

Беляев Геннадий Геннадиевич

**ВАРИАЦИИ УНЧ-КНЧ ПОЛЕЙ,
ВЫЗВАННЫЕ МОЩНЫМИ ВЗРЫВАМИ
И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

01.04.03 - Радиофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук



Москва-2003

Работа выполнена в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн и Институте физики Земли Российской Академии Наук

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор Молчанов О.А.,
кандидат физико-математических наук Костин В.М.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Карпачев А.Т.

доктор физико-математических наук Гучельми А.В.

Ведущая организация:

Центр динамики ионосферы ИГиРФИ

Защита диссертации состоится 25 ноября 2003 г.
в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 002.237.01 в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской Академии Наук по адресу: 142190, г. Троицк Московской области

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГиРФИ

Автореферат разослан 14 октября 2003 г.

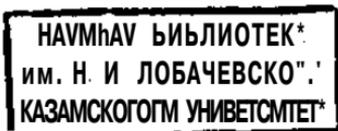
Ученый секретарь диссертационного совета

И.И. Михайлов

доктор физико-математических наук Михайлов Ю.М.



02616



1. Общая характеристика работы

1.1 Актуальность темы исследования.

Диапазоны УНЧ и КНЧ характеризуются очень слабым затуханием при распространении радиоволн в приземном волноводе. Эти сигналы способны распространяться на очень большие расстояния (до нескольких тысяч километров), что позволяет рассматривать их наблюдение как средство мониторинга глобальных изменений окружающей среды. При этом представляется возможность оценки свойств, как канала распространения, в основном определяемым состоянием нижней ионосферы, так и параметров источников сигналов, таких как их координаты в случае одиночного импульсного излучателя, его мощность, а также пространственное распределение глобальной молниевой активности. Сигналы в этом диапазоне частот уверенно регистрируются на спутниках, но поскольку спутниковые данные во многих случаях не могут заменить наземные, а получение последних связано, как правило, с работой на фоне высоких индустриальных и естественных (погодные, вибрационные) помех, рассматриваемые экспериментальные методики могут оказаться полезными при решении ряда задач, имеющих важное научное и прикладное значение.

Естественными источниками в этих диапазонах частот являются также молнии, которые являются предметом исследования от первых опытов с электричеством в XIX веке до настоящих дней. Молнии традиционно используются для исследования распространения радиоволн, что связано, прежде всего, с отсутствием широкополосных искусственных источников полей в этом частотном диапазоне. Однако глобальная грозовая деятельность вносит основной вклад в энергетические спектры принимаемых на Земле сигналов в указанном частотном диапазоне. Так как исследуемые электромагнитные поля, наблюдаемые на поверхности Земли, как правило, имеют низкую

интенсивность, то вероятность обнаружения и точность оценки параметров сигналов зависит, в том числе, и от знания спектральных, статистических и временных параметров помех, к которым в данном случае нужно отнести и грозовую активность. При этом важную роль играет определение координат источников вследствие дистанционной зависимости спектров регистрируемых полей.

Задачи поиска к локализации очагов техногенных явлений до недавнего времени решались в основном сейсмическим, гидроакустическим, инфразвуковым и радионуклидным методами. Однако проблема осложняется тем, что глубина и размеры очага, геологическое строение и физические свойства пород варьируют в достаточно широких пределах, что требует в целом комплексного подхода. Геомагнитным возмущениям, сопровождающих подземные ядерные взрывы (ПЯВ) посвящено очень мало работ. Однако, в силу того, что ионосфера и магнитосфера Земли являются достаточно «прозрачными» именно для частот УНЧ-КНЧ диапазона, изучение свойств сигналов, сопровождающих мощные техногенные явления, представляет наибольший интерес.

Землетрясения являются одним из наиболее катастрофических процессов в природе и, поэтому, их исследованию и возможности их предсказания посвящено огромное количество работ. Некоторые теоретические и практические работы позволяют делать вывод о том, что существует возможность появления низкочастотных излучений, в том числе и в период подготовки землетрясений. Однако исследования в этой области поглотили уже огромные средства, но пока не привели к полной ясности физики процессов и не дают конкретных рекомендаций для их прогноза. Исследование статистических и спектральных характеристик низкочастотных полей в сейсмоактивной зоне Камчатского региона, а также их связи с сейсмическими событиями также нашло отражение в данной работе.

