МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

РД 52.26.817 – 2015

РУКОВОДСТВО ПО ИОНОСФЕРНЫМ, МАГНИТНЫМ И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Часть I
ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Обнинск
ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН федеральным государственным бюджетным учреждением «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова» (ФГБУ «ИПГ»)

2 РАЗРАБОТЧИКИ: Минлигареев В.Т., д-р техн. наук (руководитель разработки); Котонаева Н.Г., д-р физ.-мат. наук (ответственный исполнитель); Алпатов В.В., канд. физ.-мат. наук; Гивишвили Г.В., д-р физ.-мат. наук; Данилов А.Д., д-р физ.-мат. наук; Данилкин Н.П., д-р физ.-мат. наук; Денисова В.И.; Дьяков В.П., канд. физ.-мат. наук; Журавлев С.В., канд. физ.-мат. наук; Крашенинников И.В., д-р физ.-мат. наук; Лещенко Л.Н.; Паньшин Е.А.; Цыбуля К.Г., канд. физ.-мат. наук

3 СОГЛАСОВАН:

с Техническим комитетом по стандартизации ТК 101 «Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере», протокол от 06.11.2012 № 5;

с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»), письмо от 24.02.2015 № 01-46/582;

с Управлением специальных и научных программ Росгидромета 13.07.2015

4 УТВЕРЖДЕН Руководителем Росгидромета 13.07.2015

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 17.07.2015 № 436,

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН ФГБУ «НПО «Тайфун» от 20.07.2015 за номером РД 52.26.817–2015

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

7 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2020 год

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ 5 лет

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 3
4 Обозначения и сокращения 9
5 Методы ионосферных наблюдений 20
5.1 Основные методы ионосферных наблюдений 20
5.2 Метод вертикального радиозондирования ионосферы 20
5.2.1 Принцип реализации метода 20
5.2.2 Радиотехнические устройства для проведения ВЗ 21
5.2.3 Восстановление Ne(h)-профиля ионосферы 22
5.3 Метод наклонного радиозондирования ионосферы 23
5.3.1 Назначение и область применения метода 23
5.3.2 Восстановление Ne(h)-профиля ионосферы 26
5.3.3 Вид радиосигнала в реализации метода НЗ 29
5.4 Радиозондирование ионосферы с искусственных спутников Земли 30
5.4.1 Внешнее радиозондирование ионосферы 30
5.4.2 Трансионосферное радиозондирование 33
5.5 Системное радиозондирование ионосферы 37
5.6 Методы радиотомографии ионосферы 39
5.6.1 Назначение радиотомографического сегмента ионосферной наблюдательной сети 39
5.6.2 Радиотомографические методы мониторинга ионосферы 40
5.6.3 Радиотомография ионосферы с помощью высокоорбитальных навигационных систем 40
5.6.4 Радиотомография ионосферы с помощью низкоорбитальных навигационных систем 42
5.7 Риометрический метод 43
5.8 Радиоволновые методы контроля состояния ионосферы 44
6 Средства ионосферных наблюдений 45

6.1 Средства наблюдений ионосферы методом ВЗ 45
6.1.1 Наземная станция ВЗ «Парус-А» 45
6.1.1.1 Назначение ионозонда «Парус-А» 45
6.1.1.2 Состав ионозонда «Парус-А» 46
6.1.1.3 Принцип действия 46
6.1.1.4 Характеристики радиопередающего устройства 46
6.1.1.5 Характеристики радиоприёмного устройства 48
6.1.1.6 Антенно-фидерный комплекс 48
6.1.1.7 Комплекс управления 50
6.1.1.8 Комплекс обработки ионограмм 50
6.1.2 Ионозонд CADI 51
6.2 Средства наблюдений и оборудование пунктов радиотомографии ионосферной наблюдательной сети 53
6.2.1 Задачи ПАК НОРТ и ПАК ВОРТ 53
6.2.2 Средства наблюдений и оборудование пунктов наблюдений высокоорбитальной радиотомографии 54
6.2.3 Средства наблюдений и оборудование пунктов наблюдений низкоорбитальной радиотомографии 57
7 Организация ионосферной наблюдательной сети 61
7.1 Организация ионосферной наблюдательной сети 61
7.2 Размещение стационарных пунктов ионосферных наблюдений 61
7.3 Порядок открытия, закрытия или переноса СП ионосферных наблюдений 61
7.4 Документация СП ионосферных наблюдений 62
7.5 Организация работ СП ионосферных наблюдений, оборудованного ионозондом 63
7.6 Организация сети радиотомографии и её функционирование 65
7.6.1 Требования к размещению пунктов наблюдений РТС 65
7.6.2 Требования к помещению для размещения пунктов наблюдения РТС 66

8 Проведение ионосферных наблюдений 68
8.1 Порядок проведения ВЗ 68
8.1.1 Цели, периодичность сеансов ВЗ 68
8.1.2 Подготовка к работе ионозонда (на примере ионозонда «Парус-А») 70
8.1.2.1 Меры безопасности при работе с РПДУ 70
8.1.2.2 Сборка ионозонда 71
8.1.2.3 Режим обслуживания ионозондов 75
8.2 Порядок проведения НОРТ и ВОРТ 75
8.2.1 Организация работ НОРТ и ВОРТ 75
8.2.2 Минимальные программы наблюдений низкоорбитальной и высокоорбитальной радиотомографии ионосферы. Наблюдаемые параметры 76
8.2.3 Необходимые условия для функционирования РТС 78
8.2.4 Порядок работы Центра сбора и обработки сигналов ВНС и ННС ... 78
9 Обработка результатов наблюдений 80
9.1 Обработка ионограмм ВЗ 80
9.1.1 Ионосферные характеристики, определяемые по ионограммам ВЗ .. 80
9.1.2 Типы спорадических слоёв Es 82
9.1.3 Классификация вида рассеянных отражений. Типы F-рассеяния 86
9.1.4 Оценка и описание измеряемых характеристик 89
9.1.5 Оценка степени точности параметров 93
9.1.6 Определение максимально применимых частот и коэффициента M3000F1 (M3000F2) 95
9.1.7 Определение действующей высоты следа отражений О-компоненты hpF2 97
9.1.8 Представление данных обработки 98
9.1.8.1 Формат урсиграммы ИОНКА 98
9.1.8.2 График частотных характеристик следов отражений 101
9.1.8.3 Суточный график действующих высот (*h*-график) 104
9.1.8.4 Суточная таблица 105

9.1.8.5 Месячные таблицы 107
9.2 Обработка ионограмм внешнего и трансионосферного радиозондирования 108
9.2.1 Анализ ионограмм 108
9.2.2 Автоматическая и интерактивная обработка данных спутникового зондирования 113
9.2.2.1 Задачи автоматической обработки 113
9.2.2.2 Определение частотного диапазона, занимаемого ионограммой, и критической частоты 114
9.2.2.3 Определение частот отсечек на высоте орбиты спутника 115
9.3 Обработка результатов радиотомографии 116
9.3.1 Уравнения наблюдений 116
9.3.2 Сигналы спутников 117
10 Сбор, хранение и выдача результатов наблюдений потребителям 126
10.1 Средства сбора и распространения гелиогеофизической информации 126
10.1.1 Телекоммуникационные каналы связи Росгидромета 126
10.1.2 Прочие каналы связи Росгидромета 128
10.2 Организация сбора и передачи данных гелиогеофизических наблюдений 129
10.3 Выдача результатов гелиогеофизических наблюдений 131
11 Метрологическое, нормативное и техническое обеспечение ионосферных наблюдений 135
11.1 Научно-методическое руководство нормативным и метрологическим обеспечением ионосферных наблюдений 135
11.2 Распространение сферы государственного регулирования и обеспечения единства измерений на ионосферные наблюдения 138
11.3 Стандартизация и унификация средств ионосферных наблюдений 140
11.3.1 Требования к стандартизации ионосферных наблюдений 140
11.3.2 Технический комитет по стандартизации ТК-101 143
11.4 Обеспечение качества ионосферных наблюдений 145

11.5 Техническое обслуживание ионосферной наблюдательной сети 147
11.5.1 Обязанности персонала СП ионосферных наблюдений в части технического обслуживания 147
11.5.2 Техническое обслуживание антенно-фидерных комплексов 147
11.5.3 Проверка работоспособности ионозонда на примере ионозонда «Парус-А» 149
11.5.4 Техническое обслуживание оборудования пунктов наблюдения РТС 152
12 Безопасность труда на СП ионосферных наблюдений 153
12.1 Цель проведения мероприятий по обеспечению безопасности труда 153
12.2 Мероприятия по обеспечению безопасности труда в СП ионосферных наблюдений, оборудованном ионозондом 153
Приложение А Физика ионосферы 157
А.1 Образование ионосферы 157
А.1.1 Высотное распределение температуры в атмосфере 157
А.1.2 Состав атмосферы 158
А.1.3 Излучение Солнца 159
А.1.4 Фотоионизация 162
А.1.5 Рекомбинация 164
А.1.6 Динамические процессы в атмосфере 165
А.1.6.1 Ветер в мезосфере 165
А.1.6.2 Ветер в термосфере 166
А.1.6.3 Внутренние гравитационные волны 167
А.1.6.4 Приливы в атмосфере 168
А.1.7 Диффузия 168
А.1.8 Баланс ионизации 169
А.2 Структура ионосферы 171
А.2.1 Область D 171
А.2.2 Область E 172
А.2.3. Спорадический слой Es 173

А.2.4 Область F 175
А.2.4.1 Слой F1 175
А.2.4.2 Слой F2 175
А.3 Изменчивость ионосферы 176
А.3.1 Суточные вариации 176
А.3.1.1 Суточные вариации области D 176
А.3.1.2 Суточные вариации области E 176
А.3.1.3 Суточные вариации спорадического слоя Es 177
А.3.1.4 Суточные вариации слоя F1 177
А.3.1.5 Суточные вариации слоя F2 177
А.3.2 Сезонные вариации 178
А.3.2.1 Сезонные вариации области D 178
А.3.2.2 Сезонные вариации области E 178
А.3.2.3 Сезонные вариации спорадического слоя Es 178
А.3.2.4 Сезонные вариации слоя F1 179
А.3.2.5 Сезонные вариации слоя F2 179
А.3.3 Связь с 11-летним циклом солнечной активности 180
А.4 Возмущения в ионосфере 181
А.4.1 Солнечные вспышки 181
А.4.2 Ионосферные бури 183
А.4.3 Поглощение в полярной шапке 184
А.4.4 Авроральное поглощение 185
А.5 Распространение радиоволн в ионосфере 186
А.5.1 Электромагнитные волны 186
А.5.2 Критическая частота слоя 187
А.5.3 Действующая высота 189
А.5.4 Поляризация электромагнитной волны 190
А.5.5 Поглощение радиоволн в ионосфере 193
А.5.6 Рассеяние радиоволн в ионосфере 195
Библиография 197

Введение

Земная ионосфера (далее – ионосфера) всегда была объектом практического интереса исследователей, поскольку была обнаружена именно по её влиянию на распространение радиоволн – явлению, имеющему почти неограниченное практическое применение в жизни человечества.

За более чем 50-летнюю историю ионосферных наблюдений в силу ряда причин не было создано руководящего документа, регламентирующего этот вид наблюдений. В настоящее время при модернизации государственной наблюдательной сети и восстановлении ионосферных наблюдательных пунктов возникла острая необходимость в разработке данного документа. Настоящий руководящий документ организационно войдёт в «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям», которое предполагает выпуск 4 частей:

часть I – «Ионосферные наблюдения»;

часть II – «Магнитные наблюдения»;

часть III – «Гелиогеофизические наблюдения»;

часть IV – «Передача оперативных данных наблюдений и организация удалённой технической поддержки».

В настоящий руководящий документ намеренно введено справочное приложение А по физике ионосферы для теоретической подготовки операторов с целью повышения достоверности результатов наблюдений, исключения ошибок при обработке ионограмм.

Основные положения настоящего руководящего документа учитывают требования Международного научного радиосоюза (URSI), Всемирной метеорологической организации (ВМО), распространяющиеся на международную сеть ионосферных наблюдений.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

РУКОВОДСТВО ПО ИОНОСФЕРНЫМ, МАГНИТНЫМ И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Часть I

Ионосферные наблюдения

Дата введения – 2015-12-01

1 Область применения

Настоящий руководящий документ устанавливает организацию, порядок проведения, основные принципы, методы и средства ионосферных наблюдений и разработан в целях обеспечения единства наблюдений, достоверности, эффективности, качества измерительной информации и передачи результатов наблюдений потребителям.

Настоящий руководящий документ является обязательным документом при выполнении ионосферных наблюдений на государственной наблюдательной сети. Настоящий руководящий документ предназначен для инженерного и технического персонала наблюдательных подразделений стационарных пунктов ионосферных наблюдений, сотрудников методических групп межрегиональных территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и центров (областных, краевых, республиканских) по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Настоящий руководящий документ может быть полезен сотрудникам научно-исследовательских учреждений, использующих ионосферную информацию, а также преподавателям и студентам профильных учебных заведений при изучении курса «Физика атмосферы и гидросферы».

Настоящий руководящий документ может быть использован другими ведомствами, занимающихся ионосферными наблюдениями в части использования данных наблюдений с целью оперативного обеспечения потребителей геофизической информацией.

2 Нормативные ссылки

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.0.003–74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

ГОСТ 12.0.007–2009. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию;

ГОСТ 12.0.230–2007. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования;

ГОСТ 22261–94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия;

ГОСТ Р 1.0–2012. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения;

ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений;

ГОСТ Р 8.654–2009. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения;

ГОСТ Р ИСО 9001–2008. Системы менеджмента качества. Требования;

ГОСТ РВ 0015-002–2012. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Система менеджмента качества. Общие требования;

РД 52.04.567–2003. Положение о государственной наблюдательной сети;

РД 52.14.610–99. Положение о службах стандартизации Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

Р 50.2.077–2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка защиты программного обеспечения;

МИ 2891–2004. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к программному обеспечению средств измерений.

3 Термины и определения

В настоящем руководящем документе применены термины с соответствующими определениями.

3.1 авроральная зона: Область поверхности Земли шириной в несколько градусов, над которой наиболее часто наблюдаются полярные сияния.

3.2 аттестация методик (методов) измерений: Исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям.

[ГОСТ Р 8.563–2009, пункт 3.1, 3.2]

3.3 вертикальное радиозондирование ионосферы: Зондирование ионосферы при помощи радиосигналов в диапазоне радиочастот, соответствующих диапазону исследуемых плазменных частот ионосферы и излучаемых вертикально вверх относительно поверхности Земли при условии, что точки излучения и приёма совмещены.

3.4 возвратно-наклонное радиозондирование ионосферы: Наклонное зондирование ионосферы, при котором принимаются отражённые или рассеянные в обратном направлении от поверхности Земли или от ионосферы радиосигналы, излучённые из этого же пункта.

3.5 внезапное ионосферное возмущение: Резкое увеличение концентрации электронов в области D под действием рентгеновского излучения солнечной вспышки, которое приводит к прекращению коротковолновой радиосвязи на всем освещённом полушарии Земли.

3.6 внешнее радиозондирование ионосферы: Вертикальное радиозондирование ионосферы, при котором излучение и приём сигналов производятся на искусственном спутнике Земли.

3.7 высокоорбитальная радиотомография: Метод получения трёхмерных распределений концентрации электронов в ионосфере, который в качестве исходных данных использует синхронные измерения разности фаз когерентных

радиосигналов от нескольких спутников, входящих в высокоорбитальную спутниковую систему, в нескольких пунктах приёма, разнесённых по поверхности Земли.

3.8 высокоорбитальная спутниковая навигационная система: Система глобальной спутниковой навигации, функционирующие на орбитах порядка 20 000 км.

3.9 высотно-частотная характеристика: Частотная зависимость действующих высот отражения от ионосферы радиосигналов.

3.10 действующая высота: Условная высота отражения от ионосферы радиосигнала, определяемая по времени задержки между передачей и приёмом отражённого от ионосферы сигнала при вертикальном падении в предположении, что скорость распространения сигнала постоянна и равна скорости света в вакууме.

3.11 ионизация атмосферы: Образование в атмосфере свободных электронов и ионов из электрически нейтральных атомов и молекул.

3.12 ионограмма: Графическое изображение частотной зависимости действующих высот сигналов, отражённых от ионосферы, полученной путём радиозондирования ионосферы ионозондом.

3.13 ионозонд: Радиотехническое устройство, являющееся радаром декаметрового диапазона, используемым для радиозондирования ионосферы.

3.14 ионосфера: Область атмосферы на высотах выше 50 км, содержащая свободные электроны.

3.15 ионосферная буря: Ионосферное возмущение, сопровождающее магнитосферное возмущение.

3.16 ионосферное возмущение: Изменение параметров ионосферы под действием внешних факторов, не связанное с суточными или сезонными вариациями.

3.17 ионосферная наблюдательная сеть: Система стационарных ионосферных пунктов наблюдений, предназначенных для наблюдений за состоянием

ионосферы. Ионосферная сеть относится к гидрометеорологической сети государственной наблюдательной сети РД 52.04.567.

3.18 ионосферное наблюдательное подразделение: Структурная единица организации ионосферной наблюдательной сети, непосредственно выполняющая наблюдения за состоянием ионосферы в одном или нескольких закреплённых стационарных пунктах ионосферных наблюдений, также выполняющая первичную обработку результатов ионосферных наблюдений и передачу их по утверждённой схеме в Гелиогеофизическую службу Росгидромета.

3.19 истинная высота отражения радиоволны в ионосфере: Высота, на которой происходит отражение электромагнитной волны, падающей на ионосферу вертикально.

3.20 ионосферный дрейф: Движение ионосферной плазмы под действием электромагнитных полей или динамических процессов.

3.21 критическая частота слоя: Наивысшая частоты радиоизлучения, при которой слой ионосферы не только отражает вертикально направленную радиоволну, но и пропускает её.

3.22 критическая частота слоя F2: Критическая частота обыкновенной радиоволны, отражённой от слоя F2.

3.23 максимальная применимая частота: Наивысшая частота радиосвязи для заданной дальности односкачковой трассы, не превышающей 4000 км.

3.24 метод ионосферных наблюдений: Метод исследования, заключающийся в количественном определении значений ионосферных параметров и условий ионосферного распространения радиоволн, а также в оценке качественных характеристик ионосферных явлений.

3.25 метод когерентных частот: Метод исследования ионосферы, основанный на дисперсионных свойствах плазмы и заключающийся в просвечивании ионосферы радиосигналами с когерентными частотами.

3.26 наименьшая применимая частота: Наименьшая частота, на которой надёжность работы радиолинии соответствует минимально допустимой.

3.27 наклонное радиозондирование ионосферы: Зондирование ионосферы при помощи радиосигналов между отстоящими друг от друга наземными пунктами.

3.28 нижняя ионосфера: Область ионосферы ниже 140 км, в которой гирочастота ионов меньше частот их столкновений с нейтральными частицами.

3.29 низкоорбитальная радиотомография: Метод получения двумерных распределений концентрации электронов в ионосфере, который в качестве исходных данных использует синхронные измерения разности фаз когерентных радиосигналов от одного низкоорбитального спутника в нескольких пунктах приёма, разнесённых вдоль направления его пролёта.

3.30 низкоорбитальный спутник: Спутник с высотой орбиты от 300 до 1500 км.

3.31 оптимальная рабочая частота; ОРЧ: Частота, равная 85 % от максимальной применимой частоты.

3.32 опасное гелиогеофизическое явление; ОГЯ: Процесс или явление, возникающее в околоземном космическом пространстве, которое по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности оказывает или может оказать поражающее воздействие на функционирование технических и биологических систем как на Земле, так и в околоземном космическом пространстве.

3.33 поглощение радиоволн в ионосфере: Уменьшение энергии радиоволны вследствие частичного перехода её в другие виды энергии в результате взаимодействия со средой.

3.34 прогноз **распространения радиоволн в ионосфере:** Предсказание условий распространения радиоволн при различных состояниях ионосферы.

3.35 пункт наблюдения сети радиотомографии: Ионосферный стационарный пункт наблюдения, оборудованный сетевыми программно-аппаратными комплексами приёма сигналов низкоорбитальных и высокоорбитальных спутниковых навигационных систем и осуществляющий их передачу в Центры приёма и обработки сигналов.

3.36 радиозондирование ионосферы: Обобщённое название методов исследования ионосферы с использованием передачи и (или) приёма специальных радиосигналов.

3.37 радиотомографический разрез ионосферы: Двумерное сечение распределения концентрации электронов в ионосфере, получаемое методами радиотомографии на основе измерений характеристик ионосферы методом когерентных частот.

3.38 рефракция радиоволн в ионосфере: Искривление траектории распространения радиоволн вследствие изменения скорости их распространения при прохождении через неоднородную среду в присутствии магнитного поля Земли.

3.39 риометр: Специальный радиоприёмник для непрерывного измерения уровня поглощения космического радиошума в ионосфере Земли.

3.40 риометрический метод исследования ионосферы: Метод измерений интегрального поглощения в ионосфере Земли радиоизлучения космических источников.

3.41 сеть радиотомографии: Совокупность пунктов наблюдения сети радиотомографии и Центров приёма и обработки сигналов. Сеть радиотомографии входит в состав ионосферной наблюдательной сети.

3.42 скорость ионизации: Количество актов ионизации в единице объёма в единицу времени под действием источника ионизации.

3.43 слой F1: Нижний из двух ионизированных слоёв, на которые может распадаться область F.

3.44 слой F2: Верхний из двух ионизированных слоёв, на которые может распадаться область F.

3.45 спорадический слой Es: Узкий нерегулярно образующийся в силу тех или иных гелиогеофизических условий слой на высотах области E.

3.46 средство измерений: Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

[РМГ 29–2013, пункт 6.2]

3.47 станция вертикального радиозондирования ионосферы: Ионозонд, предназначенный для проведения вертикального радиозондирования ионосферы.

3.48 станция наклонного радиозондирования ионосферы: Ионозонд, предназначенный для проведения наклонного радиозондирования ионосферы.

3.49 стационарный пункт ионосферных наблюдений: Комплекс, включающий в себя земельный участок или часть акватории с установленными на них приборами и оборудованием, предназначенными для определения количественных параметров и качественных характеристик ионосферы.

3.50 технические системы и устройства с измерительными функциями: Технические системы и устройства, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции.

[ГОСТ Р 8.674–2009, пункт 3.13]

3.51 трансионосферное радиозондирование: Радиозондирование ионосферы между ИСЗ и наземной станцией вертикального радиозондирования ионосферы, которое осуществляется в двух вариантах: прямое – приём на Земле сигналов бортового ионозонда и обратное – приём на борту ИСЗ сигналов наземного ионозонда.

3.52 урсиграмма: Стандартный формат представления гелиогеофизической информации разного вида.

3.53 энергичные частицы: Электроны и ионы с энергиями, превышающими среднюю тепловую.

