ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

ШВЕЦ Александр Вячеславович

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СНЧ-СДВ АТМОСФЕРИКОВ И ДИНАМИКА МИРОВОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ

01.04.03 - радиофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков 1994

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Радиоастрономическом институте Академии наук Украины, г. Харьков.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник
Николаенко Александр Павлович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Горобец Николай Николаевич
(Харьковский госуниверситет)

доктор физико-математических наук, профессор
Калмыков Анатолий Иванович
(Институт радиофизики и электроники НАН Украины, г. Харьков)

Ведущая организация: Институт ионосферы НАН и Минобразования Украины, г. Харьков

Защита состоится "14" октября 1994 г. в 14 00 часов на заседании специализированного совета Д 02.01.07 в Харьковском государственном университете по адресу: 310077, г. Харьков, пл. Свободы, 4, ауд. 3-9)

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ХГУ, г. Харьков, пл. Свободы, 4.

Автореферат разослан "26" июля 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого

В. И. ЧЕБОТАРЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена экспериментальному изучению естественных электромагнитных импульсных сверхдлинноволновых (СДВ) излучений и исследованию пространственно - временного распределения их источников. Работа основана на результатах наземной и морской регистрации вертикальной электрической (E_z) и двух взаимно ортогональных горизонтальных магнитных (H_x и H_y) компонент поля естественных излучений в диапазоне от 0.3 до 13 кГц. Измерения проводились в с. Мартовая Харьковской обл. и на борту научно-исследовательского судна (НИС) "Академик Вернадский" в акваториях Индийского и Атлантического океанов.

Актуальность работы. Диапазоны СНЧ и особенно СДВ активно используются для связи, навигации, передачи сигналов точного времени. Важную роль при разработке соответствующих систем играет выбор частоты, способа возбуждения волновода Земля-ионосфера, интенсивность и спектральный состав помех и пр. Интервал частот 0.3 - 10 кГц остается при этом наименее изученным, что связано прежде всего с отсутствием искусственных источников таких полей. Поэтому весьма актуально исследование электромагнитных волн, возбуждаемых естественными широкополосными источниками (молниями).

Значительный интерес представляет изучение системы Земля - ионосфера, как радиофизического объекта. До настоящего времени наименее изучена нижняя часть ионосферы, оказывающая основное влияние на распространение низкочастотных радиоволн.

Определяющую роль в глобальной грозовой активности играют так называемые мировые грозовые центры, расположенные в Африке, Южной Америке, Юго-Восточной Азии. Известные из литературы распределения источников измерялись за продолжительные промежутки времени, или охватывали локальные области Земного шара. Глобальные распределения получались затем сопоставлением данных большого числа отдельных метеостанций. Эти данные не позволяют оценить одновременно динамику и пространственную структуру глобальных источников атмосфериков. Поэтому актуально получение данных о пространственно-временной динамике активности мировых грозовых центров.

Исследуемые в диссертации эффекты тесно связаны с сос-

тоянием нижней ионосферы, поэтому они оказываются не только источником дополнительной информации, но и основой новых методов измерения параметров нижней ионосферы. Кроме того, радиоволны в промежутке Земля - ионосфера несут информацию и об источнике возбуждения. Поэтому рассматриваемые в диссертации экспериментальные методики могут оказаться полезными в исследовании грозовых разрядов и других естественных электромагнитных источников в данном диапазоне частот.

Цель работы и метод исследования. Целью диссертации является экспериментальное исследование спектральных и поляризационных свойств электромагнитного поля естественных импульсных сигналов в диапазоне частот от 0.3 до 13 кГц, распространяющихся в волноводе Земля - ионосфера, разработка методики пеленгации импульсных сигналов, получение новых экспериментальных данных о пространственно-временной динамике активности мировых грозовых очагов, обработка, анализ и интерпретация полученных экспериментальных данных.

Методы исследования базируются на теории распространения электромагнитных радиоволн, теории цепей, теории информации, структурном программировании, математических методах обработки результатов экспериментов, моделирования на ЭВМ.