1.2 Цель и задачи диссертационной работы.

Целью диссертации является экспериментальное исследование спектральных и поляризационных свойств электромагнитного поля от нестационарных источников естественного и искусственного происхождения в диапазонах УНЧ-КНЧ, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера и магнитосфере, разработка методики локализации источников импульсных сигналов как точечных, так и распределенных в пространствах, попытка решения задачи поиска предвестника землетрясения, получение новых экспериментальных данных о пространственно-временной динамике активности мировых грозовых центров (МГЦ), обработка, анализ и интерпретация полученных экспериментальных данных.

1.3 Научная новизна работы.

Проанализированы основные особенности УНЧ естественных шумов от магнитосферных и ионосферных источников в п. Карымшинс, Камчатской обл., а также проведены трехкомпонентные измерения естественных электромагнитных полей в диапазоне шумановских резонансов на геофизической станции Лехта в респ. Карелия. При этом обнаружены аномальные вариации грозовой активности в Африканском МГЦ по результатам измерения вектора Умова-Пойнтинга. Предложена и апробирована оригинальная методика пеленгации и определения дистанции до МГЦ по волновому импедансу.

Проведены комплексные исследования физических свойств электромагнитного излучения при проведении подземных ядерных взрывов и взаимосвязи его характеристик с информационными параметрами источника его генерации. Предложена и апробирована оригинальная методика обнаружения камуфлетного взрыва. Зарегистрированы и исследованы остаточные геомагнитные вариации и процессы их релаксации после действия

ПЯВ. Отработаны физические и математические критерии идентификации источника злекгромагнитных и геофизических возмущений.

Предпринята попытка обнаружения сигналов вблизи зоны готовящегося землетрясения, пояш.ение которых предшествует или сопровождает его.

Разработаны и созданы прсираммо-аппаратурные комплексы с автоматической калибровкой для 3-х компонентных измерений в диапазонах УНЧ-КНЧ, отимизирэвг.нкмх для решения вышеперечисленных задач.

14 Основные положения, выносимые на защиту.

1. Многолетний мониторинг пространственно-временной динамики активности МГЦ из одного пункта с помощью вектора Умова-Пойнтнга в диапазоне частот шумановских резонансов выполнялся впервые. Предложена и апробирована оригинальная методика пеленгации и определение расстояния до МГЦ по волновому импедансу.
2. При изучении пространственно-временной динамики активности МГЦ в суточном ходе обнаружено аномальное изменение направления вектора Умова-Пойнтинга в сторону, противоположную к движению Солнца. Интерпретация суточных вариаций направления вектора Умова-Пойнтинга указывает на существование дополнительного ночного максимума активности африканского МГЦ.
3. Предложена и апробирована оригинальная методика обнаружения камуфлетного ядерного взрыва. Зарегистрированы и исследованы регулярные остаточные геомагнитные вариации и процессы их релаксации после действия импульсного нестационарного источника.
4. В диапазоне частот 0,01 - 0,1 Гц по данным более чем двухлетних измерений на Камчатском полигоне обнаружен статистически устойчивый эффект падения интенсивности горизонтальной

компоненты УНЧ пульсаций за 2 - 6 суток до значительных сейсмических событий.

1.5 Научная и практическая значимость работы.

Полученные в диссертации экспериментальные результаты развивают и дополняют знания о распространении электромагнитных волн УНЧ-КНЧ диапазонов в волноводе Земля-ионосфера.

Выявленные физические закономерности и количественные характеристики электромагнитных и геофизических эффектов могут быть использованы как для фундаментальных геофизических исследований, так и в прикладных областях. Областью применения полученных результатов может быть обнаружение сигналов из очагов землетрясений, вулканической деятельности, решение задач, связанных с обнаружением и различением ПЯВ и взрывом химических ВВ.

Разработанные алгоритмы обработки сигналов, схемные решения, использованные при разработке аппаратных комплексов, могут быть применены для изучения динамики мировой грозовой активности, создания однопунктовых систем локации молний, автоматических систем мониторинга нижней ионосферы, новых систем связи.