4 Обозначения и сокращения

4.1 В настоящем руководящем документе введены и применены следующие обозначения:

- Ar – аргон;

- c – скорость света;

- CO_2 – углекислый газ;

- D область – часть ионосферы, расположенная приблизительно между 50 и 90 км над поверхностью Земли;

- D_0 – дальность радиотрассы вдоль земной поверхности;

- $D(f_m)$ – дальность вдоль земной поверхности;

- e – заряд электрона;

- e^- – электрон;

- E область – часть ионосферы, расположенная приблизительно между 90 и 140 км над поверхностью Земли;

- $\boldsymbol{E}$ – вектор напряжённости электрического поля;

- f – частота;

- F область – часть ионосферы, расположенная над поверхностью Земли на высоте более 140 км;

- $F_{10,7}$ – поток солнечного радиоизлучения на волне 10,7 см, выраженный в солнечных единицах потока радиоизлучения, одна солнечная единица потока радиоизлучения равна 10^{-22} Вт/(м·Гц);

- fbEs – экранирующая частота слоя Es, т. е. наименьшая частота, на которой наблюдаются отражения первого порядка О-компоненты от вышележащей области;

- f_H – гирочастота электрона;

- f_{Hs} – гирочастота на высоте спутника;

- f_m – частота зондирования;

- *f*min – минимальная частота, наблюдаемая на ионограммах вертикального радиозондирования ионосферы (ВЗ); минимальная частота носового свистящего атмосферика;

- *f*o, *f*x, *f*z – частоты обыкновенной, необыкновенной и z-волн;

- f_{0s}, f_{xs}, f_{zs}, – частоты обыкновенной, необыкновенной и z-волн в окрестности спутника;

- f_{obl} – частота наклонного радиозондирования ионосферы (НЗ);

- *f*oE, *f*oF1, *f*oF2 – критические частоты обыкновенной волны области E, слоёв F1, F2;

- *f*oEs – предельная частота обыкновенной радиоволны, отражающейся от спорадического слоя Es

- $(foF2)_в$ – возмущённое значение *f*oF2;

- $(f_OF2)_р$ – предположительная критическая частота обыкновенной волны;

- $f_р$ – плазменная частота электронов;

- f_R – высокочастотная отсечка удалённого резонанса;

- f_{Ts} – верхняя гибридная частота в окрестности спутника;

- *f*tEs – предельная частота отражения от слоя Es;

- *f*xF2 – критическая частота X-компоненты, отражённой от слоя F2;

- $(f_XF2)_р$ – предположительная критическая частота необыкновенной волны;

- *f*xI – наибольшая частота, на которой имеются отражения от области F, независимо от того, отражаются ли они от ионосферы над головой или при наклонном падении;

- f_v – частота ВЗ;

- *h* – высота;

- H – атомарный водород;

- *H* – модуль вектора напряжённости магнитного поля;

- ***H*** – вектор напряжённости магнитного поля;

- h_0 – нижняя граница ионосферы;

- H_2 – молекулярный водород;

- h_{max} – высота максимума области;

- h_{max}F – высота максимума F-области;

- h_{max}F2 – высота максимума слоя F2;

- H_s – модуль вектора напряжённости магнитного поля в окрестности спутника;

- H_o – высота слоя, в котором уместилась бы вся атмосфера, если бы P_n, n_n или ρ не уменьшались с высотой;

- hpF2 – действующая высота следа отражений О-компоненты на частоте, равной 0,834•foF2;

- ħ – постоянная Планка;

- h' – действующая высота отражения;

- He – гелий;

- h'E – минимальная действующая высота области E;

- h'Es – минимальная действующая высота слоя Es, используемая для определения foEs;

- h'F – минимальная действующая высота следа отражений О-компоненты от взятой в целом области F;

- h'F2 – минимальная действующая высота слоя F2;

- I_i^k – задержка, вызванная распространением сигнала через ионосферу;

- J – интенсивность потока ионизирующего излучения Солнца;

- J_{144} – интенсивность потока ионизирующего излучения Солнца при уровне солнечной активности $F_{10,7}$ равном 144;

- k – целое число;

- k_{eff} – эмпирический коэффициент для учёта кривизны ионосферы;

- l – скорость гибели заряженных частиц;

- L_{1i}^k, L_{2i}^k – обозначения измерений фаз на частотах f_1 и f_2;

- l_b – длина базовой линии;

- m – масса электрона;

- M3000F1 – коэффициент, показывающий отношение МПЧ к критической частоте слоя F1 при наклонном падении на расстоянии скачка, равном 3000 км;

- $M3000F2$ – коэффициент, показывающий отношение МПЧ к критической частоте слоя F2 при наклонном падении на расстоянии скачка, равном 3000 км;

- M_{oi} – молекулярная масса;

- n – показатель преломления среды;

- n' – групповой показатель преломления;

- N_2 – молекулярный азот;

- N_e – концентрация электронов;

- N_e^{max} – концентрация электронов в максимуме области;

- $N_{max}F$ – концентрация электронов в максимуме F-области;

- NO – оксид азота;

- n_n – концентрация нейтральных частиц;

- O – атомарный кислород;

- $[O]$ – концентрация атомного кислорода;

- O_2 – молекулярный кислород;

- O_3 – озон;

- P_{1i}^k, P_{2i}^k – обозначения измерений псевдодальностей на частотах f_1 и f_2;

- P_n – давление;

- $P'(f)$ – групповой путь радиоволны с частотой f, падающей наклонно;

- q – скорость образования заряженных частиц;

- $q(h)$ – высотный профиль скорости образования электронов;

- q_{max} – скорость ионообразования в максимуме области;

- $\vec{r}$ (x, y, z) – координаты точки;

- r_e – радиус Земли;

- r_m – высота отражения для радиоволны частоты f_m, отсчитываемая от центра Земли;

- Rz – число Вольфа;

- t – время;

- T_i^k – задержка, вызванная распространением сигнала через тропосферу;

- T_n – температура нейтральной атмосферы;

- u_f – фазовая скорость волны;

- u_g – групповая скорость;

- V – скорость переноса;

- w – дрейф;

- α – диссоциативная рекомбинация;

- $\alpha_{эфф}$ – эффективный коэффициент рекомбинации;

- β – линейный коэффициент потерь;

- β_0 – вертикальный угол прихода;

- β_0^m – вертикальный угол прихода для частоты зондирования f_m;

- $\Delta P'(f)$ – приведённый групповой путь;

- δ_i – ошибка синхронизации часов спутника;

- δ^k – ошибка синхронизации часов приёмника;

- λ – длина волны;

- ν – частота столкновений;

- θ – угол между направлением нормали к фронту волны и вектором магнитного поля Земли;

- ρ – плотность нейтральных частиц;

- ρ_i^k – геометрическое расстояние между спутником k и приёмником i;

- ρ_{oi} – плотность газа;

- φ_0 – угол между волновым вектором и нормалью к изолинии электронной концентрации ионосферы на действующей высоте отражения h';

- Φ – геомагнитная широта;

- χ – зенитный угол Солнца;

- $\varkappa$ – затухание радиоволны;

- ω – круговая частота.

4.2 В настоящем руководящем документе введены и применены следующие сокращения:

- ФГБУ «ААНИИ» – ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт»;

- АИС – аналоговая ионосферная станция ВЗ;

- АП – авроральное поглощение;

- АПК – аппаратно-программный комплекс;

- АСПД – автоматизированная система передачи данных;

- АФК – антенно-фидерный комплекс;

- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

- ВГВ – внутренние гравитационные волны;

- ВЗ – вертикальное радиозондирование ионосферы;

- ВМО – Всемирная метеорологическая организация;

- ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» – ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»;

- ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» – ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева»;

- ФГУП «ВНИИОФИ» – ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» Росстандарта;

- ФГУП «ВНИИФТРИ» – ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений»;

- ВнЗ – внешнее радиозондирование ионосферы;

- ВНЗ – возвратно-наклонное радиозондирование ионосферы;

- ВНКА – высокоорбитальные навигационные космические аппараты;

- ВНС – высокоорбитальные навигационные системы;

- ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;

- ВОРТ – высокоорбитальная радиотомография;

- ВЧ – высокочастотный;

- ГЛОНАСС – Глобальная радионавигационная система;

- ГЦ РАН – ФГУП «Геофизический центр Российской академии наук»;

- Закон – закон Российской Федерации: «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008;

- ЗГМО – зональная гидрометеорологическая обсерватория;

- ИБП – источник бесперебойного питания;

- ИК-19 – Интеркосмос 19;

- ФГБУН «ИДГ РАН» – ФГБУН «Институт динамики геосфер Российской академии наук»;

- ИЗМИРАН – ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук;

- ИИТС – интегрированная информационно-телекоммуникационная система сбора и обмена геофизической информацией;

- ФГБУН «ИКИ РАН» – ФГБУН «Институт космических исследований Российской академии наук»;

- ИОНДА – код урсиграммы с текущими ионосферными данными;

- ИОНКА – код урсиграммы с результатами обработки ионограммы;

- ИОНХА – код урсиграммы с ионосферными характеристиками, полусуточными прогнозами;

- ИП – источник питания;

- ФГБУ «ИПГ» – ФГБУ «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова»;

- ФГБУН «ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН» – ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН»;

- ИСЗ – искусственный спутник Земли;

- ФГБУН «ИСЗФ СО РАН» – ФГБУН «Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук»;

- ФГБУН «ИФА РАН» – ФГБУН «Институт физики атмосферы Российской академии наук»;

- К 1809 – Космос 1809;

- КА – космический аппарат;

- КВ – коротковолновый;

- КОИ – комплекс обработки ионограмм;

- КСД – кривая спокойного дня;

- КУ – комплекс управления;

- ЛЧМ – линейно частотно модулированные сигналы;

- МИТРА – Multiaddress Information TRAnsmission (многоадресная передача информации);

- МПЧ – максимально применимая частота;

- МПЧ(XXXX) (X)(XX) – максимально применимая частота с пояснительными обозначениями: (XXXX) – расстояние между приёмником и передатчиком, (X) – количество скачков на трассе между приёмником и передатчиком, (XX) – обозначение ионосферного слоя отражения сигнала. Указанные в скобках параметры могут опускаться;

- МШУ – малошумящий усилитель;

- НЗ – наклонное радиозондирование ионосферы;

- ФГБУН «НИИЯФ» – ФГБУН «Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова»;

- ФГУП «НИИУС» – ФГУП «Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации» Росстандарта;

- НИУ – научно-исследовательское учреждение;

- НКПОР – наземный комплекс приёма, обработки и распространения спутниковой информации;

- ННКА – низкоорбитальные навигационные космические аппараты;

- ННС – низкоорбитальные навигационные системы;

- НОРТ – низкоорбитальная радиотомография;

- НПО «Тайфун» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»);

- НПЧ – наименьшая применимая частота;

- ОАО НПК НИИДАР – ОАО НПК «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи»;

- ОГЯ – опасное гелиогеофизическое явление;

- ОКП – околоземное космическое пространство;

- ОКСИОН – Общероссийская комплексная система оповещения населения;

- ОРЧ – оптимальная рабочая частота;

- ОТИЗ – обратное трансионосферное радиозондирование;

- ПАК – программно-аппаратный комплекс;

- ПКК – пилотируемый космический комплекс;

- ПНС – подсистема низовой связи;

- ПО – программное обеспечение;

- ППШ – поглощение в полярной шапке;

- ППС – поглощение типа Полярное Сияние;

- ПСД – платформа сбора данных;

- ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

- ПЭС – полное электронное содержание;

- РПДУ – радиопередающее устройство;

- РПУ – радиоприёмное устройство;

- РТ – радиотомография;

- РТС – сеть радиотомографии;

- РТЦ – радиотомографическая цепочка;

- СП – стационарный пункт;

- СПБР – приёмник сигналов низкоорбитальных навигационных и специализированных КА;

- станция ВЗ – станция вертикального радиозондирования ионосферы;

- СЦРИ – система циркулярного распространения информации Росгидромета;

- ТИЗ – трансионосферное радиозондирование;

- ТК – технический комитет;

- ТККС – транспортная корпоративная компьютерная сеть;

- УГМС –Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

- УКВ – ультракоротковолновый;

- ФГБУ – федеральное государственное бюджетное учреждение;

- ФГБУН – федеральное государственное бюджетное учреждение науки;

- ФГУП – федеральное государственное унитарное предприятие;

- ФКМ – фазо-кодоманипулированный;

- ФГБУ «ЦАО» – ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория»;

- ЦГМС – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

- ЦГМС-Р – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями;

- ЦОД – центр обработки данных;

- ЦСД – центр сбора данных;

- ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

- CADI – Canadian Advanced Digital Ionosonde (Канадский передовой цифровой ионозонд);

- COM-порт (Communications Port – последовательный порт);

- DPS – Портативный цифровой ионозонд;

- ET-EGOS – Expert Team on Evolution of Global Observing Systems (Экспертная группа по развитию глобальных систем наблюдений);

- FTP – File Transfer Protocol (протокол передачи файлов);

- GNSS – Global Navigation Satellite System (глобальная спутниковая навигационная система);

- GPS – Global Positioning System (глобальная навигационная система);

- GSM – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи;

- GST WMO – глобальная система телесвязи Всемирной метеорологической организации;

- HTTP – HyperText Transfer Protocol (протокол передачи гипертекста);

- IGRF – International Geomagnetic Reference Field (Международное отсчётное геомагнитное поле);

- IR – инфракрасный;

- IRNSS – Indian Regional Navigation Satellite System (Индийская региональная спутниковая система);

- ITU – Международный союз электросвязи;

- NAT – Network Address Translator, ретранслятор внутренних сетевых адресов во внешнюю сеть;

- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration;

- OSI – Open System Interconnection (стандартная модель взаимодействия открытых систем);

- PCA – Polar Cap Absorption, поглощение в полярной шапке;

- QZSS – Quasi-Zenith Satellite System (Квазизенитная спутниковая система);

- RINEX – Receiver Independent Exchange Format (Формат независимого обмена приёмников);

- RWD – регулярные мировые дни;

- SBAS – Space Based Augmentation System (Спутниковая система дифференциальной коррекции);

- SID – sudden ionospheric disturbances (внезапные ионосферные возмущения);

- SIM – Subscriber Identification Module (модуль идентификации абонента);

- SSH – Secure Shell (безопасная оболочка);

- SSTP VPN – Secure Socket Tunneling Protocol Virtual Private Network (безопасный протокол туннелирования интерфейсов в виртуальной частной сети);

- SWI – Специальные мировые интервалы;

- TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol (протокол управления передачей/межсетевой протокол);

- URSI – Международный научный радиосоюз;

- USB (Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина);

- UV – ультрафиолетовый;

- UT – международное время (сокращение применено при демонстрации оригинальных продуктов работы ионозондов);

- VSAT – Very Small Aperture Terminal (малая спутниковая наземная станция);

- WMO – World Meteorological Organization (ВМО);

- X – рентгеновский.

5 Методы ионосферных наблюдений

5.1 Основные методы ионосферных наблюдений

Основными методами ионосферных наблюдений являются: вертикальное радиозондирование ионосферы (далее – ВЗ), наклонное радиозондирование ионосферы (далее – НЗ), возвратно-наклонное радиозондирование ионосферы (далее – ВНЗ), внешнее радиозондирование ионосферы (далее –ВнЗ), трансионосферное радиозондирование (далее – ТИЗ), низкоорбитальная радиотомография (далее – НОРТ) и высокоорбитальная радиотомография (далее – ВОРТ), риометрический метод.

5.2 Метод вертикального радиозондирования ионосферы

5.2.1 Принцип реализации метода

5.2.1.1 Метод ВЗ основан на измерении времени распространения посланных вертикально вверх и вернувшихся обратно коротких радиоимпульсов с приемлемой степенью точности. Принимая скорость распространения импульсов равной скорости света, по времени запаздывания отражённого от ионосферы сигнала относительно испущенного можно получить действующую высоту отражения h' на данной частоте f. Так как в действительности скорость распространения сигналов в ионосфере меньше скорости света (из-за их взаимодействия с заряженными частицами), h' всегда превышает истинную высоту h. Это превышение тем больше, чем выше концентрация заряженных частиц в ионосфере и, соответственно, сильнее её влияние на распространяющиеся в ней сигналы.

5.2.1.2 При ВЗ частоту несущей радиоимпульсов изменяют от низкой к высокой. Причём каждый излучённый радиоимпульс может оставить как один, так и несколько следов на ионограмме. Эти следы будут наблюдаться до тех пор, пока частота излучаемого сигнала не сравняется, а затем и превысит некую предельную для данных условий величину, связанную с концентрацией электронов в

ионосфере. Вводится понятие критической частоты слоя (области) *fo*♯ – наивысшей частоты радиоизлучения, при которой слой (область) ионосферы не только отражает вертикально направленную радиоволну, но и пропускает её, где ♯ – наименование слоя (области) отражения.

5.2.1.3 Метод ВЗ является самым чувствительным и информативным методом исследования и контроля состояния ближнего космоса. Это обусловлено тем, что в основе метода ВЗ лежит эффект резонанса между частотой падающей (снизу) на ионосферу электромагнитной волны, испущенной ионозондом, и частотой плазменных колебаний, возбуждаемых ею в среде, в которой существуют в заметных количествах не только ионы, но, прежде всего, свободные электроны. В силу того, что последние значительно легче массивных ионов, они гораздо эффективнее, нежели ионы, взаимодействуют с радиосигналами.

5.2.2 Радиотехнические устройства для проведения ВЗ

5.2.2.1 Измерения методом ВЗ проводят с помощью ионозондов, иногда именуемых станциями вертикального радиозондирования ионосферы (далее – станции ВЗ). Ионозонд состоит из:

- импульсного генератора;
- широкополосного передатчика с передающей антенной (далее – передающая система);
- приёмного устройства с приёмной антенной (далее – приёмная система);
- преобразователя сигналов;
- блока индикатора.

Генератор возбуждает короткие прямоугольные радиоимпульсы (от 50 до 200 мкс), несущая которых меняется с частотой, как правило, в пределах от 1 до 20 МГц. Они усиливаются в широкополосном передатчике и излучаются вертикально вверх. Синхронно с перестройкой частоты широкополосного передатчика перестраиваются и входные каскады приёмного устройства, настроенные на ту же частоту, что и широкополосный передатчик. В блоке преобразователя сигналов частоты формируются высотные и частотные метки. В блоке индикатора

эти метки смешиваются с отражёнными сигналами, в результате чего возникает панорамное изображение ионосферы – её высотно-частотная характеристика.

5.2.2.2 Основы единой международной методики, прописывающей правила обработки данных наблюдений и необходимой для сопоставимости результатов, выработаны при подготовке и проведении двух Международных геофизических годов: первого – в 1957 и 1958 гг., приуроченного к максимуму 11-летнего цикла солнечной активности и второго – в 1964 и 1965 гг. – Международного года спокойного Солнца. Измерения характеристик ионосферы проводились на аналоговой аппаратуре. Массив результатов измерений, архивируемый в Мировых центрах данных до конца XX века, состоит из киноплёнок с изображениями ионограмм и результатов их ручной обработки.

5.2.2.3 Современные средства радиолокации ионосферы основаны на цифровой технике. Это, с одной стороны, позволяет повысить точность регистрируемых стандартных параметров (критических частот и действующих высот отражений), с другой – полностью или частично автоматизировать процедуру обработки данных измерений. К числу наиболее широко распространённых зарубежных комплексов подобной аппаратуры относятся «Digisonde» и «Dynasonde-21». Из отечественных разработок наиболее известны ионозонды серии АИС, «Авгур» и «Парус». Анализ цифровых ионограмм позволяет расширить число измеряемых ионосферных радиофизических параметров: регистрировать не только действующие высоты отражения, но и частотные зависимости амплитуды сигнала, фазы, доплеровского сдвига, поляризации и т. д.

5.2.3 Восстановление Ne(h)-профиля ионосферы

Завершающим этапом метода ВЗ является расчёт $N_e(h)$-профиля ионосферы, N_e – концентрация электронов. Формально это численное решение интегрального уравнения Вольтерра для каждой в отдельности из магнитоионных компонент отражённого от ионосферы сигнала.

Действующая высота отражения h' для радиоволны с частотой f, падающей на ионосферу вертикально, вычисляется по формуле

$$h' = h_0 + \int_{h_0}^{h} n'(f,h)dh \quad , \qquad (1)$$

где h_0 – нижняя граница ионосферы (высота, где ионизация отсутствует);

h – истинная высота отражения от ионосферы, являющаяся искомой величиной;

$n' = \frac{c}{u_g} = \frac{\partial}{\partial f}(fn)$ – групповой показатель преломления частоты f,

с – скорость света,

u_g – групповая скорость – скорость движения «группы волн», образующих в каждый данный момент времени локализованный в пространстве волновой пакет,

n – показатель преломления среды, равный отношению скорости волны в вакууме к её скорости в данной среде.

В результате решения уравнения (1) находится зависимость частоты от истинной высоты отражения – $f(h)$-профиль, то есть каждой высоте ставится в соответствие плазменная частота f_p. Переход от частотной зависимости к концентрации N_e осуществляется по формуле (А.19, приложение А).

В современных ионозондах решение уравнения (1) происходит с использованием встроенных программ автоматической обработки ионограмм. Полученный $f(h)$-профиль наносятся на ионограмму.

5.3 Метод наклонного радиозондирования ионосферы

5.3.1 Назначение и область применения метода

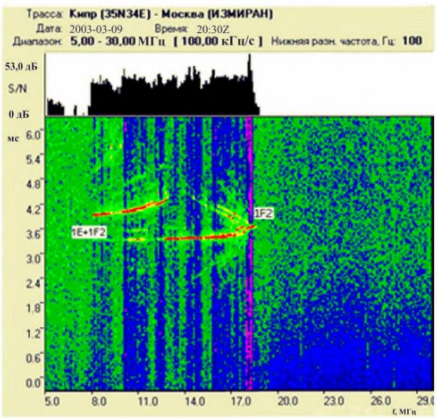
5.3.1.1 Суть метода многочастотного НЗ состоит в пространственном разносе приёмной и передающей систем ионозонда и синхронизации процессов излучения и приёма. Метод НЗ даёт как возможность прямого экспериментального исследования прохождения радиоволн на фиксированной дальности, так и возможность оценки состояния ионосферы в области средней точки радиотрассы на

расстояниях односкачкового прохождения. Метод НЗ обладает возможностями исследования радиофизических проявлений локализованных искусственных ионосферных возмущений – бистатическое радиозондирование.

5.3.1.2 Результатом наклонного радиозондирования ионосферы является ионограмма НЗ, которая отражает частотную зависимость группового запаздывания сигналов, прошедших различными путями в ионосфере, в точке приёма, т. е. модовую структуру волнового поля.

На рисунках 1а и 1б приведены примеры современных ионограмм НЗ на основе использования технологии линейно частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала на практически ортогональных трассах с наличием комбинированной моды 1E+1F2 (1F2+1E), соответственно, Кипр – ИЗМИРАН и Англия – ИЗМИРАН (март 2003 г.).

а



б

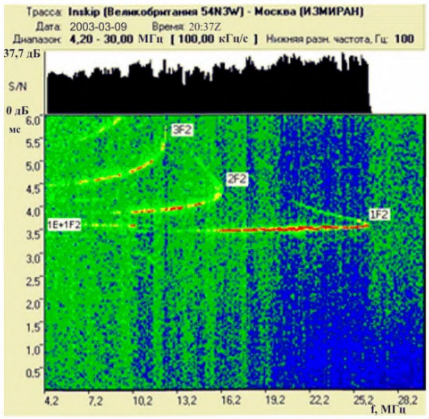


Рисунок 1 – Пример экспериментальных ионограмм НЗ

5.3.1.3 Метод НЗ даёт прямое измерение максимально применимой частоты (МПЧ) ионосферных слоёв для дальности радиотрассы.

5.3.1.4 В методе НЗ разделяют прямую и обратную задачи. В экспериментальном плане прямая задача состоит в регистрации модовой структуры волно-

вого поля, связанной с отражениями от ионосферных слоёв – функции группового пути и, возможно, углов прихода от частоты зондирования. Теоретический аспект прямой задачи имеет своей целью синтез ионограммы НЗ в математической модели ионосферы на основе механизмов переноса излучения, как правило, в приближении геометрической оптики для волнового уравнения, что важно для задачи прогнозирования прохождения радиоволн в ионосфере. Цель обратной задачи НЗ – оценка распределения концентрации электронов, на основе данных о групповом запаздывании и возможных дополнительных измерениях углов прихода, как функции частоты односкачковых мод.

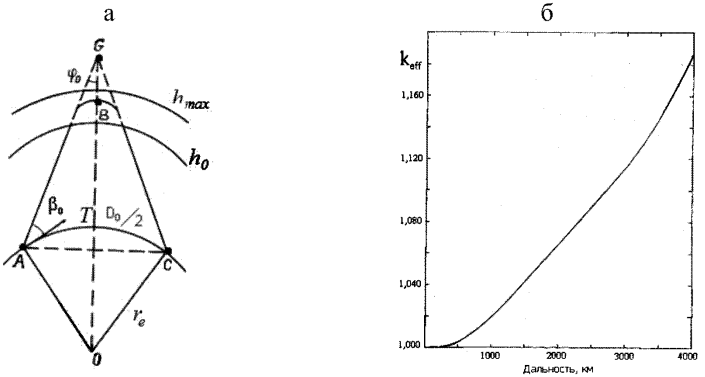
5.3.1.5 В отличие от ионограмм ВЗ в ионограммах НЗ имеет место разделение следа мод на нижний и верхний лучи (рисунок 1), и точка их смыкания имеет специальный термин – МПЧ ионосферного слоя. Её величина в основном зависит от критической частотой слоя, но также и от других параметров слоя: высоты, полутолщины и от распределения нижележащей ионизации.

5.3.1.6 В применении к практике ионосферной радиосвязи используется параметр – наименьшая применимая частота (НПЧ). Данная частота соответствует нижнему пределу частотного интервала наличия связи. Её значение зависит от уровня поглощения радиоволн на радиотрассе (затухание радиоволн уменьшается с ростом частоты), уровня электромагнитных шумов в месте приёма и того уровня напряжённости поля, который требуется для обеспечения технической устойчивости передачи информации. В экспериментальных исследованиях ионосферы используется также термин наименьшая наблюдаемая частота (ННЧ) – наименьшая частота, на которой возможна регистрация радиосигналов НЗ.

5.3.1.7 Некоторой разновидностью метода НЗ можно считать случай совмещения пунктов излучения и приёма с промежуточным обратным отражением (рассеянием) от земной поверхности – метод ВНЗ.

5.3.2 Восстановление Ne(h)-профиля ионосферы

5.3.2.1 В приближении плоской изотропной ионосферы между ионограммами НЗ и ВЗ существует взаимосвязь, определяемая аналитическими соотношениями. Согласно теореме Брайта и Тьюва время распространения волны из точки А в точку В через ионосферу равно времени распространения волны из точки А в точку G в свободном пространстве (рисунок 2а).



а – схема простого соответствия механизма НЗ;

б – зависимость эмпирического поправочного коэффициента от дальности.

β_0 – вертикальный угол прихода;

D_0 – дальность радиотрассы вдоль земной поверхности;

φ_0 – угол между волновым вектором и нормалью к изолинии концентрации электронов ионосферы на действующей высоте отражения $h' = TG$.

Рисунок 2

Связь между частотами наклонного f_{obl} и вертикального f_v зондирования определяется согласно теореме Мартина, известной как закон секанса,

$$f_{obl} = f_v \sec \varphi_0, \qquad (2)$$

Для учёта кривизны Земли и ионосферы в соотношение (2) вводится эмпирический поправочный коэффициент k_{eff} и тогда

$$f_{obl} = k_{eff} f_v \sec \varphi_0. \quad (3)$$

где k_{eff} – функция действующей и истинной высот, дальности и т. д., не имеет общего аналитического представления. Область допустимых значений k_{eff} в зависимости от дальности D_0 лежит в пределах от 1,0 до 1,2 – (рисунок 2б).

Действующая высота отражения вертикально падающей на ионосферу радиоволны с частотой f_v, обозначаемая h', и групповой путь P' связаны соотношением

$$h' = -r_e(1-\cos\alpha_1) + \sqrt{\frac{[P'(f_{obl})]^2}{4} - (r_e \sin\alpha_1)^2}, \quad (4)$$

где r_e – радиус Земли;

$\alpha_1 = D_0/(2r_e)$;

$P'(f_{obl})$ – групповой путь радиоволны с частотой f_{obl}, падающей наклонно.

