков и 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показаны актуальность, научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы цель и задачи, указана методика исследований и обоснована достоверность полученных результатов, определен личный вклад автора, указана апробация работы и сформулированы основные научные результаты, представленные на защиту.

В первой главе проанализированы специфика электромагнитных полей приземного слоя атмосферы, природа атмосферного электричества и основные источники его вариаций в диапазоне лунно-солнечных приливов. Главным источником электромагнитной энергии в резонаторе Земля-ионосфера являются грозовые разряды. В реализациях геофизических полей присутствуют квазирегулярные периодичности различной длительности. Они являются результатом воздействий на геофизическую среду таких внешних колебательных процессов, как лунно-солнечные приливы, сейсмогравитационные и собственные колебания Земли, вариации солнечной активности.

В литературе достаточно широко рассматриваются крупномасштабные колебания ионосферы и атмосферы, возникающие в результате действия сил притяжения Луны и Солнца (лунно-солнечные приливы) и теплового воздействия Солнца (термогравитационные солнечные приливы). Проанализированы модели механизмов генерации вариаций электрического поля в ионосфере под действием лунно-солнечных приливов. Приливы вследствие изменения давления приводят к формированию горизонтальных течений в земной атмосфере. Движение плазмы через магнитное поле создает силу Лоренца. Благодаря амбиполярной диффузии электронов и ионов возникает разделение зарядов, которое создает электрическое поле поляризации. Под влиянием этого поля и силы Лоренца согласно уравнениям магнитной гидродинамики в ионосфере течет электрический ток, который приводит к вариациям магнитного поля, известным как S_q (солнечно спокойные) и L (лунные) геомагнитные вариации. Кроме того, в ионосфере вследствие конечной электрической проводимости возникает горизонтальная разность потенциалов, создающая горизонтальные электрические поля, которые могут проникать на тропосферные высоты.

Проводимые в работе исследования потребовали решения задачи проникновения электрического поля, обусловленного воздействием лунно-солнечных приливов и возникающего на уровне ионосферы, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной электрической проводимости земной коры, а также теоретической оценки параметров электрического поля на частотах приливов. Оценка степени воздействия лунно-солнечных приливов на электромагнитные поля в резонаторе Земля – ионосфера при этом играет важную роль.

В условиях, характеризующихся разнообразием помеховой обстановки, разработка достаточно совершенного метода обработки экспериментальной информации, связанного с оценкой параметров спектральных компонент электрического поля на частотах лунно-солнечных приливов, возможна на основе теории оптимального приема.

На основании проведенного анализа и обзора публикаций сформулированы проблемы и задачи исследований: разработка системы мониторинга электрического поля приземного слоя в сети разнесенных в пространстве станций и осуществление длительных регистраций электрического поля в приземном слое атмосферы; решение задачи проникновения электрического поля, возникающего на уровне ионосферы под действием приливов, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной проводимости земной коры; анализ статистических характеристик вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы на больших массивах данных; оценка амплитуды спектральных компонент электрического поля на частотах лунно-солнечных приливов с помощью корреляционного квадратурного приемника и сравнение с теоретическими оценками разработанной модели. Решению данных вопросов и посвящена работа.

Во второй главе проанализированы ионный состав атмосферы и электрическая структура приземного слоя атмосферы. При исследовании взаимодействия лунно-солнечных приливов с электрическим полем в приземном слое атмосферы важное значение имеют задачи об ионном составе атмосферы и электрической структуре приземного слоя атмосферы. Эти две задачи определяют распределение электрической проводимости и напряженности электрического поля в атмосфере с высотой.

Решена задача о распространении возмущений электрического поля из ионосферы в нижнюю атмосферу, вызванных лунно-солнечными приливами, с учетом конечной и бесконечной электрической проводимости земной коры. Расчет электрических полей, проникающих из ионосферы в тропосферу, основывается на уравнениях Максвелла:

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0, \quad \vec{j} = \lambda \vec{E}, \quad \vec{E} = -\nabla \varphi, \quad (1)$$

где j – ток проводимости, λ – электрическая проводимость нижней атмосферы, φ – потенциал электрического поля. Поскольку для солнечных и лунных приливов характерны частоты $f \sim 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, то использование стационарных уравнений (1) для расчета электрических полей из ионосферы в тропосферу оправдано. Условие этого перехода имеет следующий вид:

$$\omega \ll c/L, \quad \omega \ll c^2/4\pi\lambda L, \quad \omega \ll 4\pi\lambda, \quad (2)$$

где L – характерные размеры системы, c – скорость света. Уравнения (1) определяют распределение токов и полей при заданной λ в квазистационарной

задаче.

Задача решена для двухслойной среды, состоящей из земной атмосферы с проводимостью $\lambda = \lambda_0 e^{\alpha z}$, $\alpha = (0,2 - 0,3) \text{ км}^{-1}$ и земной коры с проводимостью λ_1 . На нижней границе ионосферы при $z = H$ потенциал электрического поля φ задаем в следующем виде:

$$\varphi(z = H, x) = \varphi_0 e^{ikx}, \quad i = \sqrt{-1}, \quad (3)$$

где $k = \frac{2\pi}{L}$ – волновое число, описывающее распределение электрического потенциала вдоль горизонтальной оси x , L – характерный масштаб длины для возмущения потенциала ионосферы φ_0 .

Тогда в двумерном случае (x, z) для уравнений (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z^2} + \alpha \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} + \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial x^2} &= 0, \quad 0 < z < H, \\ \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial x^2} &= 0, \quad -h < z < 0, \\ E_{x,1,2} &= -\frac{\partial \varphi_{1,2}}{\partial x}, \quad E_{z,1,2} = -\frac{\partial \varphi_{1,2}}{\partial z}. \end{aligned} \quad (4)$$

Граничные условия для решения уравнений (4) имеют вид:

$$\begin{aligned} E_{x1} &= E_{x2} \text{ при } z = 0, \quad \lambda_0 \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} = \lambda_1 \frac{\partial \varphi_2}{\partial z} \text{ при } z = 0; \\ \varphi_2(-h, x) &= 0, \quad \varphi_1(z = H, x) = \overline{\varphi_0} e^{ikx}. \end{aligned} \quad (5)$$

В условиях земных твердых пород отношение электрической проводимости λ_1 к электрической проводимости атмосферы вблизи земной поверхности λ_0 : $\lambda_1/\lambda_0 \gg 1$. Ввиду большого отношения λ_1/λ_0 следует, что

$$\varphi_1 = \frac{\overline{\varphi_0} e^{-\frac{\alpha}{2}(x-H)} e^{ikx} \text{Sh} \frac{1}{2} \sqrt{\alpha^2 + 4k^2} z}{\text{Sh} \frac{1}{2} \sqrt{\alpha^2 + 4k^2} H}, \quad (6)$$

$$\varphi_2 = 0, \quad E_{2x} = 0 \text{ при } 0 > z > -h, \quad E_{1x}|_{z=0} = 0.$$

При условии $\alpha^2 \gg 4k^2$, означающем, что характерный масштаб длины для распределения электрической проводимости с высотой $\alpha^{-1} = (3,3 - 5) \text{ км}$ меньше характерного масштаба распределения вариаций потенциала ионосферы L ($L \sim 100 \text{ км}$) из (6) получено

$$\varphi_1 = \frac{\overline{\varphi_0} e^{ikx} (1 - e^{-\alpha z})}{1 - e^{-\alpha H}},$$

$$\varphi_2 = 0, \quad E_{2x} = 0 \text{ при } 0 > z > -h, \quad E_{1x}|_{z=0} = 0. \quad (7)$$

Составляющие напряженности электрического поля E_x и E_z будут равны:

$$\begin{aligned} E_{x1} &= -\frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = -\frac{\overline{\varphi_0} i k e^{ikx} (1 - e^{-\alpha z})}{1 - e^{-\alpha H}}, \\ E_{z1} &= -\frac{\partial \varphi_1}{\partial z} = -\frac{\overline{\varphi_0} \alpha e^{ikx} e^{-\alpha z}}{1 - e^{-\alpha H}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Из (8) видно, что вертикальная составляющая E_z вблизи земной поверхности много больше горизонтальной E_x .

