

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

ISSN 0453-8048



**ВЕСТНИК  
ХАРЬКОВСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**№ 405**

**РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**ХАРЬКОВ 1998**

## РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ, ВОЗМУЩЕННОЙ ИСТОЧНИКАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ. 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА И ПРОЦЕССЫ В ЕСТЕСТВЕННО ВОЗМУЩЕННОЙ ИОНОСФЕРЕ

К.П. ГАРМАШ, А.М. ГОКОВ, Л.С. КОСТРОВ, В.Т. РОЗУМЕНКО, О.Ф. ТЫРНОВ,  
Ю.П. ФЕДОРЕНКО, А.М. ЦЫМБАЛ, Л.Ф. ЧЕРНОГОР

### Введение

В настоящее время в физике околоземного космического пространства актуальными являются проблемы взаимодействия различных его областей и космической погоды. В рамках первой из них ведутся исследования процессов как в естественно-, так и в искусственно-возмущенных условиях. Искусственные источники этих возмущений оказываются удобными потому, что удается дозировать величину «энерговыведения», задавать его время и место. При изучении космической погоды уже не довольствуются знанием некоторых средних значений ее параметров. Требуется включение в схему процессов таких событий, как вспышки на Солнце, магнитные бури, прохождение терминатора, молнии, землетрясения и т.п. Как стало известно в последние десятилетия, на состояние околоземной среды также могут влиять искусственные источники со значительным энерговыведением: мощные взрывы, старты и полеты космических аппаратов, мощное радиозлучение и др. (см., например, [1-5]).

Перечисленные проблемы относятся к фундаментальным. Прикладными задачами могут быть селекция возмущений заданного типа на фоне других процессов, а также использование этих возмущений для управления распространением радиосигналов систем различного назначения. Важными являются медико-биологические аспекты подобных исследований. К актуальным относится, в частности, задача обнаружения реакции околоземного пространства на воздействие предвестников мощных землетрясений (в Украине соответствующий приоритетный проект носит название "Попередження").

Целью данной работы является изложение, сравнение и обобщение результатов экспериментальных исследований процессов в ионосфере, возмущенной источниками естественной природы, а также описание экспериментальной базы для их наблюд. зиял.

**Радиофизическая обсерватория - экспериментальная база исследований**

В Харьковском государственном университете (ХГУ) в 70-90 гг. проведены комплексные радиофизические исследования глобальных, крупномасштабных и локализованных

возмущений в ионосфере, инициируемых источниками энерговыделения электромагнитной, акустической, сейсмической, химической и другой природы (см., например, [1, 2, 6-16]).

Наши исследования отличаются комплексностью (применяется ряд независимых методов диагностики среды), глобальностью исследуемых процессов (источник возмущения удален на расстояния  $R \sim 50 - 10000$  км, протяженность радиотрасс  $D \sim 100 - 1000$  км), охватом значительного интервала высот ( $z \sim 50 - 1000$  км) и диапазоностью частот используемых сигналов ( $f \sim 1$  кГц - 1 ГГц). Основной задачей исследований является поиск общего и различий при генерации первичных возмущений в результате локального энерговыделения, распространении возмущений в глобальных масштабах и возникновении вторичных возмущений в районе пунктов наблюдения.

Для изучения радиофизическими методами возмущений в ионосферной плазме в ХГУ создана научно-техническая база, обладающая высоким уровнем автоматизации и компьютеризации [3, 7, 15, 17-19]. Обычно измерения ведутся в радиофизической обсерватории (РФО) ХГУ (пос. Гайдары, пос. Граково вблизи г. Харькова), а также в других экспериментальных пунктах (рис. 1). Для этого разработаны стационарные и передвижные диапазонные радиотехнические комплексы (табл. 1).

**Комплекс метода частичных отражений.** Передающая антенная система комплекса состоит из двух разнесенных антенных решеток, одна из которых предназначена для работы в диапазоне частот  $f = 1,5 - 6$  МГц, другая - в диапазоне 6 - 15 МГц. Элементарной ячейкой решеток является двойная вертикальная ромбическая антенна. Высота ее подвеса - 20 м. Размеры антенных полей  $300 \times 300$  и  $60 \times 60$  м<sup>2</sup>. Расчетный коэффициент усиления для первой решетки  $G \approx 40 - 150$ , соответственно. Для второй -  $G \approx 40 - 20$ , соответственно (падение  $G$  с ростом  $f$  объясняется быстрым ростом мощности, приходящейся на боковые лепестки).

Для приема частично отраженных (ЧО) сигналов используются две ортогональных антенны, каждая из которых представляет собой два ромба, расположенных рядом на одной линии. Конструкция антенного поля позволяет достаточно оперативно изменять соотношение его элементов.

Радиопередающее устройство (РПДУ) комплекса представляет собой двухканальный широкополосный усилитель мощности с общим для обоих каналов модулятором. Модулятор обеспечивает формирование радиоимпульсов из непрерывного сигнала, поступающего с выхода задающего генератора. В качестве задающего генератора несущей частоты в стационарном комплексе использован синтезатор частоты Ч6-31. Импульсная мощность радиопередающего устройства - 150 кВт, длительность импульса 25 - 100 мкс, частота их повторения 1 - 100 Гц.

Радиоприемное устройство (РПРУ) стационарного комплекса, собранное на базе модернизированного штатного связного приемника, включает в себя широкополосную



Рис. 1: Схема радиофизической обсерватории с расположением комплексов и антенных полей: E1 и A1 - расположение приемников и антенн для приема сигналов спутников "Цикада-М"; E2 и A2 - расположение оборудования и антенн установки доплеровского зондирования; E3 и M - расположение оборудования и сенсоров трехкомпонентного магнитометра соответственно; E4 и A4 - расположение оборудования и антенн комплекса для исследования нижней ионосферы (A4/1 - антенна для  $f = 1,5 - 4,5$  МГц и A4/2 - для  $f = 4,5 - 15$  МГц), которое включает метод пространственно-разнесенного приема ЧО сигналов; E5 и A5 - то же для ионозонда; E6 и A6 - то же для передатчика и антенной решетки  $15 \times 30$  м<sup>2</sup> двухпозиционного ВЧ радиолокатора для диагностики искусственной ионосферной турбулентности, возникающей при нагреве ионосферы вблизи Нижнего Повгорода (Россия); E7 и A7 - то же для радиолокатора некогерентного рассеяния; H - общежитие; C - столовая; G - гараж.



Таблица 1. Характеристики радиотехнических комплексов ХГУ для исследования ионосферы

Параметры установок	Диапазон рабочих частот, МГц	Импульсная мощность передатчика, кВт	Длительность импульса, мкс	Частота повторения, Гц	Коэффициент усиления антенны
Комплексы частичных отражений:	1,5 - 6 *	до 150	25 - 300**	до 100	40-150, $f = 1,5 - 6$ МГц
	1,5 - 6 *	до 150	25 - 300**	до 100	40-20, $f = 6 - 15$ МГц до 50
Комплексы доплеровского зондирования:					
стационарный	1 - 24	1	500	100 - 200	- 1 - 10
передвижной	3 - 24	1	500	100 - 200	- 1 - 10
Ионозонд	1 - 20	20	50; 100	50	- 10
Комплекс ОВЧ зондирования	150 - 160	-	-	-	800
Комплекс УВЧ зондирования	1800 - 2000	$1 \cdot 10^3$	2 - 2500	100	$5 \cdot 10^4$
Комплекс спутникового радиопросвечивания	150; 400	-	-	-	1 - 10

\* Примечание: стационарный и передвижной комплексы ЧО имеют верхние рабочие частоты 30 и 10 МГц соответственно.