Значение $\cos\varphi_0$ можно определить из соотношения

$$\cos\varphi_0 = \frac{\left[\frac{P'(f_{obl})}{2}\right]^2 + 2r_e h' + h'^2}{P'(f_{obl})(r_e + h')}. \quad (5)$$

Последовательно применяя соотношения (4), (5) и (3), ионограмму НЗ пересчитывают в эквивалентную (эффективную) ионограмму ВЗ и далее в высотный профиль электронной концентрации.

Существенным ограничением данной методики пересчёта является пренебрежение эффектом магнитоионного расщепления и влиянием горизонтальной неоднородности ионосферы.

5.3.2.2 Оценку ионосферных параметров, в частности высотного $N_e(h)$-профиля, проводят также, решая обратную задачу НЗ для изотропной сферически-слоистой одномерной ионосферы с асимптотическим учётом влияния магнитоионного расщепления

$$P'(f_m) = 2\int_{r_e}^{r_m} \frac{r\,dr}{\sqrt{r^2 n^2 - r_e^2(\cos\beta_0^m)^2}}, \quad (6)$$

$$D_0 = 2\int_{r_e}^{r_m} \frac{r_e^2 \cos\beta_0^m dr}{r\sqrt{r^2 n^2 - r_e^2(\cos\beta_0^m)^2}}, \quad (7)$$

где для каждой зондирующей радиоволны частоты f_m определены:

r_m – высота отражения, отсчитываемая от центра Земли,

β_0^m – вертикальный угол прихода.

5.3.2.3 Оценки параметров ионосферы в главном ионосферном максимуме для дневных условий радиотрассы меридионального направления по данным НЗ лежат в некоторой середине параметров в точках передающего и приёмного устройств (терминальных точках). Пример восстановления высотных профилей электронной концентрации по данным комплексного (ВЗ и НЗ) радиозондирования ионосферы на радиотрассе Дурбс (Бельгия) – Рокитес (Испания) 1992-06-21 приведён на рисунке 3. Данные радиозондирования ионосферы получены двумя классическими импульсными ионозондами ВЗ Digisonde 256, дополнительно к их базовой функции ВЗ была реализована процедура регистрации взаимных ионограмм НЗ. На рисунке 3 представлены профили электронной концентрации: сплошные линии – в терминальных точках, полученные по данным ВЗ; квадратики – восстановленные по ионограммам НЗ, принятым в Дурбс – Рокитес.

Для наглядности высотный профили в Рокитес смещены на + 1 МГц в частотной области.

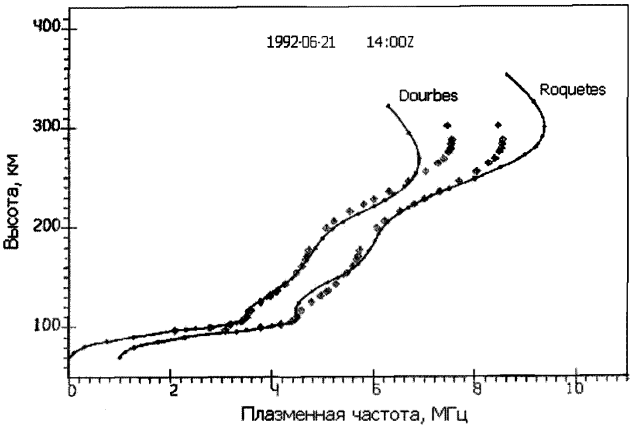
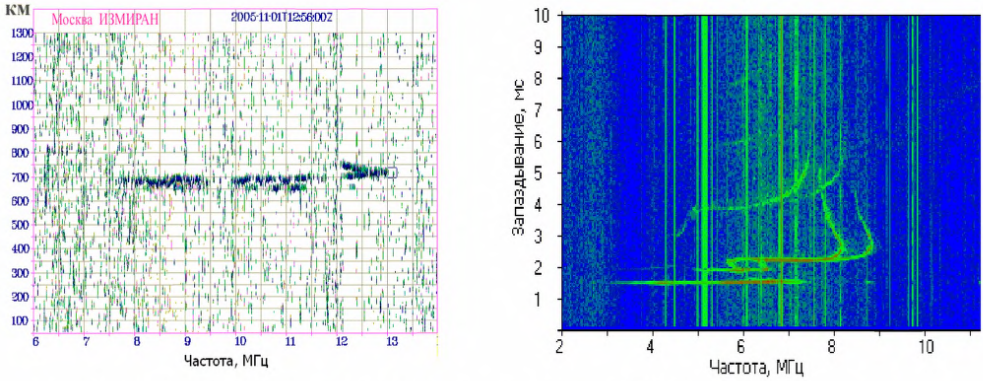


Рисунок 3 – Профили электронной концентрации

5.3.3 Вид радиосигнала в реализации метода НЗ

5.3.3.1 Важным элементом в технике проведения многочастотного НЗ является вид применяемого сигнала и технология его обработки. В радиофизических ионозондовых исследованиях в настоящее время применяются три вида сигналов: простой гладкий импульс (классический метод), фазо-кодоманипулированный (ФКМ) и ЛЧМ сигналы. В НЗ практика использования ФКМ сигналов практически отсутствует в силу дисперсионных искажений, которые существенны даже при ВЗ. На рисунке 4а приведена ионограмма НЗ, снятая с применением цифровых методов обработки классического импульсного сигнала на трассе Калининград – ИЗМИРАН, имеющей дальность ~ 1100 км. Видно разделение мод, формирующихся при отражении от ионосферных слоёв, МПЧ, но не хватает разрешения для качественного разделения магнитоионных компонент внутри мод, верхних лучей и следов кратных отражений.

а б



а – с использованием простого импульсного метода,

б – на основе применения ЛЧМ-сигнала

Рисунок 4 – Ионограммы НЗ

5.3.3.2 В основе метода использования ЛЧМ-сигнала лежит перевод группового запаздывания зондирующих сигналов в частотное пространство и использование развитых методов спектрального анализа для их разрешения. Для этого частоты передатчика и приёмника синхронно перестраиваются и вследствие того,

что для различных мод время прохождения расстояния между двумя конечными точками трассы различается, в суммарном волновом поле они будут иметь различное частотное смещение. Чем ниже скорость перестройки, тем большая энергия может быть передана в конкретном частотном интервале, тем выше будет соотношение сигнал/шум и меньше требуемая мощность излучения. Однако при этом возрастает общее время зондирования. Разрешающую способность данного метода так же, как и в классическом случае, ограничивает дисперсионное искажение при расширении полосы зондирующего сигнала и рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях. В настоящее время наиболее употребительной скоростью перестройки является ~ 100 кГц/с. Мощность передатчика варьируется в пределах от 100 Вт до 2 кВт непрерывного излучения. Первые ионограммы НЗ на основе этого принципа были получены в начале 70-х. Для ЛЧМ-сигнала также развита технология измерения углов прихода. Пример современной ионограммы НЗ, полученной на трассе ИЗМИРАН – Нижний Новгород (~ 500 км, 2012-08-30T10:06Z), представлен на рисунке 4б. Использование техники ЛЧМ-зондирования позволяет выделить не только базовые моды, но и различить магнитоионные компоненты внутри этих мод. Качество ионограмм НЗ в технике ЛЧМ-зондирования, в общем, заметно выше по сравнению с простым импульсным методом.

5.4 Радиозондирование ионосферы с искусственных спутников Земли

5.4.1 Внешнее радиозондирование ионосферы

5.4.1.1 Ионозонд, установленный на ИСЗ дает возможность получать информацию о структуре и процессах на высотах между ИСЗ и максимумом ионосферы. Общее название такого метода исследования – внешнее радиозондирование. Если орбита ИСЗ находится ниже максимума слоя F2, то может использоваться термин внутреннее радиозондирование.

5.4.1.2 При ВнЗ вдоль всей траектории полёта спутника могут быть получены следующие параметры: критическая частота и высота максимума слоя F2 (foF2, h_{max}F2); распределение электронной концентрации от ИСЗ до главного

максимума электронной концентрации слоя F2 – $N_e(h)$-профиль. Параметры распределения электронной концентрации выше h_{max}F2 не могут быть получены при ВЗ. Соответственно при ВнЗ слой F1 и области E и D будут недоступны для тщательного анализа, характерного для радиозондирования.

5.4.1.3 В таблице 1 приведены значения основных параметров орбит ИСЗ с ионозондами на борту и даты их запуска.

Таблица 1

Название ИСЗ	Перигей, км	Апогей, км	Наклонение, градусы	Дата запуска
Alouette-1	1031	996	80,5	1962-09-29
Alouette-2	2982	508	79,8	1965-11-28
ISIS-I	3523	574	88,4	1969-11-30
ISIS-B	1700, круговая		75	1971
Explorer XX	800, круговая		Полярная	1964-08-25
ISS-b	1220	972	70	1978-04-24
Интеркосмос 19 (далее – ИК-19)	600	1000	74	1979
Космос 1809 (далее –К1809)	940	980	84	1986-12-21
Пилотируемый космический комплекс (ПКК) МИР	370	340	52	март 1996
Примечание – Запуск ИСЗ ИК-19, К 1809, ПКК МИР осуществлён в СССР, запуск ISS осуществлён Японией. Остальные ИСЗ запущены США и Канадой, позже присоединились Великобритания, Франция.				

5.4.1.4 Для космических ионозондов конкурирующими характеристиками являются пространственное разрешение (расстояние, проходимое спутником между двумя ионограммами) и частотное разрешение (разница по частоте между двумя последовательными импульсами). Выбирается компромиссное решение между возможностью детального исследования вертикальной структуры ионосферы по одной ионограмме и возможностью изучения пространственной структуры ионосферы на основе серии ионограмм. Так, например, ионозонд на ИСЗ «Эксплорер-XX» получал ионограммы через каждые 750 м, но только на шести фиксированных частот, в то время как ионозонд ИС-338 (на ИСЗ ИК-19) снимал ионограммы ориентировочно через 60 км, но при съёмках каждой ионограммы производилось 338 зондирований. При этом частотный шаг в области плазменных резонансов составлял 25 кГц, а в областях снятия критических частот ионосферы 50 кГц.

В таблице 2 приведены параметры ионозондов, установленных на различных спутниках.

Таблица 2

Название ИСЗ	Диапазон частот либо дискретный набор частот, МГц	Мощность передатчика, Вт	Длительность импульса, мкс	Частота повторения импульсов, Гц	Скорость изменения частоты, МГц/с
Alouette-1	От 1 до 12 включ.	100	100	62	1
Alouette-2	От 0,2 до 13,5 включ.	300	100	30	0,12 и 1 включ.
ISIS-I	От 0,1 до 10(20)* включ.	400	98	30	Переменная от 0,31 до 1** включ.
	0,25; 0,48; 1; 1,95; 4,0; 9,303				
ISIS-B	От 0,1 до 10(20) включ.	400	87	45	Переменная от 0,25 до 1включ.
Explorer XX	1,5; 2; 2,8; 3,7; 5,5; 7,22	~ 100***	100	Время приёма 15 мс на 1 частоте	–
ISS-b	От 0,5 до 14,8 включ., шаг 0,1	Нет данных	Нет данных	Нет данных	1 или 2
ИК-19	От 0,3 до 15,95 включ.	~ 200	133	58,6	2,5
К 1809	От 0,3 до 15,95 включ.	~ 200	133	58,6	2,5
ПКК МИР	От 3 до 15,95 включ.	> 350	133	58,6	2,5

* Запись 10(20) означает, что максимальное значение диапазона при необходимости могло быть увеличено до 20 МГц.

** Переменная – скорость изменения частоты изменялась в соответствии с программой эксперимента.

***~ – приближённое значение.

5.4.1.5 Параметры научной аппаратуры отечественных спутников ИК-19 и К 1809 – системы моноимпульсного (на каждой частоте используется только один импульс) радиозондирования ионосферы ИС-388, в частности, её основного компонента, предназначенного для ВнЗ – бортового ионозонда ИОН-1:

Диапазон зондирующих частот, МГц	… от 0,3 до 15,95
Количество рабочих частот	… 338 дискретных частот с кварцевой стабилизацией
Шаг дискретности частот, кГц	… 25 в диапазоне от 0,3 до 1,5 МГц и … 50 в диапазоне от 1,5 до 15,95 МГц
Ширина полосы приёмника по уровню 0,7	… около 12 кГц
Длительность импульсов передатчика, мкс	… 133
Частота повторения, Гц	… 58,6
Число импульсов на каждой из дискретных частот	… … 1
Длительность сеанса зондирования, с	... около 6

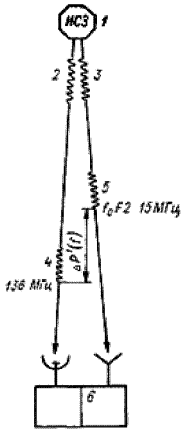
Импульсная мощность передатчика, Вт, не менее	… 140
Чувствительность приёмника, мкВ, при соотношении сигнал-шум, равном 3	… около 10 с возможностью снижения чувствительности на 20 дБ по внешней команде
Амплитудная характеристика приёмника	… близка к логарифмической, с динамическим диапазоном более 60 дБ
Питание ионозонда от сети постоянного тока с напряжением, В	… от 24 до 34
Потребляемая мощность, Вт, не более:	…
во время сеанса зондирования	… 54
между сеансами	… 0,2
Масса ионозонда, кг	… 17,2
Объем, л	… 18
Габариты, мм	… 352•316•180

5.4.2 Трансионосферное радиозондирование

5.4.2.1 Метод ТИЗ направлен на изучение внутренней структуры ионосферы. Для его осуществления необходима синхронизация работы имеющихся бортового и наземного ионозондов одного типа в фиксированном диапазоне частот, заведомо перекрывающем возможные изменения частоты отсечки.

5.4.2.2 Схема метода. Излучающий ионозонд располагается на борту ИСЗ, а работающая только в режиме приёма аппаратура – на Земле (рисунок 5). Бортовой ионозонд излучает синхронно тактами два радиоимпульса, один из которых, используется для синхронизации и заполнен постоянной частотой. Его длительностью ~10^{-5}с и частота, превышает 100 МГц, (использовались частоты от 136 до 138 МГц). Синхроимпульс проходит ионосферу насквозь с минимальной групповой задержкой и с возможно меньшим отклонением (за счёт рефракции) от прямой, соединяющей передатчик и приёмник.

Второй радиоимпульс длительностью от 50 до 70 мкс заполнен меняющейся от импульса к импульсу зондирующей частотой на границе диапазона радиопрозрачности ионосферы в диапазоне работы станции ВЗ. После наклонного прохождения обоими импульсами всей ионосферы в каждом такте низкочастотный импульс вследствие большой групповой задержки движется позади высокочастотного импульса, и частотная зависимость этого запаздывания (пересчитанная в километры) регистрируется приёмником на Земле в виде трансионограммы.



1 – ионозонд на ИСЗ;

2, 4 – высокочастотный сигнал ($f \geq 100$ МГц);

3, 5 – меняющийся сигнал в диапазоне зондирования;

6 – приёмник

Рисунок 5 – Принципиальная схема ТИЗ

Разность условного расстояния, определяемая по времени задержки между приёмом низкочастотного и высокочастотного сигналов в предположении, что скорость распространения сигналов постоянна и равна скорости света в вакууме, и истинного расстояния между ИСЗ и наземной станцией ВЗ называется приведённым групповым путём $\Delta P'(f)$. Пространственная структура внутренней ионосферы может быть представлена рядом зависимостей электронной концентрации от дальности вдоль луча на трансионосферных траекториях. Частотные зависимости трансионосферных сигналов обычно помещают на ионограммах ВЗ или ВнЗ (рисунок 6).

При одном прохождении бортового ионозонда над земной приёмной аппаратурой снимается серия трансионограмм, характеризующая ионосферу, расположенную между бортовым ионозондом и приёмником. Упомянутая серия вместе с серией ионограмм ВнЗ ложится в основу вычисления пространственной структуры ионосферы в зоне радиусом 5000 км вокруг наземной станции ВЗ.

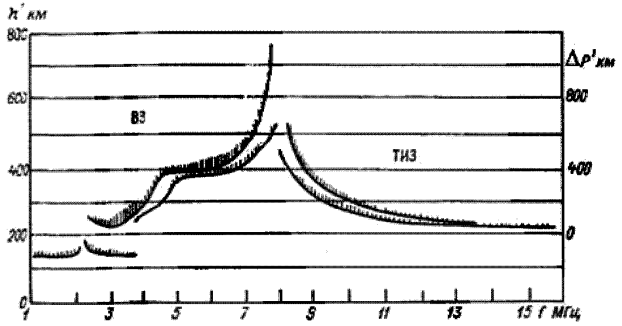


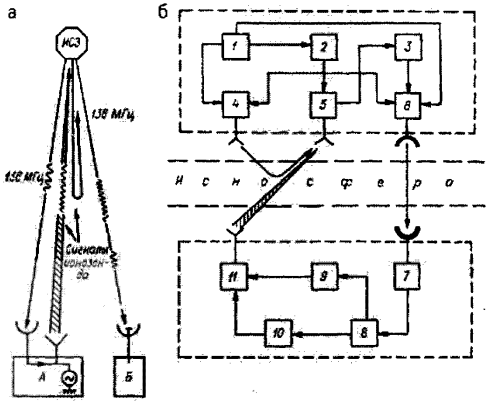
Рисунок 6 – Комплексная ионограмма ВЗ и ТИЗ

5.4.2.3 Для повышения информативности и большей устойчивости приёма сигналов ТИЗ, помимо дополнительной последетекторной обработки сигнала, целесообразно увеличить отношение сигнал/шум в трансионосферном канале. Для этого используется схема обратного трансионосферного радиозондирования (далее – ОТИЗ) с повышенной мощностью излучаемого сигнала. Мощный передатчик в этой схеме (рисунок 7а) располагается на Земле и синхронизируется по сигналам ИСЗ, а сброс информации о прохождении трансионосферного сигнала осуществляется на два пункта.

5.4.2.4 Функциональная схема устройства ОТИЗ приведена на рисунке 7б. По команде или автономно по заданной программе генератор вырабатывает сигнал, которым синхронно модулируются зондирующий передатчик и ультракоротковолновый (далее – УКВ) передатчик. УКВ передатчик излучает радиосигналы на постоянной частоте телеметрического канала, а зондирующий передатчик – в диапазоне зондирования на переменных дискретных частотах, определяемых диапазонным синтезатором, перестройкой которого по диапазону управляет генератор. Отражённые от ионосферы эхо-сигналы принимаются приёмником, перестраиваемым синтезатором. С выхода приёмника эхо-сигналы поступают в модулятор УКВ передатчика и транслируются на Землю.

Принятые на Земле УКВ приёмником сигналы поступают на селектор, который управляет диапазонным синтезатором и модулятором, таким образом,

чтобы наземный передатчик излучил синхронно с бортовым передатчиком радиоимпульсы на тех же частотах, но с необходимым временны́м сдвигом. Радиосигналы наземного зондирующего передатчика, прошедшие снизу ионосферу насквозь, принимаются бортовым приёмником и с помощью модулятора подмешиваются к эхо-сигналам бортового ионозонда и вместе с ними транслируются УКВ передатчиком на Землю, где принятые УКВ приёмником, наряду с опорными и эхосигналами, регистрируются на ионограмме. При ОТИЗ следует дополнительно учитывать временны́е сдвиги излучаемого с Земли сигнала, обусловленные запаздыванием опорного сигнала на трассе ИСЗ – Земля.



а – принципиальная схема ОТИЗ

б – функциональная схема ОТИЗ:

на ИСЗ: 1 – генератор, 2 – диапазонный синтезатор, 3 – модулятор, 4 – зондирующий бортовой передатчик, 5 – приёмник, 6 – УКВ передатчик;

на Земле: 7 – УКВ приёмник, 8 – селектор, 9 – диапазонный синтезатор, 10 – модулятор, 11 – наземный передатчик

Рисунок 7

5.4.2.5 Вопросы синхронизации бортовых и наземных ионозондов могут решаться различными способами. В настоящее время синхронизация наземного и бортового ионозондов может осуществляться по сигналам спутников GPS (Global Positioning System – глобальная навигационная система).

5.4.2.6. Большую информативность имеют результаты комплексных наблюдений при одновременной работе аппаратуры двух наземных пунктов, оснащённых установками ВЗ и ТИЗ, и спутникового ионозонда. При этом в различных комбинациях регистрируются ионограммы ВЗ, ВнЗ и трансионограммы, что позволяет при пролёте ИСЗ определить пространственную картину изменения электронной концентрации в обширных районах. Это позволяет точнее провести расчёт полного $N_e(h)$-профиля, так как возможное влияние горизонтальных градиентов электронной концентрации в данном случае сведено к минимуму. Наблюдается удовлетворительная стыковка $N_e(h)$-профилей внешней и внутренней ионосферы. Возможные рассогласования могут быть связаны как с погрешностями отсчёта критических частот на ионограммах, так и с существованием в ионосфере горизонтальных градиентов электронной концентрации.

5.5 Системное радиозондирование ионосферы

5.5.1. Современное радиозондирование, осуществляемое из одного пункта, включает в себя четыре известных сегодня вида радиозондирования: ВЗ, НЗ, являющиеся наземными исследованиями, ВнЗ и ТИЗ, проводящиеся с использованием ионозондов на космических аппаратах (КА). Ясно, что при этом из одного пункта можно получить информацию о явлениях различной пространственной протяжённости, начиная с размеров, сравнимых с длиной волны ($\lambda \approx 50$ м), и кончая размерами, намного превышающими размеры первой зоны Френеля, т. е. по горизонтали сравнимыми с высотой максимума ионосферы (от 200 до 350 км). Это касается методов ВЗ и НЗ. Если же пункт оборудован дополнительно устройствами для приёма сигналов ВнЗ и ТИЗ, то при высоте орбиты ИСЗ порядка 1000 км из этого пункта можно наблюдать за состоянием ионосферы на расстояниях, достигающих 5000 км. На рисунке 8 отображена схема системного радиозондирования ионосферы.

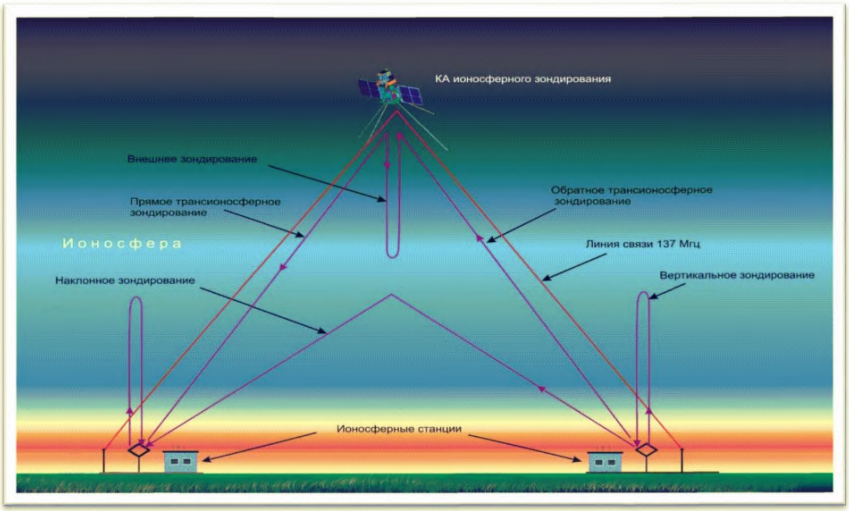


Рисунок 8 – Схема системного радиозондирования ионосферы

Современные ионосферные наблюдения представляют собой двухъярусную (наземно-космическую) систему, функционирующую по единой программе проведения измерений, получения и первичной обработки данных измерений, их сбора, завершающей обработки и передачи в региональные и федеральный информационные центры, доведения запрашиваемой информации до пользователей. Отсюда ясно, что для совмещения работ наземной и космической техники по программам ВЗ, ВнЗ и ТИЗ необходимо предусмотреть подключение адаптивных режимов зондирования штатных как наземных, так и бортовых измерительных комплексов. Необходимо оборудовать также основные и резервные каналы передачи информации.

5.5.2 Основные принципы использования метода системного радиозондирования, которые позволяют наиболее полно реализовать все его преимущества:

- измерительная система должна обеспечивать синхронную и синфазную частотную перестройку передающих и приёмных систем четырёх видов радиозондирования – ВЗ, НЗ, ВнЗ, ТИЗ;

- сочетание измерительных средств и вычислительной техники должно позволять получать частотные зависимости всех радиофизических характеристик

каждого прошедшего ионосферу сигнала (действующей высоты отражения $h'(f)$, амплитуды, фазы, доплеровского сдвига частот, поляризации). Из этих измерений должна быть получена вся геофизическая информация;

- необходим глобальный мониторинг ионосферы на основе органического синтеза региональных мониторингов, осуществляемых ограниченным количеством современных наземных СП ионосферных наблюдений и мониторинга с ИСЗ, находящихся на полярных и, по возможности, солнечно-синхронных орбитах.

5.6 Методы радиотомографии ионосферы

5.6.1 Назначение радиотомографического сегмента ионосферной наблюдательной сети

Методы радиотомографии (далее – РТ) ионосферы служат для определения радиотомографических разрезов ионосферы и трёхмерных распределений электронной концентрации ионосферы.

Радиотомографическое просвечивание ионосферы позволяет решать ряд научных и прикладных задач:

- мониторинг пространственного распределения и временно́й динамики электронной концентрации в ионосфере;

- определение региональных особенностей вариации поля электронной концентрации в ионосфере для уточнения существующих ионосферных моделей;

- изучение эволюции и определение механизмов формирования неоднородностей электронной концентрации в ионосфере в связи с солнечной, сейсмической и антропогенной активностью.

Возможно эффективное комплексное использование методов РТ и других методов, использующих приём и обработку сигналов спутниковых навигационных систем. Аппаратура наблюдательных пунктов во всех случаях будет одинаковой и может быть параллельно использована в различных методах наблюдений и в используемых алгоритмах.