В случае бесконечной проводимости земной коры (квазистационарный случай) ее можно считать проводящей средой, а земную поверхность эквипотенциальной поверхностью с $\varphi_1 = 0$.

Из системы уравнений (1) следует уравнение для потенциала электрического поля

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \alpha \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0, \quad (9)$$

решение которого при граничных условиях

$$\varphi|_{z=0} = 0, \quad \varphi|_{z=H} = \varphi_0(x, y) \quad (10)$$

имеет следующий вид:

$$\varphi(x, y, z) = \varphi_0(x, y) \frac{1 - e^{-\alpha z}}{1 - e^{-\alpha H}}, \quad (11)$$

где x, y – горизонтальные декартовы координаты, z – вертикальная координата, H – высота ионосферы ($H = 80$ км), $\varphi_0(x, y)$ – распределение электрического потенциала, создаваемого приливами на ионосферных высотах.

Используя (11), для компонент напряженности электрического поля получены выражения:

$$\begin{aligned} E_z &= -\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\varphi_0(x, y) \frac{\alpha e^{-\alpha z}}{1 - e^{-\alpha H}}, \\ E_x &= -\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\frac{\partial \varphi_0(x, y)}{\partial x} \frac{1 - e^{-\alpha z}}{1 - e^{-\alpha H}}, \\ E_y &= -\frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \varphi_0(x, y)}{\partial y} \frac{1 - e^{-\alpha z}}{1 - e^{-\alpha H}}. \end{aligned} \quad (12)$$

На основании разработанной модели получены численные оценки величины E_z вблизи земной поверхности. Используя значение плотности электрического тока в атмосфере

$$j_0 = \lambda E, \quad (13)$$

равное $2 \cdot 10^{-12} \text{ А/м}^2$, можно оценить потенциал ионосферы, используя выражение

$$\varphi_\infty = j_0 R_c, R_c = \int_0^\infty \frac{dz}{\lambda(z)}, \quad (14)$$

где R – столбовое сопротивление, равное $1,3 \cdot 10^{17} \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$. Значение φ_∞ при этом равно 278 кв. Согласно оценкам 60% R_c приходится на слой до 2 км высоты. Принимая для солнечных приливов $\varphi_0(x, y) \cong 25 \text{ кВ}$, получено, что при $z = 0$ с учетом электродного приземного слоя амплитуда вариаций вертикальной составляющей электрического поля $E_z \cong (10 - 15) \text{ В/м}$. Лунные приливы создают 3% величины E_z для солнечных приливов, поэтому в приземном слое атмосферы с учетом электродного приземного слоя $E_z \cong (0,3 - 0,5) \text{ В/м}$.

Адекватность реальным условиям разработанной модели была доказана путем сравнения полученных теоретических оценок с результатами обработки экспериментальных данных.

В главе 3 проведен анализ классических и параметрических методов спектрального оценивания. Сформулирована общая постановка задачи спектрального оценивания процесса, анализируемого в данной работе и состоящего из комплекса помех и частично детерминированного периодического процесса (лунно-солнечные приливы). Необходимо по данным дискретных измерений напряженности электрического поля на конечном интервале времени получить достоверную оценку амплитуды и отношение сигнал/шум для спектральных компонент, соответствующих частотам лунно-солнечных приливов.

Проведено исследование статистических характеристик вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы. Данные для статистического анализа получены по записям электрического поля приземного слоя атмосферы по трем созданным станциям: станция на полигоне ВлГУ, станция в ВлГУ, станция в ГГО НИЦ ДЗА. Полученные гистограммы распределения амплитуды электрического поля приземного слоя атмосферы были проверены по критерию Пирсона на согласованность с нормальным законом распределения. Анализ гистограмм показал, что наиболее часто встречающимися являются нормальный закон распределения, а также законы распределения Коши и Лапласа.

Для решения задачи оценки амплитуды спектральных компонент на частотах лунно-солнечных приливов был применен корреляционный квадратурный приемник (ККП). С целью повышения достоверности оценки амплитуды электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах лунно-солнечных приливов в структуру корреляционного приемника вместо интегратора был включен фильтр низких частот. Применение в ККП фильтра низких частот вместо интегратора позволило

улучшить его частотную характеристику при незначительном расширении главного лепестка. Альтернативным вариантом решения этой задачи является взвешивание исходных данных окном вида (15), где T – длина входной реализации. Выбор формы окна обусловлен линейностью его фазочастотной характеристики

$$g(t) = \frac{1 - \cos(\frac{2\pi}{T}t)}{2}. \quad (15)$$

При обработке входных данных взвешивающим окном уровень боковых лепестков в частотной характеристике ККП был снижен до 7 % от высоты главного при его незначительном расширении. Вид АЧХ приведён на рис. 2. Данная структура была применена для решения задачи оптимальной оценки уровня спектральных компонент электрического поля, соответствующих частотам лунно-солнечных приливов (рис. 1).

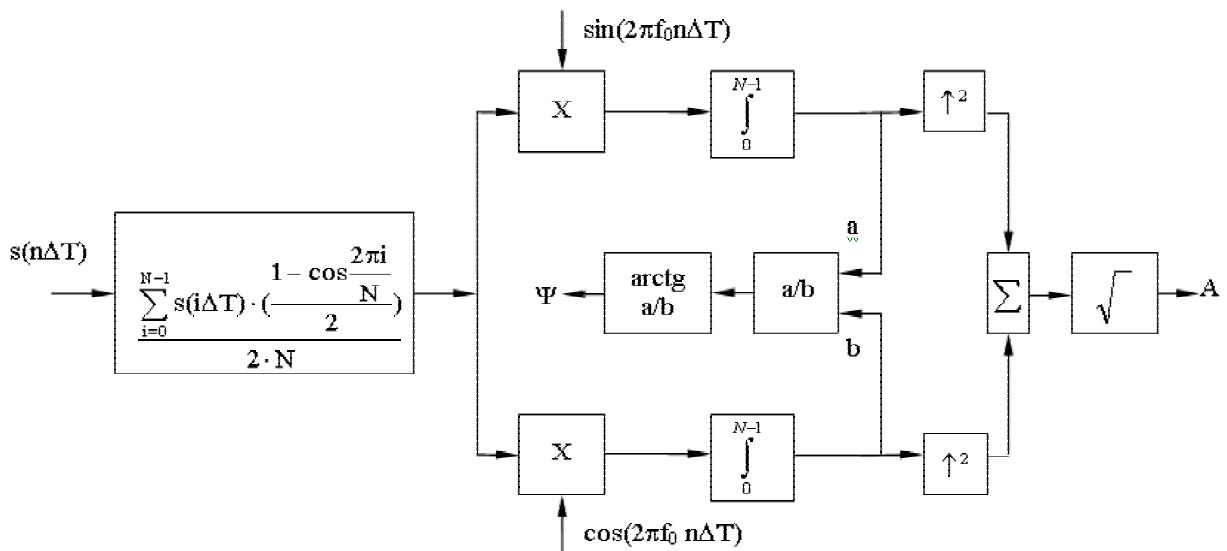


Рис. 1. Корреляционный квадратурный приемник с взвешивающим окном

Полученные каталоги спектров электрического поля приземного слоя атмосферы по результатам экспериментальных исследований в сети разнесенных в пространстве станций позволили оценить амплитуды электрического поля на частотах лунно-солнечных приливов. На рис. 3 приведен пример общего спектра электрического поля приземного слоя в диапазоне термогравитационных солнечных приливов по данным станции на полигоне ВлГУ.