Научная новизна. Экспериментально исследовано влияние поперечных резонансов полости Земля-ионосфера на средние спектры и спектры отдельных атмосфериков в диапазоне частот от 0.3 до 13 кГц. Получены оценки эффективной высоты отражения от ионосферы. Предложена и апробирована оригинальная методика пеленгации источников импульсного излучения. Экспериментально обнаружено преобладание ТМ волн при распространении атмосфериков с запада на восток и преобладание ТЕ волн при распространении востока на запад. Получены длительные непрерывные ряды измерений интенсивности потока и азимутальных распределений СДВ-атмосфериков, позволившие проследить динамику активности мировых грозовых центров за период, охвативший смену сезона. Разработан и создан аппаратурный комплекс для регистрации трех компонент э/м поля импульсных излучений и их обработки.

На защиту выносится:

1. Экспериментальное обнаружение поперечных резонансов

полости Земля-ионосфера в индивидуальных и средних спектрах СДВ-атмосфериков.

2. Оценка высоты нижней границы ионосферы по резонансным максимумам в спектрах отдельных атмосфериков.

3. Методика пеленгации источников импульсного электромагнитного излучения, основанная на получении среднего вектора Умова-Пойнтинга во временном представлении.

4. Экспериментальное обнаружение навзаимности распространения атмосфериков с востока на запад и с запада на восток.

5. Наблюдения пространственно-временных вариаций мировой грозовой активности по результатам измерений интенсивности потоков и азимутальных распределений СДВ-атмосфериков за период, охвативший смену сезона.

6. Разработка и создание аналого-цифрового комплекса научной аппаратуры, предназначенной для измерений трех компонент поля атмосферных импульсных сигналов в полосе частот 300 Гц - 13 кГц.

Научная и практическая ценность работы. Полученнные в диссертации экспериментальные результаты развивают и дополняют знания о распространении электромагнитных волн СНЧ-СДВ диапазонов в волноводе Земля - ионосфера, динамике мировой грозовой активности, позволяют оценить эффективную высоту отражения НЧ волн от ионосферы. Результаты проведенных экспериментов могут быть использованы как для фундаментальных геофизических исследований, так и в прикладных областях, таких, как радионавигация и радиосвязь. Разработанные алгоритмы обработки сигналов, схемы и принципы, использованные при конструировании универсального аналого-цифрового комплекса, могут быть применены для создания однопунктовых систем локации молний, автоматических систем мониторинга нижней ионосферы, новых систем связи.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены на XII (г. Красноярск, 1986 г.) межведомственном семинаре по распространению километровых и более длинных радиоволн, 16 Всесоюзной конференции по распространению радиоволн (г. Харьков, 1990 г.), 3 Всесоюзной научно-технической конференции "Прием и анализ сверхнизкочастотных колебаний естественного

происхождения" (г. Львов, 1990 г.), 9 Международной конференции по атмосферному электричеству (г. Санкт-Перербург, Россия, 1992 г.), на 24 Генеральной Ассамблее URSI (заказной доклад, г. Киото, Япония, 1993 г.) Основные результаты диссертации изложены в 9 [1-9] печатных работах и включены в ряд отчетов по плановым НИР.

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 153 страницы состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 32 рисунка, список литературы из 80 наименований.

Содержание работы. Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследований, изложено краткое содержание и основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе описана аппаратура, использованная в измерениях. Здесь рассмотрены принципы конструирования широкополосного приемника прямого усиления СДВ диапазона, указаны технические характеристики экспериментальной установки, предназначенной для регистрации и обработки естественных сигналов.

В первом параграфе оценены требуемые параметры антенны и антенного усилителя тракта электрической компоненты. Эти параметры использовались при конструировании приемника.

Во втором параграфе получена оценка эффективной площади магнитной антенны с ферромагнитным сердечником. Отмечено, что реальные антенны с ферромагнитным и воздушным сердечниками, имеющие одинаковое количество витков обмотки, обладают эффективной площадью одного порядка, если диаметр воздушной рамки равен длине ферромагнитного сердечника.