5.6.2 Радиотомографические методы мониторинга ионосферы

В радиотомографическом сегменте наземно-спутниковой подсистемы мониторинга ионосферы используются:

- методы НОРТ;

- методы ВОРТ;

- методы усвоения измерительных данных, получаемых сетевым программно-аппаратным комплексом (ПАК) НОРТ и ВОРТ, в специально разработанных моделях ионосферы.

- методы использования в радиотомографических реконструкциях сигналов между низкоорбитальными спутниками различного назначения и сигналами глобальной навигационной спутниковой системы – использование так называемых радиозатменных схем;

- методы восстановлений профилей электронной концентрации на основе применения алгоритмов однопозиционного радиопросвечивания.

Высокая эффективность одновременного использования различных методов для получения радиотомографических реконструкций обеспечивается за счёт создания специальных центров обработки и анализа информации, в которых предполагается накапливание широкой номенклатуры данных с измерительно-наблюдательных комплексов как наземного, так и космического базирования.

5.6.3 Радиотомография ионосферы с помощью высокоорбитальных навигационных систем

Основным принципом РТ ионосферы с использованием сигналов высокоорбитальных навигационных систем (ВНС) является одновременный приём когерентных сигналов минимум на двух частотах от нескольких высокоорбитальных навигационных КА (ВНКА) несколькими ПАК. Применяются аппараты функционирующих двух глобальных спутниковых радионавигационных систем второго поколения – GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). На различных этапах развёртывания находятся ещё две системы глобального позиционирования – европейская

«Galileo» и китайская «Бэйдоу-2» («Beidou-2», европейское название «Compass»), а также две региональных системы спутниковой навигации – индийская IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System – Индийская региональная спутниковая система) и японская QZSS (Quasi-Zenith Satellite System –Квазизенитная спутниковая система).

Характерными чертами КА этих систем является наличие радиомаяков когерентных сигналов с частотами 1575,42, 1227,60, 1176,45 МГц для системы GPS и частотами (1602 + k•9/16) МГц, (1246 + k•7/16) МГц, где k – целое число, для системы ГЛОНАСС при высоте орбиты около 20 000 км. В классическом случае РТ ионосферы на основе приёма и обработки сигналов ВНКА позволяет получать трёхмерные («3D») распределения электронной концентрации в ионосфере.

Приём сигналов КА осуществляется на совокупности ПАК, располагаемых в соответствии с выбранной стратегией получения трёхмерной реконструкции электронной концентрации в ионосфере. Схема расположения ПАК, принимающих зондирующие сигналы от ВНКА с лучами этих сигналов, показана на рисунке 9.

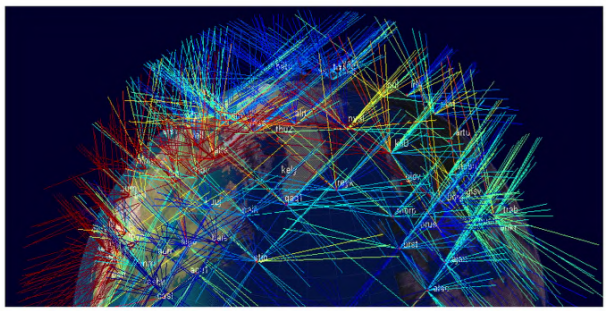


Рисунок 9 – Схема получения зондирующих сигналов ПАК ВОРТ

После получения информации от ПАК и обработки её в Центрах обработки с использованием методов и алгоритмов РТ получается пространственное трёхмерное распределение электронной концентрации в той области ионосферы, в которой имеется достаточное число лучей, пересекающих её зондирующими сигналами спутниковых навигационных систем (достаточно «густое» пространственное покрытие).

5.6.4 Радиотомография ионосферы с помощью низкоорбитальных навигационных систем

Основным принципом РТ ионосферы с помощью сигналов низкоорбитальных навигационных КА (ННКА) является одновременный приём когерентных сигналов от одного ИСЗ сетью приёмных установок. Для этих целей традиционно применяются аппараты низкоорбитальных навигационных систем (ННС) типа «Транзит» (США) и их российский аналог типа «Космос». В классическом случае приёмные установки, осуществляющие приём сигналов ННКА, располагают приблизительно на одной долготе и условно называют радиотомографическими цепочками (далее – РТЦ).

Характерными чертами КА этих систем является наличие радиомаяков когерентных сигналов с частотами 150 и 400 МГц и приполярные орбиты высотой около 1000 км. В последние годы появились системы с дополнительной когерентной частотой 1067 МГц и с орбитами, позволяющими вести мониторинг ионосферы в низких широтах, например, FORMOSAT-3/COSMIC. В классическом случае РТ ионосферы на основе сигналов ННКА позволяет получать радиотомографические разрезы ионосферы. Протяжённость этих сечений составляет от 1 до 3 тысяч километров (зависит от длины РТЦ), а высота определяется высотой орбиты ННКА и составляет около 1000 км (рисунок 10).

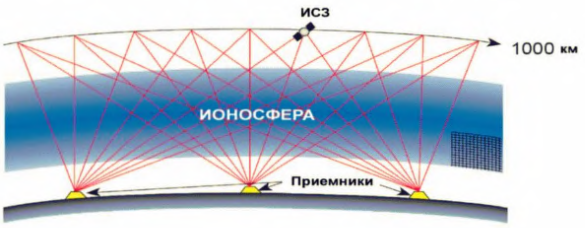


Рисунок 10 – Схема радиотомографического радиозондирования ионосферы с использованием ННКА

5.7 Риометрический метод

5.7.1 Целью риометрических наблюдений является выявление аномальных вариации поглощений космических шумов.

Риометрическая аппаратура позволяет получать информацию о солнечном ультрафиолетовом и рентгеновском излучении, солнечных протонах с энергией от 10^7 до 10^9 эВ, а также о высыпании электронов с энергией от 10^4 до 10^6 эВ и протонов с энергией от 10^6 до 10^7 эВ из магнитосферы в атмосферу Земли. Использование риометров позволяет диагностировать активность электромагнитного излучения и потоков энергичных протонов Солнца. Изучение процесса высыпания заряженных частиц из магнитосферы в атмосферу Земли позволяет решать задачи, связанные с поступлением энергии солнечного ветра в околоземное космическое пространство, а также процессы, происходящие внутри магнитосферы. Применение цепочки риометрических станций позволяет исследовать пространственно-временную структуру D-области ионосферы.

5.7.2 Риометрическая аппаратура состоит:

- риометра: высокочувствительного измерительного приёмника с рабочей частотой 30 МГц – для преобразования сигналов космического радиоизлучения.

- АФК: фазированной коротковолновой антенны из двух двойных диполей с диаграммой направленности ориентированной в зенит – для приёма сигналов космического радиоизлучения и фидерного тракта (коаксиального кабеля с согласующим трансформатором) – для передачи сигнала от антенны к риометру.

5.7.3 Риометрическая аппаратура принимает и обрабатывает постоянный фоновый сигнал космического коротковолнового радиоизлучения на фиксированной частоте (30 МГц). В течение суток уровень сигнала плавно меняется от максимума до минимума и при отсутствии возмущающих факторов эта вариация сохраняется (по амплитуде и форме) каждые сутки. Ежедневный невозмущённый повторяющийся уровень принимаемого сигнала называется кривой спокойного дня (КСД).

Понижения интенсивности сигнала относительно устойчивого фонового уровня записи представляют собой аномальные возмущения, основные из которых ППШ (Поглощение типа Полярной Шапки) и ППС (Поглощение типа Полярного Сияния).

Повышения уровня записи могут быть вызваны помехами - местными источниками электромагнитного излучения (передатчик, сварочные аппараты, бытовая техника и др.) или пургой, а также естественным фактором – возрастанием радиоизлучения после солнечных вспышек («шумовые бури»).

5.8 Радиоволновые методы контроля состояния ионосферы

Кроме перечисленных выше применяют также и некоторые другие радиоволновые методы контроля состояния ионосферы.

На рисунке 11 представлена схема, иллюстрирующая соотношение различных методов контроля состояния ионосферы с помощью радиоволн в диапазоне высот от 10 км до 1000 км (вертикальная ось). По горизонтальной оси отложены частоты f, на которых работают те или иные методы диагностики ионосферы, (внизу) или длины λ соответствующих радиоволн (вверху).

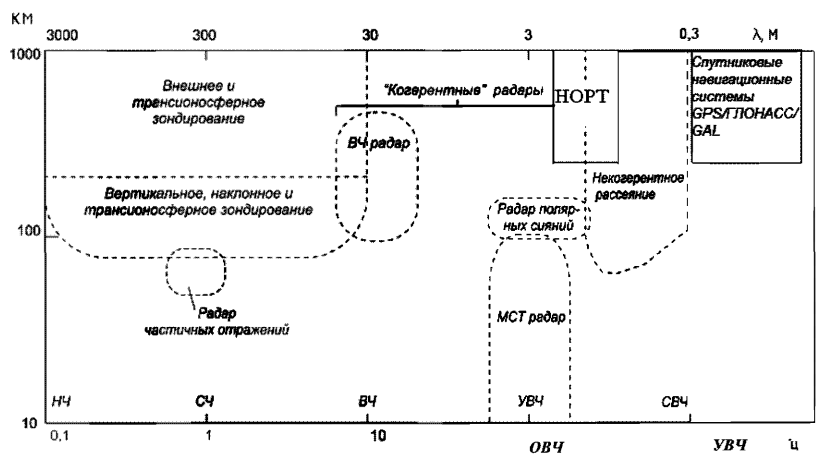


Рисунок 11 – Современные радиоволновые методы контроля состояния ионосферы

6 Средства ионосферных наблюдений

6.1 Средства наблюдений ионосферы методом ВЗ

6.1.1 Наземная станция ВЗ «Парус-А»

6.1.1.1 Назначение ионозонда «Парус-А»

Станции вертикального радиозондирования ионосферы наземные «Парус-А» (далее – ионозонды «Парус-А») предназначены для измерений времени задержки радиоимпульса, импульсного напряжения переменного тока, а также для отображения результатов измерений и расчётных величин.

Продуктом работы ионозонда является ионограмма, которая в зависимости от её качества и степени детальности обработки может дать информацию о состоянии основных ионосферных слоёв и областей (F2, F1, E, Es), о высотном профиле электронной концентрации в ионосфере, о параметрах, определяющих условия распространения радиоволн. Правильная и максимально полная обработка ионограмм является важным этапом цепочки получения геофизической и радиофизической информации при ионосферном радиозондировании.

Ионозонд обеспечивает решение следующих задач:

- определение частотной зависимости действующих высот отражённых ионосферой сигналов (ионограмм ВЗ);

- автоматическое построение высотного профиля электронной концентрации ионосферы $N_e(h)$;

- автоматическое формирование стандартных телеграмм с измеренными параметрами ионосферы;

- определение частотной зависимости действующих расстояний между ИСЗ и наземной станцией ВЗ (трансионограммы);

- организацию базы данных ионосферных измерений;

- подготовку данных для передачи потребителям по протоколу FTP (File Transfer Protocol – протокол передачи файлов) по сети Интернет.

6.1.1.2 Состав ионозонда «Парус-А»

Конструктивно ионозонды выполнены в виде функциональных блоков: радиоприёмного устройства (РПУ), радиопередающего устройства (РПДУ), комплекса управления (КУ) и комплекса обработки ионограмм (КОИ). РПДУ представляет собой моноблок, выполняющий функции передатчика. РПУ представляет собой модульную конструкцию, выполненную в стандарте «Евромеханика» и имеет две конструктивные модификации. В первой модификации управление ионозондом осуществляется от персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ), встроенной в РПУ. При этом монитор, клавиатура и манипулятор «мышь» подключены к РПУ снаружи. Во второй модификации управление ионозондом осуществляется от ПЭВМ, которая в целом конструктивно не входит в блок РПУ.

6.1.1.3 Принцип действия

Принцип действия ионозонда состоит в генерировании импульсного сигнала 100-микросекундной длительности, с заполнением несущей частотой от 1 до 20 МГц, излучаемого антенно-фидерным комплексом (АФК), не входящим в состав ионозонда, и измерении времени задержки этого сигнала после его отражения от слоёв ионосферы.

По условиям эксплуатации ионозонды удовлетворяют требованиям группы 2 по ГОСТ 22261 с диапазоном рабочих температур от 10 °С до 35 °С, относительной влажностью воздуха 80 % при температуре 25 °С.

Внешний вид ионозондов представлен на рисунках 12 — 14.

6.1.1.4 Характеристики радиопередающего устройства

Технические и метрологические характеристики радиопередающего устройства приведены в таблице 3.



Рисунок 12 – Внешний вид РПУ (модификация 1)



Рисунок 13 – Внешний вид РПУ (модификация 2)



Рисунок 14 – Внешний вид РПДУ

Таблица 3

Характеристика	Номинал
Диапазон рабочих частот, МГц	От 1 до 20
Импульсная мощность излучения, кВт	Не менее 10
Средняя мощность излучения, Вт	От 45 до 75
Потребляемая мощность, не более, Вт	600
Абсолютная погрешность частоты заполнения излучаемого радиоимпульса, кГц	±5
Режим работы – круглосуточный, сеансами и непрерывный, длительность сеанса: в режиме ВЗ, не более, с в режиме ТИЗ и ОТИЗ, не более, с	 30 7

6.1.1.5 Характеристики радиоприёмного устройства

Технические и метрологические характеристики радиоприёмного устройства приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристика	Номинал
Уровень собственных шумов приёмника, дБ·Гц/Вт	−185
Диапазон рабочих частот, МГц	От 1 до 20
Диапазон аттенюации по входу РПУ ступенчатый, дБ, не менее	30
Погрешность коэффициентов усиления каналов радиоприёмного устройства не превышает: по амплитуде, дБ по фазе, градус	 0,5 1
Динамический диапазон, дБ, не менее	110
Точность привязки к системе GPS и ГЛОНАСС, мкс	1

6.1.1.6 Антенно-фидерный комплекс

АФК представляет собой приёмную и передающую антенны и фидера, соединяющие антенны и ионозонд.

Излучение и приём сигналов на ионозонде «Парус-А» производится либо на совмещённой приёмо-передающей антенне, либо (для разделения ионных компонент) – на раздельных передающей и приёмной антеннах. В первом случае полотно антенны формируется из антенного канатика сечением не менее 10 мм^2 в виде двух встроенных друг в друга и расположенных в одной плоскости большого

и малого вертикальных ромбов, растянутых на одной центральной мачте высотой 27 м и двух боковых мачтах высотой 15 м. Активное нагрузочное сопротивление составляет 600 Ом. Для согласования антенны с 75-омным выходным каскадом передатчика ставятся 2 согласующих трансформатора (75/600 Ом). Большой ромб предназначен для работы в диапазоне частот от 1 до 5 МГц, малый ромб – в диапазоне от 5 до 20 МГц. В случае работы ионозонда на совмещённую приёмо-передающую антенну для предотвращения проникновения мощных импульсов передатчика в приёмный тракт ионозонда на его входе ставится лампа-ключ.

Для разделения обыкновенной и необыкновенной компонент сигналов, отражающихся от ионосферы, приёмную антенну располагают отдельно от передающей. В этом случае большой и малый вертикальные ромбы, описанные выше, используются в качестве передающей антенны, а приёмная антенна представляет собой либо расположенные перпендикулярно друг другу две вертикальные дельты, с высотой центральной мачты 22 м, либо два скрещённых диполя. В последнем случае антенное полотно растягивается на одной центральной и четырёх боковых мачтах высотой по 6 м. Расстояние между центральной и боковыми мачтами составляет 8 м. Внешний вид АФК с совмещённой приёмо-передающей антенной, изготовленного из композитных материалов приведён на рисунке 15.

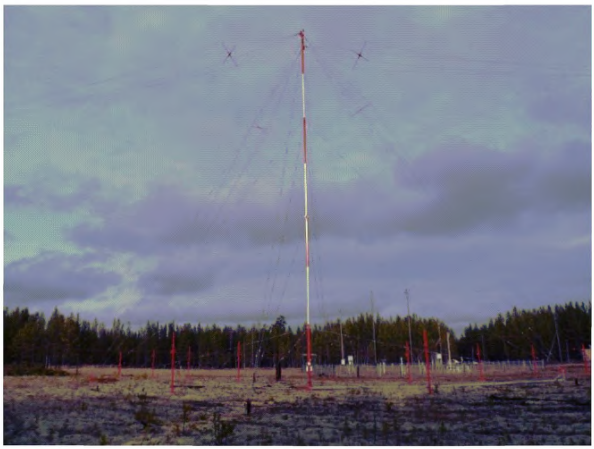


Рисунок 15 – Внешний вид АФК для ионозонда «Парус-А» на зональной гидрометеорологической обсерватории (ЗГМО) «Бор» (Подкаменная Тунгуска)

6.1.1.7 Комплекс управления

КУ обеспечивает решение следующих задач:

- автоматическое обнаружение сигналов ВЗ с очисткой поля ионограммы от помех;

- отображение результатов цифровой обработки, полученных в процессе радиозондирования ионосферы, на экране монитора;

- поиск и обеспечение работы ионозонда на частотах с минимальным уровнем помех в заданных частотных поддиапазонах;

- автоматическая обработка обнаруженных сигналов ВЗ с выделением и классификацией магнитоионных компонент;

- возможность запуска, изменение режимов работы ионозонда, модернизацию функционального программного обеспечения и передачу данных радиозондирования ионосферы по каналам связи совместимым с сетью Internet.

6.1.1.8 Комплекс обработки ионограмм

КОИ состоит из двух модулей: модуля операторской (стандартной) обработки ионограмм и модуля автоматического распознавания и анализа ионограмм. Модуль операторской (интерактивной) обработки ионограмм, обеспечивает обработку и представление результатов радиозондирования ионосферы в соответствии с действующими стандартами обмена ионосферными данными, автоматическое построение профиля электронной концентрации ионосферы, определение его параметров с формированием стандартных телеграмм, выделение мод распространения сигналов.

Модуль автоматического распознавания и анализа ионограмм предназначен для выполнения следующих основных задач:

- чтение выходных данных ионозонда «Парус-А», поступающих в соответствующий каталог локального FTP сервера, в исходном формате;

- контроль достоверности входных данных и запись частично декодированной информации в локальную или удалённую базу данных;

- формирование входного файла программы автоматической обработки ионограмм, например, файла («RDF») для программы «AutoScala»;

- запуск внешней программы автоматической обработки данных;

- занесение результатов автоматической обработки в базу данных;

- формирование выходных данных («телеграмм») в формате «IONKA»;

- отправка сформированных «телеграмм» на удалённый FTP сервер.

Пример ионограммы, зарегистрированной ионозондом «Парус-А», и результаты её обработки представлены на рисунке 16. В ПО ионозонда «Парус-А» международное время обозначено UT, что сохранено при демонстрации продуктов работы ионозонда.

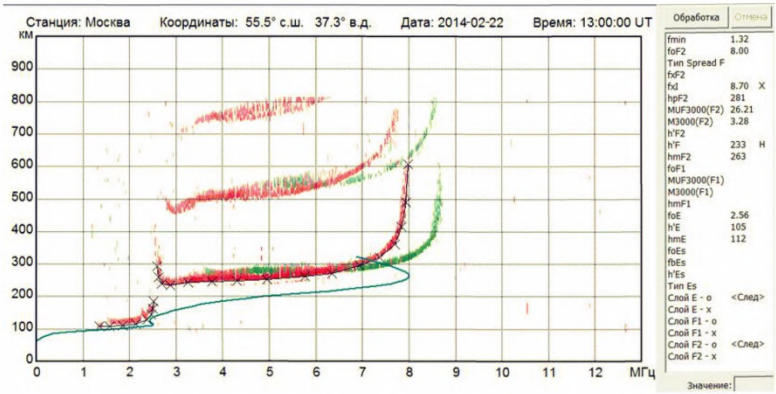


Рисунок 16 – Пример ионограммы, зарегистрированной ионозондом «Парус-А» в Москве.

6.1.2 Ионозонд CADI

Ионозонд CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde – Канадский передовой цифровой ионозонд) используется в ионосферной наблюдательной сети для арктического сегмента станций ВЗ. Внешний вид ионозонда CADI представлен на рисунке 17.

На рисунке 18 представлен АФК ВЗ на о. Хейса.



Рисунок 17 – Внешний вид ионозонда CADI



Рисунок 18 – АФК ВЗ на о. Хейса

Технические и метрологические характеристики ионозонда CADI приведены в таблице 5.

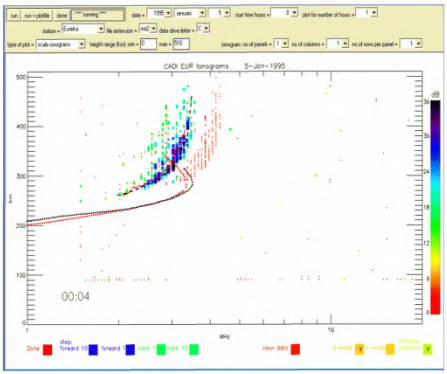
Таблица 5

Характеристика	Номинал
Пиковая мощность излучения, Вт	600
Диапазон рабочих частот, МГц	От 1 до 20
Полоса ПЧ приёмника, кГц	35
Частота повторения импульсов излучения, Гц	40
Длительность импульса, мкс	40
Точность определения высоты, км	6
Количество приёмников	4
Код сжатия импульсов	Баркеровский

Излучающий сигнал в ионозонде CADI представляет собой простой прямоугольный радиоимпульс, пиковая мощность излучения составляет 600 Вт.

Основное назначение ионозонда CADI состоит в контроле динамики слоя F2. Возможности контроля областей E и Es ограничены. На рисунке 19 показаны

примеры ионограмм, зарегистрированных ионозондами на СП ионосферных наблюдений Eureka и на о. Хейса, расположенных в полярной области.



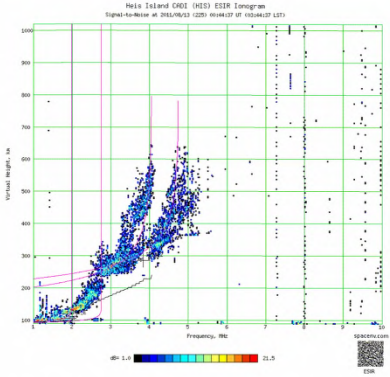


Рисунок 19 – Примеры ионограмм, зарегистрированных ионозондом CADI

6.2 Средства наблюдений и оборудование пунктов радиотомографии ионосферной наблюдательной сети

6.2.1 Задачи ПАК НОРТ и ПАК ВОРТ

6.2.1.1 ПАК НОРТ и ПАК ВОРТ входят в состав пункта наблюдения, используемого при РТ ионосферы с помощью когерентных радиосигналов ННКА и ВНКА и предназначены для диагностики состояния ионосферы методами РТ. Все ПАК ВОРТ и ПАК НОРТ являются сетевыми комплексами и объединены в соответствующих сетях радиотомографии (далее – РТС).

6.2.1.2 Задачами ПАК является

– управление работой приёмника (включение, выключение, установка рабочей частоты);

– получение данных радиопросвечивания ионосферы от приёмника;

– первичная обработка данных радиопросвечивания ионосферы;

– подготовка данных к хранению и передаче;

– передача данных.

6.2.2 Средства наблюдений и оборудование пунктов наблюдений высокоорбитальной радиотомографии

6.2.2.1 Пункты наблюдений ВОРТ оснащены сетевыми ПАК.

В состав ПАК ВОРТ входят:

- приёмник спутниковый геодезический многочастотный;
- антенна для приёма сигналов спутников ВНС с кабелем;
- персональный промышленный компьютер;
- источник бесперебойного питания;
- сетевой фильтр;
- защитный шкаф;
- модем или иное интерфейсное оборудование для передачи данных.

На рисунке 20 представлен пример внешнего вида ПАК ВОРТ и пример установки антенны ПАК ВОРТ.

а) б)



а – Внешний вид ПАК ВОРТ. Установка на столе

б – Антенна ПАК ВОРТ

Рисунок 20

6.2.2.2 Основным приёмником, которым оснащаются пункты ВОРТ, является GNSS-приёмник спутниковый геодезический многочастотный ALPHA-G3T (GNSS – Global Navigation Satellite System, глобальная спутниковая навигационная система), со встроенными автоматическими аккумуляторами, в сочетании с антеннами Javad GrAnt (модификация G3T) фирмы «Javad GNSS Inc.», США, вне-

сенный в Госреестр средств измерений за № 40861-09. По аппаратным возможностям приёмник с антенной готов к приёму сигналов спутниковых систем GPS, ГЛОНАСС, «Galileo», SBAS (Space Based Augmentation System – Спутниковая система дифференциальной коррекции), «COMPASS/Beidou», QZSS (без учёта готовности программных средств, обновляемых удалённо по сети до нужной версии) на частотах L1 (E1, B1), L2, L3 (ГЛО-НАСС блока К с кодовым разделением), L5 (E5) и других совместимых частот и систем.

6.2.2.3 В ПАК ВОРТ, установленных в 2011–2012 гг., для обеспечения хранения полной локальной копии данных на станциях использованы персональные компьютеры формата mini-ITX с:

– материнской платой Giga-Byte GA-D525TUD;

– штатным центральным процессором Intel Dual-core Atom D525 (1,8 ГГц) с активной воздушной вентиляцией;

– оперативной памятью DDR3 2048 MB (pc-10600) 1333 MHz Kingston (KVR1333D3N9/2G);

– жёстким диском 1 Tb Seagate ST1000DL002 SATA II Barracuda Green 5900 rpm;

– оптическим накопителем DVD ± RW NEC AD-7260S Black DL < 24x, SATA, OEM;

– источником бесперебойного питания APC Back-UPS Pro 550 VA/330 W;

– сетевым фильтром APC P5B-RS Essential SurgeArrest 5 outlets 230 V Russia;

– программным обеспечением Microsoft Windows 7 Pro 32-bit SP1 Russian Single packageDSP OEI DVD (FQC-04671).