Получены оценки амплитуды и отношения сигнал/шум на частотах термогравитационных солнечных приливов по результатам анализа экспериментальных данных электрического поля приземного слоя атмосферы. Достоверно выделены эффекты воздействия солнечных термогравитационных приливов на электрическое поле приземного слоя атмосферы.

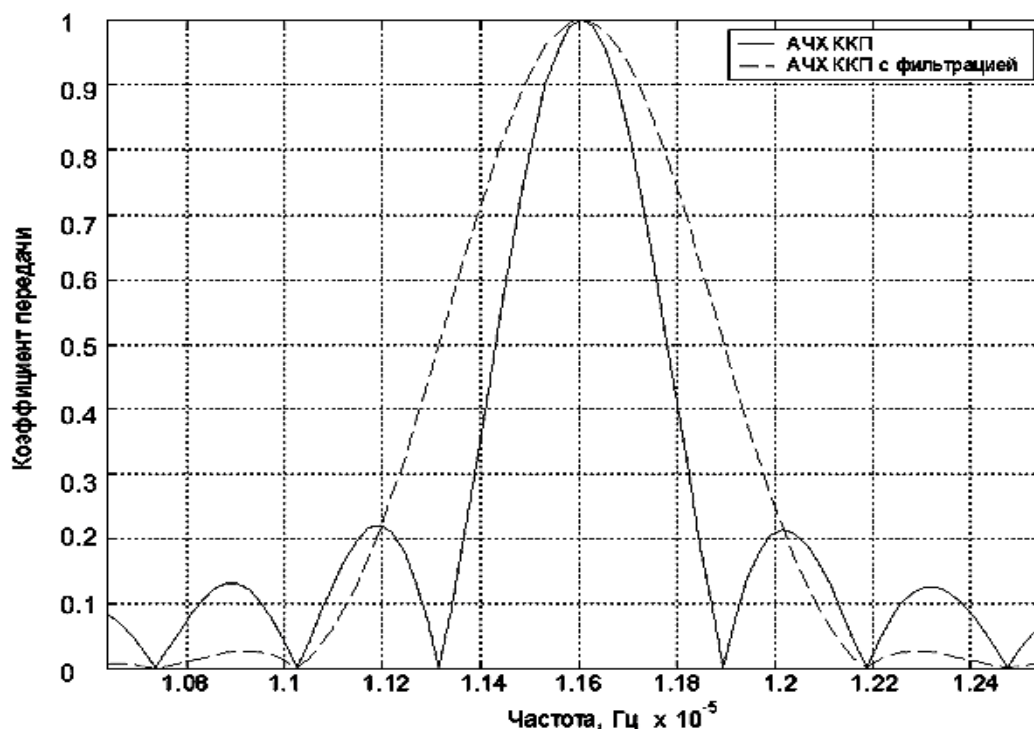


Рис. 2. Частотные характеристики корреляционного приемника

Диапазон изменения средней амплитуды электрического поля на частотах термогравитационных солнечных приливов по станциям ВлГУ и ГГО составил 16 В/м ($S1$); 8 В/м ($S2$); 3 В/м ($S3$) (рис. 3). Отношения сигнал/шум на частотах термогравитационных солнечных приливов составили: на $S1$ с/ш $7,5 \div 3$; $S2$ с/ш $5,2 \div 3$; $S3$ с/ш $3 \div 2$.

Установленные экспериментально закономерности сопоставлялись с результатами других экспериментов. Были проанализированы экспериментальные данные по электрическому полю приземного слоя атмосферы по станциям Гидрометеорологической службы: Воейково (1966 – 1995 гг.), Верхнее Дуброво (1974 – 1995 гг.), Душети (1967 – 1980 гг.).

Среднее значение амплитуды электрического поля и отношение сигнал/шум на частотах приливов $S1$, $S2$, $S3$ по указанным станциям составили соответственно $S1$ (15 В/м, с/ш- 6,4; 10 В/м, с/ш-3,9; 12 В/м, с/ш-4,2); $S2$ (10 В/м, с/ш-5,2; 7 В/м, с/ш-4,9; 10 В/м, с/ш-5,4); $S3$ (3 В/м, с/ш-5,3; 4 В/м, с/ш- 4,9; 6 В/м, с/ш-3,5). Большой массив данных (29 лет, 21 год, 14 лет) позволил получить необходимую разрешающую способность для разделения близких по частоте приливов $P1$ и $S1$ (рис. 4).

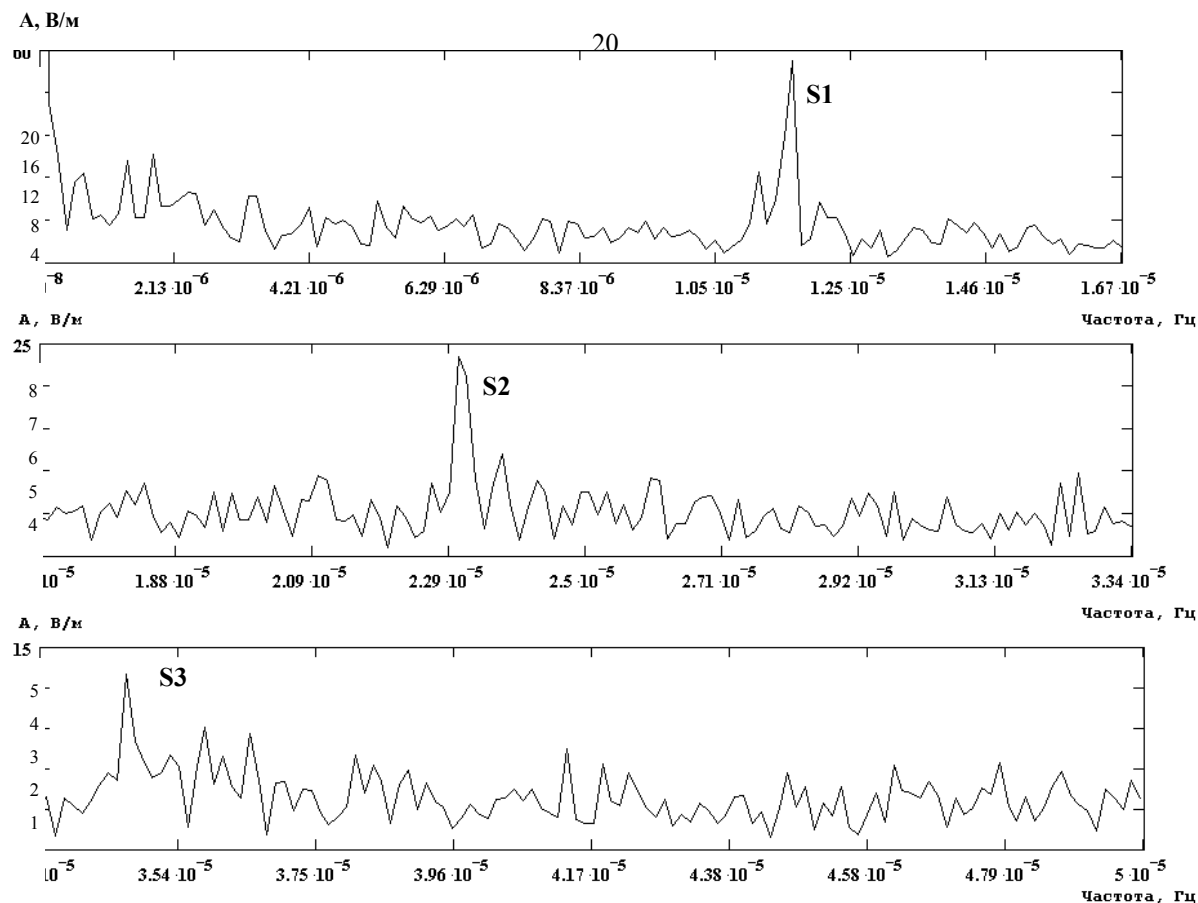


Рис. 3. Пример общего спектра в диапазоне термогравитационных приливов S1, S2, S3, данные флюксметра полигона ВлГУ за 2004 г.