Важным требованием к магнитной антенне, при измерении импульсных полей является передача сигналов без искажения их формы. Эти искажения в индукционной антенне обусловлены тем, что Э.Д.С. пропорциональна производной по времени от падающего магнитного поля. Это приводит к линейному росту модуля коэффициента передачи антенны с частотой и постоянному фазовому сдвигу на 90° Э.Д.С. относительно падающего поля. Для устранения этих недостатков в третьем параграфе предложена схема антенного усилителя для магнитной антенны, построенная на основе усилителя тока. В нем индуктивность магнитной ан-

тенны используется для компенсации фазо-частотных искажений. Схема обеспечивает постоянный действительный коэффициент передачи сквозного тракта антенна - антенный усилитель по полю в рабочем диапазоне частот.

В четвертом параграфе приведено описание комплекта аппаратуры для измерения спектров вертикального электрического поля атмосфериков в диапазоне 1 - 10 кГц. В его состав входят:

- вертикальная электрическая антенна;
- широкополосный антенный усилитель;
- фильтры верхних и нижних частот;
- магнитограф НО-62;
- анализатор спектра СК4-72/2.

Динамический диапазон сквозного тракта регистрации - воспроизведения составлял не менее 40 дБ.

В пятом параграфе описан универсальный аналого-цифровой комплекс, предназначенный для одновременного приема и обработки трех компонент электромагнитного импульса СНЧ-СДВ диапазона. В его состав входят:

1) вертикальная электрическая антенна;
2) две магнитные рамочные антенны;
3) широкополосные антенные усилители;
4) трехканальный тракт полосовых фильтров;
5) масштабирующие усилители;
6) двенадцатиразрядные АЦП в каждом канале;
7) цифровое буферное устройство;
8) ПЭВМ " Электроника - 85 ";
9) комплекс программ, обеспечивающих ввод данных в ЭВМ и их обработку в реальном времени.

Технические и эксплуатационные характеристики комплекса:

- рабочая полоса частот: 0.3 - 13.0 кГц;
- девиации АЧХ и ФЧХ между различными каналами не более 2 дБ и 3 градусов соответственно.
- пределы ступенчатой регулировки усиления одновременно по трем каналам: 0 - 48 дБ с дискретностью 6 дБ;
- динамический диапазон во всех каналах: не хуже 66 дБ;
- частота дискретизации : 100 кГц;
- длительность запоминаемой цифровой реализации по каж-

дому каналу: 40.96 мсек (3 × 4096 12-разрядных слов);

- длительность предыстории импульсного сигнала: от 0 до 38.4 мсек;

Предусмотрена фиксация даты и времени прихода каждого сигнала. Передача информации в ЭВМ осуществляется через последовательный (RS - 232) или параллельный (ИРПР) интерфейсы.

Режим работы комплекса - ждущий. Запись информации происходит при превышении сигналом в канале электрической компоненты установленного порога. После записи в память буферного устройства, временные формы трех компонент принятого сигнала контролируются по экрану осциллографа. По решению оператора цифровые реализации передаются в память ЭВМ для обработки. В автоматическом режиме каждый принятый атмосферик передается в ЭВМ без предварительной визуальной оценки. Информация в виде файлов накапливается на магнитных дисках.

Во второй главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований влияния поперечных резонансов (ПР), возникающих в вертикальном сечении полости Земля-ионосфера, на спектры СДВ-атмосфериков, рассмотрены поляризационные свойства э/м поля атмосфериков на поверхности Земли.

В начале главы приведен обзор литературы, посвященной резонансным явлениям в полости Земля - ионосфера.