Для монтажа составных частей ПАК использовался защитный шкаф ZPAS WZ-2733-01-S1-011 (SU-104) размером 223•600•400 мм (19 дюймов) из листовой стали с активным воздушным охлаждением.

6.2.2.4 В настоящее время для обеспечения хранения полной локальной копии данных на пунктах наблюдения используется промышленный встраиваемый безвентиляторный компактный компьютер на платформе x86,

совместимый с корпоративными службами развёртывания программного обеспечения WDS, включая PXE-совместимую сетевую загрузку BIOS. Этот компьютер оснащён внутренним совместимым модулем ОЗУ 4 ГБ, 204 pin, внутренним твердотельным накопителем энергонезависимой памяти mSATA 256 ГБ, процессором с частотой от 1,6 ГГц, 4 COM-портами, видеовыходом VGA, 4 USB 2.0, встроенным Ethernet LAN до 1 Гб/с, аппаратным сторожевым таймером. Компьютер потребляет не более 10 Вт, имеет пассивное охлаждение, аппаратно-поддерживаемые настройки BIOS для периодического автовключения не реже одного раза в сутки и немедленного возобновления работы после сбоев внешнего электропитания.

Компьютер имеет поддержку технологии сетевой загрузки (PXE) операционной системы с сервера сетевых установок (Windows Deployment Services) корпоративной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры. Драйвер, необходимый для использования Ethernet-адаптера компьютера на этапе первичной загрузки допускает его встраивание в загрузочный образ (boot image).

Компьютер поставляется с блоком питания расширенного диапазона температур (от минус 20°С до +70°С) и совместимым кабелем питания 1.8 м, 3-pin в комплекте с программным обеспечением Windows 7 Pro 32-bit Russian OEI DVD.

Для монтажа составных частей ПАК используется защитный шкаф размером 170•300•250 мм из полимера с прозрачной дверью, что существенно упрощает размещение ПАК ВОРТ на пунктах наблюдения и доставку комплексов на место установки.

Активное охлаждение процессора и всего шкафа производится вентиляторами с автоматической регулировкой скорости вращения в соответствии с фактическими температурными условиями внутри компьютера и внутри шкафа соответственно.

В случае замены неисправных ПАК ВОРТ, или продолжении программы установки ПАК ВОРТ в новых пунктах наблюдения в составе и характеристиках составных элементов комплексов могут происходить изменения, позволяющие улучшить технические и эксплуатационные возможности ПАК ВОРТ.

6.2.2.5 Данные измерений приёмника передаются в компьютер через порт USB (Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина) (виртуальный COM-порт (Communications Port – последовательный порт)) или через реальный COM-порт (подключены оба) и сохраняются на жёсткий диск компьютера порциями задаваемой продолжительности.

6.2.2.6 Для возможности работы ПАК через NAT (Network Address Translator – ретранслятор внутренних сетевых адресов во внешнюю сеть), брандмауэры, прокси-серверы, а также с динамически назначаемыми IP-адресами при пуске ПАК устанавливают автоматические соединения SSTP VPN (Secure Socket Tunneling Protocol Virtual Private Network – безопасный протокол туннелирования интерфейсов в виртуальной частной сети) с интерфейсным сервером ФГБУ «ИПГ». Внутри такого виртуального соединения возможно активное подключение к ПАК из Центра сбора и обработки для подавляющего большинства сервисных операций и передачи данных без необходимости действий со стороны местного персонала удалённого пункта ионосферных наблюдений.

6.2.3 Средства наблюдений и оборудование пунктов наблюдений низкоорбитальной радиотомографии

6.2.3.1 Пункты наблюдений НОРТ оснащены сетевыми ПАК.

В состав ПАК НОРТ входят:

– приёмник сигналов низкоорбитальных навигационных и специализированных КА СПБР (далее – СПБР), являющийся сетевым приёмным устройством сигналов спутников ННС (рисунки 21 – 22);

– турникетная антенна;

– кабель снижения (антенна – приёмник);

– кабель питания приёмника;

– сетевой фильтр (5 розеток), длина шнура 5 м;

– шкаф для размещения оборудования;

– специализированное программное обеспечение;

– средства для подключения к сети Интернет, включающие в себя GSM-модем (GSM – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи), внешний вид которого приведён на рисунках 23 – 24, соединительный кабель модем-приёмник; штыревую GSM антенну модема, совмещённую с кабелем, адаптер питания модема или шнур для подключения к коммутатору/маршрутизатору.

ПАК НОРТ имеет встроенную поддержку сетевых возможностей, что позволяет оперативно передавать результаты наблюдений на узлы дальнейшей обработки данных, а также осуществлять удалённый контроль работы через встроенный веб-интерфейс.



1 - индикатор питания от переменного тока (220 В, работа от сети);

2 - индикатор питания от постоянного тока (+12 В, работа от внутреннего ИБП);

3 - индикатор питания малошумящего усилителя (далее – МШУ (свидетельствует о наличии штатного напряжения на антенном усилителе);

4 - индикатор записи сеанса (загорается во время приёма спутникового сигнала);

5 - кнопка включения/выключения ЭВМ (горит зелёным светом при работающей ЭВМ);

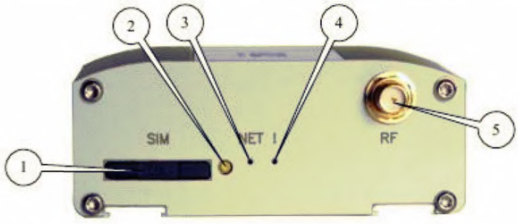
6 - кнопка включения/выключения питания приёмного устройства;

7 - кнопка включения/выключения внутреннего ИБП.

Рисунок 21 – Внешний вид передней и задней панелей СПБР



Рисунок 22 – Увеличенный фрагмент передней панели СПБР



1 - лоток SIM-карты (Subscriber Identification Module – модуль идентификации абонента);

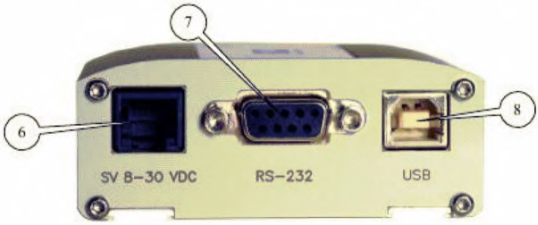
2 - выталкиватель лотка SIM-карты;

3 - светодиодный индикатор статуса соединения (зелёный);

4 - светодиодный индикатор аварии (красный);

5 - разъём SMA для подключения антенны GSM.

Рисунок 23 – Передняя панель GSM модема



6 - разъём RJ11 для подключения питания;

7 - разъём DB9 (RS232) для подключения коммуникационного кабеля;

8 - разъём USB тип B для подключения коммуникационного кабеля.

Рисунок 24 – Задняя панель GSM модема

6.2.3.2 СПБР предназначен для автоматического проведения измерений относительного полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере по спутниковым сигналам в диапазоне ± 300 ppm от номиналов 150 и 400 МГц. В результате

работы СПБР регистрируется разность фаз когерентных сигналов на частотах 150 и 400 МГц, пропорциональная относительному ПЭС на радиотрассе передатчик – приёмник. Данные используются при реконструкции распределения электронной концентрации в ионосфере методом фазоразностной томографии.

СПБР прошёл метрологические испытания и находится в стадии утверждения для внесения в Госреестр средств измерений.

6.2.3.3 Основные технические и метрологические характеристики СПБР указаны в таблице 6.

Таблица 6

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания, В	~ 220
Ток потребления, А	0,5
Потребляемая мощность, Вт	60
Центральные частоты приёма, МГц	150,012 400,032
Диапазон перекрытия центральных частот, (в относительных единицах для каждого из каналов)	$\pm 3 \cdot 10^{-4}$
Автоматическое слежение за сигналом в пределах от центральной частоты, кГц	± 10
Оцифровка частот с частотой выборок, Гц	16
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	–40
Регулировка усиления на канале 150 МГц, не менее, дБ	50
Коэффициент шума по входам малошумящего усилителя (МШУ) приёмного устройства, не хуже, дБ	3
Рабочий диапазон температур, °С	От –40 до 60 включ.
Время автономной работы, не менее, мин	45
Срок службы аккумуляторных батарей, лет	2

6.2.3.4 Штатное питание СПБР осуществляется от сети переменного тока (~220 В, 50 Гц). Для поддержания работы во время кратковременных исчезновений напряжения в сети устройство оборудовано встроенным источником бесперебойного питания (ИБП).

При отключении штатного электропитания СПБР от 40 до 50 мин работает от ИБП, после чего выключается до появления напряжения в сети. После появления напряжения происходит подзарядка аккумуляторных батарей, и затем осуществляется автоматическое включение СПБР в штатный режим работы.

7 Организация ионосферной наблюдательной сети

7.1 Организация ионосферной наблюдательной сети

Организация ионосферной наблюдательной сети проводится в соответствии с организационными основами построения государственной наблюдательной сети, её структурой и порядком открытия, переноса и закрытия пунктов наблюдений и наблюдательных подразделений РД 52.04.567.

7.2 Размещение стационарных пунктов ионосферных наблюдений

7.2.1 Размещение стационарных пунктов (СП) ионосферных наблюдений по территории определяется пространственной изменчивостью основных параметров ионосферы. В соответствии с научно-организационными принципами построения сети и по ВМО СП ионосферных наблюдений в среднеширотном районе должны располагаться на расстоянии около 500 км вдоль меридиана и около 1000 км вдоль параллели. В высокоширотной области необходима более густая сеть СП ионосферных наблюдений.

7.2.2 Установка СП ионосферных наблюдений проводится с учётом рельефа местности и работающих радиотехнических средств другого назначения.

7.2.3 Как правило, новые СП ионосферных наблюдений устанавливаются в неизученных или малоизученных в гелиогеофизическом, ионосферном, магнитном отношении районах или в районах перспективного хозяйственного освоения, где плотность наблюдательной сети недостаточна.

7.3 Порядок открытия, закрытия или переноса СП ионосферных наблюдений

7.3.1 Организация новых наблюдательных подразделений ионосферной наблюдательной сети, СП ионосферных наблюдений осуществляется в соответствии с РД 52.04.567, п.9.

7.3.2 Закрытие наблюдательных подразделений ионосферной наблюдательной сети, СП ионосферных наблюдений осуществляется в соответствии с РД 52.04.567, п.10.

7.3.3 Перенос наблюдательных подразделений ионосферной наблюдательной сети, СП ионосферных наблюдений осуществляется в соответствии с РД 52.04.567, п.11.

7.4 Документация СП ионосферных наблюдений

7.4.1 Документация СП ионосферных наблюдений состоит из:

- технической документации;
- хозяйственно-финансовой документации;
- организационно-оперативной документации;
- нормативной документации.

7.4.2 К технической документации СП ионосферных наблюдений относятся:

- учётная карточка СП ионосферных наблюдений;
- техническое дело СП ионосферных наблюдений;
- руководства по эксплуатации, схемы и технические паспорта;
- формуляры основного и электрического оборудования и средств связи.

7.4.3 Учётная карточка СП ионосферных наблюдений содержит основные текущие данные СП ионосферных наблюдений: название, синоптический индекс, координаты, разность между местным и московским временем, адрес, средства связи, характеристики служебных помещений и др.

Учётная карточка СП ионосферных наблюдений составляется в четырёх экземплярах: первый экземпляр хранится в пункте наблюдения, второй – в УГМС, третий – в Росгидромете, четвёртый – во ВНИИГМИ-МЦД.

7.4.4 Техническое дело СП ионосферных наблюдений представляет собой журнал, в который записываются все необходимые сведения о СП ионосферных наблюдений, ведётся его история, включая изменения в штате, и заносятся сведения об инспекторских осмотрах, проверках и испытаниях технических средств.

Техническое дело ведётся в двух экземплярах: первый (основной) хранится в пункте наблюдения, а второй – в УГМС.

7.4.5 Хозяйственно-финансовая документация СП ионосферных наблюдений включает инвентарные описи имущества СП ионосферных наблюдений и архива в соответствии с перечнем оборудования.

7.4.6 К организационно-оперативной документации СП ионосферных наблюдений относятся:

- технические журналы эксплуатации средств приёма сигналов спутниковых навигационных систем;

- организационно-оперативные журналы регистрации расхода электроэнергии, трафика канала связи, сдачи дежурств, и т. д.

В техническом журнале эксплуатации и регистрации всех видов работ, производимых на пункте наблюдения, отмечают все неисправности и вносят замечания о работе технических средств, а также сведения о проведении ремонтных и регламентных работ, контрольных или сравнительных наблюдений.

7.5 Организация работ СП ионосферных наблюдений, оборудованного ионозондом

7.5.1 Каждому СП ионосферных наблюдений, оборудованному ионозондом, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления предоставляется земельный участок для организации и функционирования СП ионосферных наблюдений. Оптимальный размер земельного участка составляет 1,5 га, для размещения АФК и ионосферного павильона с площадью не менее 45 м^2, предназначенного для размещения обслуживающего персонала и измерительной аппаратуры.

7.5.2 В соответствии с установленными Росгидрометом нормативами, каждый СП ионосферных наблюдений, оборудованный ионозондом, обеспечивается кадрами соответствующей квалификации, средствами измерений, оборудованием и другими техническими средствами, служебными зданиями (помещениями), средствами связи и транспорта, энерго - и теплоснабжения, производственными

сооружениями, устройствами и установками, хозяйственным инвентарём и инструментами, расходными и бланковыми материалами, производственно-технической литературой, оргтехникой и компьютерами.

7.5.3 Штат СП ионосферных наблюдений, оборудованного ионозондом, в основном состоит из 4 штатных сотрудников: заведующего, специалиста по радиоэлектронике и компьютерной технике, специалиста по обработке ионограмм и лаборанта. Для контроля за работой ионозонда, включённого в режим круглосуточных наблюдений, необходим дополнительный штат из 5 наблюдателей, которые могут выполнять и другие функции – техников, лаборантов, сторожей и т. д. В зависимости от особенностей СП ионосферных наблюдений, в том числе от решаемых задач и географического положения штат может отличаться от приведённого в данном пункте.

7.5.4 Обязательная документация на оборудование, установленное на СП ионосферных наблюдений, оборудованном ионозондом ВЗ, состоит из документации на ионозонд ВЗ и документации на АФК.

7.5.5 Документация на ионозонд состоит из:

- формуляра;
- паспорта;
- руководства по эксплуатации ионозонда.

7.5.6 Документация на встроенное в ионозонд программное обеспечение (ПО) состоит из:

- описания применения;
- руководства оператора.

7.5.7 Документация на АФК состоит из:

- формуляра;
- паспорта;
- руководства по эксплуатации;
- инструкции по монтажу, пуску, регулированию и обкатке, обязательно содержащей чертежи АФК.

7.6 Организация сети радиотомографии и её функционирование

7.6.1 Требования к размещению пунктов наблюдений РТС

7.6.1.1 Устанавливаются пункты наблюдений РТС трёх категорий:

- пункты НОРТ: пункты, оборудованные ПАК НОРТ;

- пункты ВОРТ: пункты, оборудованные ПАК ВОРТ;

- комбинированные пункты: пункты, оборудованные одновременно ПАК ВОРТ и НОРТ.

7.6.1.2 Центры сбора и обработки радиотомографических данных оборудуются серверами ВОРТ и НОРТ.

7.6.1.3 Пункт наблюдения РТС должен размещаться в отведённом для него помещении, которое относится исключительно к федеральной собственности и находится под охраной государства. Определение местоположения пункта наблюдения РТС и организация его деятельности осуществляются в соответствии с решением Росгидромета (специально уполномоченного федерального органа исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях).

7.6.1.4 Ввод в эксплуатацию всех ПАК ВОРТ и ПАК НОРТ пунктов наблюдения РТС должен оформляться соответствующими актами. Акт на ввод в эксплуатацию пункта наблюдения РТС направляется в Росгидромет.

7.6.1.5 В дальнейшем деятельность пунктов наблюдения регламентируется РД 52.04.567

7.6.1.6 К критериям отбора местоположения пунктов наблюдения сети относятся:

- возможности и обязательства местных структур Росгидромета в отношении обеспечения непрерывности функционирования СП ионосферных наблюдений;

- географическая репрезентативность наблюдений;

- возможности передачи требуемых параметров наблюдения.

7.6.1.7 Для получения радиотомографических разрезов ионосферы необходимо расположить три или более ПАК НОРТ вдоль преимущественных направлений пролётов ННКА, т. е. вдоль линии пересечения с поверхностью Земли воображаемой плоскости, проходящей через центр Земли и наклонённой по отношению к плоскости экватора на угол в диапазоне от 82° до 98°.

Расстояние между пунктами РТС, оборудованными НОРТ, не должно превышать 500 км. В общем случае от взаимной удалённости точек расстановки зависит минимальная высота, на которой можно определить значение электронной концентрации.

7.6.1.8 Расстояние между пунктами РТС, оборудованными ПАК ВОРТ, должно находиться в диапазоне от 200 до 400 км, что позволит проводить мониторинг ионосферных параметров с заданным пространственным и временным разрешением в режиме, близком к режиму реального времени. В зависимости от решаемых прикладных задач в некоторых регионах это расстояние не должно превышать 200 км.

7.6.2 Требования к помещению для размещения пунктов наблюдения РТС

7.6.2.1 Решение о выборе места размещения пунктов наблюдения РТС принимается только по завершению всестороннего обследования местности и помещений, предназначенных для размещения ПАК НОРТ и ВОРТ.

7.6.2.2 Должно быть проведено обследование на наличие радиопомех.

7.6.2.3 Помещение должно обеспечивать соответствующие климатические условия, необходимые для стабильного функционирования ПАК ВОРТ и НОРТ: температура от + 5 до + 40 °С, влажность от 5 до 90 %.

7.6.2.4 Помещение должно удовлетворять санитарным и противопожарным нормам безопасности, принятым на территории Российской Федерации.

7.6.2.5 Помещение должно обеспечивать сохранность оборудования.

7.6.2.6 В помещении должно быть необходимое пространство размером не менее 1•1 м для установки ПАК НОРТ и ПАК ВОРТ. Оборудование может быть

размещено на стене или на столе так, чтобы была возможность открыть дверцу шкафа и осуществить диагностические операции.

7.6.2.7 Помещение должно быть электрифицировано. Электроснабжение здания должно удовлетворять ГОСТам, принятым на территории РФ. В месте размещения ПАК ВОРТ и НОРТ должна быть розетка евростандарта или совместимая. Используемые ПАК должны запитываться от электрической сети переменного тока I категории (~ 220 В, 50 Гц). Мощность сети должна обеспечивать наличие 30 Вт для работы ПАК ВОРТ и 100 Вт для работы ПАК НОРТ.

7.6.2.8 Розетки для средства передачи данных и средств электропитания должны размещаться на расстоянии не более 2 м от ПАК НОРТ и ПАК ВОРТ.

7.6.2.9 Помещение должно быть оснащено средствами связи с возможностями использования сети Интернет. Скорость передачи данных должна составлять не менее 256 кбит/с для передачи данных от ПАК ВОРТ и не менее 6,3 Кбит/с для передачи данных от ПАК НОРТ. В случае отсутствия стационарных средств связи в пункте наблюдения должен быть устойчивый сигнал сотовой связи для организации беспроводной передачи данных.

7.6.2.10 Приборы и кабели должны располагаться как можно дальше от батарей отопления и другого нагревательного оборудования, работа которого может со временем пересушивать кабели. Длительный нагрев прибора прямым попаданием солнечных лучей нежелателен.

7.6.2.11 От места установки комплекса в помещении до места крепления антенны на улице на жёстком неподвижном основании должно быть достаточно антенного кабеля длиной 30 м с учётом изгибов при прокладке.

7.6.2.12 Обзор видимости неба для антенны должен быть максимально возможным в конкретных условиях, без других активных антенн, а также металлических и других конструкций вблизи антенны выше уровня её установки.

8 Проведение ионосферных наблюдений

8.1 Порядок проведения ВЗ

8.1.1 Цели, периодичность сеансов ВЗ

8.1.1.1 Ионосферные наблюдения на СП ионосферных наблюдений, оборудованных ионозондом ВЗ, Росгидромета проводятся с целью контроля состояния ионосферы путём исследования её вертикальной структуры в местах расположения станций ВЗ.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- измерение числовых значений параметров ионосферы;

- оценка качественных характеристик ионосферных явлений;

- обеспечение сравнимости величин, получаемых в разных пунктах ионосферной сети и в разные периоды;

- регулярная и своевременная передача всех результатов наблюдений ионосферных данных в гелиогеофизическую службу Росгидромета;

- хранение ионосферной информации в собственной базе данных.

8.1.1.2 Содержанием работ СП ионосферных наблюдений, оборудованных ионозондом ВЗ, является мониторинг ионосферы методом ВЗ ионосферы.

Мониторинг ионосферы методом ВЗ состоит в проведении круглосуточных регулярных измерений характеристик ионосферы сеансами радиозондирования.

8.1.1.3 Наблюдения с помощью ионозондов должны проводиться по времени ближайшего часового меридиана, время которого отличается от мирового (т. е. от времени нулевого меридиана) обязательно на полное число часов.

8.1.1.4 Сеансы регулярных ионосферных наблюдений проводятся ежедневно четыре раза в час – через каждые 15 мин. Включение аппаратуры по программе должно осуществляться автоматически.

8.1.1.5 В регулярные мировые дни (RWD) и в Специальные мировые интервалы (SWI) измерения методом ВЗ должны проводиться через каждые 5 мин.

8.1.1.6 В случаях, когда, проводя зондирование по программе, наблюдатель замечает, что имеют место особые явления, проводятся непрерывные или учащённые (каждые 5 мин) наблюдения. Критерием для распознавания особых явлений служит сравнение наблюдаемых записей с полученными в обычные дни. Признаками особых явлений служат:

- быстрые изменения критических частот слоёв F2 и Es (*f*oF2, *f*oEs), а также минимальной частоты отражений (*f*min) или типов спорадических слоёв Es за получасовые или ещё меньшие интервалы времени;

- необычное уменьшение значений *f*oF2 или присутствие особых форм отражений. Непрерывные записи используются для установления точных временных интервалов особых явлений и не обрабатываются в деталях, за исключением тех случаев, когда следует специальный запрос.

8.1.1.7 В тех случаях, когда выполнению полной программы наблюдений мешают радиопомехи и тому подобные причины, необходимо принять все меры для обработки записей, чтобы обеспечить наиболее полные данные, необходимые для научных целей.

8.1.1.8 Данные ежечасного зондирования анализируются оператором. Проводится ручная, либо интерактивная обработка ионограмм. Урсиграммы кодом ИОНКА формируются вручную либо в интерактивном режиме (см. п. 9.1.8.1). Промежуточное радиозондирование используется для получения надёжных ежечасных значений, пригодных для сопоставления их с аналогичными данными других станций ВЗ. При обнаружении несовместимости между ионосферными данными разных СП ионосферных наблюдений или наблюдении каких-либо особенных вариаций, необходимо привлекать данные промежуточных измерений.

8.1.1.9 При наличии у ионозонда программы автоматической обработки ионограмм данные промежуточного ВЗ (15, 30 и 45 мин) обрабатываются автоматически. Оператором ежечасно проводится проверка её работы на качество обработки.

8.1.1.10 При отсутствии программы автоматической обработки ионограмм данные промежуточного зондирования не обрабатываются.

8.1.1.11 При организации ионосферных наблюдений в соответствии с пунктом 8.1.1.4 передача данных измерений в пункт сбора информации происходит раз в 15 минут. В пункт сбора информации передают ионограмму с результатами обработки и стандартную урсиграмму, сформатированную кодом ИОНКА.

8.1.2 Подготовка к работе ионозонда (на примере ионозонда «Парус-А»)

8.1.2.1 Меры безопасности при работе с РПДУ

К эксплуатации РПДУ допускаются лица, обладающие соответствующей квалификацией и ознакомленные с инструкцией по эксплуатации и программой наблюдений.

В блоке РПДУ имеются цепи с напряжением ~ 220 В, минус 120 В, + 950 В и + 3700 В. Для предупреждения несчастных случаев и электрических повреждений РПДУ при его эксплуатации и ремонте необходимо соблюдать следующие правила:

- не вскрывать блок РПДУ и не производить замену элементов, подключение и отключение кабелей и шины заземления при включённом РПДУ;

- при обнаружении отказов в работе РПДУ немедленно выключить напряжение питания, выяснить и устранить неисправность;

- при проведении ремонтных работ проверить наличие остаточных напряжений на конденсаторах фильтров выпрямителей и при необходимости разрядить их специальным разрядником, в первую очередь это относится к ИП3700 и ИП950;

- при ремонте РПДУ тумблер «+ 4 кВ ВКЛ» включать только при необходимости, во всех остальных случаях, особенно при проверках в верхней части РПДУ, выключать;

- при ремонте источника питания (ИП) не работать с заземлёнными измерительными приборами;

- во время работы стоять на резиновом коврике;

- работая с высоким напряжением, все замеры производить одной рукой, другую руку держать за спиной или в кармане.

- РАБОТА С ОТКРЫТЫМ БЛОКОМ РАЗРЕШАЕТСЯ ПРИ НАЛИЧИИ В ПОМЕЩЕНИИ НЕ МЕНЕЕ ДВУХ ЧЕЛОВЕК

- недопустимо размещать РПДУ в помещении с большой влажностью и температурой выше 30 °С;

- в помещении должна быть шина общего заземления;

- длина коаксиальной линии от РПДУ до антенны должна быть как можно короче;

- земляная клемма приёмника должна быть подключена к земляной шине помещения.