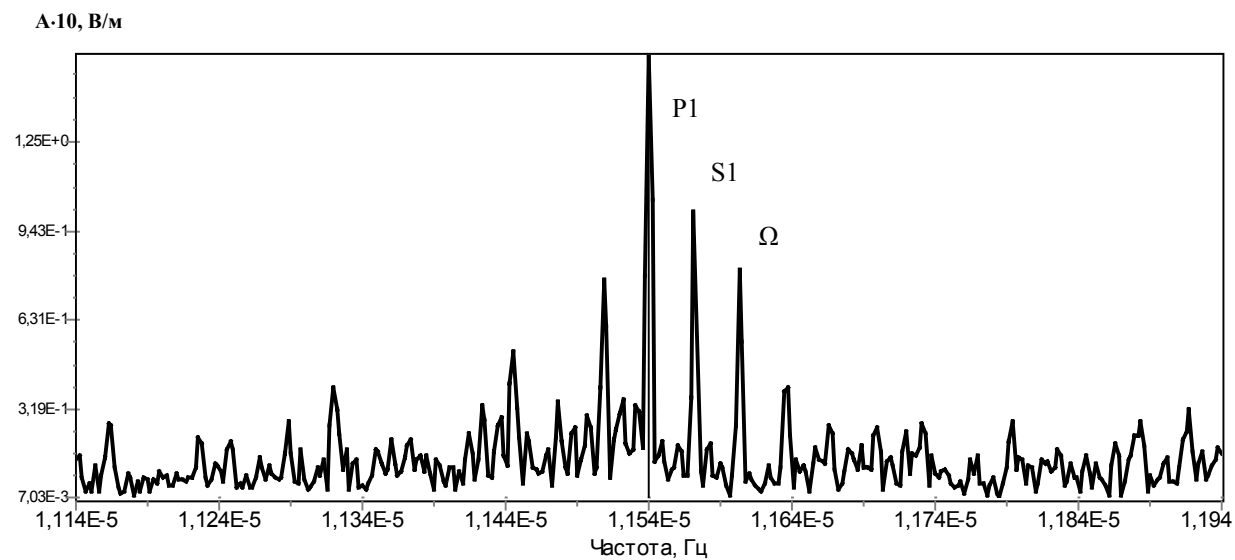


Рис.4. Разделение приливов P1 и S1 по данным станции Гидрометеослужбы

Сравнение полученных оценок амплитуды электрического поля на частотах солнечных приливов по станции полигона ВлГУ, станции в ВлГУ и станций Гидрометеорологической службы показывает их сопоставимость и одинаковый порядок результатов с полученными теоретическими оценками.

Корреляционный квадратурный приемник позволил получить оптимальную оценку уровня каждой спектральной компоненты анализируемого временного ряда по критерию максимального правдоподобия. С помощью корреляционного квадратурного приемника при обработке информации по мониторингу электрического поля приземного слоя атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций удалось достоверно оценить средние амплитуды электрического поля на частотах, соответствующих термогравитационным солнечным приливам. Доказана перспективность применения корреляционного приемника при решении ряда геофизических задач.

В четвертой главе приведено описание аппаратуры, разработанной и использованной для экспедиционных и стационарных измерений напряженности электрического поля приземного слоя атмосферы. Описана измерительная сеть созданных станций мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы на полигоне ВлГУ, в ВлГУ, в ГГО НИЦ ДЗА.

С целью проведения данных исследований на экспериментальном полигоне ВлГУ создана станция многоканальной регистрации, отслеживания, хранения и обработки информации по электромагнитному полю в приземном слое атмосферы с тестированием и калибровкой аппаратуры. Система предназначена для автоматического сбора информации с датчиков и их калибровки, обеспечивает аналого-цифровое преобразование сигналов с приемных каналов, помехозащищенную посылку данных в центральный пульт сбора, управляемую программно (в цифровом коде), генерацию стабильного низкочастотного сигнала для калибровки датчиков, а также отсчетов точного времени при помощи термостатированного генератора и синхронизацию моментов измерений с системой единого времени с помощью *GPS*. Комплекс приемных каналов включает в себя флюксометры для измерения электростатического поля приземного слоя, феррозондовые магнитометры, метеокомплекс. Для исследований электрического поля на станциях используется датчик электростатического поля (разработка ВлГУ), отличающийся простотой и надежностью работы, с эксплуатационными характеристиками, позволяющими использовать его как в экспедиционных, так и в стационарных условиях. Основные характеристики прибора: чувствительность – 0,2 В/м/мВ; реальная рабочая полоса частот устройства – 4,5 Гц; неравномерность коэффициента передачи в полосе частот – 0,5

дБ; подавление сетевой помехи на частоте 50 Гц – не менее 40 дБ.

На расстоянии 50 км от экспериментального полигона в радиофизическом корпусе ВлГУ расположен второй приемно-регистрационный комплекс, состоящий из датчика электростатического поля (флюксметр), феррозондового магнитометра и датчиков температуры, давления, влажности.

На расстоянии 800 км от экспериментального полигона создан третий приемно-регистрационный комплекс для регистрации E_z на территории научно-исследовательского центра дистанционного зондирования атмосферы ГГО НИЦ ДЗА им. А.И. Воейкова (г. Санкт-Петербург). Временная синхронизация станций обеспечивается GPS приемниками.

На рис. 5 приведена одна из основных частей структурной схемы приемно-регистрающего комплекса. В процессе регистраций периодически осуществляется тестирование и калибровка приемно-регистрающей аппаратуры.

Экспериментальный полигон

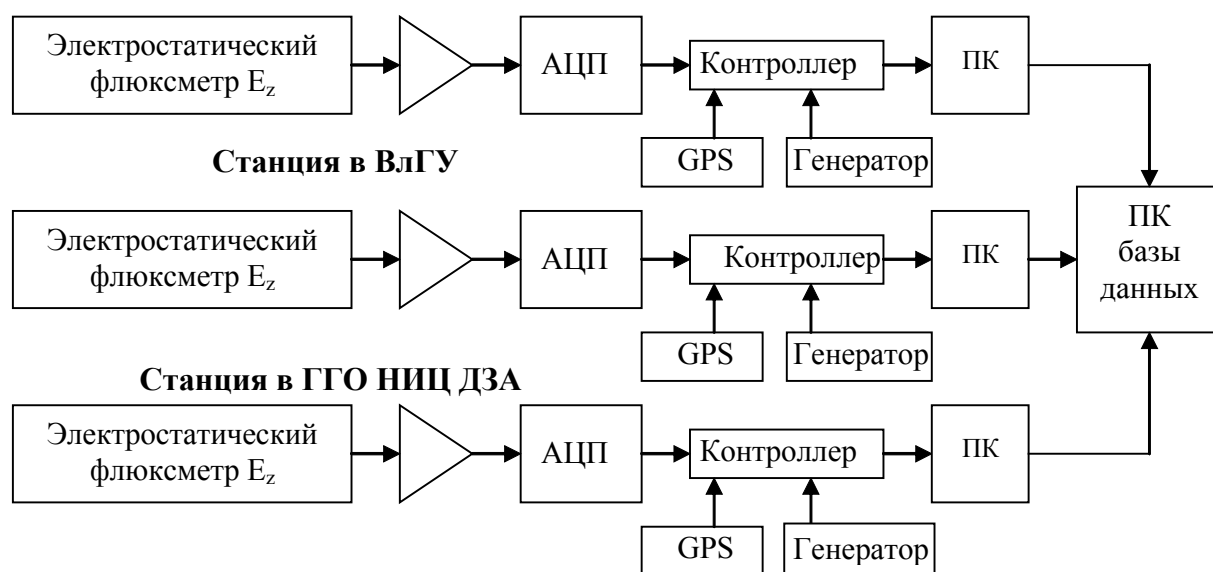


Рис. 5. Схема измерительного комплекса E_z экспериментального полигона, станции в ВлГУ, станции в ГГО НИЦ ДЗА

Пятая глава посвящена перспективам практической реализации результатов теоретических и экспериментальных исследований электрического поля приземного слоя атмосферы. Практическая реализация результатов проведенных исследований возможна в нескольких основных направлениях.