В первом параграфе показано, что при падении волн в направлениях близких к нормали к границам полости собственные частоты сферической полости и плоского промежутка совпадают. Различие между сферической и плоской системами состоит в том, что в сферической полости имеется дискретный спектр собственных частот, определяемый номером зональной гармоники, в то время, как в плоской системе резонансные частоты имеют сплошной спектр. Таким образом, частоты поперечных резонансов, обусловленных переотражениями от границ полости Земля - ионосфера, определяются высотой нижней границы ионосферы над поверхностью Земли, поверхностным импедансом ионосферы, углом падения волн, конструирующих резонансную моду. При возбуждении полости Земля - ионосфера точечным источником - разрядом молнии возникает набор волн, которые распространяются под различными углами к границам и сответствуют различным поперечным резонансам. Показано, что для выделения резонансных

колебаний, возникающих при нормальном падении на частотах близких к частотам отсечки волновода, необходимо рассматривать хвостовую часть атмосферика.

Во втором параграфе рассмотрены результаты измерений средних энергетических спектров вертикальной электрической компоненты естественных импульсных сигналов в диапазоне 1 - 10 кГц, которые проводились с помощью комплекта аппаратуры, описанного в главе 1. В обработку включались атмосферики, амплитуда которых превышала пороговый уровень, величина которого выбиралась достаточной для предотвращения срабатывания аппаратуры от помех, излучаемых силовой сетью на высших гармониках. Усреднение проводилось по ансамблям, состоявшим из 60-80 отдельных спектров атмосфериков. Для набора одного ансамбля обычно требовалось от 10 до 45 минут в зависимости от сезона и времени суток.

Были получены средние спектры двух типов: гладкие, с широким плавным максимумом в области частот 4 - 8 кГц, и содержащие характерные резонансные максимумы вблизи частот 2, 4 кГц. Средние спектры первого типа наблюдались, как правило, в светлое время суток, тогда как спектры второго типа - только ночью. Как показал эксперимент, резонансная структура средних спектров сохраняется в нескольких подряд идущих сериях измерений. Время жизни резонансной структуры составляет от нескольких десятков минут до единиц часов, что согласуется с временем существования локальных грозовых очагов.

Таким образом, приведенные результаты наблюдений позволили заключить, что поперечные резонансы проявляются в средних спектрах, если во время проведения измерений существовал достаточно мощный компактный грозовой очаг. В этом случае процедура усреднения сглаживает тонкую структуру пиков, возникающих в спектрах отдельных импульсов, подчеркивая резонансные максимумы.

В третьем параграфе рассмотрены результаты трехкомпонентных измерений электромагнитного поля атмосфериков в диапазоне 0.3 - 13 кГц, выполненных на борту научно-исследовательского судна. Регистрация сигналов вертикальной электрической и двух скрещенных горизонтальных магнитных компонент проводилась с помощью разработанного автором комлекса

(см. Гл. 1). Исследовались сигналы характерной формы с многократными отражениями, записанные в ночное время суток. Цифровые реализации трех компонент поля длительностью 40 мсек. записывались на гибкие магнитные диски и обрабатывались впоследствии на ПЭВМ IBM PC AT. Для каждого обрабатываемого сигнала определялось направление прихода волны, а затем система координат в точке наблюдения разворачивалась на источник. Полученные вертикальная электрическая, а также азимутальная и продольная магнитные компоненты поля подвергались спектральному анализу с частотным разрешением 50 Гц. Характерная форма спектра амплитуд представляет собой ряд широких изрезанных максимумов, начинающихся вблизи частот ПР и, в-среднем, спадающих с ростом частоты.

Показано, что поперечные резонансы, соответствующие близким к нормальному углам падения волн наблюдаются в спектрах хвостовой части атмосфериков.