8.1.2.2 Сборка ионозонда

Ионозонд предназначен для работы в стационарных помещениях (допустимый диапазон температур воздуха в помещениях от 10 до 40 °С при относительной влажности воздуха до 80 %).

Соединение приёмника и усилителя мощности осуществляется следующим образом: кабель управления со стороны приёмника подключается к разъёму «УПР РПУ», а со стороны усилителя мощности – к разъёму «УПР»; экран кабеля управления со стороны усилителя мощности должен быть обязательно подключён к корпусу усилителя; кабель зондирующего сигнала стороной с защёлкивающимся разъёмом типа “LEMO” подключается к разъёму «XW4-ZS» приёмника, стороной с резьбовым разъёмом – к разъёму «ВЧ» усилителя мощности.

Для соединение составных частей ПЭВМ необходимо: снять верхнюю и нижнюю задние крышки каркаса приёмника, для чего открутить крепящие винты; снять фиксатор кабелей, для чего открутить два винта на боковой стенке с внутренней стороны; подключить 4 кабеля к соответствующим разъёмам на задней стенке ПЭВМ – для дисплея, клавиатуры, манипулятора «мышь» и системного блока внешней ПЭВМ; вставить кабели в соответствующие прорези

фиксатора и закрепить фиксатор; установить на место задние крышки каркаса приёмника.

Для соединения приёмника и ПЭВМ необходимо проверить после транспортировки и при необходимости подключить два кабеля на передней панели каркаса приёмника к разъёмам «USB» блока «Б-002» и «RS-232» блока «Б-001»; проверить и при необходимости соединить кабелями на передней панели каркаса приёмника разъёмы «XW2-IS» или «XW3-IS» блока «Б-002» с разъёмом «IS» блока «Б-003». Выходы «XW2-IS» и «XW3-IS» равнозначны и используются оба в 8-канальном варианте приёмника.

Приёмные антенны подключаются к разъёмам «Вх.1 – Вх.4» приёмника, передающая антенна подключается к разъёму усилителя мощности. Передающие антенны подключаются к выходам РПДУ «Б.РОМБ» и «М.РОМБ».

Разъёмы, не оговорённые выше, используются при настройке и отладке программ и в процессе работы не используются.

Все кабели питания компьютера, приёмника и усилителя мощности должны быть подсоединены к аппаратуре и подключены к сети 220 В, 50 Гц через блок бесперебойного питания. Включение питания осуществляется в последовательности: компьютер, приёмник, усилитель мощности.

Компьютер включается нажатием на выключатель «ON/OFF» на блоке «Б-004». После включения питания приёмника на этом переключателе должен светиться индикатор. После включения питания должен работать вентилятор. **Категорически запрещается эксплуатация приёмника с неработающим вентилятором!**

Далее осуществляется автоматическая загрузка программ. В исправном приёмнике должен светиться индикатор выключателя, на индикаторе «РЕЖИМ» блока «Б-002» промелькнёт индикация «ЗГ» и установится индикация «ОС» – останов, должны мигать блочные индикаторы «1 – 4», «9». Красный индикатор «НЕИСПР.» на блоке «Б-001» должен погаснуть.

После включения питания ионозонд готов к работе.

Дальнейшие действия по управлению аппаратурой осуществляются в соответствии с инструкцией оператора с клавиатуры ПЭВМ.

На передней панели блока «Б-002» приёмника расположена кнопка «СБРОС». Её нажатие осуществляет перезапуск программы микропроцессора приёмника, обеспечивая исходное состояние, эквивалентное состоянию после включения питания. При сбоях и зависаниях программы как приёмника, так и ПЭВМ, а также после включения питания необходимо пользоваться этой кнопкой. После нажатия кнопки «СБРОС» приёмник и усилитель мощности отключены.

Для выключения питания необходимо:

– выполнить соответствующие действия, указанные в инструкции оператора по остановке работы программы и корректного выхода из неё;

– нажать кнопку «СБРОС» на блоке «Б-002»;

– выключить усилитель мощности;

– перевести переключатель «СЕТЬ» на блоке питания приёмника «087.360» в положения «0». При этом вся индикация должна погаснуть. Светодиодный индикатор «USB» будет светиться всегда, если к приёмнику подсоединён включённый компьютер;

– компьютер выключается нажатием на выключатель «ON/OFF» на блоке «Б-004»;

– выключить источник бесперебойного питания в соответствии с инструкцией, входящей в комплект к источнику бесперебойного питания.

В случае отключения электроэнергии, источник бесперебойного питания переходит в режим работы от внутреннего аккумулятора (индикации и звуковые сигналы источника бесперебойного питания в случае отключения электроэнергии указаны в инструкции к источнику бесперебойного питания). В таком режиме источник бесперебойного питания может работать не более 5 минут.

Для включения питания усилителя мощности необходимо:

– тумблер «АНТ-ЭКВ» установить в положение «ЭКВ»;

– включить тумблер «СЕТЬ» и нажать кнопку «РУЧН. ВКЛ». При этом должен загореться светодиод «БП»;

– включить тумблер «4кВ ВКЛ». Через 3 минуты после включения стрелка микроамперметра «Ua» должна установиться на делении от 37 до 38 мкА;

– шлиц потенциометра «РЕГ. ВЫХ» установить в крайнее левое положение. С пульта ЭВМ дать команду на зондирование на фиксированных частотах, при этом параметры импульса должны быть следующими: длительность 100 мкс; частота запуска 50 Гц;

– плавно установить шлиц потенциометра «РЕГ. ВЫХ» в крайнее правое положение;

– установить тумблер «АНТ-ЭКВ» в положение «АНТ» и дать команду на зондирование по всему частотному диапазону;

– по окончании проверки все органы управления вернуть в исходное положение;

– при эксплуатации РПДУ включение и выключение блока, задание режима работы осуществляет ЭВМ. Тумблеры «СЕТЬ» и «4кВ ВКЛ» устанавливаются в положение «Включено», шлиц потенциометра «РЕГ. УСИЛ» – в крайнее правое положение. При необходимости производится регулировка уровня выходной мощности РПДУ. При работе на совмещённую приёмо-передающую антенну тумблер «ППА» устанавливается в положении «Включено».

Аварийное выключение усилителя мощности производится автоматически, во всех других случаях – тумблером «СЕТЬ».

РПДУ БЕЗ НАГРУЗКИ НЕ ВКЛЮЧАТЬ!

Во время грозы и при других экстремальных условиях необходимо:

– произвести отключение аппаратуры тумблером «СЕТЬ»;

– в случае работы с разнесёнными антеннами, необходимо отключить выходы приёмных антенн, подключённые к разъёмам «Вх.1 – Вх.4» приёмника и отключить вход передающей антенны, подключённый к усилителю мощности;

– в случае работы с совмещённой антенной, необходимо отключить вход антенны, подключённый к усилителю мощности;

– отключить от разъёма «ANT.GPS» блока «Б-001» вход антенны GPS.

8.1.2.3 Режим обслуживания ионозондов

В соответствии с эксплуатационными документами на средства наблюдений и сложившейся практикой предусматривается регулярная проверка работы ионозонда, измерительных приборов, датчиков и компьютеров, а также проведение надлежащего технического обслуживания. Ограничения и периодичность технического обслуживания зависят от типа применяемых приборов, местных условий и рекомендаций изготовителя.

Для каждой компоненты измерительной системы, системы передачи данных и комплекса в совокупности составляются планы профилактического технического обслуживания и текущего ремонта.

Регулярно проводится проверка показаний датчиков, предупреждающих об ухудшении эксплуатационных характеристик, например, о падении напряжения батарейки или мощности излучения передатчика, загрязнении оптических поверхностей, производится сравнение с результатами дублирующих измерений. Наличие центрального ПЭВМ позволяет проводить перекрёстную проверку параметров в целях обнаружения возможных аномалий или отклонений.

Техническое обслуживание осуществляется в плановом порядке квалифицированным персоналом по техническому обслуживанию. При проведении технического обслуживания система сбора и обработки данных резервируется.

8.2 Порядок проведения НОРТ и ВОРТ

8.2.1 Организация работ НОРТ и ВОРТ

8.2.1.1 Программа работы каждого пункта наблюдений РТС ежегодно устанавливается и утверждается “Планом зондирования ионосферы сетью радиотомографии Росгидромета”.

8.2.1.2 ПАК НОРТ и ВОРТ на СП ионосферных наблюдений работают в автоматическом режиме.

8.2.1.3 ПАК НОРТ принимают сигналы ННС круглосуточно в периоды пролёта ННКА. Эти периоды определяются специальной программой расчёта в Центре сбора и обработки и передаются по каналам связи в пункты наблюдений. ПАК НОРТ включается в соответствующие периоды и передаёт измеренные параметры в Центр сбора и обработки для выполнения томографической реконструкции вертикальных разрезов ионосферы.

8.2.1.4 ПАК ВОРТ принимают сигналы ВНС круглосуточно с частотой опроса от 1 до 10 Гц. Возможны различные варианты расписаний передачи информации в Центр сбора и обработки. В настоящее время состояние системы связи Росгидромета позволяет осуществлять передачу 15-20 МБ информации в сутки (порциями по 700 КБ / час).

В случае наличия скоростного канала связи с Центром необходимо передавать принятые параметры сигналов ВНС в реальном времени.

8.2.1.5 Для обеспечения работы сетевых ПАК НОРТ и ВОРТ специальной квалификации не требуется. При возникновении неполадок, которые не могут быть детектированы или устранены с помощью удалённого сетевого подключения, персонал помещений, в которых установлен ПАК НОРТ или ВОРТ могут по просьбе оператора Центра сбора и обработки выполнить ряд элементарных операций с оборудованием из числа описанных в руководствах по эксплуатации.

8.2.1.6 Оператор Центра сбора и обработки должен обладать уверенными навыками работы с ЭВМ, знать основы сетевых технологий, уметь пользоваться программами-браузерами.

8.2.2 Минимальные программы наблюдений низкоорбитальной и высокоорбитальной радиотомографии ионосферы. Наблюдаемые параметры

8.2.2.1 Основой информации, используемой для радиотомографического мониторинга состояния ионосферы, служат результаты наблюдений за параметрами распространяющихся в атмосфере навигационных радиосигналов и их характеристиками, представляющими собой показатели состояния и развития физических процессов в ионосфере.

8.2.2.2 Минимальная программа наблюдений для радиотомографического мониторинга состояния ионосферы по сигналам ВНС включает следующие виды измерений:

- измерение фазовых задержек навигационных радиосигналов канала L1 со всех спутников системы GPS, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение фазовых задержек навигационных радиосигналов канала L2 со всех спутников системы GPS, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение фазовых задержек навигационных радиосигналов канала L1 со всех спутников системы ГЛОНАСС, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение фазовых задержек навигационных радиосигналов канала L2 со всех спутников системы ГЛОНАСС, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение групповых задержек навигационных радиосигналов P1 со всех спутников системы GPS, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение групповых задержек навигационных радиосигналов P2 со всех спутников системы GPS, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение групповых задержек навигационных радиосигналов P1 со всех спутников системы ГЛОНАСС, сигнал с которых доступен в точке наблюдения;

- измерение групповых задержек навигационных радиосигналов P2 со всех спутников системы ГЛОНАСС, сигнал с которых доступен в точке наблюдения.

8.2.2.3 Измерения проводятся стандартными специализированными автоматическими измерительными комплексами в непрерывном круглосуточном режиме. Частота сбора данных составляет не менее 1 Гц. Данные сохраняются в стандартном для всех пунктов наблюдения формате.

8.2.2.4 Минимальная программа наблюдений для радиотомографического мониторинга состояния ионосферы по ННС включает измерение разности фаз когерентных сигналов на частотах 150 и 400 МГц, которая пропорциональна относительному ПЭС на радиотрассе передатчик-приёмник.

8.2.3 Необходимые условия для функционирования РТС

Для нормального функционирования РТС необходимо выполнение следующих условий:

- наличие источника зондирующих сигналов – одного или более ННКА с работающими передатчиками когерентного сигнала на частотах 150 и 400 МГц для НОРТ и одного или более ВНКА с работающими передатчиками на частотах 1575,42, 1227,60, 1176,45 МГц для системы GPS и на частотах (1602+k•9/16) МГц и (1246+k•7/16) МГц для системы ГЛОНАСС (ВОРТ);

- круглосуточно работающий сервер ВОРТ и НОРТ, доступный по сети Интернет по определённому IP-адресу;

- круглосуточно работающая одна или более РТЦ, каждая из которых содержит минимум 3 ПАК НОРТ;

- все ПАК ВОРТ и НОРТ должны быть подключены к сети Интернет и иметь возможность отправлять результаты измерений на сервер ВОРТ и НОРТ;

- все ПАК НОРТ одной РТЦ должны иметь уникальные идентификаторы в пределах того сервера НОРТ, с которым они обмениваются данными.

8.2.4 Порядок работы Центра сбора и обработки сигналов ВНС и ННС

8.2.4.1 Центр сбора, обработки и анализа данных наблюдений сети пунктов наблюдения РТС (далее – Центр) размещается в Москве в ФГБУ «ИПГ».

8.2.4.2 Центр осуществляет дистанционный мониторинг состояния автоматических приёмных пунктов сети и предоставляет заинтересованным организациям и лицам информацию о состоянии ионосферы в режиме, определённом ежегодно устанавливаемым и утверждаемым «Планом зондирования ионосферы сетью радиотомографии Росгидромета».

В случае обнаружения нарушений в функционировании автоматических приёмных пунктов сети Центр принимает оперативные меры по устранению данных нарушений.

8.2.4.3 Центр осуществляет дистанционный сбор данных с автоматических пунктов сети и мониторинг их состояния посредством Интернета. Частота сбора оперативной информации составляет не менее 1 раза в час (получение данных за весь предыдущий интервал наблюдений).

8.2.4.4 Центр на основе полученных оперативных данных осуществляет радиотомографическую реконструкцию распределения электронной концентрации в ионосфере над территорией РФ с заданным пространственным и временным разрешением по методикам и информационным технологиям соответственно НОРТ и ВОРТ. В дальнейшем с развитием сети приёмных пунктов для получения оперативных реконструкций распределения электронной концентрации можно использовать определённый набор базовых пунктов наблюдения РТС. Данные о реконструкции вместе с данными исходных наблюдений сохраняются в архиве Центра в стандартных форматах и становятся доступными заинтересованным организациям и лицам.

Центр выпускает еженедельную аналитическую справку о состоянии ионосферы над территорией РФ, отмечая в ней ионосферные проявления гелиогеофизических событий.

9 Обработка результатов наблюдений

9.1 Обработка ионограмм ВЗ

9.1.1 Ионосферные характеристики, определяемые по ионограммам ВЗ

9.1.1.1 Обработка данных ВЗ производится с помощью программных комплексов, обеспечивающих как автоматическую, так и интерактивную обработку ионограмм.

9.1.1.2 На ионограммах почти всегда видны несколько похожих друг на друга следов отражений, так называемых «кратников». Такие отражения получаются, когда импульсы проходят от 2 до 3 раз (а иногда и больше) между станцией ВЗ и ионосферой. Действующая высота отражений 2-й (3-й) кратности будет в 2 (3) раза больше действующей высоты отражения основного (1-го) отражения. Многократные отражения преобладают в периоды малого поглощения радиоволн в нижней ионосфере (области D).

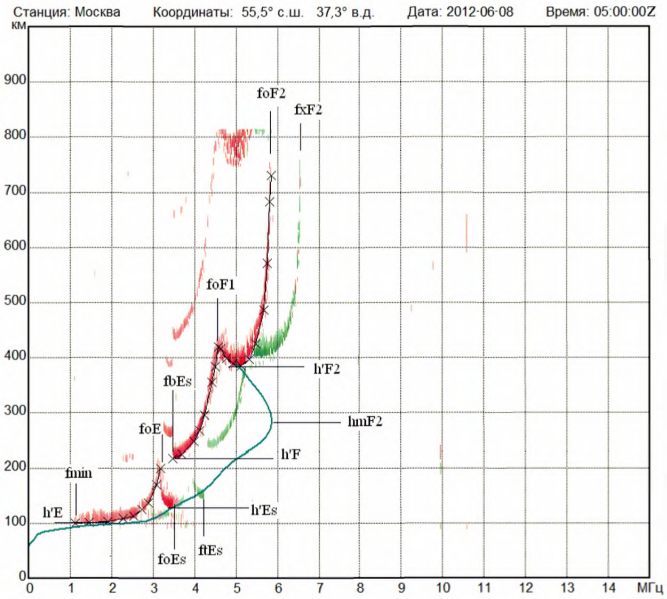
9.1.1.3 Все числовые характеристики обычно снимаются по отражениям 1-й кратности, т. е. по основному следу. На рисунке 25 показаны основные частотные и высотные характеристики, которые определяются по ионограмме ВЗ.

9.1.1.4 По ионограммам также определяют безразмерные характеристики:

*M*3000(F2, F1) – коэффициент, показывающий отношение МПЧ к критической частоте данного слоя при наклонном падении на расстоянии скачка, равном 3000 км.

Типы Es – типы спорадических слоёв, по которым классифицируются отражения от Es.

Типы F-рассеяния – классификация вида рассеянных отражений.



*f*min – наименьшая частота, при которой на ионограмме наблюдаются следы отражений от ионосферы;

*f*oE – критическая частота O-компоненты самого низкого толстого слоя в области E;

*f*oF1 – критическая частота O-компоненты, отражённой от слоя F1;

*f*oF2 – критическая частота O-компоненты, отражённой от слоя F2;

*f*xF2 – критическая частота X-компоненты, отражённой от слоя F2;

*f*bEs – экранирующая частота спорадического слоя Es, т. е. наименьшая частота, на которой наблюдаются отражения первого порядка O-компоненты от вышележащей области;

*f*tEs – предельная частота отражения от слоя Es;

h′E – минимальная действующая высота области E;

h′Es – минимальная действующая высота следа отражений от Es, используемая для определения *f*oEs;

h′F – минимальная действующая высота следа отражений O-компоненты от взятой в целом области F;

h′F2 – минимальная действующая высота слоя F2.

Рисунок 25 – Ионограмма ВЗ, полученная на цифровом ионозонде «Парус-А» на СП ионосферных наблюдений «Москва»

9.1.2 Типы спорадических слоёв Es

9.1.2.1 Существует одиннадцать специальных категорий, по которым классифицируются отражения от спорадических слоёв Es. Число типов, наблюдающихся на одном СП ионосферных наблюдений, обычно меньше. На частотных (*f*-) и высотных (*h*-) графиках указываются типы Es наиболее вероятные для данного СП ионосферных наблюдений. Подробнее о спорадических слоях см. подраздел А2.3 (приложение А).

9.1.2.2 Тип c (cusp – пикообразный, с перегибом). Этот тип обычно обнаруживается как след Es, слившийся с отражениями от регулярного E, за исключением симметричного перегиба около *f*oE. В некоторых случаях, когда отклоняющее поглощение велико, часть или весь перегиб могут отсутствовать. Этот тип Es часто мешает определению *f*oE (рисунок 26).

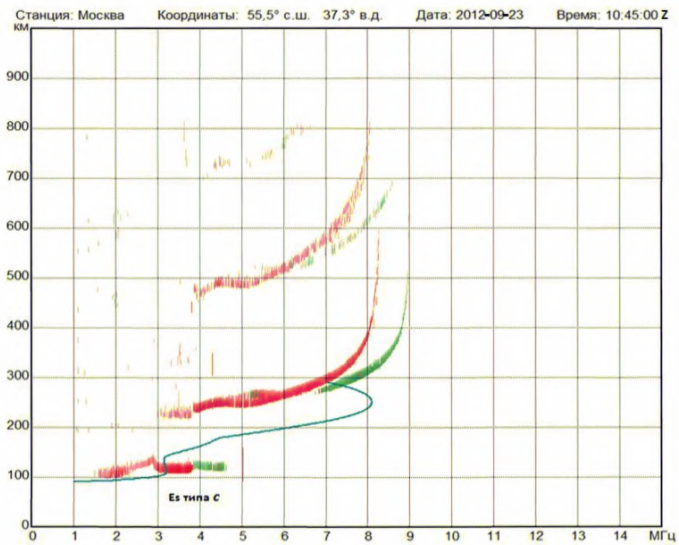


Рисунок 26 – Спорадический слой Es типа c

9.1.2.3 Тип h (high – высокий). Этот тип отличается от типа *c* наличием разрыва по высоте вблизи *f*oE. Загибы следов E и Es обычно несимметричны, причем начало следа Es лежит выше конца следа E. В этом случае точность определения *f*oE не ухудшается (рисунок 27).

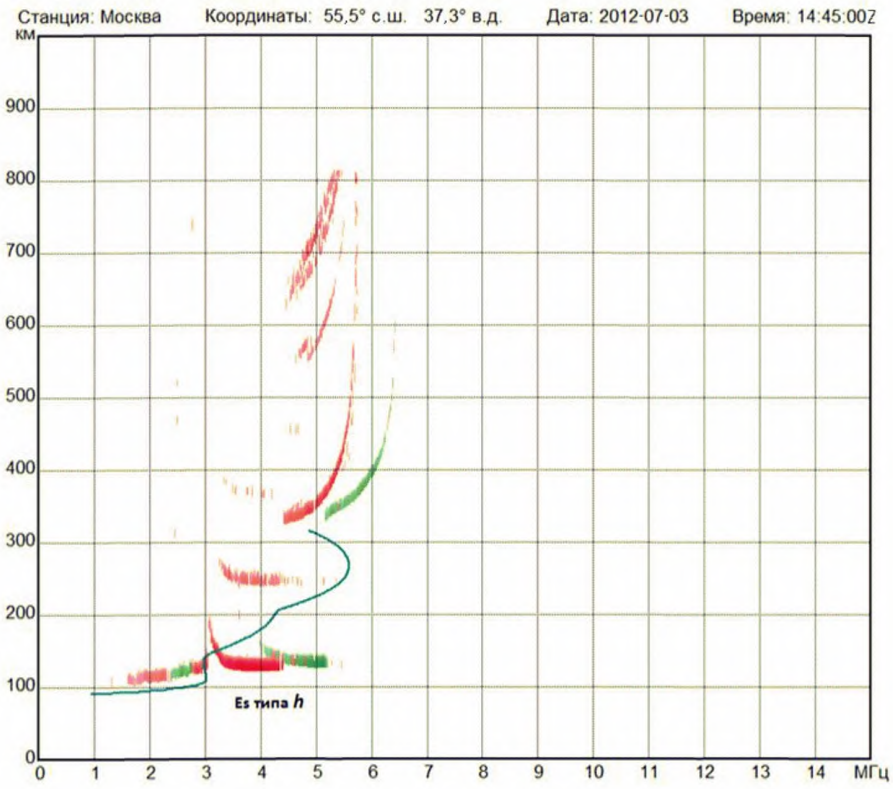


Рисунок 27 – Спорадический слой Es типа h

9.1.2.4 Тип *l* (low – низкий). Es, расположенный ниже минимальной действующей высоты регулярной области E. Данный тип Es относится к дневному периоду, когда наблюдается толстая область E (рисунок 28).

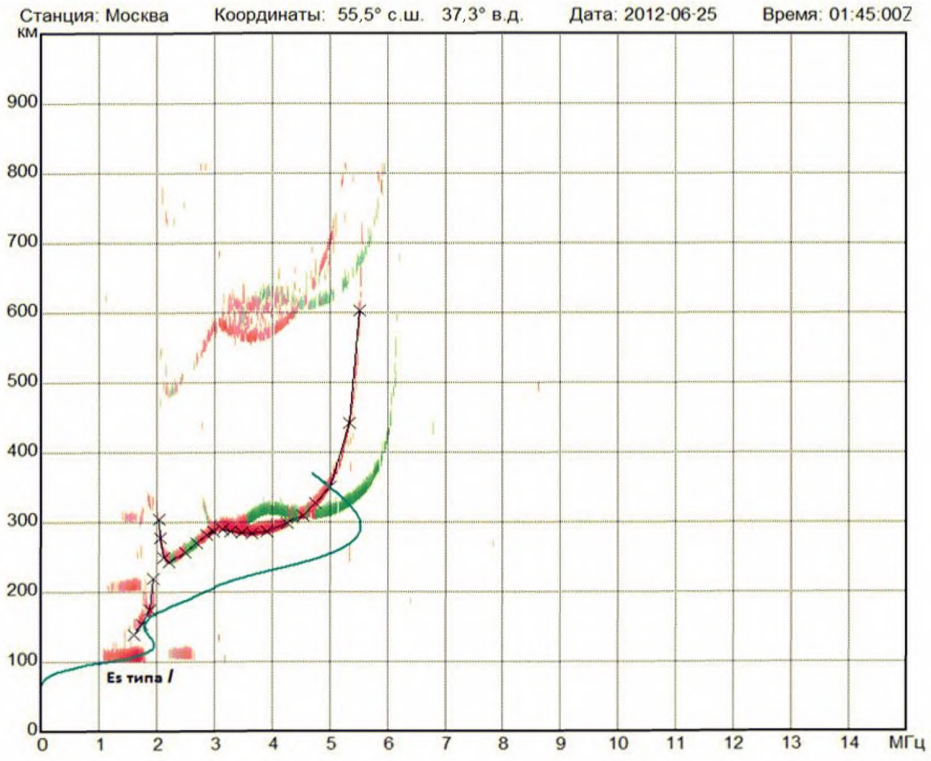


Рисунок 28 – Спорадический слой Es типа *l*

9.1.2.5 Тип f (flat – плоский). Сюда относится след Es, который не показывает увеличения высоты с частотой. Этот след относительно широкий, с хорошо выраженными нижним и верхним краями. Структурно он близок типу l, но отмечается обычно в ночное время (т. е. когда отсутствует регулярная область E) (рисунок 29).