Постановка регулярных измерений атмосферно-электрических параметров и данных магнитометрии в сети разнесенных в пространстве станций позволит осуществлять наземную диагностику полей различной

природы и анализ их взаимосвязей с геофизическими процессами. Цифровая система регистрации и электронная база данных позволяют обмениваться данными с геофизическими центрами и работать в сетях геофизических наблюдений.

Намечены пути решения задачи обнаружения воздействия лунных приливов на электрическое и магнитное поля приземного слоя атмосферы. Несмотря на то, что амплитуда лунных приливов мала, они имеют отличающийся период и представляют большой интерес, поскольку механизм их возбуждения хорошо известен. Анализ спектров электрического поля приземного слоя на частотах лунных приливов говорит о недостаточном отношении сигнал/шум на частотах приливов, что не позволяет на сегодня сделать однозначный вывод об их выделении. Необходимы дальнейшие исследования электрического поля приземного слоя на частотах лунных приливов с привлечением как большого массива экспериментальных данных, так и с использованием результатов разнесенного в пространстве приема.

Результаты длительного мониторинга позволяют проанализировать взаимосвязь атмосферного электричества с динамикой метеопроцессов, а также сезонные и суточные вариации электрического поля приземного слоя атмосферы по трем станциям: полигон ВлГУ, станция ВлГУ и станция в ГГО НИЦ ДЗА. Получены результаты исследований зависимости суточного хода E_z от сезона года и станции наблюдения.

Можно отметить хорошее совпадение основных закономерностей изменения электрического поля приземного слоя по станциям полигона ВлГУ и ГГО НИЦ ДЗА за 2004 год (рис. 6).

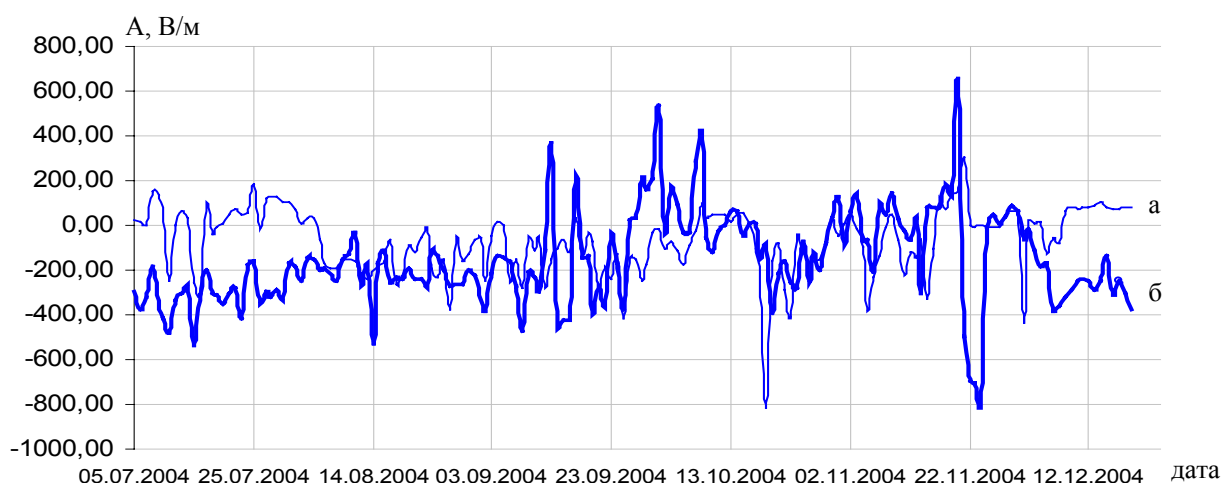


Рис. 6. Регистрации E_z (среднесуточные данные) по двум станциям:
а – ГГО НИЦ ДЗА; б – полигон ВлГУ

Разработанный комплекс датчиков и специальное программное обеспечение позволяют проводить мониторинг электромагнитного поля

приземного слоя атмосферы, анализ сейсмической активности и взаимосвязь атмосферного электричества с динамикой метеопроцессов. Проведение синхронного мониторинга электрического и магнитного полей в приземном слое атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций с передачей сведений по цифровым каналам информационно-навигационной системы МЧС, а также накопление и обработка получаемой информации в реальном масштабе времени позволят прогнозировать очаги сейсмической активности земной поверхности в различных регионах России.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ЗАКЛЮЧЕНИИ:

1. Создана система многоканального синхронного мониторинга, отслеживания, хранения и обработки информации по электрическому полю приземного слоя атмосферы с метеоданными в сети разнесенных в пространстве станций: станция на экспериментальном полигоне ВлГУ; станция в радиофизическом корпусе ВлГУ; станция в ГГО НИЦ ДЗА. Система предназначена для автоматического сбора информации с датчиков и их калибровки. Система обеспечивает синхронное аналого-цифровое преобразование сигналов с приемных каналов, помехозащищенную посылку данных в центральный пульт сбора, управляемую программно генерацию стабильного низкочастотного сигнала для калибровки датчиков, а также отсчетов точного времени при помощи термостатированного генератора и синхронизацию моментов измерений с текущим временем.

2. Разработана модель проникновения электрического поля, возникающего на уровне ионосферы под действием лунно-солнечных приливов, в приземный слой атмосферы с учетом конечной и бесконечной проводимости земной коры. Получены теоретические оценки воздействия приливных сил на вертикальную составляющую электрического поля приземного слоя атмосферы, подтвержденные в ходе экспериментальных исследований. Из модельных расчетов получено для солнечных приливов с учетом электродного приземного слоя $E_z \cong (10 - 15) \text{ В/м}$, для лунных приливов $E_z \cong (0,3 - 0,5) \text{ В/м}$.

3. Проведено исследование статистических характеристик вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы с построением гистограмм распределения. Полученные гистограммы распределения амплитуды электрического поля были проверены по критерию Пирсона на согласованность с нормальным законом распределения. Данные для статистического анализа получены по записям электрического поля приземного слоя атмосферы по трем станциям: полигон ВлГУ, станция ВлГУ, станция ГГО НИЦ ДЗА. Анализ гистограмм показал, что наиболее часто встречающимися являются нормальный закон распределения, а также законы распределения Коши и Лапласа.

4. Повышена достоверность результатов оценки амплитуд спектральных компонент электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах лунно-солнечных приливов путем включения в структуру корреляционного квадратурного приемника ФНЧ вместо интегратора или путем обработки входных данных взвешивающим окном. При обработке входных данных взвешивающим окном уровень боковых лепестков в частотной характеристике ККП снижен до 7 % от высоты главного при его незначительном расширении. Данная структура была применена для оптимальной оценки уровня спектральных компонент, соответствующих частотам лунно-солнечных приливов в экспериментальных регистрациях электрического поля приземного слоя атмосферы.

5. Получены каталоги спектров вблизи частот лунно-солнечных приливов с помощью корреляционного квадратурного приемника на основе регистраций электрических полей в приземном слое атмосферы на разнесенных в пространстве станциях.