1.6 Апробация работы

Результаты исследований были доложены на Всесоюзном межведомственном научном совещании, г. Харьков, 1990 г., межведомственной научной конференции по сейсмоакустическим, инфразвуковым и ионосферным эффектам подземных и наземных взрывов, г. Москва, 1990 г., межведомственной конференции по технологиям мониторинга договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний, г. Истра, 1996 г., XXVIth General Assembly URSI, Univ. Of Toronto, Toronto, Ontario, Canada, 1999 г. IV

intSymposium on EMC and Electromagnetic Ecology. EMC-2001, 2001 г., 25-й Генеральной Ассамблеи Европейского Геофизического Союза (Ницца, Франция), CGS -2001 г., 26-й Генеральной Ассамблеи Европейского Геофизического Союза (Ниша, Франция), EGS -2003 г., International Workshop on Seismo Electromagnetics, 2000 of NASDA. The University of Electro-Communications, Chofu-Chy, Tokyo, Japan. Материалы диссертации обсуждены на семинарах в ОИФЗ РАН, ИДГ РАН, МИФИ, ИЗМИРАН.

1.7 Публикации

Основные научные положения диссертации опубликованы в 15 печатных работах.

I.X Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка. Общий объем 170 с, рисунков - 63, библиография → 162 наименования.

2. Содержание работы

2.1 Введение

Проведен анализ состояния исследований и их актуальность в области низкочастотных электромагнитных возмущений как естественного, так и техногенного происхождения, которые свидетельствуют о следующем.

Многочисленные исследования позволяют сделать вывод о том, что ряд процессов, протекающих как в различных областях околоземного пространства, так и в литосфере Земли стимулируют НЧ колебания электромагнитного поля. Обзор данных, полученных во время ионосферно-магнитопаузных процессов, активных экспериментов, ядерных взрывов и землетрясений позволяет предположить, что рассматриваемые электромагнитные возмущения

формируются этими источниками и способны распространяться на очень большие расстояния (до нескольких тысяч километров) благодаря очень слабому затуханию в приземном волноводе. Это позволяет рассматривать их наблюдение как средство мониторинга глобальных изменений окружающей среды. При этом предоставляется возможность оценки свойств, как канала распространения, в основном определяемым состоянием нижней ионосферы, так и параметров источников сигналов. Актуальность исследований в рассматриваемом частотном диапазоне, а также проблемы при регистрации и интерпретации полученных данных позволили сформулировать задачу диссертационного исследования.

2.2 Первая глава.

В главе 1 приведен анализ естественных УНЧ-КНЧ излучений по результатам наблюдения на станциях Лехта (Карелия) и Карымшино (Камчатка). Необходимость такого анализа обусловлена тем, что успешное выделение слабых аномальных сигналов от перечисленных выше явлений зависит как от знания физики процессов их генерации, так и от детального знания природы возникновения естественных источников НЧ излучений и помех. К таким НЧ излучениям следует отнести постоянно действующие и наиболее интенсивные поля, которые определяют основные характеристики суммарного излучения, действующего на поверхности Земли. Учет влияния этих полей, их динамики, интенсивности, суточного и сезонного хода необходим для обнаружения на их фоне не связного с ними излучения, а также для оптимизации аппаратуры.

В полной мере такого рода источникам излучения следует отнести мировую грозовую деятельность, которая вносит основной энергетический вклад в КНЧ фон на частотах более 5 Гц. Изучение глобальной грозовой активности из одного или нескольких измерительных пунктов основано на

измерениях естественного электромагнитного поля в области частот глобального или шумановского резонанса (ШР). Электромагнитный импульс, излученный молнией, способен многократно обогать вокруг Земли благодаря малому затуханию (ниже 0,3 дБ/мм). Это приводит к появлению резонансных пиков в спектре естественного радишумга. Спектр ШР состоит из ряда максимумов, расположенных на частотах 8, 14, 20, 26 Гц. Источником возбуждения глобальных резонансов являются вертикальные молнии. Таким образом, естественный электромагнитный резонанс несет в себе информацию о вертикальных молниях, распределенных по всей поверхности Земли.