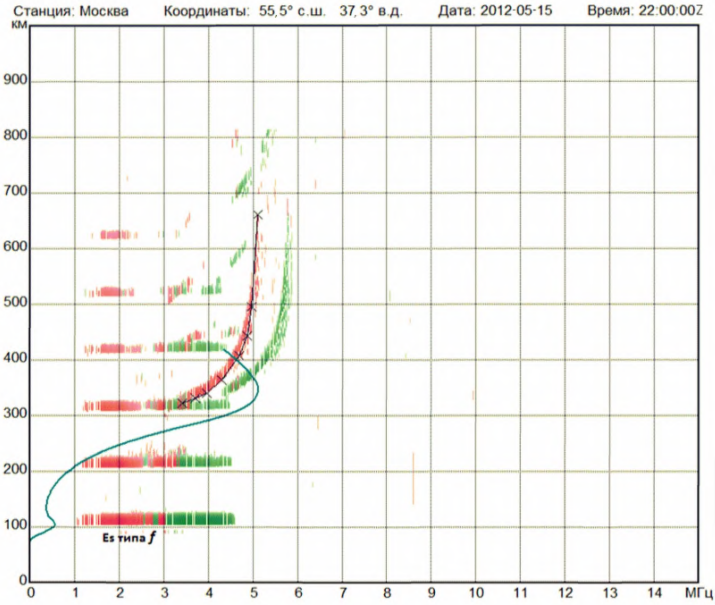


Рисунок 29 – Спорадический слой Es типа f

9.1.2.6 Тип r (retardation – запаздывание). След этого типа даёт увеличение действующей высоты у своего высокочастотного конца, подобно следу регулярной области E. Групповое запаздывание обнаруживается в Es, но не наблюдается на соответствующих частотах в области F (рисунок 30).

9.1.2.7 Тип a (auroral – авроральный, тип полярных сияний). Он виден обычно ночью и сопровождается увеличением магнитной активности и полярными сияниями. Этот тип Es обладает хорошо выраженным плоским или постепенно возрастающим нижним краем, с расслоениями и рассеянными отражениями над ним. Размытая часть следа иногда простирается вверх до нескольких сот километров (рисунок 31).

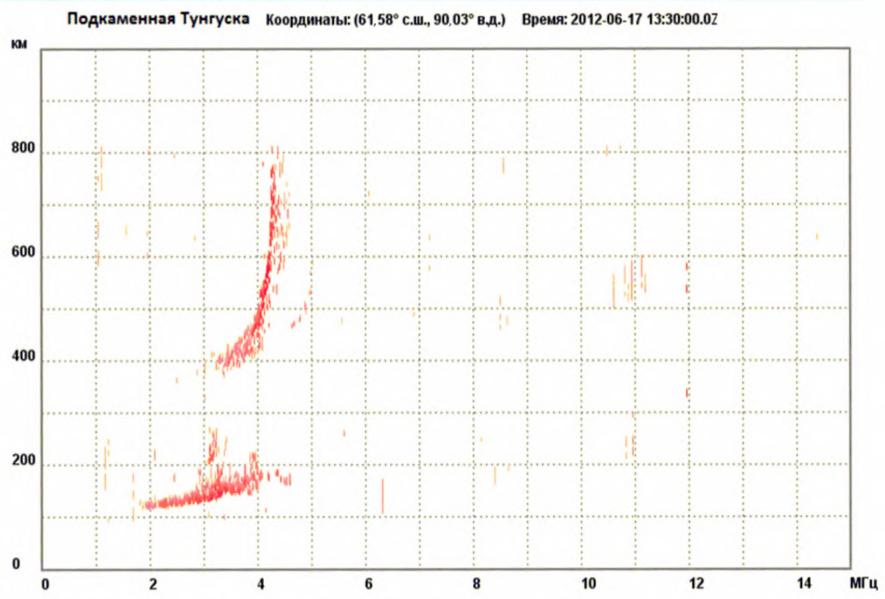


Рисунок 30 – Спорадический слой Es типа r

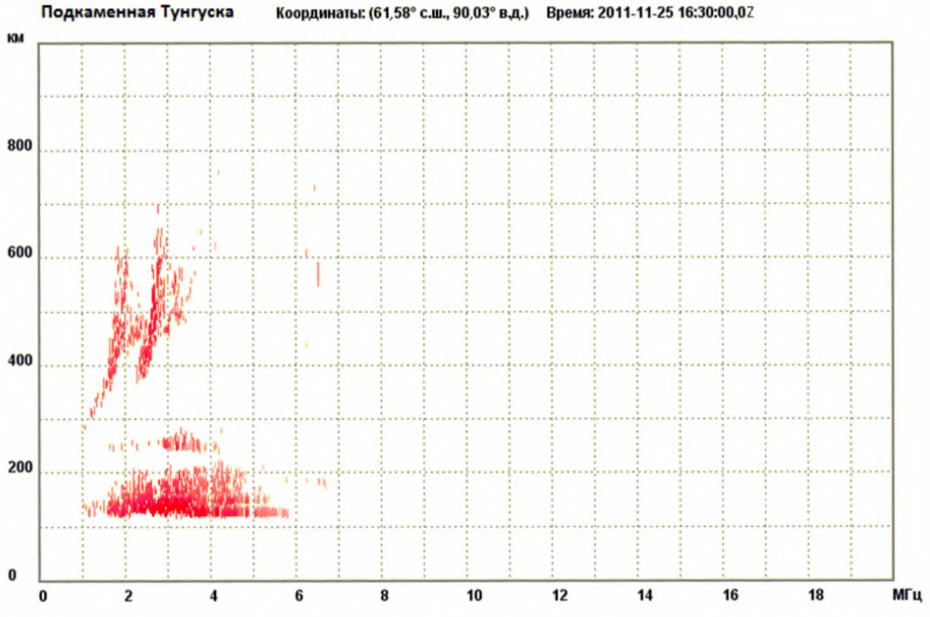


Рисунок 31 – Спорадический слой Es типа a

9.1.2.8 Тип s (косой). Он представляет собой равномерно поднимающийся размытый след. След отражений этого типа обычно начинается от регулярной области E или от Es другого типа. Именно этот возрастающий по высоте след и классифицируется как след типа s.

9.1.2.9 В экваториальных широтах в дневные часы регулярно наблюдается Es типа q (экваториальный). Он возбуждается дневной токовой системой в области E (электроджетом), направленной на восток, почти прозрачен во всем диапазоне частот. Зона наибольшей вероятности появления Es типа q образует полосу шириною около 1200 км вдоль магнитного экватора (± 5° магнитной широты).

9.1.3 Классификация вида рассеянных отражений. Типы F-рассеяния

9.1.3.1 Явление, при котором сигнал, отражённый ионизированным слоем F, из-за мелкомасштабных, не более 2 — 3 км, неоднородностей ионосферы становится диффузным, теряет свою упорядоченную структуру, называется F-рассеянием. В этих случаях отражения от ионосферы сильно размыты, т. е. не имеют резко очерченной формы и наблюдаются ниже или выше реальной критической частоты области. Такие отражения называются рассеянными. Рассеянные отражения наблюдаются и от других областей, но типы F-рассеяние является наиболее частым и наиболее трудным для интерпретации.

9.1.3.2 F-частотное рассеяние. При этом типе рассеяния следы отражений на ионограмме расширены по частоте вблизи критических частот (рисунок 32).

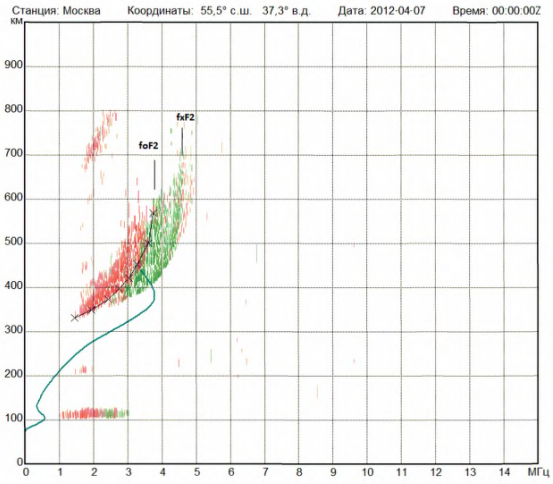


Рисунок 32 – Тип F – частотное рассеяние

9.1.3.3 Q1-рассеяние. Иногда на фоне обычного рассеяния типа F имеются дополнительные следы отражений ниже критической частоты *f*oF2, подобные нормальному следу. Такой тип F-рассеяния классифицируется, как Q1. Но чаще оба типа неоднородностей наблюдаются одновременно – рисунок 33.

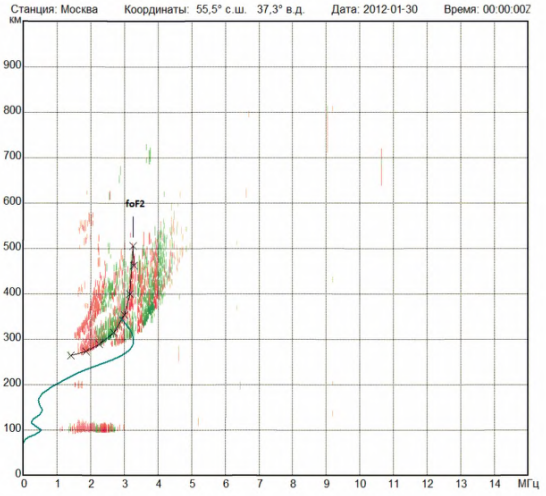


Рисунок 33 – Рассеяния типа Q1 и F

9.1.3.4 Q-рассеяние по высоте. Если следы отражений вдали от критической частоты расширены по высоте и диапазон рассеяния превышает 30 км, то такой тип F-рассеяния классифицируется, как тип Q – рисунок 34.

9.1.3.5 L-рассеяние. Если одновременно с рассеянием по высоте наблюдается и рассеяние по частоте типа F, то такой вид рассеяния можно классифицировать двумя способами: отмечая двумя буквами F и Q или одной буквой L, обозначающей смешанный тип F-рассеяния.

9.1.3.6 P-шпора. Если на ионограмме присутствуют следы от наклонов отражающей области, которые простираются до более высоких частот, чем следы от F-области, расположенного над головой, то в этих случаях рассеяние относят к типу P – шпора – рисунок 35. Когда отражающая структура со временем перемещается к точке наблюдения, рассеянные отражения типа P могут переходить в типы F и Q.

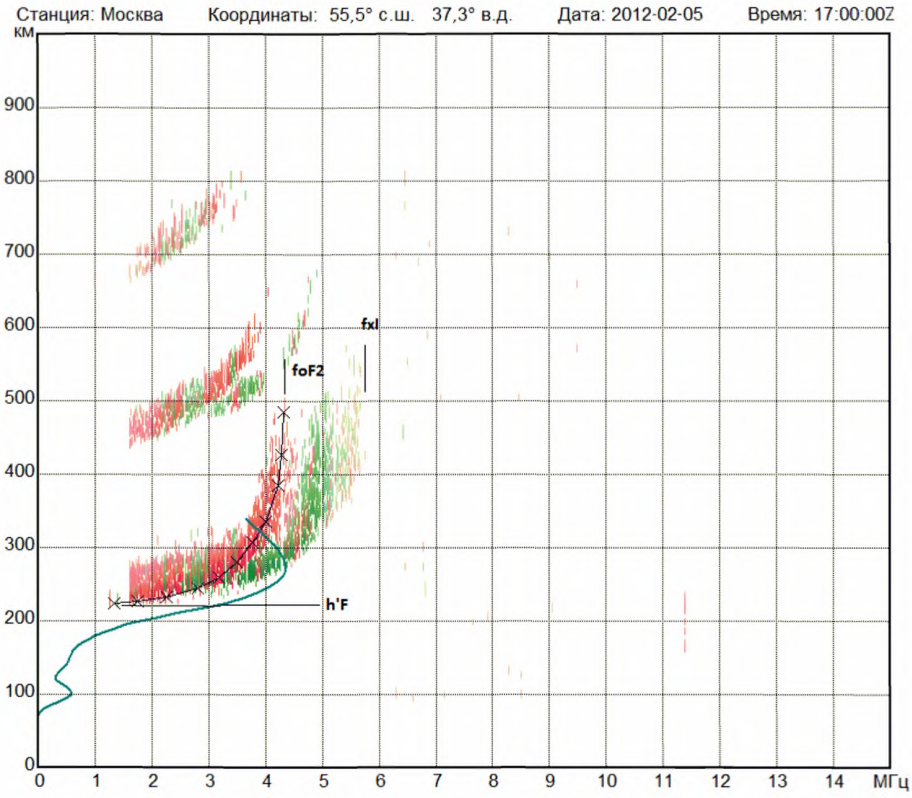


Рисунок 34 – Тип Q – рассеяние по высоте (диапазонное рассеяние) и тип F (частотное рассеяние), что можно обозначить как тип L – смешанный тип

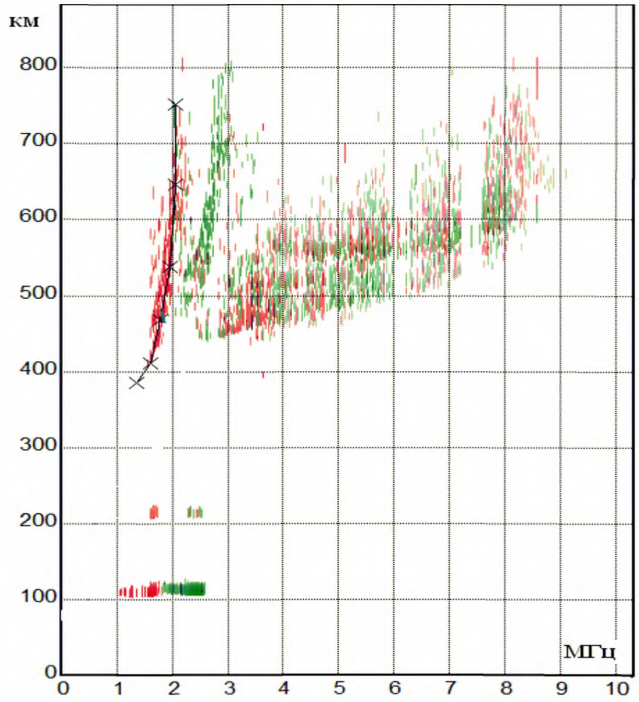


Рисунок 35 – Тип P – шпора

9.1.4 Оценка и описание измеряемых характеристик

9.1.4.1 Определение ионосферных характеристик по ионограммам часто бывает затруднительно, а иногда и совсем невозможно по разным причинам (ионосферным или аппаратурным). Во многих случаях причины этих трудностей сами по себе представляют большой научный интерес, в остальных случаях указание причины может иметь значение при статистической обработке данных. Поэтому для объяснения трудностей определений характеристик и классификации явлений принята международная система буквенных обозначений. Буквенные обозначения (символы) служат для того, чтобы:

- оценить числовую величину (больше или меньше указанного значения);

- указать, что значение получено в результате какой-либо операции (интерполировано, вычислено по обыкновенной компоненте (О-компоненте) или необыкновенной компоненте (Х-или Z-компоненте), сглажено по графику).

- объяснить отсутствие измерений характеристик;

- указать причину, по которой измерение полагается сомнительным;

- объяснить, почему была необходима интерполяция;

- дать полезную описательную информацию об ионограмме;

Символы первых двух групп называются оценочными, а последних четырёх – описательными. Ниже даются определения этих символов, принятые URSI.

9.1.4.2 В качестве оценочных букв используются: A, D, E, I, J, M, O, T, U, Z.

Они имеют следующий смысл:

A – меньше, чем (применяется только с параметром fbEs в случае полного экранирования слоем Es вышележащих областей);

D – больше, чем;

E – меньше, чем;

I – отсутствующее значение заменено интерполированным;

J – характеристика О- компоненты вычислена по Х- компоненте;

M – сомнительная интерпретация вида компоненты;

O – характеристика необыкновенной компоненты волны, вычисленная по обыкновенной компоненте;

T – значение определено по ряду последовательных наблюдений;

U – числовое значение недостоверно или сомнительно;

Z – характеристика обыкновенной (O) компоненты волны, вычисленная по Z-компоненте.

9.1.4.3 К описательным буквам относятся: A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, V, W, X, Y, Z.

Описательные буквы имеют следующие значения:

A – на измерение параметра влияет или делает его невозможным наличие нижележащего тонкого спорадического слоя – Es. В первом случае с описательной буквой A используется соответствующая оценочная буква (U, J, E, D). Во втором – числовое значение параметра заменяется буквой A;

B – на измерение влияет или делает его невозможным большое поглощение (большое значение fmin). В первом случае с описательной буквой B используется соответствующая оценочная буква (U, J, E, D). Во втором – числовое значение параметра заменяется буквой B;

C – на измерение влияет или делает его невозможным какая-либо не ионосферная причина (неполадки в аппаратуре, отсутствие электроэнергии, погрешность часов);

D – на измерение влияет или делает его невозможным верхний предел нормального диапазона частот ионозонда (10 или 20 МГц);

E – на измерение влияет или делает его невозможным нижний предел нормального диапазона частот ионозонда (1 МГц);

F – на измерение влияет или делает его невозможным наличие рассеянных отражений;

G – на измерение влияет или делает его невозможным малая плотность ионизации отражающей области. Буква G используется в основном при определении параметров слоёв F2 и Es:

а) если *f*oF2 - *f*oF1 < 0,5 МГц, то числовое значение *f*oF2 сопровождается символом G. Если отражений от слоя F2 совсем нет, тогда *f*oF2 отсчитывается на частоте, очень близкой к *f*oF1, и сопровождается символами EG (этот случай называется «Условием G» в ионосфере). При этом значение *M*3000F2 и действующая высота следа отражений О-компоненты на частоте, равной 0,834•*f*oF2 (*h*pF2) заменяются буквой G;

б) если *f*oEs или *f*bEs ≤ *f*oE, числовые значения *f*oEs и *f*bEs сопровождаются буквой G;

в) если след слоя Es, по которому определяется высота слоя Es не становится горизонтальным, то тогда числовое значение минимальной действующей высоты слоя *E*s, используемое для определения *f*oEs, (*h*'Es) сопровождается символами EG;

H – на измерение влияет или делает его невозможным наличие расслоений в области;

K – имеется корпускулярная область E. Эта буква применятся в тех случаях, когда во время ионосферной бури в ночное время наблюдаются отражения, напоминающие отражения от регулярной дневной области E. Числовое значение *f*oE в таких случаях сопровождается букой K, что указывает на корпускулярную природу ночной области E;

L – на измерение влияет или делает его невозможным отсутствие на следе достаточно четко выраженного перегиба между слоями F1 и F2. Буква L применяется для пары *f*oF1 *M*3000F1, а также иногда при определении значений *h*'F2:

- *f*oF1 – если переход от слоя F1 к слою F2 выражен очень слабо, но он все же заметен, тогда отсчитывается числовое значение точки перегиба и сопровождается буквой L. На *f*-графике на этой частоте будет стоять буква L. В таблицах вместо числового значения *f*oF1будет записана только буква L. Числовые значения МПЧ и, соответственно, *M*3000F1 в этом случае заменяются буквой L. Если перегиб выражен достаточно четко, тогда числовое значение *f*oF1 сопровождается буквами UL, на *f*-графике при этом будет заполненный кружок.

- *h*'F2 – если след слоя F2 не имеет почти горизонтального участка, то отсчитывается наиболее подходящее значение *h*'F2 и сопровождается буквой L (на *h*-графике на этой высоте будет стоять буква L. В таблицах вместо числового значения будет записана только буква L). Если же след слоя F2 почти горизонтален, числовое значение *h*'F2 с буквами UL;

M – значение сомнительно из-за невозможности различить O- и X-компоненты. Эта буква применяется очень редко;

N – ионосферные условия таковы, что измерение не поддаётся интерпретации (чаще всего при наличии наклонных отражений, затрудняющих интерпретацию ионограмм);

O – измерение относится к обыкновенной компоненте (при определении некоторых параметров X-компоненты);

P – наличие рассеянных следов типа полярной шпоры;

Q – наличие диапазонного рассеяния;

R – на измерение влияет или делает его невозможным отклоняющее поглощение вблизи критической частоты;

S – на измерение влияют или делают его невозможным радиопомехи или атмосферные помехи;

T – значение характеристики определено из ряда наблюдений, причём фактическое наблюдение было противоречиво или сомнительно;

V – разветвлённый след вблизи критической частоты, который может повлиять на измерение;

W – измерение характеристики неточно или невозможно, вследствие того, что отражения находятся за пределами записываемого диапазона высот;

X – измерение относится к необыкновенной компоненте;

Y – прерывистый след (явление лакуны), сильный наклон области (ненормальный ход следов вблизи *f*oF2 – очень сложные отражения);

Z – измерение относится к третьей магнито-ионной компоненте. Z-след является характерным для высокоширотных СП ионосферных наблюдений.

9.1.5 Оценка степени точности параметров

9.1.5.1 Определение *f*oE должно производиться по крайней мере с точностью равной 0,05 МГц.

9.1.5.2 Оценка степени точности при определении *f*oE:

– значение *f*oE считается точным, если предполагаемая неточность не превышает ± 0,05 МГц, т. е. в диапазоне 0,1 МГц;

– если предполагаемая неточность больше ± 0,05 МГц, но не превышает ± 0,15 МГц, т. е. в диапазоне от 0,1 до 0,3 МГц, то значение *f*oE сопровождается оценочной буквой U и описательной буквой, указывающей причину неточного определения данного параметра (см. подпункт 9.1.2.2);

– если предполагаемая неточность больше ± 0,15 МГц, но не превышает ± 0,2 МГц, т. е. в диапазоне от 0,3 до 0,4 МГц, то *f*oE должно записываться с оценочной буквой E или D, в зависимости от существовавших условий, и соответствующей описательной буквой (см. подпункт 9.1.2.2);

– если предполагаемая неточность больше ± 0,4 МГц, то числовое значение *f*oE заменяется соответствующей описательной буквой (см. подпункт 9.1.2.2).

9.1.5.3 Определение *f*oF2 должно производиться по крайней мере с точностью равной 0,1 МГц или 2 % (здесь и в пункте 9.1.5.4 берут то значение, которое больше).

9.1.5.4 Оценка степени точности при определении *f*oF2:

– значение *f*oF2 считается точным и записывается без оценочной буквы, если предполагаемая неточность не превышает ± 0,1 МГц, т. е. в диапазоне 0,2 МГц, либо не превышает ± 2 %;

– если предполагаемая неточность больше ± 0,1 МГц, но не превышает ± 0,2 МГц, т. е. в диапазоне от 0,2 до 0,4 МГц, или, соответственно, больше ± 2 %, но не превышает ±5 %, значение *f*oF2 сопровождается оценочной буквой U и описательной буквой, указывающей причину неточного определения данного параметра (см. подпункт 9.1.2.2);

– если предполагаемая неточность больше ± 0,2 МГц, но не превышает ± 0,3 МГц т. е. в диапазоне от 0,4 до 0,5 МГц или, соответственно, больше ±5 %, но не превышает ±10 %, то *f*oF2 должно записываться с оценочной буквой E или D, в зависимости от существовавших условий, и соответствующей описательной буквой (см. подпункт 9.1.2.2);

– если предполагаемая неточность больше ± 0,3 МГц или ±10 %, то числовое значение *f*o F2 заменяется соответствующей описательной буквой (см. подпункт 9.1.2.2).

9.1.5.5 Трудности при определении *f*oEs и *f*bEs возникают, если между концом следа Es и началом вышележащего слоя (F1 или F2) имеется разрыв. Тогда применяются следующие правила:

– если разрыв не превосходит 0,3 МГц, значение foEs и fbEs определяются как точные значения;

– если разрыв более 0,3 МГц, но не превосходит 0,4 МГц – значения foEs и fbEs определяются в середине диапазона и сопровождаются оценочной буквой U и описательной буквой, указывающей причину неточного определения данного параметра;

– если разрыв более 0,4 МГц, но не превосходит 0,5 МГц – значения foEs и fbEs должны записываться с оценочной буквой E или D и соответствующей описательной буквой.

9.1.5.6 Значение действующей высоты *h'* любого слоя считается точным, если отсчёт производится в точке, в которой можно провести касательную прямую к следу данного слоя. В противном случае используют описательные и оценочные буквы.

h'Es – если след слоя не стал горизонтальным, то числовое значение *h*'Es записывается с буквами EG.

h'E, *h*'F1 и *h*'F2 – если след области E, слоя F1 или F2 не является горизонтальным, а имеет «наклон», числовое значение *h*' должно сопровождаться оценочной буквой U или E и описательной буквой, указывающей причину неточного

определения высоты области или слоя в данном случае (использование описательной буквы L при определении *h*'F2 приведено выше в подпункте 9.1.4.3).

9.1.6 Определение максимально применимых частот и коэффициента M3000F1 (M3000F2)

9.1.6.1 К общему обозначению МПЧ добавляется наименование ионосферной области, от которой происходит отражение данной частоты, и количество скачков, например, МПЧ 1F2 – односкачковая мода слоя F2. Также после обозначения МПЧ перед обозначением количества скачков и слоя отражения может добавляться дальность. Различают МПЧ на дальности в 4000 км (МПЧ 4000), на дальности 3000 км и т. д.

9.1.6.2 С точки зрения теории распространения радиоволн в ионосфере МПЧ – особая точка на ионограмме наклонного радиозондирования ионосферы, в которой соединяются верхние и нижние геометрооптические лучи (рисунок 36).