6. Получены оценки амплитуды и отношения сигнал/шум на спектральных компонентах электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах термогравитационных солнечных приливов по результатам анализа электрического поля приземного слоя атмосферы с помощью корреляционного квадратурного приемника. Обработка экспериментальных данных в сети разнесенных в пространстве станций осуществлена за период с 1997 по 2004 годы. Диапазон изменения средней амплитуды на частотах термогравитационных солнечных приливов по станциям ВлГУ и ГГО составил 16 В/м (S_1), 8 В/м (S_2), 3 В/м (S_3). Отношения сигнал/шум на частотах термогравитационных приливов составили на S_1 – с/ш $7,5 \div 3$; S_2 с/ш $5,2 \div 3$; S_3 с/ш $3 \div 2$; S_4 с/ш $2,5 \div 2$. Разработанный метод позволяет получать оптимальную оценку уровня каждой спектральной компоненты анализируемого временного ряда по критерию максимального правдоподобия.

7. Установленные экспериментально закономерности сопоставлялись с широким комплексом наземных геофизических данных других станций. Были проанализированы экспериментальные данные по электрическому полю приземного слоя атмосферы по станциям Гидрометеорологической службы: Воейково – 1966 – 1995 гг.; Верхнее Дуброво – 1974 – 1995 гг.; Душети – 1967 – 1980 гг. Среднее значение амплитуды электрического поля и отношение сигнал/шум на частотах приливов S_1 , S_2 , S_3 по указанным станциям составили соответственно S_1 (15 В/м, с/ш – 6,4; 10 В/м, с/ш – 3,9; 12 В/м, с/ш – 4,2); S_2 (10 В/м, с/ш – 5,2; 7 В/м, с/ш – 4,9; 10 В/м, с/ш – 5,4); S_3 (3 В/м, с/ш – 5,3; 4 В/м, с/ш – 4,9; 6 В/м, с/ш – 3,5). Большой массив данных (29 лет, 21 год, 14 лет) позволяет получить необходимую разрешающую способность для разделения близких по частоте приливов P_1 и S_1 .

8. Сравнение полученных оценок амплитуды электрического поля на частотах термогравитационных солнечных приливов по станциям полигона ВлГУ, станции в ВлГУ, станциям Гидрометеорологической службы показывает их сопоставимость и одинаковый порядок результатов с полученными теоретическими оценками. Результат сравнения теоретических и экспериментальных оценок абсолютных значений электрического поля в приземном слое на частотах термогравитационных приливов позволяет сделать вывод об адекватности разработанной модели реальным условиям.

9. Практическая реализация результатов проведенных исследований возможна в нескольких основных направлениях: постановка регулярных измерений атмосферно-электрических параметров и данных магнитометрии в сети разнесенных в пространстве станций с целью наземной диагностики полей различной природы и анализа их взаимосвязей; намечены пути решения задачи обнаружения воздействия лунных гравитационных приливов на электрическое поле приземного слоя атмосферы; создание системы мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы в сети разнесенных в пространстве станций с достоверной оценкой степени воздействия глобальных геофизических процессов открывает на этой основе возможность прогнозирования катастроф природного и техногенного характера, проводить анализ сейсмической активности и взаимосвязь атмосферного электричества с динамикой метеопроцессов.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:**

Монография, статьи

1. Грунская, Л. В. Электромагнетизм приземного слоя и его взаимосвязь с геофизическими и астрофизическими процессами : монография / Л. В. Грунская. – Владимир : Посад, 2003. – 103 с.
2. Грунская, Л. В. Экспериментальные и теоретические исследования вариаций напряженности электрического поля, обусловленных солнечными и лунными приливами в приземном слое атмосферы / Л. В. Грунская, В. Н. Морозов // Известия вузов. Физика. – 2005. – № 8. – С. 33 – 39.
3. Грунская, Л. В. Приемно-регистрирующая аппаратура для исследования взаимосвязи электрического поля приземного слоя атмосферы с геофизическими процессами / Л. В. Грунская, В. А. Ефимов // Проектирование и технология электронных средств. – 2006. – № 1. – С. 63 – 68.
4. Грунская, Л. В. Мобильный приемно-регистрирующий комплекс для мониторинга электромагнитного поля приземного слоя атмосферы / Л. В. Грунская [и др.] // Проектирование и технология электронных средств. – 2005. – № 2. – С. 69 – 74.
5. Грунская, Л. В. Оптимальный приемник в системе мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы / Л. В. Грунская [и др.] // Проектирование и технология электронных средств. – 2005. – № 3. – С. 56 – 60.
6. Балакин, А. Б. Гравитационное излучение и нелокальная электродинамика / А. Б. Балакин, Л. В. Грунская // Известия вузов. Физика. – 2005. – № 4. – С. 27 – 33.
7. Балакин, А. Б. О нелокальном взаимодействии гравитационного и электромагнитного полей / А. Б. Балакин, Л. В. Грунская // Проектирование и технология электронных средств. – 2004. – Спец. вып. – С. 72 – 79.
8. Грунская, Л. В. Повышение достоверности спектральной оценки, получаемой с помощью корреляционного квадратурного приёмника / Л. В. Грунская [и др.] // Проектирование и технология электронных средств. – 2004. – Спец. вып. – С. 66 – 71.
9. Грунская, Л. В. Система многоканального синхронного мониторинга электромагнитных полей КНЧ диапазона приземного слоя / Л. В. Грунская [и др.] // Проектирование и технология электронных средств. – 2004. – Спец. вып. – С. 38 – 45.
10. Гаврилов, И. Н. Статистический и спектральный анализ экспериментальных вариаций электрического поля приземного слоя в КНЧ диапазоне / И. Н. Гаврилов, Л. В. Грунская, В. В. Исакевич //

- Проектирование и технология электронных средств. – 2003. – № 2. – С. 53 – 58.
11. Грунская, Л. В. Экспериментально-методический комплекс для изучения изменчивости электромагнитного поля Земли в крайненизкочастотном диапазоне, связанной с глобальными геофизическими явлениями / Л. В. Грунская, В. Н. Журавлев, И. Н. Гаврилов // Ученые записки Ульяновского государственного университета. Серия : Физическая. – 2002. – № 1(12). – С. 29 – 37.
 12. L.V. Grunskaya, V.A. Efimov, V.V. Isakevich. Investigations of the electrical and magnetical Earth field in the gravitational wave radiation // Gravitation and cosmology. – 2002. – V.5. – N4. – P. 337 – 342.
 13. L.V. Grunskaya, V.A. Efimov, I.N. Gavrilov. Intercommunication of electromagnetism of the surface lower layer geophysical and astrophysical processes // Spacetime and Substance. – 2002. – N1(12). – P. 69 – 75.
 14. L.V. Grunskaya. Приемно-регистрирующий комплекс для изучения атмосферного электрического поля / Л. В. Грунская [и др.] // Проектирование и технология электронных средств. – 2002. – №1. – С. 44 – 48.
 15. L.V. Grunskaya, V.V. Isakevich, Dorozhkov V.V. Gravitational wave track in the Earth's electromagnetic field // Odessa Astronomical Publication. – 1999. – V.12. – P. 25 – 28.
 16. L.V. Grunskaya, V.V. Isakevich. The analysis of the electrical component spectrum of the electromagnetic Earth field in the range of the gravitational wave radiation // Gravitation and Cosmology. – 1999. – V.5. – № 4(20). – P. 338 – 342.
 17. Грунская, Л. В. Поиск корреляций между электромагнитным полем Земли КНЧ диапазона и периодическими гравитационными полями / Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, Д.В. Виноградов // Известия вузов. Физика. – 2000. – №6. – С. 36 – 42.
 18. L.V. Grunskaya, D.V. Vinogradov. Natural terrestrial electromagnetic fields of ELF and gravitation radiation // Turkish Journal of Physics, Ankara. – 1999. – V. 23. – N 5. – P. 937 – 941.
 19. L.V. Grunskaya, A.B. Balakin, Z.G. Murzachanov. Natural electromagnetic field of ELF and detecting a periodic gravitation radiation // Gravitation and Cosmology. – 1997. – V. 3. – № 3 (11). – P. 233 – 239.
 20. L.V. Grunskaya, A.B. Balakin. Correlation analysis of infralow frequency variations of electromagnetic fields and the detection of gravity field perturbations // Jornal Annales Geophysicae supplement, Rome. – 1995. – V. 13. – P. 280 – 286.
 21. Грунская, Л. В. Лунно-солнечные приливы в электрическом поле атмосферы Земли / Л.В. Грунская, В.Н. Морозов // Известия вузов. Физика. – 2003. – № 12. – С. 71 – 77.