\*\* Длительность импульса 100-300 мкс предполагается использовать в режиме импульсной кросс-модуляции.

10 МГц) схему выделения круговых поляризаций и антенный коммутатор.

С выхода РПрУ сигнал поступает в систему обработки и регистрации экспериментальных данных, где он оцифровывается и записывается на магнитный носитель.

В процессе зондирования ионосферы в реальных условиях регистрируется аддитивная смесь полезного сигнала и помехи, или только помеха, что необходимо для оценки их статистических характеристик.

В экспериментах использовался также передвижной комплекс метода.

*Комплекс вертикального доплеровского радиозондирования.* В стационарном комплексе реализован принцип одновременного излучения, приема и обработки зондирующих сигналов на двух когерентных частотах.

В состав комплекса входит: двухканальная передающая система (состоящая из передатчиков, генераторов несущей частоты и двух передающих антенн), двухканальная приемная система (приемники с высокостабильными генераторами), система управления и стробирования приемно-передающих трактов, система обработки и регистрации, высокостабильный эталонный опорный генератор и вспомогательная система калибровки опорного генератора. Применение единого опорного генератора для всех генераторов приемно-передающего тракта обеспечивает когерентность излучаемых радиосигналов. В системе контроля относительной нестабильности и точности установки номинального значения частоты опорного генератора используется рубидиевый стандарт частоты. Экспериментальные данные сохраняются на магнитной ленте в цифровом виде.

Создан также подвижный комплекс, аналогичный описанному выше.

*Комплекс многочастотного радиозондирования.* Программно - аппаратный комплекс построен на базе РПрУ Р-399А, Р-391В2, Р-260, РПдУ "Бриг-2" и ПЭВМ. В состав комплекса входят также блоки сопряжения и система синхронизации.

Источниками сигналов для режима наклонного доплеровского зондирования являются станции системы радиовещания, навигации и службы точного времени. Набор этих станций и их географическое положение позволяют проводить наблюдения для различных ориентаций трасс распространения радиоволн относительно источников возмущений.

*Ионозонд.* До последнего времени для общего контроля ионосферы использовалась аналоговая автоматическая ионосферная станция, обеспечивающая получение ионограмм в диапазоне частот 1-20 МГц. Ионограммы регистрировались на фотопленку с периодичностью один раз в 15 мин. Перестройка ионозонда по частоте и соответствующая развертка электроно-лучевой трубки осуществлялись путем механического вращения прецизионного потенциометра и конденсатора электродвигателем. Приемная система ионозонда модернизирована с целью замены механической системы перестройки частоты на электронную, а также оцифровки сигнала с выхода приемника для получения ионограмм в электронном виде. Управление ионозондом и сохранение цифровых ионограмм



осуществляется с помощью ПЭВМ типа IBM AT.

*Комплекс панорамных измерений шумового радиоизлучения ионосферы.* Анализ в заданном диапазоне электромагнитного поля, являющегося суперпозицией излучения передатчиков различного назначения и шумоподобных сигналов, генерируемых естественными источниками, может быть использован как один из методов диагностики возмущений в околоземной плазме. Для этой цели возможно использование описанного выше программно-аппаратного комплекса. Для его работы в таком режиме используется специальная программа управления, которая реализует следующий алгоритм работы [7, 19]. Предполагается, что в заданной полосе частот присутствуют мощные узкополосные по отношению к полосе анализа сигналы (вещательные, связные станции и др.) и широкополосный шумоподобный фон (удаленные источники искусственного и естественного радиоизлучения). Общая полоса анализа разбивается на некоторое подмножество более узких полос, в каждой из которых производится оценка уровня мощности электромагнитного поля. Полученный массив данных используется для построения гистограммы распределения уровня мощности электромагнитного поля. Обработка гистограмм позволяет разделить широкополосный шумоподобный сигнал и узкополосные мощные компоненты в полосе наблюдения.

*Комплекс мощного радиоизлучения.* Комплекс создан на базе РПДУ "Бриг-2" и разработанного мощного двухканального оконечного каскада. Указанный передатчик используется для возбуждения выходного каскада, собранного на генераторных тетрадах ГУ-53Б, обладающих хорошей линейностью и большим коэффициентом усиления по мощности. На выходе оконечного усилителя установлен блок мощных высокочастотных трансформаторов, выполненный на ферритовых кольцах и предназначенный для согласования выходного каскада с антенно-фидерным трактом при излучаемой непрерывной мощности  $P \approx 50$  кВт. Наличие двух каналов позволяет при работе на ортогональные антенны излучать радиоволны с круговой поляризацией. Достоинством такой схемы построения оконечного каскада является его широкополосность. Принципиальной особенностью РПУ "Бриг-2" являются нечувствительность к характеристикам нагрузки, а также возможность дистанционного управления основными его параметрами. Это позволило автоматизировать управление режимом излучения комплекса.

Основные параметры нагревного стенда следующие:  $P \approx 70$  кВт,  $G \approx 10-100$  для  $f \approx 1,5-6$  МГц соответственно.

*Комплекс СВЧ зондирования.* Программно-аппаратный комплекс предназначен для приема спорадического радиоизлучения в диапазоне частот  $f \approx 150-160$  МГц (пассивный режим) и исследования ионосферы и атмосферы методами некогерентного и когерентного рассеяния (активный режим). При работе комплекса в активном режиме принимаются сигналы, излучаемые установкой некогерентного рассеяния ХГПУ ( $P \approx 2$  МВт,  $f = 150 - 160$  МГц,  $\tau = 100 - 200$  мкс;  $F = 100$  Гц,  $G \approx 10^4$ ). Разнос между передающими

и приемными пунктами составляет 20 км. Антенная система представляет собой синфазную антенную решетку, собранную из элементов типа "вертикальный ромб",  $G \approx 800$ . В комплексе используется высокочувствительное РПрУ с  $P_{min} = 4 \cdot 10^{-16}$  Вт. Система обработки и регистрации выполнена на базе ЭВМ и позволяет проводить статистический анализ данных, накапливать и выводить их на внешние устройства в цифровом и аналоговом виде. Комплекс в основном работает в пассивном режиме, когда осуществлялся прием и обработка ионосферных радиозумов.

*Комплекс УВЧ зондирования.* Многоцелевой программно-аппаратный комплекс ультравысокочастотного (УВЧ) диапазона радиоволн ( $f \approx 1800-2000$  МГц) предназначен для исследования ионосферы методами некогерентного рассеяния, когерентного рассеяния, а также, в пассивном режиме путем приема и анализа спорадического радиоизлучения ионосферы.