Были получены также динамические спектры электрической и магнитных компонент поля (сонограммы). В обработку включались последовательно отрезки длительностью 2.56 мсек., начало которых сдвигалось с шагом 0.4 мсек. от начала импульса к "хвосту". При этом использовалось временное окно Хэмминга, что уменьшило дисперсию спектральных оценок. Получающиеся максимумы в текущих спектрах группировались при этом в резонансные ветви (моды), имеющие вид кривых, монотонно спадающих по частоте с увеличением времени, асимптотически приближающихся к значениям частот отсечки волновода. В результате выделения таких мод получались временные зависимости частот ПР, разности фаз между спектральными составляющими горизонтальных магнитных компонент и отношений их амплитуд. Для увеличения разрешения по частоте значения частот максимумов получались путем определения "центра тяжести" спектрального пика по соседним отсчетам в спектре. В сонограммах различных атмосфериков наблюдались от одной до восьми мод. В основной массе импульсов можно было выделить не более двух первых мод, пригодных для анализа.

В результате обработки более, чем 200 ночных импульсов, зарегистрированных в южном полушарии, путем выделения первой и второй моды, было установлено, что, независимо от направле-

ния прихода, поляризация электромагнитного поля в хвостовой части стремится к левой (вектор поля вращается по часовой стрелке и совпадает с направлением вращения положительного заряда вокруг вектора магнитного поля Земли). В ряде обработанных импульсов (около 30 штук) для первой моды наблюдалось изменение знака поляризации в начальной части. Переход от начальной линейной поляризации к конечной левой мог происходить тремя путями:

- линейная - левая - правая - левая;
- линейная - правая - левая;
- линейная - левая,

причем для второй моды поляризация изменялась только от линейной к левой.

Частоты резонансных максимумов, соответствующих ПР, во времени монотонно спадают, асимптотически стремясь к частотам отсечки волновода. Оценки резонансных частот, соответствующих нормальному падению волн, дают величину 1.70 ± 0.05 кГц для первого резонанса, что соответствует эффективным высотам отражения от 85 до 91 км. Кратность частоте первой моды соблюдается для высших мод с доступной точностью.

Обнаружено, что в атмосфериках приходящих с востока преобладает продольная компонента, а в атмосфериках, приходящих с запада - поперечная компонента магнитного поля.

В третьей главе обсуждаются результаты морского мониторинга временных вариаций числа и направлений прихода СДВ атмосфериков.

В первом параграфе рассматривается методика пеленгации атмосфериков, основанная на вычислении среднего вектора Умова-Пойнтинга для импульсного сигнала. Предложенная методика отличается от известных узкополосных и широкополосных способов тем, что позволяет работать во временной области, а также использовать когерентную составляющую импульсных сигналов.

Реализация предложенной методики пеленгации на базе универсального аналого-цифрового комплекса позволила провести измерения суточных вариаций азимутальных распределений и интенсивности потоков СДВ-атмосфериков. Измерения проводились на борту НИС "Академик Бернадский" в 1991г. Маршрут судна проходил в Индийском океане между Африканским и Азиатским ми-

ровыми грозовыми очагами, а также в Атлантическом океане между Африканским и Американским очагами. Это обстоятельство в обоих случаях позволило наблюдать одновременно два мировых грозовых очага из одного пункта.

До начала измерений путем моделирования алгоритма обработки была решена задача оценки потерь, возникающих из-за конечного быстродействия аппаратуры. Как правило, в экспериментах значения интенсивности регистрируемого потока находились в пределах от 2000 до 4000 имп/час, что соответствует потерям от 10% до 23% входных событий. Максимальные значения интенсивности потока достигали 6000 имп/час., при этом потери составляли 32%. Полученные оценки пропусков являются систематическими погрешностями и в принципе могут быть существенно уменьшены.

В диссертацию вошли результаты 39 - суточных морских измерений, когда были построены суточные вариации плотности потока атмосфериков и соответствующих им азимутальных распределений молний, составившие ансамбли в 6, 11 и 22 суток непрерывной регистрации.