22. Кунин, В. Н. Эффекты, возникающие при приеме электромагнитного поля вблизи мощной тепловой струи / В.Н. Кунин, М.С. Александров, Н.Г. Конопасов, Л.В. Грунская // Изв. АН СССР. Серия : Геомагнетизм и аэрономия. – 1986. – Т.2. – С. 359 – 361.
23. Терещенков, В. П. Об измерении разности потенциалов в проводящих средах / В.П. Терещенков, Л.В. Грунская // Межвуз. сб. науч. тр. «Вопросы низкотемпературной плазмы». – Рязань, 1978. – С. 52 – 54.
24. Кондаков, В. П. Методика градуировки приемников КНЧ диапазона / В.П. Кондаков, Л.В. Грунская // Межвуз. сб. науч. тр. «Радиопомехи КНЧ диапазона и их природа». – Рязань, 1976. – С. 24 – 26.
25. Терещенков, В. П. Исследование помеховой обстановки под землей и под водой / В.П. Терещенков, В.Н. Кунин, Л.В. Грунская // Межвуз. сб. науч. тр. «Радиопомехи КНЧ диапазона и их природа». – Рязань, 1976. – С. 53 – 62.
26. Грунская, Л. В. Анализ спектров электрического поля Земли при работе тепловой установки / Л.В. Грунская ; ВПИ. – Владимир, 1984. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ 29.01.85, № 827-85.
27. Грунская, Л. В. Обострение диаграммы направленности приемной антенны с помощью кепстрального анализа / Л.В. Грунская, В.Н. Кунин, В.В. Ионов ; ВПИ. – Владимир, 1986. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ 6.02.86, № 862-B86.
28. Грунская, Л. В. Методика обработки результатов синхронной регистрации поля КНЧ диапазона наземными и подземными каналами / Л.В. Грунская ; ВПИ. – Владимир, 1991. – 5 с. – Деп. в ВИНТИ 17.05.91, № 2052-B91.
29. Грунская, Л. В. Селективные свойства подземного приемного канала при регистрации грозových разрядов / Л.В. Грунская ; ВПИ. – Владимир, 1991. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ 17.05.90, №2051-B91.
30. Грунская Л.В. О слабой корреляции естественных флуктуаций КНЧ поля над и под границей раздела воздух – земля / Л.В. Грунская ; ВПИ. – Владимир, 1992. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ 24.02.92, № 3323-B92.

Труды конференций

31. Грунская, Л. В. Оптимальная обработка информации в системе многоканального синхронного мониторинга электромагнитного поля приземного слоя атмосферы / Л.В. Грунская // Тр. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Перспективные технологии в средствах передачи информации». – Владимир, 2005. – С. 228 – 230.
32. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Isakevich V.V., Gavrillov I.N. Atmospheric electrical field and interaction with global geophysical and astrophysical processes // International Commission on Atmospheric Electricity, ICAE-2003. –Paris, 2003. – P. 707 – 710.

33. Грунская, Л. В. Мониторинг электромагнитного поля приземного слоя в УНЧ диапазоне / Л.В. Грунская, В.А. Ефимов // Тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». – Владимир, 2004. – С. 219 – 222.
34. Грунская, Л. В. Приемно-регистрирующая система КНЧ диапазона / Л.В. Грунская [и др.] // Тр. V Междунар. науч.-техн. конф. «Перспективные технологии в средствах передачи информации» ПТСПИ-2003. – Владимир, 2003. – С. 196 – 199.
35. Грунская, Л. В. Взаимосвязь электромагнетизма приземного слоя с геофизическими и астрофизическими процессами / Л.В. Грунская // Материалы науч.-техн. конф. ВлГУ «Математические методы, информационные технологии и физический эксперимент в науке и производстве». – Владимир, 2003. – С. 26 – 27.
36. Федотов, М. Ю. Разработка цифровой метеостанции для регистрации атмосферных параметров / М.Ю. Федотов, Л.В. Грунская // Тр. Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 156 – 159.
37. Грунская, Л. В. Крайне низкочастотные электромагнитные предвестники землетрясений / Л.В. Грунская, В.А. Ефимов, В.В. Исакевич // Тр. Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 86 – 87.
38. Грунская, Л. В. Экспериментальные исследования реакции атмосферного электричества на лунно-солнечные приливы / Л.В. Грунская [и др.] // Тр. Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 40 – 42.
39. Грунская, Л. В. Поиск корреляций между электромагнитным полем Земли КНЧ диапазона и гравитационными полями / Л.В. Грунская [и др.] // Тр. Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 35 – 36.
40. Морозов, В. Н. Лунно-солнечные приливы в электрическом поле атмосферы Земли / В.Н. Морозов, Л.В. Грунская // Тр. Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 38 – 40.
41. Грунская, Л. В. Система многоканального синхронного мониторинга электромагнитных полей КНЧ диапазона приземного слоя / Л.В. Грунская [и др.] // Тр. Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 119 – 121.
42. Грунская, Л. В. Приемно-регистрирующий комплекс для изучения атмосферного электрического поля / Л.В. Грунская [и др.] // Сб. материалов Четвертой Междунар. науч.-техн. конф. «Чкаловские чтения». – Егорьевск, 2002. – С. 220 – 221.
43. Грунская, Л. В. Электромагнетизм приземного слоя и его взаимосвязь с геофизическими и астрофизическими процессами / Л.В. Грунская // Тр.

- Пятой Рос. конф. по атмосферному электричеству. – Владимир, 2003. – С. 17 – 20.
44. Грунская, Л. В. Приемно-регистрирующая система КНЧ диапазона / Л.В. Грунская // Тр. Междунар. конф. «Перспективы технологии в средствах передачи информации ПТСПИ». – Владимир, 2003. – С. 196 – 199.
 45. Грунская, Л. В. Экспериментальные исследования электрического и магнитного поля Земли крайненизкочастотного диапазона / Л.В. Грунская [и др.] // Тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Перспективные технологии в средствах передачи информации». – Владимир, 2001. – С. 42 – 46.
 46. Грунская, Л. В. Интерпретация квазирегулярных периодичностей в электромагнитном поле Земли в приземном слое / Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, И.Н. Гаврилов // Геофизика и математика: тр. Второй Всерос. конф. – Пермь, 2001. – С. 327 – 335.

Тезисы конференций

47. Грунская, Л. В. Оптимальная обработка информации при анализе характеристик электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах геофизических источников / Л.В. Грунская [и др.] // Тез. докл. 12-й Рос. гравитационной конф. «Международная конференция по гравитации, космологии и астрофизике». – Казань, 2005. – С. 162.
48. Грунская, Л. В. О нелокальном взаимодействии гравитационного и электромагнитного полей / Л.В. Грунская, А.Б. Балакин // Тез. докл. на Междунар. симп. «Астрономия 2005 – современное состояние и перспективы». – Москва, 2005. – С. 110.
49. Грунская, Л. В. Экспериментальные и теоретические исследования взаимосвязи электромагнитного поля земли ультранизкочастотного диапазона с гравитационными полями геофизического и астрофизического происхождения / Л.В. Грунская [и др.] // Международная конференция по гравитации, космологии и астрофизике: тез. докл. на 12-й Рос. гравитационной конф. – Казань, 2005. – С. 161.
50. Грунская, Л. В. Оптимальная обработка информации в системе многоканального мониторинга электромагнитного поля приземного слоя атмосферы / Л.В. Грунская, В.В. Исакевич // Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. «Информационно-телекоммуникационные технологии». – Сочи, 2004. – С. 203 – 204.
51. Грунская, Л. В. Система аналого-цифрового преобразования многоканального приемного комплекса / Л.В. Грунская, Ю.А. Апполонов // Тез. 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Радиоэлектроника». – Москва, 2004. – С. 109.