Передающая система комплекса состоит из двух РПДУ с общим задающим генератором (возможна работа каждого передатчика автономно). Она позволяет генерировать импульсы со средней мощностью  $P \approx 60$  кВт,  $\tau \approx 2 \cdot 2500$  мкс. Чувствительность РПрУ  $P_{min} \approx 10^{-14}$  Вт, коэффициент усиления усилителя радиочастоты (УРЧ) около 60 дБ, ширина полосы пропускания УРЧ и УПЧ-1  $\Delta f \approx 10$  МГц. Антенная система комплекса состоит из полноповоротной параболической антенны с диаметром зеркала 15 м, ширина диаграммы направленности  $36 \times 40$  угловых минут,  $G \approx 5 \cdot 10^4$ . Вычислительная часть комплекса включает ПЭВМ "ДВК-3". Программное обеспечение комплекса состоит из программ управления и контроля состояния комплекса, предварительной обработки данных, каталогизации накапливаемой информации и статистической обработки, а также тестового обеспечения.

Из-за отсутствия финансирования работы на этом комплексе приостановлены.

*Комплекс для приема сигналов спутниковых радиомаяков.* В методе радиопросвечивания используют высокочастотные сигналы навигационных ИСЗ "Цикада" (Россия) и "Транзит" (США) с частотами  $f_1 \approx 150$  МГц и  $f_2 \approx 400$  МГц.

В систему "Цикада" входят ИСЗ серии "Космос" с круговыми орбитами (высота  $z \approx 1000$  км), периодом обращения около 105 минут и углом наклоения орбиты относительно экватора  $i \approx 83^\circ$ . В системе "Транзит" спутники расположены на почти круговых полярных орбитах ( $z \approx 1000$  км). Время нахождения спутников этих систем в зоне радиовидимости наземного пункта составляет до 18 мин. Наличие большого количества спутников в низкоорбитальных навигационных системах "Цикада" и "Транзит" (в целом более 15) обеспечивает продолжительность регистраций радиосигналов этих ИСЗ (свыше 50 пролетов в средних широтах и еще больше в полярных районах), которая достаточна для организации системы дистанционного мониторинга состояния ионосферы над районами в радиусе  $R \approx 1000$  км от пункта наблюдения.

В состав аппаратуры входят: антенно-фидерное устройство, опорный генератор, при-



емник, вычислительное устройство, устройство ввода-вывода, преобразования и отображения информации, блок питания.

Для регистрации ионосферных возмущений нами используется после соответствующей переделки приемное устройство "Шхуна", предназначенное для определения координат объектов по радиосигналам низкоорбитных ИСЗ навигационной системы "Цикада". Совместное использование радиосигналов ИСЗ систем "Цикада" и "Транзит" значительно увеличивает объем получаемой информации. Для этого нами разработана схема приемного устройства на базе штатной аппаратуры "СЧ-1". В штатном режиме осуществляется независимое измерение полных доплеровских частот на частотах 150 МГц и 400 МГц, и определение ионосферной составляющей  $f_{di}$  может осуществляться с погрешностью 0,2 Гц, что явно недостаточно для исследований ионосферы. Поэтому предусмотрено аппаратное выделение  $f_{di}$  в результате соответствующего преобразования сигналов. При работе по ИСЗ "Транзит" в приемных каналах осуществляется дополнительное преобразование сигналов, после чего они подаются в смеситель, где все составляющие полного доплеровского смещения частоты за исключением составляющей, пропорциональной  $1/f$ , уничтожаются. С выхода смесителя сигнал, содержащий информацию о приведенной доплеровской частоте  $f_{dk}$ , поступает в ЭВМ, где обрабатываются. Погрешность измерения информационного параметра  $f_{dk} \approx 5 \cdot 10^{-3}$  Гц со дискретизацией по времени 2 с.

**Магнитометры.** На базе малосерийного магнитометра ИМ-II (ИФЗ РАН) введен в строй автоматизированный комплекс для измерения амплитуд флуктуаций геомагнитного поля (ГМП), расположенный в РФО (пос. Граксво) и имеющий разрешение 1 - 60 нТл в диапазоне частот 1 - 0,001 Гц. Для автоматизации измерений разработан и изготовлен специализированный контроллер на базе однокристалльной микро-ЭВМ КР1816ВЕ35, объем оперативной памяти которой был расширен до 1 Мбайт. Блок питания обеспечивает штатное и аварийное (от аккумулятора при отключении напряжения сети продолжительностью до 3-х часов в сутки) питание контроллера и магнитометра. Комплекс позволяет проводить измерения в автономном режиме продолжительностью до 3-х суток при среднем потоке данных 32 бод, после чего необходимо произвести фоновую пересылку накопленной информации во внешнюю ПЭВМ и ее сохранение на магнитном носителе. Последующая обработка включает в себя полосовую фильтрацию цифровыми КИХ-фильтрами либо цифровую спектральную обработку с помощью классических и авторегрессионных алгоритмов, а также пересчет амплитуд флуктуаций ГМП с учетом динамической и амплитудно-частотной характеристик магнитометра.

Кроме этого, в РФО (пос. Гайдары) расположен трехкомпонентный магнитометр, чувствительность которого примерно на порядок ниже.

## Источники возмущений околоземной среды

Околоземная среда представляет собой открытую систему. "Сверху" в нее поступает энергия от Солнца, а также из дальнего космоса, "снизу" - из литосферы. В зависимости от носителя энергии, последняя эффективно диссипирует в атмосфере, ионосфере или магнитосфере.

По своей природе источники будем делить на естественные и искусственные (антропогенные). Некоторые из них перечислены в табл. 2 и табл. 3. Важно, что энергетика антропогенных источников и естественных процессов сопоставима. Это означает, в частности, что состояние космической погоды уже становится зависимым от энерговыделения антропогенного происхождения. Роль последнего, однако, изучена недостаточно.

## Процессы в естественно-возмущенной ионосфере

**Солнечные вспышки** [9, 11, 20, 21]. Влияние солнечных вспышек на D-область ионосферы и характеристики ЧО сигналов исследованы нами на примере внезапных ионосферных возмущений (ВИВ). Проанализированы изменения  $A_{\text{шo},x}(z,t)$  и  $A_{(c+m)\text{o},x}(z,t)$  (а также их статистических характеристик) и параметров D-области во время 8 ВИВ (отдельно рассматривались 4 события ВИВ длительностью  $\tau < 30$  мин и  $\tau > 30$  мин). Анализ  $A_{\text{шo},x}(z,t)$  и  $A_{(c+m)\text{o},x}(z,t)$  показал, что во время коротких ВИВ и примерно в течение 10-20 мин после него наблюдаются квазипериодические затухающие изменения  $A_{\text{шo},x}(z,t)$  и  $A_{(c+m)\text{o},x}(z,t)$ . Получено, что во время ВИВ в D-области генерируются или усиливаются волновые возмущения с периодами  $T < 5$  мин, которые затухают в течение примерно 20-25 мин. При  $\tau < 30$  мин волновые возмущения выражены меньше или не отмечаются вообще. Возможной причиной такого поведения ЧО сигналов может быть генерация или усиление акустико-гравитационных волн (АГВ) в результате резкого усиления интенсивности рентгеновского излучения Солнца во время ВИВ.

В наших измерениях отмечено заметное (в 1,5-4 раза) увеличение  $N$  на  $z = 70-85$  км во время ВИВ. Профили  $N(z)$ , вычисленные за каждые последующие 3-4 мин во время ВИВ, отличались как по форме, так и по значениям  $N$  (на фиксированных высотах); после события значения  $N$  в D-области, в основном, восстанавливались в течение нескольких минут примерно к тем же величинам, что и до ВИВ.