Показано, что в Индийском океане практически весь поток атмосфериков был сосредоточен в двух секторах, каждый шириной около 30-35 градусов. Эти сектора оказались ориентированы на континентальные и островные мировые грозовые центры в Африке и Азии. Ориентация и ширина этих секторов оставались стабильными, испытывая небольшие флуктуации, не только в течение суток, но и от суток к суткам. В то же время, были отмечены существенные временные вариации числа атмосфериков, приходящих из этих секторов. При приближении к суше размеры секторов увеличивались, а их структура усложнялась. Суточные вариации азимутальных распределений проявляются в виде изменений относительных амплитуд отдельных максимумов, однако положение этих максимумов неизменно совпадает с направлением на Азиатский, Африканский и Американский мировые грозовые центры, а сами максимумы приходятся как правило на 9, 16 и 20 часов мирового времени.

Было проведено сопоставление суточных вариаций интенсивности потока атмосфериков и уровня шума в СНЧ-диапазоне (на частоте около 100 Гц), измеренных вблизи южного побережья Аф-

рики. Результаты указывают, что в периоды максимальной активности африканских грозовых центров, наблюдается линейная связь между СНЧ и СДВ данными. Это обстоятельство позволяет предсказывать уровень поля на СНЧ с помощью простой методики счета СДВ-атмосфериков.

Результаты морских измерений статистических характеристик СДВ-атмосфериков показывают, что глобальная грозовая активность определяется источниками, связанными с континентальными грозовыми центрами, расположенными на суше. В течение суток доминирующая роль в глобальной грозовой активности переходит от одного континентального грозового центра к другому, "перепрыгивая" через океаны, вслед за движением терминатора.

В заключении кратко отражены основные результаты и выводы, выносимые на защиту диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

1. Разработан и в режиме длительной непрерывной работы испытан в сухопутных и морских условиях аналого-цифровой комплекс аппаратуры , предназначенной для измерений трех компонент поля атмосферных импульсных сигналов в полосе частот 300 Гц - 13 кГц.

1.1. Комплекс позволил обнаружить поперечные резонансы полости Земля-ионосфера в средних спектрах атмосфериков.

1.2. Комплекс позволил провести трехкомпонентные измерения электромагнитного поля СДВ-атмосфериков, а также их азимутальных распределений и вариаций интенсивности потока в реальном масштабе времени при интенсивности потока до 6000 импульсов в час.

1.3. Универсальный аналого-цифровой комплекс показал высокую надежность, работая непрерывно в течение четырех месяцев в морских условиях на борту научно-исследовательского судна.

2. Проведены экспериментальные исследования поперечных резонансов (ПР) естественного волновода, образованного поверхностью Земли и нижней кромкой ионосферы. Впервые экспериментально обнаружены поперечные резонансы в средних спектрах

атмосфериков. Резонансные максимумы в спектрах единичных СДВ-атмосфериков позволили оценивать высоту нижней кромки ионосферы.

2.1. В спектре всей временной реализации атмосферика поперечные резонансы маскируются из-за интерференции волноводных нормальных волн. Это обстоятельство затрудняет обнаружение ПР.

2.2. ПР проявляются наиболее ярко в спектрах ночных атмосфериков, хвостовая часть которых содержит многократные отражения между границами волновода. При этом, наиболее отчетливо частоты ПР видны в координатах время-частота (сонограммах), что обеспечивает определение эффективного поперечного размера волновода.

3. Выполнены поляризационные исследования сигналов ночных атмосфериков в южном полушарии. Обнаружена поляризационная невзаимность распространения на трассах запад-восток, восток-запад.

3.1. Обнаружено, что в атмосфериках приходящих с востока преобладает продольная компонента горизонтального магнитного поля, а в атмосфериках, приходящих с запада - поперечная компонента.

3.2. Поляризация электромагнитного поля атмосфериков в результате многократных отражений от ионосферы становится левой эллиптической. В ряде случаев для первой моды наблюдается перемена направления вращения вектора магнитного поля с правой (в начале атмосферика) на левую (в хвостовой части), в то время, как для второй моды поляризация остается левой на всей длительности атмосферика.

4. Предложена, обоснована и апробирована методика определения пеленгов источников импульсных сигналов, использующая измерение среднего вектора Умова-Пойнтинга во временной области. Эта методика позволила получать в реальном времени гистограммы азимутальных распределений СДВ-атмосфериков, и применялась при обработке сигналов отдельных атмосфериков.