Как известно, мировая грозовая активность сосредоточена над сушей в тропическом поясе Земли. Имеется три мировых грозовых центра, находящиеся в Африке, Южной Америке и Юго-Восточной Азии. Максимум активности в этих центрах приходится на послеполуденное время и расположен вблизи вечернего термина гора. Естественные электромагнитные сигналы в области частот ШР принято делить на фон и всплески. Всплески представляют собой импульсы от сверхмощных молниевых разрядов, амплитуда которых превышает фон в 3-10 раз. Измерения всплесков позволяют решать обратную задачу и определять координаты молнии, параметры волновода Земля-ионосфера и спектр источника излучения. Фоновый сигнал ШР представляет собой суперпозицию электромагнитных импульсов от случайных молний, распределенных по поверхности Земли. Выделение дня анализа отдельных импульсов из фонового сигнала невозможно. Действительно, первая частота ШР равна 8 Гц, а на планете в среднем происходит около 100 разрядов в секунду. Отсюда ясно, что отдельные импульсы существенно интерферируют.

Основное внимание при изучении МГА уделено мониторингу вектора Умова-Пойнтинга, который в указанном диапазоне частот выполняется впервые. Ранее примененная техника пеленгации использовалась на более высоких частотах ($f > 1$ кГц) для пеленгации атмосфериков.

II

Для оценки спектров распределенных источников использовалась модель очага грозовой активности, в которой источники находятся внутри «рука к размешены на радиальных лучах с шагом 50 км по радиусу и 10 по азимуту. При таком распределении наибольшая плотность сосредоточена в центре области, а с увеличением ее размеров плотность спадает обратно пропорционально радиусу круговой зоны. Расчет средних компонент вектора Умова-Пойнтинга для используемой модели кругового очага даст точное направление на его центр из пункта наблюдения. При использовании в поддали двух распределенных очагов суммарный пеленг направлен между ними, т.е. па некоторый «центр тяжести». «Вес» отдельного очага определяется дальностью до него, плотностью источников и амплитудами токовых моментов. При наличии в модели нескольких не равноудаленных очагов появляется частотная зависимость направления среднего вектора Умова-Пойнтинга, что объясняется различным вкладом в поток энергии в разных модах ШР в зависимости от дистанции до источников. Таким образом, расчеты показывают, что направление среднего вектора Умова-Пойнтинга отслеживает положение некоего центра тяжести, который в течение суток смещается в соответствии с перераспределением активности между МГЦ вслед за движением Солнца. Суточные вариации при этом будут зависеть от соотношения минимальных и максимальных уровней активности в каждом МГЦ, а также от выбора точки наблюдения.

Экспериментальные данные показывают, что, как правило, размах вариаций угла, определенного по вектору Умова-Пойнтинга охватывает направления на каждый МГЦ, что укладывается в простую модель, по которой активность плавно перетекает из одного МГЦ в другой в течение суток следуя за терминатором. Однако при проведении мониторинга было замечено, что есть примеры, когда размах вариаций азимута отличается от типичного - т.е. простая модель в данном случае не работает, как и те источники активны, а активны в

«неположенное» время. Для получения согласия с экспериментальными данными был введен дополнительный максимум активности, расположенный в Африке и приходящийся на $\sim 2-3$ ч. Амплитуда этого максимума равна примерно той же от амплитуды от основного днеинного африканского максимума.

В этой же главе приводятся анализ естественных УНЧ излучений по результатам наблюдения на станции Карымшино (Камчатка), т.к. в последние годы появились многочисленные исследования, посвященные анализу электромагнитных и акустических эмиссий, связанных с подготовкой землетрясений и которым посвящена 3 глава диссертации. В предыдущих исследованиях помехи существенно перекрывали своей интенсивностью эффекты, связанные с процессом подготовки землетрясений. Главной задачей исследований является обнаружение связи сейсмической активности с электромагнитными явлениями (т.е. с изменениями геомагнитного поля в УРЧ/КНЧ диапазоне) и акустическими эмиссиями. В настоящее время признано, что анализа одних сейсмических данных, даже самого совершенного, не достаточно для решения двух существенных проблем геодинамики: каков механизм происхождения и как осуществить прогноз сильных землетрясений. В такой ситуации очевидна важность несейсмических методов исследования. Одним из них является метод слежения за геомагнитными пульсациями в УИЧ диапазоне 0.01-0.1 Гц. Положительный эффект в этом диапазоне пульсаций впервые был обнаружен при сильном землетрясении с $M=7.1$ в США, (Калифорния) в 1989 г. и при землетрясении с $M=6.9$ в Спитаке (Армения) в 1987 г.