**Магнитные бури** [9, 20, 22, 23]. Измерения методом ЧО выполнены во время 8 магнитных бурь (МБ). Характерным для всех измерений оказалось наличие интенсивных ЧО сигналов от области высот  $z = 45-70$  км, превышающих уровень шумов в 5-15 раз. Электронная концентрация на этих высотах возрастала до значений  $(2-8) \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ . На рис. 2 приведен пример изменений ионизации в нижней части D-области ионосферы во время двух МБ (измерения выполнены при зенитном угле Солнца  $\chi = 77^\circ, 50^\circ$ , кривые 1,2). Дополнительная ионизация при  $z < 65$  км во время МБ, по-видимому, вызвана выпадением заряженных частиц, а вариации  $N(z)$  - изменениями их интенсивности и спектра.



Таблица 2. Параметры естественных процессов

Источник	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность воздействия, с	Примечание
Оптическое излучение Солнца	$10^{21}$	$10^{17}$	$10^7$	В течение суток у орбиты Земли
Спокойный солнечный ветер	$10^{17}$	$10^{12}$	$10^7$	То же
Вспышка на Солнце	$10^{24}$	$10^{15} - 10^{16}$	$10^2 - 10^3$	У орбиты Земли
Магнитосферная суббуря	$10^{21}$	$10^{17}$	$10^4$	
Глобальные ветры:				В течение суток
D-область	$10^{17} - 10^{18}$	$10^{12} - 10^{13}$	$10^5$	
E-область	$10^{15} - 10^{16}$	$10^{10} - 10^{11}$	$10^5$	
F-область	$10^{14} - 10^{15}$	$10^9 - 10^{10}$	$10^5$	
Терминатор:				
D-область	$10^{15} - 10^{16}$	$10^{12} - 10^{13}$	$10^2$	
E-область	$10^{13} - 10^{14}$	$10^{11} - 10^{12}$	$10^2$	
F-область	$10^{12} - 10^{13}$	$10^{10} - 10^{11}$	$10^2$	
Высыпание частиц:				Средние (высокие) широты
D-область	$10^{16} (10^{15})$	$10^7 (10^6)$	$10^2$	
E-область	$10^8 (10^{11})$	$10^2 (10^4)$	$10^2$	
F-область	$10^7 (10^9)$	$10^1 (10^3)$	$10^2$	
Тунгусский феномен	$10^{22}$	$10^{15} - 10^{16}$	1 - 10	
Молния	$10^{10} - 10^{12}$	$10^9 - 10^{11}$	1	
Циклон	$10^{16} - 10^{21}$	$2 \cdot 10^{13} - 2 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^5$	В течение 5 суток
Ураган	$10^{18} - 10^{20}$	$10^{11} - 10^{12}$	$10^7$	В течение суток
Торнадо	$10^{11} - 10^{14}$	$10^8 - 10^{10}$	$10^3$	
Вулкан	$10^{20} - 10^{21}$	$10^{17} - 10^{18}$	$10^2 - 10^3$	
Землетрясение	$10^{18} - 10^{21}$	$10^{17} - 10^{18}$	$10^2 - 10^3$	
Цунами	$10^{18} - 10^{20}$	$10^{18} - 10^{19}$	$10 - 10^2$	

Таблица 3. Параметры антропогенных источников

Источник	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность воздействия, с	Примечание
Ядерный взрыв	$4 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{12}$	$10^1$	Эквивалент 1 Mt TNT
Промышленный взрыв	$10^{13} - 10^{12}$	$10^{12} - 10^{10}$	$10^3$	Масса заряда 25 - 250 т TNT
Авария на АЭС	$10^{14}$	$10^{13} - 10^{14}$	$10^2 - 10^3$	Масса топлива 100 т
Взрыв крупной ракеты	$10^{11} - 10^{15}$	$10^{12} - 10^{14}$	0,1 - 10	Масса топлива 1000 т
Стартовая крупная ракета	$10^{12} - 10^{14}$	$10^{10} - 10^{11}$	$10^2 - 10^3$	То же
Включение корректирующего двигателя в космосе	$10^7 - 10^8$	$10^7 - 10^8$	1 - 10	
Падение крупного космического аппарата ЛОП	$10^{11} - 10^{15}$	$10^9 - 10^{11}$	$10^2 - 10^3$	Масса 100 т
Излучение радиосистем	$10^{14} - 10^{15}$	$10^8 - 10^{10}$	$10^2$	В течение суток
Метеострон	$10^{11} - 10^{13}$	$10^8 - 10^{10}$	$10^2 - 10^3$	Предназначен для управления метеоусловиями
Электростанция	$10^{14} - 10^{15}$	$10^9 - 10^{10}$	$10^2$	В течение суток
Инейектор плазмы электронов	$10^7 - 10^8$	$10^{10} - 10^{11}$	$10^4$	Масса 100 кг
протонов	$10^7$	$10^{11}$	$10^4$	Ток $10^4$ А, энергия частиц $10^7$ эВ
		$10^{11}$	$10^4$	Ток $10^4$ А, энергия частиц 10 МэВ



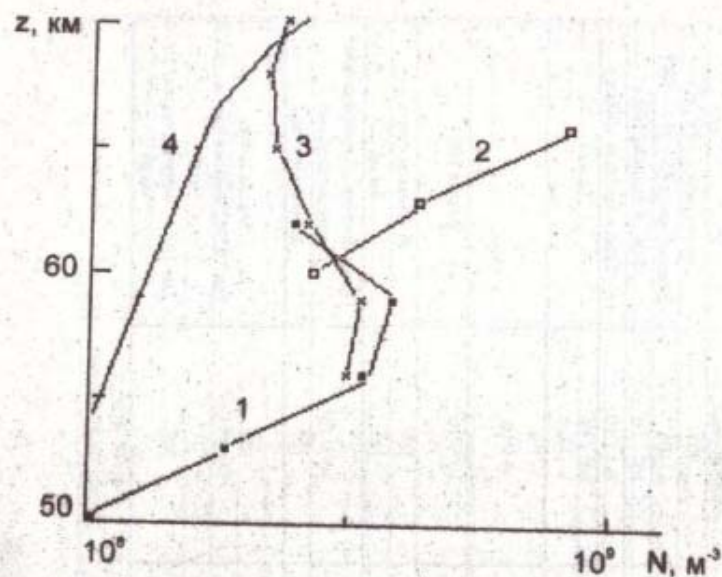


Рис. 2: Высотные профили  $N(z)$  в D-области ионосферы во время МБ: профили получены: 1 - 13.12.1985 г., 2 - 18.12.1985 г.; кривая 3 получена во время выпадения протонов 15.06.1983 г. после МБ, кривая 4 - модельный (невозмущенный) профиль.

Сравнивая экспериментальные  $N(z)$  с характерными для данного сезона невозмущенными профилями, оценим дополнительную скорость ионообразования  $q_i \approx (1-4) \cdot 10^6 \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$  для  $z = 50-65 \text{ км}$ . Полагая, что на этих высотах основной вклад в  $N(z)$  вносит ионизация выпадающими протонами с энергиями  $E \approx 15-50 \text{ МэВ}$ , плотность потока выпадающих частиц во время МБ приблизительно  $(5-12) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ .

После магнитных бурь в течение примерно 5-10 сут с высот  $z \approx 55-65 \text{ км}$  регистрировались ЧО сигналы, также превышающие уровень радишумов в несколько раз. Замечено, что такие события хорошо коррелируют с выпадением заряженных частиц из магнитосферы. На рис. 2 приведен экспериментальный  $N(z)$ -профиль (кривая 3), полученный методом ЧО в районе г. Харькова 15.06.1983 г. ( $f = 2,6 \text{ МГц}$ ,  $\chi = 48^\circ$ ; в этот период времени, по данным ИСЗ "Метеор", зарегистрирован поток протонов с  $7,7 \cdot 10^5 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  и энергиями  $E \approx 15 \text{ МэВ}$ ) после МБ.

Исследованы изменения ионизации в дневной D-области ионосферы во время МБ на  $z > 75 \text{ км}$ . Установлено, что в период МБ на  $z = 78-90 \text{ км}$  значения  $N$  в 1,5-6 раз больше, чем до МБ.

Таблица 4. Параметры квазипериодических возмущений, вызываемых терминатором в D-области ионосферы

Время года	Утро		Вечер	
	T, мин	$\Delta T$ , мин	T, мин	$\Delta T$ , мин
Зима	3-5	20-25	7-15	35-50
Весна	4-6	25	2-3	15
Лето	2-3	10-15	15-20	80-120
	6-10	60		
Осень	3-5	20-25	4-7	40

Терминатор [9, 24, 25]. В этих работах на основе данных, полученных методом ЧО в 1983-1992 гг., проанализированы изменения характеристик ЧО сигналов и шумов на частотах  $f = 2-4 \text{ МГц}$ , а также параметров D-области ионосферы во время прохождения солнечного терминатора. Длительность сеансов регистраций в восходно-заходные периоды составляла  $\sim 2-8$  часов. Кроме того, проведено несколько круглосуточных сеансов наблюдений в различные сезоны года. Общее число сеансов составило  $\sim 100$ , примерно равномерно распределенных по сезонам.

В утренние часы при прохождении солнечного терминатора примерно в 40-50% случаев наблюдались ЧО сигналы. Они появляются, как правило, в течение 10-30 минут, затем исчезают и регистрируются вновь с тех же высот через 1,5-2,5 часа (летом обычно примерно на час раньше, чем зимой). В 70-75% случаев  $A_{\text{ш},x}(z,t)$  и  $A_{(c+w),x}(z,t)$  на фиксированных высотах имеют квазипериодический характер; нижняя граница наблюдаемых ЧО сигналов опускается по высоте на  $\sim 5-7 \text{ км}$ , высотный диапазон, в котором возникают эти сигналы, обычно  $\sim 10-15 \text{ км}$  (редко больше 15 км). ЧО сигналы на фиксированных высотах обнаруживались с задержкой от единиц до десятков минут относительно времени прохождения утреннего терминатора. Существенных различий в поведении ЧО сигналов в различные сезоны года не замечено.

В вечерние часы перестройка в D-области начинается за  $\sim 1-1,5$  часа до прохождения терминатора. Интенсивность ЧО сигналов уменьшается и после захода Солнца в течение 30-60 минут нижняя граница существования ЧО сигналов поднимается на  $\sim 10-15 \text{ км}$ , рассеивающая область постепенно сужается до 10-15 км (верхняя граница поднимается на 8-12 км, а  $A_{\text{ш},x}(z,t)$  и  $A_{(c+w),x}(z,t)$  на фиксированных высотах имеют, как и утром, квазипериодический характер. Оказалось, что терминатор генерирует (усиливает) или подавляет квазипериодические возмущения в D-области. Спектрально-временной анализ позволил оценить периоды T и длительности  $\Delta T$  таких возмущений (табл. 4). Видно, что в D-области ионосферы  $T \approx 2-40$  мин; наиболее вероятное значение  $T \approx 4-15$  мин.

Воздействие терминатора на E- и F-области изучалось при помощи доплеровского зондирования (ионозондовый метод оказался малочувствительным). Измерения показали,



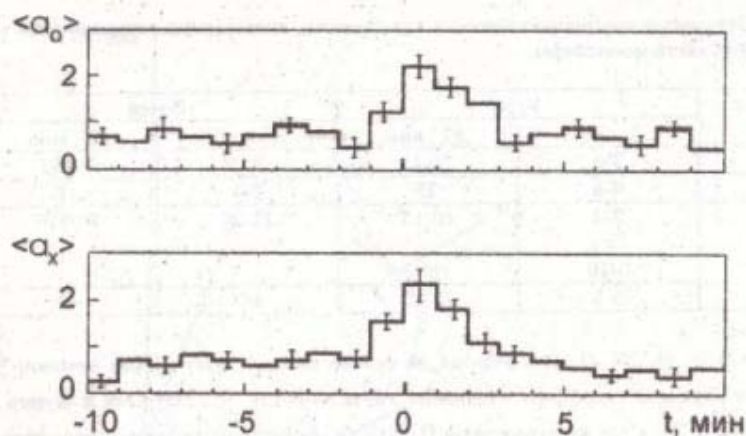


Рис. 3: Временные зависимости интенсивности радишума, нормированные на среднее значение за сеанс в 20 минут во время землетрясений (моменту землетрясений соответствует нулевая метка времени), полученные методом наложения эпох.

что на высотах  $\sim 100-300$  км также генерируются (усиливаются) либо, напротив, подавляются квазипериодические возмущения. Величина периода  $\sim 5-15$  и  $\sim 10-30$  мин и более для E- и F- областей соответственно;  $\Delta T \sim 1-2$  час; величина  $\Delta N/N_0 \sim 1-5\%$ .

Такие квазипериодические возмущения во всех областях ионосферы обусловлены генерацией АГВ.

**Землетрясения** [4, 7, 26-29, 55]. Рассмотрим экспериментальные результаты, полученные при землетрясениях с энергией  $E \approx 10^{12} - 10^{16}$  Дж. На рис. 3 изображены временные зависимости интенсивности радишума, нормированные на свое среднее значение за сеанс в 20 мин. Моменту землетрясений соответствует нулевое значение на оси времени. При их построении использован метод наложения эпох, число реализаций составило 115 (82 землетрясения на суше, остальные - под водой). Видно, что в момент землетрясения (примерно за 1 мин до и 2-4 мин после него) имеет место увеличение ( $a_{ш,р}(t)$ ). Длительность фронтов при возрастании сигнала составляет  $\sim 10 - 30$  с.

В табл. 5 приведены данные об изменениях интенсивности радишумов в диапазоне частот 2-4 МГц во время удаленных мощных землетрясений. Наличие "всплеска" (увеличения) ( $a_{ш,р}(t)$ ) в момент землетрясения отмечено знаком "+", отсутствие - знаком "-". Видно, что в общем случае (когда учитывались регистрации  $A_{ш,р}(z, t)$  и  $A_{(с+ш)ш,р}(z, t)$ , полученные при землетрясениях на суше и под водой) реакция отмечается немногим бо-

Таблица 5. Реакция радишума в диапазоне 2-4 МГц на удаленные сильные землетрясения для различной глубины очага  $h$  и удалений  $R$

Событие		Общее число	На суше	Под водой
"Да"	+	58	49	9
"Нет"	-	57	33	24
$h > 50$ км	+	8	4	4
	-	16	9	7
$h < 50$ км	+	50	45	5
	-	41	24	17
$h < 10$ км	+	18	17	1
	-	15	7	8
$R < 1000 - 3000$ км				
$h > 50$ км	+	1	-	1
	-	1	1	-
$h < 50$ км	+	10	10	-
	-	3	3	-
$R > 3000$ км				
$h > 50$ км	+	7	4	3
	-	14	7	7
$h < 50$ км	+	39	36	3
	-	40	21	19

лее, чем в 50% случаев. При землетрясениях на суше и под водой частота появления "всплеска" в  $A_{(с+ш)ш,р}(z, t)$  составляет  $\sim 60\%$  и  $27\%$  случаев, соответственно.