5. Получены длительные непрерывные ряды наблюдений интенсивности потока и азимутальных распределений СДВ атмосфериков, которые позволили проследить динамику грозовой активности в мировых грозовых центрах.

5.1 Морской мониторинг показал, что основной вклад в мировую грозовую активность дают континентальные и островные грозовые центры. Вариации интенсивности потока импульсов хорошо интерпретируются изменениями во времени активности мировых грозовых очагов, тогда как направления прихода атмосфериков прямо указывают на эти грозовые центры.

5.2. По результатам пеленгации обнаружен дрейф африканских источников с юга на север с февраля по март 1991г. на расстояние около 1500 км. Этот результат подтверждает справедливость модели континентальных грозовых центров. Пеленги гроз, измеренные экспериментально, хорошо интерпретируются и в том случае, когда смещение приемника относительно источников является существенным.

5.3. Сопоставление суточных вариаций интенсивности потока атмосфериков и уровня шума в СНЧ-диапазоне, измеренных вблизи южной оконечности Африки указывает на линейную связь между ними в периоды суточной активности африканских очагов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Лазебный Б.В., Швец А.В. Аппаратура приема, регистрации и спектральной обработки атмосфериков в диапазоне частот 1-10 кГц. // Межведомственный семинар по распространению радиоволн. Тезисы докладов - Красноярск. -1986. -с.159.
2. Николаенко А.П., Лазебный Б.В., Рафальский В.А., Швец А.В. О влиянии поперечных резонансов полости Земля - ионосфера на средние спектры СДВ-атмосфериков. // Межведомственный семинар по распространению радиоволн. Тезисы докладов. -Красноярск. - 1986. -с.63-69.
3. Лазебный Б.В., Николаенко А.П., Рафальский В.А., Швец А.В. Обнаружение поперечных резонансов полости Земля-ионосфера в средних спектрах СДВ-атмосфериков. // Геомагнетизм и аэрономия. -1988. -28, 2 -с.329-330.
4. Николаенко А.П., Кудинцева И.Г., Швец А.В. Эффективная площадь магнитной НЧ антенны с ферромагнитным сердечником. // Известия вузов, Радиофизика, 33т. 1990., с.638-639.
5. Швец А.В. Наблюдение поперечных резонансов полости Земля-ионосфера в спектрах отдельных атмосфериков. // 16 всесоюз-

ная конференция по распространению радиоволн. Тезисы докладов. Ч.1. - Харьков,-1990.-с.276.

6. Швец А.В. Комплект аппаратуры для многоканального приема и ввода в ЭВМ импульсных сигналов СНЧ-ОНЧ диапазонов.// III Всесоюзная конференция. "Прием и анализ СНЧ колебаний естественного происхождения". Тезисы докладов., Львов, 13-15 ноября 1990г. с.109.

7. Lazebny B.V., Nickolaenko A.P., Shvets A.V. The seaborne measurements of atmospherics in 1991. Proceedings of IX International Conference on Atmospheric Electricity, v.3, p.816, St.Petersburg, Russia, 1992.

8. Lazebny, B.V., Nickolaenko, A.P., Rafalsky, V.A., and Shvets, A.V., Studies of atmospherics at the Ukrainian Institute of Radio Astronomy. 24th General Assembly of the International Union of Radio Sciense. Abstracts. Kyoto, Japan, 1993, P.185

9. Nickolaenko, A.P., Rafalsky, V.A., Shvets, A.V., and Hayakawa, M., A time domain direction finding technique for locating wide band ELF-VLF atmospherics. Journal of Atmospheric Electricity, 14, 97-107, 1994.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская №1
Печать офсетная, Объем 1 п.л. Тир. 80 Зак. Р-346
Отпечатано на ротапринте в Харьковской городской типографии
№16 Областного управления по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли, Харьков-3, ул. Университетская, 16