Приведены спектральные и поляризационные характеристики принимаемых сигналов и их суточные вариации. Проиллюстрировано, что принимаемые сигналы нигде не «упираются» в пороговую чувствительность магнитографа, что говорит, соответственно, о возможности обнаружения более слабых сигналов.

В 1 главе приводится также подробное описание применяемой аппаратуры и датчиков, их структурные схемы и характеристики.

2.3 Вторая глава.

Вторая глава посвящена наблюдениям индуцированных КНЧ излучений от подземных ядерных взрывов. Во введении ко 2 главе приводится краткий обзор методов регистрации и определения эквивалентов взрывов, а также результаты регистрации электромагнитных полей при проведении испытаний на полигоне в Неваде. Далее рассмотрены постановки задали, приводится схема расположения полигона и приемо-измерительской аппаратуры, дано ее описание и характеристики.

Приводимые ниже результаты являются апостериорным обобщением опытных данных, полученных в серии натуральных экспериментов в периоды проведения экспедиционных работ. Источниками возмущений являлись подземные ядерные взрывы, энергетический эквивалент которых менялся от 0,5 до 150 тыс. тонн.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что динамические спектры регистрируемых процессов на определенном временном интервале после взрыва, наряду со случайной, содержит регулярную компоненту магнитных возмущений, которая делает уникальным магнитный «портрет» источника возмущений.

С учетом физических механизмов, рассмотренных в разделе 2.4. второй главы, детерминированная совокупность наблюдаемых магнитных возмущений может быть интерпретирована в рамках следующей модели:

- в момент взрыва происходит генерация ЭМИ, которая в регистрируемом процессе предшествует всей последующей совокупности возмущений магнитного поля (имеется ввиду только регулярная компонента);

- группа возмущений, которая по своим спектральным свойствам и характерному времени запаздывания относительно ЭМИ, может быть отнесена к классу сигналов электромагнитного эха.
- возмущение, наблюдаемое в районе 1-ой секунды после ЭМИ, отождествляется с субпротоносферной волной, или S_j-модой;
- диспергированный сигнал, спектральное распределение которого качественно соответствует зависимости, характерной магнитосферному отражению типа «свистящий атмосферик» или свистовую моду (D-моду);
- в районе 4 — 6 с после ЭМИ устойчиво наблюдаются сигналы «шумового» типа, обозначенные на графиках как «G-мода», спектр которых занимает промежуточное положение между спектрами ЭМИ и молниевых разрядов, образующих естественный шумовой фон. Модуль спектральной плотности этого возмущения в зависимости от частоты описывается асимптотикой $S(f) \sim f^{-4}$, а амплитуда колебаний в максимуме спектральной плотности соизмерима, а в ряде случаев и превосходит ЭМИ. Одним из механизмов возникновения этой группы возмущений может быть прорыв ионизированных газов в трещины образовавшейся полости после стекания расплава с ее стенок;
- на 9-12 секундах отмечено резкое возрастание потока интенсивных атмосфериков (по 3-4 в группе). Данный эффект, объясняется локальными изменениями характеристик волноводного канала Земля-ионосфера, приводящий к уменьшению декремента затухания на этих частотах. Эти изменения могут вызываться рядом причин, в том числе высыпанием электронов в ионосферу из возмущенной магнитной силовой трубки, а также изменениями локальных электрических характеристик среды в районе взрыва, сопровождающимися электрическими пробоями в верхней атмосфере;

- среди наблюдаемых явлений особое место занимают сейсмические магнитоиндукционные возмущения, которые уверенно регистрируются приемной аппаратурой во всех проведенных экспериментах. Моменты вступления различных сейсмических мод соответствуют индукционным возмущениям, вызванным колебаниями датчика в магнитном поле Земли. Время вступления сейсмических магнитовариационных возмущений в точке наблюдения, удаленной на расстояние r будет соответствовать значениям

$$t_i = r/V_i,$$

где V_i - скорость распространения i -ой моды;

- в моменты времени, коррелируемые и приходом акустической возмущения через D и E - слои ионосферы (~3 и 5 мин), проявляется эффект увеличения интенсивности КНЧ-шумов в диапазоне частот 20 - 500 Гц;
- в области частот менее 500 Гц в ряде случаев наблюдается эффект развития пульсаций интенсивности КНЧ-шумов с характерными периодами 20 - 50 с, время релаксации которых составляет около 2-х часов.