На основании анализа банка данных об  $A_{ш,р}(z, t)$  и  $A_{(с+ш)ш,р}(z, t)$ , полученных во время землетрясений и в контрольные дни (когда сильные землетрясения отсутствовали), установлено, что при землетрясениях с энергией  $E < 10^{11}$  Дж указанный эффект не удается зарегистрировать. С частотой  $w \approx 65-70\%$  квазипериодические изменения  $A_{ш,р}(z, t)$  и  $A_{(с+ш)ш,р}(z, t)$  наблюдались при землетрясениях с  $E > 10^{12}$  Дж на суше, при землетрясениях под водой - с  $w \approx 40\%$ .

На рис. 4 приведены гистограммы распределения кажущихся скоростей  $v$  передачи возмущений, полученные для землетрясений на суше (кривая 1) и под водой (кривая 2). Общее число возмущений составило 168. Анализ приведенных зависимостей показывает, что чаще регистрировались возмущения с  $v \sim 0,3$  и  $3$  км/с, что соответствует скоростям АГВ и сейсмических волн.

В табл. 6 приведены основные параметры возмущений (кажущиеся скорости распространения, длительности и периоды возмущений), полученные по данным об  $A_{ш,р}(z, t)$  и  $A_{(с+ш)ш,р}(z, t)$  и их спектральному анализу.

О влиянии мощных землетрясений на D-область ионосферы свидетельствует также, например, наблюдение выполненное 06.03.1986 г. [4]. После землетрясения интенсивно-



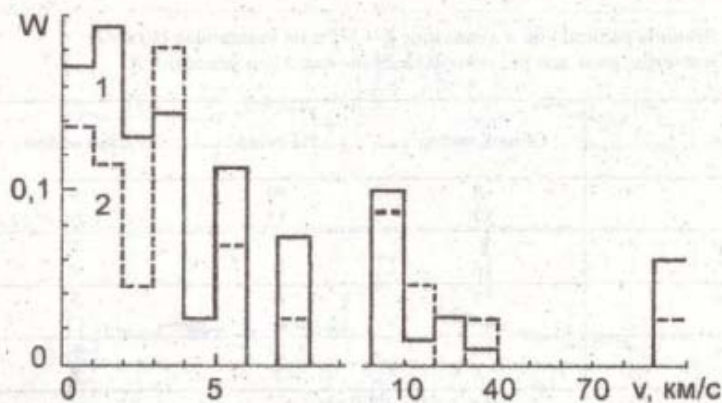


Рис. 4: Гистограммы скоростей возмущений, полученные методом частичных отражений после землетрясений с магнитудой  $M > 5$ .

стью 7 баллов в Каспийском море на трассе Великобритания - Харьков вариации фазы сигнала на частоте 16 кГц составили  $-0,6$  рад, амплитуда сигнала при этом увеличилась до 2 раз;  $v \approx 0,3-0,4$  км/с. На частоте  $f = 60$  кГц (Великобритания - Харьков) для этого же землетрясения сначала фаза уменьшилась на  $0,3$  рад (запаздывание  $\Delta t \approx 1-1,5$  час,  $v \approx 0,4-0,3$  км/с,  $\Delta T \approx 1,5$  час), а затем увеличилась на  $0,5-0,6$  рад ( $\Delta t \approx 2$  час,  $v \approx 0,2$  км/с,  $\Delta T \approx 2,5$  час). Скорее всего наблюдался волновой процесс с  $v \approx 0,3-0,4$  км/с.

Влияние землетрясений на E и F области ионосферы проанализируем на примере Спитакского землетрясения 7.12.1988 г. с магнитудой 6,8 [18]. Наблюдение за реакцией ионосферы осуществлялось на ионосферной станции, удаленной от эпицентра на север примерно на 1700 км. Разрешение по времени составляло 15 мин. Сравним временные зависимости  $f_0F_2$  и  $f_{min}$  для 6.12.1988 г. - 9.12.1988 г. Геофизическая обстановка была примерно одинаковой, в частности, индекс  $A_p \approx 4-6$ . В дневное время 8-9.12.1988 г. (фоновые дни)  $f_{min}$  составляла 1,5-2 МГц. В этот же период за день до землетрясения в течение 6 часов  $f_{min} \approx 4$  МГц. В день землетрясения  $f_{min} \approx 3$  МГц в течение всего двух часов (за час до в течение часа после события). За пределами этого интервала  $f_{min} \approx 1,5-2$  МГц.

Частота  $f_0F_2$  в дневное время 6.12.1988 г. и 7.12.1988 г. достигала 12 МГц, а 8.12.1988 г. и 9.12.1988 г. - 10-11 МГц. Так, 7.12.1988 г. через  $\Delta t \approx 1,5$  часа после землетрясения  $f_0F_2$  стала на 1 МГц больше, чем в то же время 6.12.1988 г. Такое увеличение продолжалось в течение  $\Delta T \approx 1$  часа. Вычисленные профили  $N$  показали, что в дневное время 07.12.1988 г. вариации уровней постоянной концентрации достигали 100 км с ха-

Таблица 6. Основные параметры возмущений в нижней ионосфере, вызываемые землетрясениями

Длительность процесса, мин.	Величина квазипериода, мин.	Кажущаяся скорость, км/с	Возможный тип волны
~ 1	-	100	МГД
~ 1	-	10-50	гиротропная, ионо-звуковая
~ 10	2-3	6-8	сейсмическая
~ 10	~ 3	5-6	сейсмическая объемная
10-15	~ 3	3-4	сейсмическая поверхностная (Релея)
10-20	3-8	1, 2-3	акустическая, медленная МГД-волна
15-35	3-10	0,4-1	акустико-гравитационная

рактерным временем 1-2 час, а изменение полного электронного содержания в столбе единичного сечения - 3 раз.