52. Грунская, Л. В. Модифицированный вариант корреляционного квадратурного приемника / Л.В. Грунская, В.А. Мишин // Тез. 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Радиофизика». – Москва, 2004. – С. 527.
53. Грунская, Л. В. Система многоканального синхронного мониторинга электромагнитных полей / Л.В. Грунская, С.В. Елисеева // Тез. 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Радиофизика». – Москва, 2004. – С. 528.
54. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Fedotov M.Yu., Balakin A.B., Morozov V.N. Theoretical and experimental investigations of the interaction between the ELF Earth electromagnetic field and the gravitational fields // Abstracts. Gamow memorial international conference “GMIC’100”. – Odessa, 2004. – P. 29 – 30.
55. Grunskaya L.V., Fedotov M.Yu., The continuous synchronic recording of the geophysical fields ELF variations by the multiplex receiving system // Abstract 5-th international conference “Problems of geocosmos”. – Sankt-Peterburg, 2004. – P. 252 – 253.
56. Grunskaya L.V., Experimental investigations of the interaction between the ELF Earth electromagnetic field and the gravitational fields of geophysical and astrophysical origin // Abstract 5-th international conference “Problems of geocosmos”. – Sankt-Peterburg, 2004. – P. 253 – 254.
57. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Processing method of the electromagnetic field experimental data in the range of the gravitational wave sources // Abstract 5-th international conference “Problems of geocosmos”. – Sankt-Peterburg, 2004. – P. 251 – 252.
58. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Gavrilov I.N., Tarasov A.V., Polyakov A.A., Skomorohin S.A., Gerasimov M.S., Krestyaninov I.I., Snarovkina A.F. Experimental investigations of the interection between the ELF electromagnetic fields and the gravitational fields // Abstracts the Third international conference IS2. Ulyanovsc, 2003. – P. 76 – 77.
59. Грунская, Л. В. Взаимосвязь электромагнитных полей крайненизкочастотного диапазона с глобальными геофизическими процессами / Л. В. Грунская [и др.] // Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: тез. докл. Междунар. шк.-семинара. – Апатиты, 2002. – С. 29 – 31.
60. Grunskaya L.V., Efimov V.A. Gavrilov I.N. Intercommunication of electromagnetism and astrophysical processes // Abstracts. International conference “Theoretical and experimental problems of general relativity and gravitation”. – Tomsk, 2002. – P. 15 – 16.
61. Grunskaya L.V., Kondakov V.P. The experimental investigation of interrection of the ELF range Earth’s electromagnetic field with gravitational fields // Abstracts of the conferens Geomitritization of Physics 1V. – Kazan, 1999. – P. 87.

62. Грунская, Л. В. Поиск корреляций между электромагнитным полем Земли и периодическими гравитационными полями / Л. В. Грунская [и др.] // Тез. докл. X Рос. гравитационной конф. – Владимир, 1999. – С. 238.
63. Грунская, Л. В. Геодинамические процессы и вариации электрической составляющей электромагнитного поля Земли КНЧ диапазона / Л.В. Грунская, Д.В. Виноградов // Тез. докл. X Рос. гравитационной конф. Владимир, 1999. – С. 265.
64. Грунская, Л. В. Эксперимент лета 1998 года по регистрациям электрической составляющей электромагнитного поля Земли КНЧ диапазона / Л. В. Грунская [и др.] // Тез. докл. X Рос. Гравитационной конф. – Владимир, 1999. – С. 271.
65. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Gavrilov I.N., Experimental investigations of the interaction between the ELF Earth electromagnetic field and the gravitational fields of geophysical origin // Abstracts of International Summer school-seminar on recent problems in theoretical and mathematical physics. The 14 Petrov school-2002. – Kazan, 2002. – P. 22.
66. Grunskaya L.V., Isakevich V.V. Investigation of the ELF Variations // Abstracts of 20th Texas Symposium on relativistic Astrophysics, December 10-15. – Texas, 2000. – P. 71.
67. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Efimov V.A., Gavrilov I.N., Gerasimov M.S. Intercommunication of electromagnetism of the surface lover layer with geophysical and astrophysical processis // Book of abstracts 4-th International Conference “Problems of geocosmos”. – Saint-Peterburg, 2002. – P. 88 – 89.
68. Грунская, Л. В. Методика обработки регистраций электромагнитного поля Земли КНЧ диапазона / Л. В. Грунская // Материалы Шестой Всерос. науч.-техн. конф. «Методы и средства измерений физических величин». – Н.Новгород, 2002. – С. 5.
69. Грунская, Л. В. Приемно-регистрирующий комплекс для изучения атмосферного электрического поля / Л. В. Грунская [и др.] // Материалы Шестой Всерос. науч.-техн. конф. «Методы и средства измерений физических величин». – Н.Новгород, 2002. – С. 16.
70. Грунская, Л. В. Исследование корреляционных связей между электрическим и магнитным полем Земли и глобальными геофизическими процессами / Л. В. Грунская [и др.] // Тез. докл. конф. «Актуальные проблемы современной науки». – Самара, 2002. – С. 41 – 42.
71. Грунская, Л. В. Поиск корреляций между электромагнитным полем Земли крайненизкочастотного диапазона и периодическими

- гравитационными полями астрофизического происхождения / Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, В.А. Ефимов // Материалы XXXIV Тектонического совещания (30 января – 3 февраля). – Москва : ГЕОС, 2001. – С. 188.
72. Грунская, Л. В. Экспериментальные исследования КНЧ электромагнитного поля Земли / Л. В. Грунская [и др.] // Тез. докл. Второй науч. конф. «Фундаментальные проблемы физики». – Саратов, 2000. – С. 67.
73. Грунская, Л. В. Экспериментальные исследования крайненизкочастотных вариаций электромагнитного поля Земли / Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, Д.В. Виноградов // Тез. докл. VI Регион. конф. «Распространение радиоволн». – Санкт-Петербург, 2000. – С. 17.
74. Грунская, Л. В. Регистрация электрической составляющей поля Земли КНЧ диапазона с помощью подземных антенн / Л.В. Грунская, В.Н. Кунин // Тез. докл. межведомств. сем. «Распространение радиоволн». – Красноярск, 1986. – С. 90 – 91.
75. Грунская, Л. В. Анализ характеристик антенн КНЧ, помещенных в проводящую среду / Л.В. Грунская, В.Н. Кунин, В.В. Ионов // Тез. докл. всесоюз. конф. «Прием и анализ СНЧ колебаний». – Воронеж, 1987. – С. 102
76. Грунская, Л. В. Об измерении электрического поля Земли КНЧ диапазона / Л. В. Грунская // Тез. докл. всесоюз. конф. «Прием и анализ СНЧ колебаний». – Владимир, 1980. – С. 14 – 15.

Изобретения

77. Пат. 2078400 Российская Федерация, кл. 6 Н 04 В1/10. Способ устранения местных помех при регистрации сверхнизкочастотных сигналов / Грунская Л.В.; заявитель и патентообладатель Грунская Л.В. – № 93030230/09; заявл. 25.05.93; опубл. 27.04.97, Бюл. № 12. – 3 с.: ил.
78. А.с. 1385111 СССР, кл. 4 G 01 S 11/00, G 01 W 1/16. Устройство для измерения дальности до молниевых разрядов / Л.В. Грунская (СССР). – 3986513/24-09 ; заявл. 02.12.85 ; опубл. 30.03.88, Бюл. № 12. – 3 с. : ил.