Приведенные выше данные экспериментальных исследований, таким образом, подтверждают наличие широкого класса магнитных возмущений в диапазоне КНЧ после каждого подрыва ядерного заряда, имеющих сходные характеристики.

Кроме того, приведены примеры регистрации электромагнитных возмущений в диапазонах УНЧ и ОНЧ. Для первого диапазона в О компоненте в момент взрыва наблюдается скачок напряженности магнитного поля чуть менее 1 нТ, а в Н компоненте его нет. Это свидетельствует о том, что импульс

токе проходит в меридиональной плоскости, а в широтном направлении отсутствует. Для диапазона ОНЧ отмечена общая депрессия поля после взрыва.

2.4 Третье глава

В 3 главе приведены экспериментальные результаты более чем двухлетних наблюдений за УНЧ фоном в сейсмически активном районе Камчатского региона.

Во введении давая общую оценку сейсмической активности, приводится количественное распределение землетрясений в зависимости от магнитуды. Поиски предвестников землетрясений в колебаниях геомагнитного поля сильно осложняются высоким уровнем сигналов естественной электромагнитной активности Земли, источники которой находятся выше ее поверхности. Перспективный для таких поисков частотный диапазон 0,003-40 Гц (в котором работает магнитометр в Карымшино) занят в низкочастотной своей части 0,003-5 Гц геомагнитными пульсациями (JLF эмиссией) генерируемыми в магнитосфере и ионосфере Земли, а в паясе 5-40 Гц так называемыми «атмосфериками» (ELF шумами), порождаемыми молниевыми разрядами. Оба упомянутых типа колебаний геомагнитного поля наблюдаются почти перманентно, носят случайный характер и имеют амплитуды, которые могут значительно превышать ожидаемые амплитуды колебаний сейсмогенной природы.

Тем не менее, как уже упоминалось в главе 1, методу слежения за геомагнитными пульсациями в УНЧ диапазоне 0,001 - 5 Гц в настоящее время уделяется большое внимание, т.к. в ряде работ отмечается заметное изменение интенсивности УНЧ пульсаций за несколько дней до главного толчка. Предполагалось, что сейсмогешше УНЧ пульсации могут быть обязаны своим появлением либо прямой радиации из очага зоны землетрясения, либо изменению геоэлектрической проводимости внутри и вблизи зоны

землетрясения, которая ведет к трансформации УНЧ волн, генерируемых ионосферными источниками. Одновременные наблюдения сейсмических и электромагнитных явлений в одном и том же месте представили уникальную возможность обнаружить корреляционную связь между временными вариациями геомагнитного поля и изменениями локальной сейсмичности. Располагая, к сожалению, данными лишь одной станции, главное внимание обращается на временную корреляцию данных с сейсмической активностью.

Были рассмотрены спектральные плотности УНЧ пульсаций в вертикальной компоненте Z и полном горизонтальном векторе G для различных частотных полос. В соответствии с рекомендациями ряда авторов, особое внимание было уделено частотному диапазону $F=0.01-0.1$ Гц, хотя рассматривался также и весь диапазон измеряемых частот. Получена очевидная корреляция с K_p индексом магнитной активности, а также суточная вариация последней. Это, вероятно, означает, что основной вклад в сигнал этих частотных каналов дают некоторые типы геомагнитных пульсаций, которые генерируются в магнитосфере или ионосфере Земли. Был рассмотрен метод поляризационного отношения $R=Z/G$, который много раз обсуждался в различных работах. Для указанного диапазона частот была обнаружена корреляционная связь между R и индексом локальной сейсмической активности для моментов времени, связанных с сильными землетрясениями ($M>4.5$). Было отмечено, что ночные значения параметра Z/G возрастают за 2-7 дней до землетрясения.