Глобальную реакцию E- и F-областей ионосферы рассмотрим на примере землетрясения, имевшего место в окрестности Лос-Анджелеса в 15:42UT 1.10.1987 г. (магнитуда - 6,1) [18]. Наблюдения велись на трассах гектометрового и декаметрового диапазонов. Первые из них были практически долготными, их протяженность вдоль поверхности Земли  $D \sim 50-150$  км. Это обстоятельство позволяет пренебречь влиянием терминатора, проходившего в ионосфере на высоте  $z \approx 100$  км около 16:00UT. Трасса сигнала с  $f = 4940$  кГц, напротив, была ориентирована с запада на восток, заход Солнца на высоте области отражения ( $\sim 200$  км) имел место около 18:00UT. Для контроля также использовалась еще одна трасса с  $f = 6015$  кГц. Заметные и почти синхронные изменения характера сигнала на сонограммах возникали с запаздыванием  $\Delta t \approx 30, 48$  и 70 мин. С учетом времени распространения акустического импульса от землетрясения до ионосферы ( $\sim 5-10$  мин для нижней и средней ионосферы соответственно) скорректированные значения  $\Delta t' \approx 20-25, 38-43$  и 60-65 мин. Тогда  $v \approx 7-8, 3,9-4,4$  и 2,6-2,7 км/с. Из сонограмм видно, что предполагаемая реакция ионосферы на землетрясения связана с уширением спектров, появлением дополнительных мод с доплеровским смещением частоты  $f_d \approx 0,3-0,6$  Гц, а также с вариациями  $f_d$  до 0,5 Гц при  $f \approx 5-6$  МГц.

Грозы [30, 33]. Особый интерес представляет возможное проявление грозовой активности в D-области ионосферы, наиболее близкой к источнику и наименее изученной. Ниже приводится краткий обзор экспериментальных данных, полученных вблизи г. Харькова методом ЧО.

Замечено, что иногда во время гроз наблюдаются интенсивные (отношение сигнал/шум 3-10) ЧО сигналы с  $z < 75$  км. Такие события имели место примерно в 40% случаев, длительность их составляла, как правило, десятки минут (до 90 минут).

На рис. 5 приведены примеры зависимостей  $A_{\sigma, x}(z)$ , полученных во время гроз (кри-



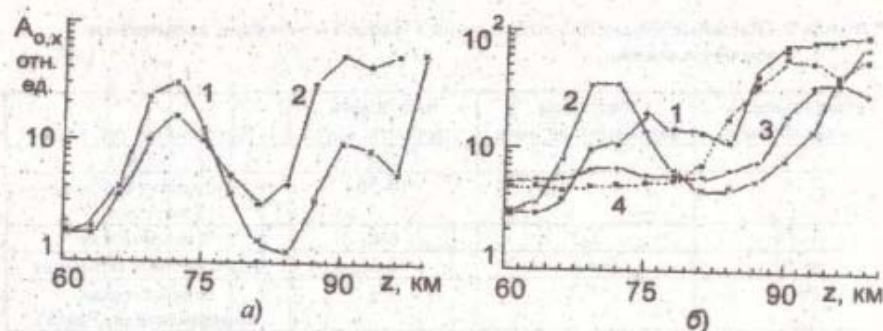


Рис. 5: Примеры зависимостей  $A_{0,x}$ , полученных во время гроз. Кривая 1 -  $A_x$ , 2 -  $A_0$ ; а) 03.06.1987; б) 27.03.1987 (кривые 3 и 4 получены до грозы).

выс 1, 2). Для таких событий выполнен расчет  $N(z)$ .

Основной результат влияния сильных гроз на D-область ионосферы сводится к тому, что на высотах 55-68 км  $N$  в течении 1-10 мин может увеличиться в несколько раз (до  $8 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ , в невозмущенных условиях здесь обычно  $N \leq 10^8 \text{ м}^{-3}$ ). Это может быть связано с высыпанием энергичных частиц из магнитосферы. Кроме того, иногда наблюдаются слабые АГВ с  $T \approx 4-5$  мин.

Не исключено также [33, 35], что частота соударений электронов с нейтралами в нижней части D-области может увеличиваться в 1,7-1,8 раза. Это может быть обусловлено ростом напряженности квазипостоянного геоэлектрического поля перед грозой и после нее [34-36]. Продолжительность такого процесса  $\Delta T \leq 10$  мин.

### Выводы

1. РФО, обладающая высоким уровнем автоматизации и компьютеризации, позволяет проводить комплексные радиофизические исследования околоземного космического пространства в интервале высот  $\sim 50-1000$  км и в диапазоне частот  $\sim 1$  кГц - 1 ГГц.
2. На околоземную среду оказывают существенное влияние различные источники естественного и искусственного происхождения. Их энергетические характеристики оказываются сопоставимыми.
3. Наблюдения, выполненные в 70-90 гг., позволили выявить основные нестационарные процессы в ионосфере, формирующие космическую погоду и вызванные воздействием на среду солнечных вспышек, магнитных бурь, терминатора, землетрясений и гроз. Получены основные пространственно-временные параметры этих процессов, составляющие основу эмпирических моделей возмущений в околоземной среде.

Результаты исследования процессов в искусственно-возмущенной ионосфере и их влияния на характеристики радиосигналов и радиошумов будут представлены в последующих частях этой работы.

Работа подготовлена при поддержке УНТЦ (проектное соглашение N471).

Список литературы: 1. Черногор Л.Ф. Глобальные эффекты при локальном энерговыделении в геосфере.- Всес. конф. по нетрадиционным идеям о природе и ее явлениях. Сб. докл. Т. 2. Гомель, 1990. С. 86 - 94. 2. Капанин И.И., Костров Л.С., Леус С.Г. и др. Комплексные радиофизические исследования крупномасштабных и глобальных возмущений параметров ионосферы и вариаций характеристик радиоволн.- XVI Всес. конф. по распротр. радиоволн. Тез. докл. Ч.1. Харьков, 1990. С. 56. 3. Черногор Л.Ф. Радиофизический мониторинг околоземного и космического пространства и проблемы дальнометрии.- Докл. IV науч.-техн. конф. "Метрология в дальнометрии", Харьков, 1992. ГНПО "Метрология", 1993. С. 12 - 17. 4. Гармаш К.П., Леус С.Г., Похилько С.Н. и др. Вариации характеристик ионосферных сигналов радиостанций в диапазоне частот 3 кГц - 30 МГц, вызываемые воздействием мощных локальных источников энерговыделения.- Там же. С. 71 - 75. 5. Черногор Л.Ф. Флуктуации характеристик радиосигналов в естественной и искусственно-возмущенной околоземной среде и проблемы дальнометрии.- Там же. С. 76 - 81. 6. Пахомова О.В., Черногор Л.Ф. Элементы эмпирической модели вариаций параметров ионосферного канала дальнометрии, обусловленных воздействием мощных источников энерговыделения.- Там же. С. 82 - 87. 7. Губарев А.А., Леус С.Г., Мисюра В.А. и др. Панорамные измерения статистических характеристик ионосферных сигналов и радиошумов в диапазоне 1 - 30 МГц.- XVI Всес. конф. по распротр. радиоволн. Тез. докл. Ч.1. Харьков, 1990. С. 224. 8. Гокос А.М., Гринчин А.И., Капанин И.И. и др. Исследование антропогенных и естественных глобальных возмущений в ионосфере. XVII конф. по распротр. радиоволн. Тез. докл. Секции 6,7,8. Ульяновск, 1993. С. 65. 9. Gokos A.M., Grithin A.I., Misyura V.A. et al. Experimental investigations of natural disturbances in the middlelatitudinal ionospheric D-region. Physics in Ukraine. International Conference. -Kiev, 22-27 June, 1993.-P.111-113. 10. Мисюра В.А., Капанин И.И., Костров Л.С. и др. Комплексные многолетние радиофизические исследования околоземного космического пространства, ионосферы и распространения радиоволн в естественных и искусственно возмущенных условиях по регистрации радиосигналов на космических радиополетах путем радиопросвечивания пространства и дистанционного наземного зондирования (к 25-летию кафедры космической радиофизики ХГУ).- XVI Всес. конф. по распротр. радиоволн. Тез. докл. Ч.2. Харьков, 1990. С. 151. 11. Капанин И.И., Кириллов Н.А., Марков В.А. и др. Исследование характеристик спорадического радиоизлучения ионосферы на средних широтах.- Там же. С. 71. 12. Пахомова О.В., Черногор Л.Ф. Исследование искусственных и естественных возмущений в ионо-