Для ответа на вопрос, означает ли это возрастание Z компоненты или уменьшение компоненты G или одновременно и то и другое, было исследовано поведение Z компоненты. Обнаружено, что она испытывает главным образом сезонные изменения и временами подвержена возмущениям, связанным с человеческой деятельностью, но не обнаруживает корреляции с сейсмической

активностью. Это означает, что увеличение Z/G означает в действительности уменьшение значений G .

Анализ флуктуации низкочастотных полей проводился на основе спектральных матриц (оценок спектральной плотности). Спектральные матрицы рассчитывались методом Велча и усреднялись по 30 мин. Аналогично рассчитывались кросс-спектры. Для оценки корреляционных зависимостей сейсмической и магнитной активности регистрируемых полей брались две последовательности с одинаковым временем осреднения в данном случае 48 ч и получались коэффициенты кросс-корреляции с лагом ± 15 суток. Корреляционные функции были рассчитаны для более чем годового временного интервала и для простоты данные подвергнуты 2-суточному осреднению.

Согласно общепринятым критериям, корреляция между интенсивностью дневных пульсаций и индексом локальной сейсмической активности отсутствует, но уменьшение интенсивности ночных УНЧ пульсаций вблизи $t \sim -4$ дня представляется реальным явлением. Этот вывод совпадает с результатом изучения отдельных случаев.

Для объяснения депрессии УНЧ поля перед землетрясением предложено 2 модели: первая -- уменьшение коэффициента прохождения альвеновских волн из магнитосферы благодаря турбулентному возрастанию эффективной педерсеновской проводимости в ионосфере и вторая - перераспределение размеров ионосферных турбулентностей над зоной готовящегося землетрясения (изменение распределения волновых чисел k).

2.5 Заключение.

В заключении сформулированы основные результаты исследований.

В результате долговременного мониторинга из одного пункта наблюдения за пространственно- временной динамикой активности МГЦ в диапазоне шумановских резонансов было обнаружено аномальное поведение суточных

вариаций направления вектора Умова-Пойтинга в сторону, противоположную к движению Солнца. Предложена интерпретация полученных результатов, указывающая на существование дополнительного ночного максимума активности африканского МГЦ. Предложена и апробирована оригинальная методика пеленгации и определение расстояния до МГЦ по волновому импедансу.

Результаты серии экспериментов, в которых источниками возмущений являлись подземные ядерные взрывы, позволяют утверждать, что динамические спектры регистрируемых процессов на определенном временном интервале после взрыва, наряду со случайной, содержит регулярную компоненту, магнитных возмущений, что делает уникальным магнитный «портрет» источника возмущений. Предложены простые модели их возникновения. Предложена и апробирована оригинальная методика обнаружения клмфлетного ядерного взрыва. Зарегистрированы и исследованы регулярные остаточные геомагнитные вариации и процессы их релаксации после действия импульсного нестационарного источника.

Для УНЧ диапазона частот была обнаружена корреляционная связь между депрессией горизонтальных компонент магнитного поля и индексом локальной сейсмической активности для моментов времени, связанных с сильными землетрясениями ($M > 4.5$). Было отмечено, что ночные значения параметра $1/G$ возрастают за 2-7 дней до землетрясения. Согласно общепринятым критериям, уменьшение интенсивности ночных УНЧ пульсаций вблизи $t \sim -4$ дня представляется расщальным явлением. Для объяснения депрессии УНЧ полк перед землетрясением предложено 2 модели.

Разработана и изготовлена аппаратура, не уступающая лучшим мировым образцам по чувствительности, надежности и весогабаритным показателям и программное обеспечение для трехкомпонентных измерений электромагнитного фона в диапазоне частот от УНЧ до частот шумановских:

резонансо, а также аппаратура для измерения вариаций магнитного поля в диапазоне КНЧ. Накоплены многолетние электронные банки данных, используются современные методы их обработки.

3. Список работ, опубликованных автором по теме диссертации.

1. V.M. Balebanov, Yu.I. Galperin, G.G. Belyaev, V.V. Lavrussevith and oth. Reception and recording facilities of the French wide-band telemetry from the AUREOL-3 satellite for the Soviet ground stations. Ann. Geophys., t. 38. fasc. 5, 1982, P. 697-705
2. Afanasiev, Yu., Alekseevich, Ya., Belyaev., G. and oth. Combined wave diagnostic: BUDVAR-VLF complex. Publications of the astronomical institute of the Czechoslovak academy of sciences. Publication No. 60 INTERSHOCK PROJECT 1985.
3. Беляев Г.Г. Устройство автоматическим дистанционным управлением анализатором спектра СК4-72. Приборы и техника эксперимента. 1988 г. №4 с. 201-203.
4. Беляев Г.Г., Костин В.М., Макаров Л.П., Мурашев В.Н. Электромагнитные эффекты при подземных взрывах. Материалы межведомственной научной конференции по сейсмоакустическим, иафразвуковым и ионосферным эффектам подземных и наземных взрывов. Москва: МО, 1990.
5. Беляев Г.Г., Костин В.М., Макаров Л.П., Мурашев В.Н., Чмырев В.М. Способ обнаружения камуфлетного взрыва. //АС. №322084, СССР: МКп⁸ 21,15/0С, 1990.
6. S. Uyeda, T. Nagao, M. Hayakawa, O. Molchanov, A. Lutikov, G. Kosarev, A. Schekotov, G. Belyaev. Relationship between statistycal characteristics of ULF magnetic fields and seismic phenomena observed at Karimshino site. First

- results. "Seismo-Elsctromajnetics" (Collective Monograph, ed M.Hayak. O.A.Molchanov). TKRRAPUB, Japan. 2000, p. 618-624.
7. S. Uyeda, M. Hsyslcawa, O. Molchanov, A. Scheketov, G. Belvaev. E Feiiow O. Pokbotelov, E. Gordeev, A. Lutikov, V Surkev mid oth. Russian-Japanese complex geophysical observatory in Kamchatka for monitoring of pЪслогг"" connected with seismic activity. In' "Seismo-Elcctroinagnetics" (Collective Monograph, ed. M.Hayakawa, O.A.Molchanov). Terra Scientific Publishing Company TERRAPL'B, Japan. 2002, p. 413-419.
 8. E. Fedorov, O. Pokliotclov, GL Beivaev, E. Gordeev, V. Surlccv, O Molchanov, M. Hayakawa. K. Hattori and oth. Some preliminary results of seismo-electvoir.agnctic research at Complex Geophysical Observatory. Kamchatka. In: "Seismo-Electrornagnetics" (Collective Monograph, ed M.Hayakawa, O.A.Molchanov). Terra Scientific Publishing Company TERRAPUB, 'opan. 2002, p. 421-432.
 9. 7. G.G. Belyaev, A. Yu. Schekotov, A.V. Shvets, A.P. NikoJaenko. Schumann resonances observed using Pointing vector spectra. Jouni. Arnios. Teir. Phys.-1999.-6I.-P.751-763.
 10. Г.Г. Беляев, А.П. Николаенко, А.В. Швец, А.Ю. Щекотов. Наблюдения за движением мировой грозовой активности по анализу 'фехкомпонентных измерений шумановских резонансов. ИРЭ НАЛ Украишл. Радиофизика и электроника. Т.4. N1. с 63 - 69.
 - 11.9. G.G. Belyaev, A. Yu. Schekotov, A.V. Shvets. A.P. Nikolaenko. Schumann resonances observed using Pointing vector spectra. Доклад URSI. 1999г
 12. Беляев Г.Г., Чмырев В.М., Клейменова Н.Г., Козырева О.Э. Электромагнитный ультранизкочастотный фон мегаполиса.// Геомагнетизм и аэрономия. 2003,43, №3, с. 1026 -1030.

- O Moichanov., A. Schekotov., E.Fedorov., G. Belyaev and E. Gordcev. Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3,203-209,2003.
- 14. С. Андреевский., Л. Баранский., Г. Беляев и др. Исследования электромагнитных эмиссий, связанных с сейсмической активностью в Камчатском регионе: Сб. науч. тр./ Современные математические и геологические исследования природной среды/ отв. ред. ЮН. Авсеев.- М.: ОИФЗ РАН, 2002. с. 200-230.
- 15. Molchanov O.A., A. Yu. Schekotov, EN. Fedorov, G.G. Belyaev, M. Soiovieva and M. Hayakawa. Preseismic ULF effect and possible interpretation, (submitted to *Annals of Geophysics*, 2003)