сфере при помощи сети ионозондов.- XVII конф. по распространению радиоволн. Тез. докл. Секции 6,7,8. Ульяновск, 1993. С. 66-13. *Kapanin I.I., Kostrov L.S., Martynenko S.I. et al.* Complex radiophysical investigations of large-scale and global disturbances of ionosphere plasma and variations of radiowave characteristic.- Intern. conf. "Physics in Ukraine", Kiev, 22-27 June 1993. Proc. Contributed Papers. Plasma Physics. Kiev, 1993. P. 126-129. 14. *Rozumenko V.T., Kostrov L.S., Martynenko S.I. et al.* Studies of Global and Large-Scale Ionospheric Phenomena due to Sources of Energy of Different Nature.- Turkish Journal of Physics. 1994. Vol.18, No. 11, P. 1193-1198. 15. *Леус С.Г., Похилько С.Н., Черногор Л.Ф.* Результаты и средства радиофизического мониторинга процессов в ионосфере.- Междунар. симпозиум "Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики", Томск, 1996. Сибирский физ.-тех. институт, 1996. С. 87-88. 16. *Пахомова О.В., Черногор Л.Ф.* Результаты геофизического мониторинга крупномасштабных и глобальных процессов в ионосфере с использованием сети ионозондов.- Там же. С. 101-102. 17. *Григчин А.И., Дорогов В.Л., Концевая Л.Г. и др.* Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений.- Вестник Харьк. ун-та. 1988. N 318: Радиофизика и электроника. С. 21-24. 18. *Турнов О.Ф., Гармаш К.Р., Гокон А.М. et al.* The Radiophysical Observatory for Remote Sounding of the Ionosphere.- Turkish Journal of Physics. 1994. Vol. 18, No. 11. P. 1260-1265. 19. *Леус С.Г., Похилько С.Н., Черногор Л.Ф.* Использование ионосферных радиопомех для мониторинга солнечно-земных процессов.- Междунар. симпозиум "Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики", Томск, 1996. Сибирский физ.-тех. институт, 1996. С. 88-89. 20. *Gokov A.M., Gritchin A.I., Misura V.A. et al.* Experimental investigations of natural disturbances in the middle-latitude ionospheric D-region.- Intern. conf. "Physics in Ukraine", Kiev, 22-27 June 1993. Proc. Contributed Papers. Plasma Physics. Kiev, 1993. P. 111-113. 21. *Гармаш К.П., Черногор Л.Ф.* Процессы в нижней ионосфере после солнечной вспышки.- Междунар. симпозиум "Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики", Томск, 1996. Сибирский физ.-тех. институт, 1996. С. 29-30. 22. *Гокон А.М., Григчин А.И.* Характеристики некоторых возмущений в D-области ионосферы во время магнитных бурь и солнечных вспышек.- Космические исследования. 1996. Т.34. N 6. С.585-589. 23. *Гокон А.М., Турнов О.Ф.* Возмущения в среднеширотной D-области ионосферы во время магнитных бурь и солнечных вспышек.- В сб.: 6-я Международная Крымская конференция "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии". Сентябрь 1996. СГТУ. С.398-400. 24. *Гокон А.М., Григчин А.И., Мисюра В.А.* Исследование влияния солнечного терминатора на параметры нижней ионосферы и характеристики частично отраженных сигналов.- Харьков: изд-во ХГУ, 1990. 14 с. Деп. в ВИНТИ 23.04.90. N 2158-1390. 25. *Гокон А.М., Григчин А.И.* Влияние солнечного терминатора на среднеширотную D-область ионосферы и характеристики частично отраженных КВ-сигналов и радиопомех.- Геоматематизм и аэронавтика. 1994. Т.34.

N 2. С.169-172. 26. *Гармаш К.П., Гокон А.М., Григчин А.И. и др.* Исследование реакции нижней ионосферы на удаленные мощные землетрясения.- Радиотехника. Харьков, 1990.- Вып. 95.- С. 52-56. 27. *Гокон А.М., Турнов О.Ф.* Исследование реакции нижней ионосферы на удаленные сильные землетрясения методом частичных отражений.- Радиофизика и радиоастрономия. 1996. Т.1. N 2. С.194-199. 28. *Гокон А.М., Григчин А.И., Турнов О.Ф.* Экспериментальные исследования реакции нижней ионосферы на удаленные сильные землетрясения.- Междунар. симпозиум "Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики", Томск, 1996. Сибирский физ.-тех. институт, 1996. С. 34-35. 29. *Gokov A.M., Gritchin A.I., Turnov O.F.* Investigation of reactions of the lower ionosphere to remote strong earthquakes using records of radio noise and partially-reflected signals.- USNC/URSI Radio Science Meeting, 1996. Baltimore, Maryland. 1996. P. 413. 30. *Гокон А.М., Григчин А.И.* О возможном влиянии сильных гроз на параметры D-области ионосферы и характеристики зондирующих КВ-радиоволн.- Геоматематизм и аэронавтика. 1992. Т.32. N 4. С. 178-180. 31. *Gokov A.M., Gritchin A.I., Turnov O.F.* On strong thunderstorms affecting the ionospheric D-region parameters, characteristics of noise and partially-reflected signals.- USNC/URSI Radio Science Meeting, 1996. Baltimore, Maryland. 1996. P. 414. 32. *Гокон А.М., Григчин А.И., Турнов О.Ф.* Влияние сильных гроз на параметры среднеширотной D-области ионосферы и характеристики КВ радиоволн.- Междунар. симпозиум "Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики", Томск, 1996. Сибирский физ.-тех. институт, 1996. С. 35-36. 33. *Гокон А.М., Турнов О.Ф.* Экспериментальные исследования влияния сильных гроз на параметры среднеширотной D-области ионосферы.- Геоматематизм и аэронавтика. 1998. Т.38. N 1.С.184-188. 34. *Мартыненко С.И., Фукс И.М., Шубова Р.С.* Отклик нижней ионосферы на вариации проводимости приземной атмосферы.- Физика космической плазмы: труды международного семинара, Киев, 6-10 июня 1993 г. Киев, 1994. С. 63-71. 35. *Gokov A.M., Martynenko S.I.* Electron collision frequency electric field measurements in the ionospheric D-region.- USNC/URSI Radio Science Meeting, 1996. Baltimore, Maryland. 1996. P. 415. 36. *Martynenko S.I., Fuks I.M., Shubova R.S.* Influence of nuclear accidents on the parameters of VLF signals.- USNC/URSI Radio Science Meeting, 1996. Baltimore, Maryland. 1996. P. 416.

## SUMMARY

The Radiophysical Observatory is briefly described, sources of disturbances in the near Earth environment are listed. Samples of observations of processes in the ionosphere of natural origin (solar flares, magnetic storms, terminator, thunder-storms and earthquakes) are presented.