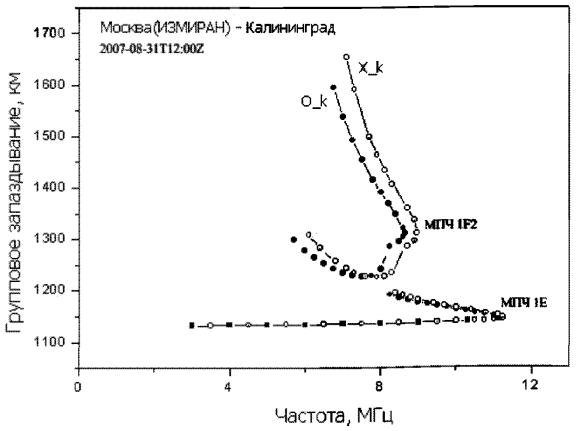


Рисунок 36 – Ионограмма наклонного зондирования на радиотрассе Москва (ИЗМИРАН)- Калининград с отмеченными МПЧ.

На рисунке 36 МПЧ 1E равно 11.5 МГц, МПЧ 1F2 равно 9 МГц, а МПЧ слоя F1 не сформировалась и имеет только перегиб в частотном ходе группового пути. Превышение МПЧ 1E над МПЧ 1F2 характерно для односкачковых радиотрасс в

области существования отражения от слоя Е в летнее околополуденное время при низкой и средней солнечной активности.

Если реализуется трасса с несколькими скачками, то МПЧ всей трассы можно оценить как наименьшее значение МПЧ в этих скачках

9.1.6.3 В практике ионосферных исследований исторически введен параметр, характеризующий отношение МПЧ моды 1F2 для дальности 3000 км к критической частоте *f*oF2 по ионограмме ВЗ (*M*3000 F2). Исторически для определения *M*3000 использовался метод номограмм, когда в одном и том же масштабе графически подбиралась кривая передачи из семейства стандартных кривых, касающаяся следа отражения от слоя F2 на ионограмме ВЗ. Кривой передачи называют зависимость высоты эквивалентного треугольника при фиксированной дальности от угла падения φ_0 (рисунок 2а).

9.1.6.4 В системе интерактивной обработки ионограмм на ионозонде «Парус-А» реализована исторически апробированная методика оценки параметра *M*3000 – для фиксированной точки f_v, h' (указатель мышки) строится кривая передачи в диапазоне действующих высот от 200 до 800 км. На рисунке 37 показан пример определения значения МПЧ на ионограмме ВЗ. Механическая операция наложения графиков выполняется программным образом. В поле ионограммы появляется кривая передачи. Курсором надо подвести её к соответствующему следу слоя (F2 или F1) так, чтобы кривая оказалась касательной к следу обыкновенной компоненты, и сделать отсчёт. Значение коэффициента *M*3000 определяется автоматически.

9.1.6.5 Если же определение значения МПЧ3000 невозможно, то соответствующей буквой указывается причина, по которой невозможно определить МПЧ. Если отсчитанное значение МПЧ является сомнительным, то оно сопровождается оценочной буквой U и описательной буквой, соответствующей причине неточности. Чаще всего сомнение возникает из-за неточного определения критической частоты соответствующего слоя. Т. е. буквы, используемые при определении *f*oF2 или *f*oF1, чаще всего повторяются с параметром МПЧ и, соответственно, *M*3000.

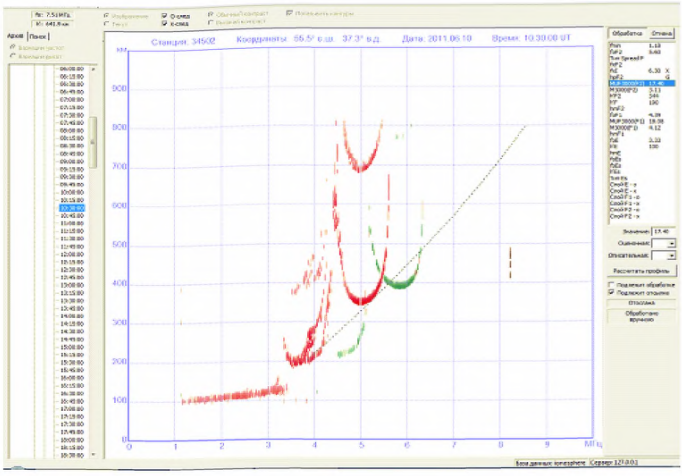


Рисунок 37 – Определения значения МПЧ

9.1.6.6 В процедуре автоматической обработки ионограмм, инкорпорированной в общую систему определения ионосферных параметров ионозонда «Парус-А», МПЧ3000 1F2 находится методом прямого расчёта по высотному профилю концентрации электронов.

9.1.7 Определение действующей высоты следа отражений О-компоненты hpF2

Параметр *h*pF2 определяется по следу F2 на ионограмме, как действующая высота на частоте *f* равной *f*oF2•0,834. В приближении «параболического» слоя эту величину считают равной высоте максимума электронной концентрации. При этом надо обращать внимание что частота *f* равная *f*oF2•0,834 должна быть больше, чем частота на которой определяется *h*'F2. Если это не так, то числовое значение *h*pF2 заменяется буквой G. Если эти частоты совпадают, записывают *h*pF2 = *h*'F2 с буквой G.

На рисунке 38 приведена ионограмма, демонстрирующая пример определения параметра *h*pF2.

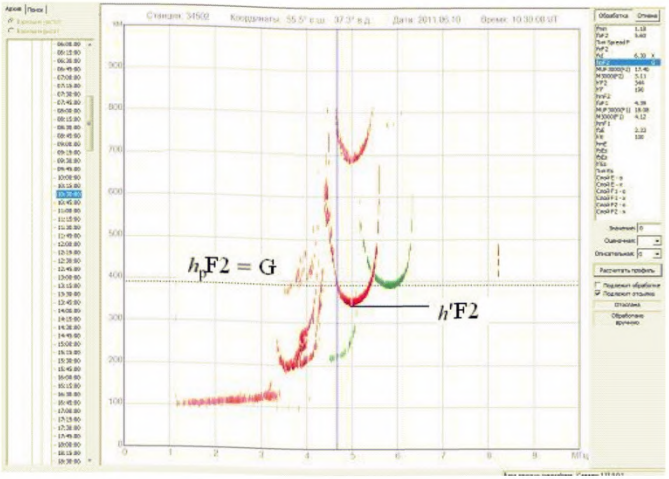


Рисунок 38 – Определения параметра *h*pF2

9.1.8 Представление данных обработки

9.1.8.1 Формат урсиграммы ИОНКА

Гелиогеофизическая информация, поступающая с СП ионосферных наблюдения, имеет стандартный формат для каждого вида урсиграмм.

Для представления результатов обработки ионограмм используется формат урсиграммы ИОНКА, состоящий из 13 групп символов, описанных в таблице 7, разделённых пробелами. ИОНКА завершается знаком равенства (=), который не отделяется пробелом. Общая форма записи формата ИОНКА имеет вид:

ИОНКА ///// ГММДД Н/М/К /ЧЧММ ФФФВВ ПП/ММ СССВВ ОООВВ ККЭЭЭ ЕЕЕВВ АААТ/ РРР//=

Таблица 7

Номер и назначение группы символов	Символ	Описание элементов группы	
1. Кодовое слово	ИОНКА	-	-
2. Индексный номер СП ионосферных наблюдений	/////	-	Пятизначный индексный номер СП ионосферных наблюдений, оборудованного ионозондом ВЗ
3. Дата наблюдения	ГММДД	Г	Последняя цифра года
		ММ	Месяц
		ДД	День по Гринвичу
4. Служебная группа	Н/М/К	Н	Всегда цифра «7»
		/	Всегда косая черта
		М	Количество сеансов зондирования, одновременно сообщаемых в коде
		/	Всегда косая черта
		К	Сумма цифр во всех передаваемых группах, следующих после служебной, только разряд единиц общей суммы
5. Международное время	/ЧЧММ	/	Всегда косая черта
		ЧЧ	Часы
		ММ	Минуты
6. *f*oF2, *h*'F2	ФФФВВ	ФФФ	*f*oF2, записанная в десятых долях МГц
		ВВ	*h*'F2. Записывают только сотни и десятки км
7. M3000F2, тип F-рассеяния (Spread F), *f*min	ПП/ММ	ПП	Коэффициент M3000F2
		/	Косая черта при отсутствии F-рассеяния; при F-рассеянии вместо косой черты ставится цифра, характеризующая тип F-рассеяния: 6-тип F, 7- тип P, 8 - тип Q, 9 - тип L
		ММ	Минимальная частота отражения, в десятых долях МГц
8. *f*oEs, *h*'Es	СССВВ	ССС	*f*oEs, записанная в десятых долях МГц
		ВВ	*h*'Es. Записывают только десятки и единицы км - превышение над уровнем в 100 км
9. *f*oF1, *h*'F	ОООВВ	ООО	*f*oF1, записанная в десятых долях МГц
		ВВ	*h*'F. Записывают только сотни и десятки км
10. M3000F1 и hpF2	КК'ЭЭЭ	КК	M3000F1
		ЭЭЭ	hpF2 в км
11. *f*oE, *h*´E	ЕЕЕВВ	ЕЕЕ	*f*oE, записанная в десятых долях МГц
		ВВ	*h*´E. Записывают только десятки и единицы км - превышение над уровнем в 100 км
12. *f*bEs, тип Es	АААТ/	ААА	*f*bEs, записанная в десятых долях МГц
		Т	Значение, определяющее тип Es: (1 –тип f, 2 –тип *l*, 3 – тип c, 4 – тип h) 5 – тип q, 6 – тип r, 7 – тип a, 8 – тип s, 9 - не классифицируется, 0 - нет данных
		/	Всегда косая черта
13. *f*xI	РРР//	РРР	*f*xI, записанная в десятых долях МГц
		//	Всегда две косые черты

При формировании урсиграммы годом ИОНКА следует учитывать, что

– при отсутствии слоя Es вместо цифры ставится косая черта.

– при отсутствии какого-либо из параметров вместо него в соответствующем месте кода ставится косая черта (или две черты) и одна из следующих цифр, определяющих причину отсутствия параметра:

I – экранирование;

2 – неотклоняющее поглощение;

3 – неисправность аппаратуры;

4 – верхний предел (по частоте) аппаратуры;

5 – нижний предел (по частоте) аппаратуры;

6 – диффузность;

7 – малая плотность ионизации или отсутствие слоя;

8 – сложная ионограмма;

9 – отклоняющее поглощение;

0 – всевозможные прочие причины и помехи.

Например, в случае диффузности, в сообщение вместо последней цифры ставится цифра «6», а недостающие цифры заменяются косой чертой (//6/6).

При формировании сообщения за несколько часов наблюдения группы с пятой по тринадцатую повторяются для каждого часа.

Ниже приведён пример телеграммы с кодом ИОНКА:

ИОНКА 33702 10323 7/1/5 /1200 05628 32616 //7/7 03922 37290 02720 //70/ 068//=

Который расшифровывается следующим образом: 1 группа: служебный код ИОНКА; 2 группа: СП № 33702; 3 группа: 23 марта 2011; 4 группа: 1 сеанс зондирования, единичный разряд суммы цифр равен 5 (1+2+0+0+0+5+6+2+8+ +3+2+6+1+6+7+7+0+3+9+2+2+3+7+2+9+0+0+2+7+2+0+7+0+0+6+8=125);

5 группа: время 12:00, 6 группа: критическая частота слоя F2 равна 5,6 МГц минимальна действующая высота слоя F2 равна 280 км; 7 группа: M3000F2 равен 32, диффузность типа F, минимальная частота отражения равна 1,6 МГц; 8 группа: отсутствие слоя Es; 9 группа: критическая частота слоя F1 равна 3,9 МГц,

минимальная действующая высота слоя F1 равна 220 км; 10 группа: M3000F1 равен 37, высота максимума электронной концентрации слоя F2 в параболическом приближении 290 км; 11 группа: критическая частота слоя E равна 2,7 МГц, минимальная действующая высота слоя E равна 120 км; 12 группа: частота экранировки спорадическим образованием отсутствует; 13 группа: предельная частота отражения от области F равна 6,8 МГц.

9.1.8.2 График частотных характеристик следов отражений

Одна из обязательных форм представления результатов обработки ионограмм ВЗ – *f*-график (рисунок 39).

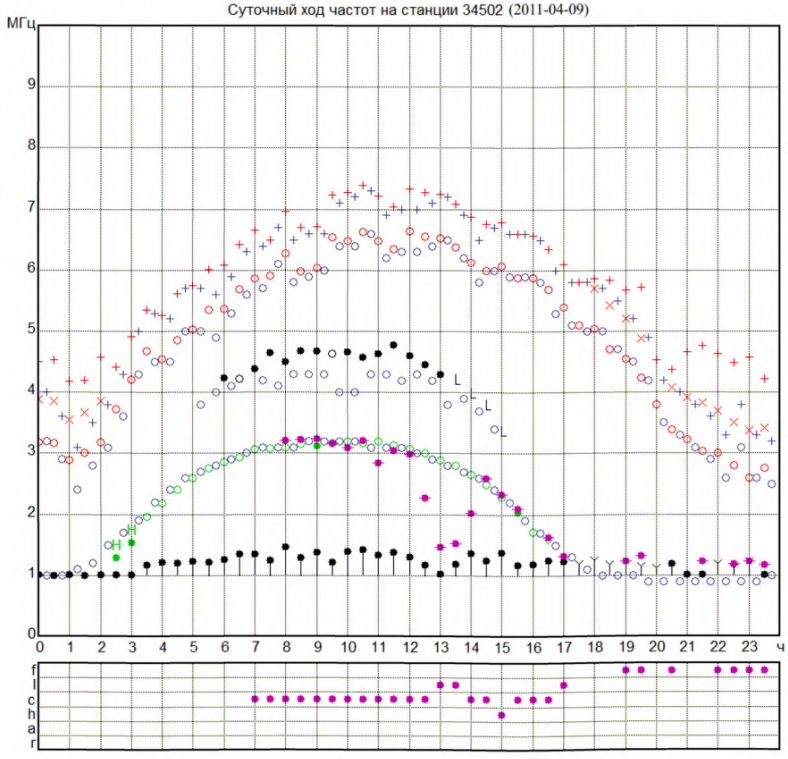


Рисунок 39 – Суточный график частотных характеристик следов отражений (*f*-график)

f-график является суточным графиком частотных характеристик следов отражений, имеющихся на ионограмме. Он показывает зависимость частоты от времени и построен по международным правилам, чтобы можно было легко сравнивать детальные наблюдения, полученные на различных СП ионосферных наблюдений. На *f*-график наносятся все стандартные частоты, кроме *f*oEs. По *f*-графику можно провести интерполяцию для пополнения пропущенных значений.

На ионозонде «Парус-А» предусмотрена предварительная автоматическая обработка данных. Результаты автоматической обработки наносятся на *f*- графики синим цветом. Разноцветные обозначения относятся к ручной обработке.

Внизу *f*-графика имеется дополнительная шкала – «Типы Es». Она показывает наличие отражений от того или иного типа Es.

По международному соглашению для *f*-графиков приняты следующие обозначения:

а) *f*oE, *f*oF1 и *f*oF2, которые согласно правилам точности не имеют при себе оценочных букв, наносятся пустым кружочком – «o»:

*f*oE – «o» зелёный цвет;

*f*oF1 – «o» чёрный;

*f*oF2 – «o» красный;

б) достоверные значения *f*xF2 наносятся значком «x» – красный;

в) если числовое значение любого параметра сопровождается:

– оценочной буквой E (меньше, чем), то на *f*-графике на данной частоте будет значок «∨» с соответствующей описательной буквой.

– оценочной буквой D (больше, чем), то на *f*-графике на данной частоте будет значок «∧» с соответствующей описательной буквой;

в) если *f*oE, *f*oF1, *f*oF2 и *f*xF2 оказывается неточным, т. е. числовое значение сопровождается оценочным и описательным символами, то значения *f*o и *f*x наносятся заполненным кружочком – «•».

*f*oE обозначается «•», если числовое значение *f*oE отмечено буквами UA. Если с буквой U используется другая буква, то рядом со значком «•» на *f*-график будет нанесена эта буква.

*f*oF1 обозначается «•», если числовое значение *f*oF1 отмечено буквами UL. Если с буквой U используется другая буква, то рядом со значком «•» на *f*-график будет нанесена буква. Если на ионограмме нет чёткого перегиба между слоями F1 и F2, на *f*-график наносится буква «L» (верх буквы соответствует условной частоте перехода от слоя F1 к слою F2.

*f*oF2 и *f*xF2 обозначается «•», если числовое значение *f*oF2 и *f*xF2 отмечено буквами UF, если с буквой U используется другая буква, то рядом со значком «•» на *f*-график будет нанесена буква;

г) *f*xI – наибольшая частота, на которой имеются отражения от области F, независимо от того, отражаются ли они от ионосферы над головой или при наклонном падении. На графиках наносится значком «+» – красный цвет. Если *f*xI равна *fxF*2, то в таких случаях *fxF*2 не отсчитывается, а определяется *f*xI и это значение сопровождается описательной буквой X

е) *f*min наносится заполненным кружочком «•» – (чёрный цвет), который соединяется вертикальной линией с нулевой отметкой *f*-графика – « ┃ » (по правилам он должен соединяться с фактической низшей частотой диапазона зондирования (на ионозонде «Парус-А» 1 МГц). Если числовое значение fmin сопровождается оценочной буквой E (меньше, чем) и описательной буквой S, то на *f*-графике на данной частоте будет значок «v» и вертикальная черта. В тех случаях, когда числовое значение *f*min сопровождается оценочной буквой E и описательной буквой C, то рядом со значком «v» на *f*-график будет нанесена буква C;

ж) *f*bEs наносится на *f*-график заполненным кружочком с пересекающей его горизонтальной линией – « ⊸ » (сиреневый цвет). Последовательные наблюдения, относящиеся к одному и тому же типу Es, соединяются между собой прямой линией;

з) типы Es отмечаются на нижней части *f*- и *h*-графиков заполненным кружочком «•».

9.1.8.3 Суточный график действующих высот (*h*-график)

Следующая обязательная форма представления результатов обработки ионограмм ВЗ – *h* -график. *h*-график (рисунок 40) является суточным графиком действующих высот всех областей, имеющихся на ионограмме.

Под графиком имеется также дополнительная шкала – «Типы Es».

На ионозонде «Парус-А» предусмотрена предварительная автоматическая обработка данных. Результаты автоматической обработки наносятся на *h*- графики синим цветом. Разноцветные обозначения относятся к ручной обработке.

Обозначения для *h*-графиков:

а) *h*'E обозначается:

- «o», если значение *h*'E точное;
- «•», если значение *h*'E сопровождается оценочной буквой U;
- «v», если значение *h*'E сопровождается оценочной буквой E;

б) *h*'F обозначается:

- «o», если значение *h*'F точное;
- «•», если значение *h*'F сопровождается буквами U;
- «v», если значение *h*'F сопровождается оценочной буквой E;

в) *h*'F2 обозначается:

- «o», если значение *h*'F2 точное;
- «•», если значение *h*'F2 сопровождается оценочной буквой UL;
- «•» с буквой, если вместо L применяется другая буква;
- «v», если значение *h*'F2 сопровождается оценочной буквой E;

г) В случае точного определения значение минимальной действующей высоты следа Es *h*'Es , используемого для определения *f*oEs, ее обозначают «-•-» (сиреневый цвет). Последовательные наблюдения, относящиеся к одному и тому же типу Es, соединяются между собой прямой линией.

Если *h*'Es сопровождается буквами EG используется обозначение – «v».

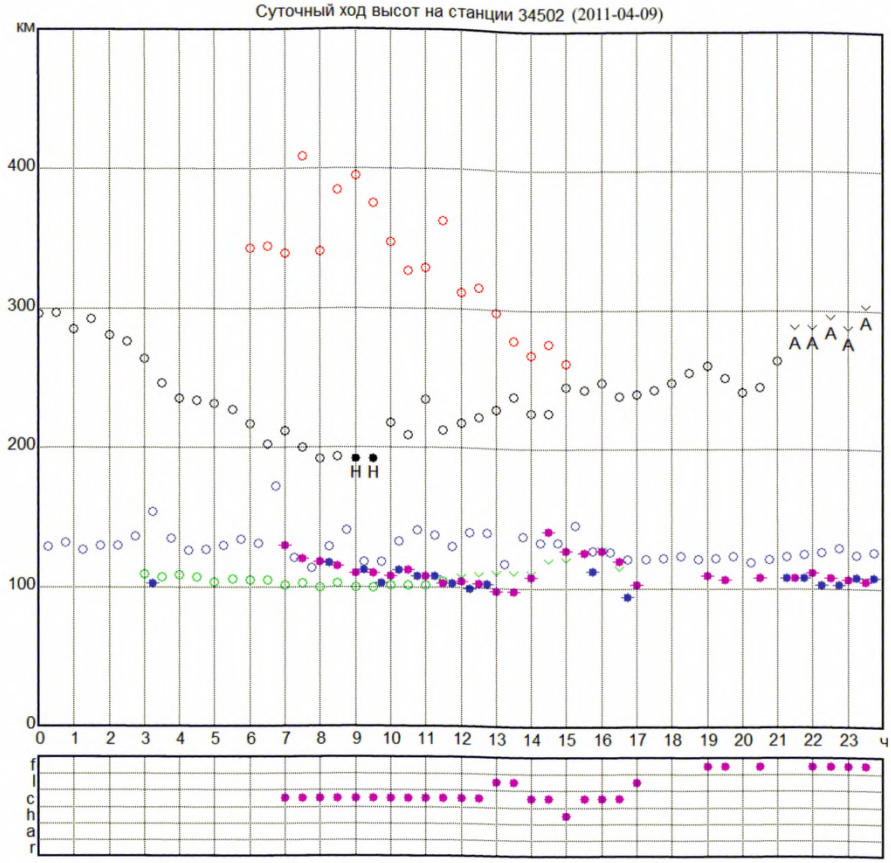


Рисунок 40 – Суточный график действующих высот (*h*-график)

9.1.8.4 Суточная таблица

Результаты обработки ионограмм ВЗ представляются в виде суточных таблиц. Суточная таблица представляет собой таблицу ежечасных значений всех параметров, снимаемых с ионограмм ВЗ (таблица 8). Дополнительно к параметрам, которые наносятся на *f*- и *h*-графики, в таблице отмечаются «Типы F-рассеяния». Для краткой записи в таблицах 8 и 9 вместо обозначений *M*3000F1 и *M*3000F2 использованы соответственно *M*F1 и *M*F2.

Т а б л и ц а 8 – Пример суточной таблицы

Ежечасные значения ионосферных параметров. Станция 34502. Дата: 2011-04-09. Всемирное время Z

	fmin	foF2	M F2	h'F2	h'F	foF1	M F1	foE	h'E	fbEs	foEs	h'Es	Тип Es	hpF2	fxI	Тип F-рас.
00	10	32 F	257 F	-	296	-	-	-	-	-	-	-	-	412 F	45 F	F
01	10	29 F	260 F	-	285	-	-	-	-	-	-	-	-	413 F	42 F	F
02	10	32 F	257 F	-	281	-	-	-	-	-	-	-	-	400 F	46 F	F
03	10	42	308	-	264	-	-	154UH	109	-	-	-	-	307	49 X	-
04	12	45	309	-	235	-	-	219	108	-	-	-	-	297	53 X	-
05	12	50	297	-	231	-	-	259	103	-	-	-	-	316	58 X	-
06	13	54	296	343	217	424UL	359UL	286	105	-	-	-	-	345	61 X	-
07	13	59	294	340	212	439UL	360UL	306	101	G	31	129	c1	342 G	67 X	-
08	15	63	299	341	192	450UL	363UL	310	100	32	32	118	c1	341 G	70 X	-
09	14	60	272	395	192UH	468UL	353UL	312UA	100	32	32	110	c2	G	67 X	-
10	14	65	286	347	218	467UL	340UL	320	101 H	31 G	31 G	108	c2	354	73 X	-
11	13	65	300	329	235	464UL	349UL	320	101	28 G	28 G	108	c1	333	72 X	-
12	13	66	305	312	218	461UL	336UL	307	106EA	30 G	30 G	104	c1l1	322	73 X	-
13	10	65	316	297	228	430UL	361UL	289	109EA	15 G	18 G	97	l1	305	73 X	-
14	14	61	317	268	226	L	L	265 H	109EB	20 G	21 G	108	c2	296	69 X	-
15	14	61	317	262	245	L	L	228	119EB	23	24	127	h2	288	68 X	-
16	12	59	320	-	247	-	-	171	127EA	G	20	127	c2l1	295	66 X	-
17	12	54	305	-	240	-	-	A	A	13	20	103	l1	315	61 X	-
18	12ES	50 F	295 F	-	247	-	-	-	-	-	-	-	-	337 F	59 F	F
19	12ES	45 F	286 F	-	260	-	-	-	-	12	15	109	f1	354 F	57 F	F
20	11ES	38	297	-	241	-	-	-	-	-	-	-	-	328	45 X	-
21	10	32 F	274 F	-	264	-	-	-	-	-	-	-	-	377 F	47 F	F
22	12ES	30 F	276 F	-	287EA	-	-	-	-	S	14	112	f2	379 F	46 F	F
23	12ES	26 F	292 F	-	286EA	-	-	-	-	12	20	106	f2	353 F	46 F	F

Для получения истинных значений числовых параметров числовые значения таблицы 8 необходимо умножить на соответствующие коэффициенты, приведённые в таблице 9. В ней же приведены единицы измерения этих параметров.

Т а б л и ц а 9 – Единицы измерения параметров суточной таблицы

Параметр	*f*min	*f*oE	*f*oF1	*f*oF2	*f*xI	*f*bEs	*f*oEs	*f*xI	*h*'E	*h*'F	*h*'F2	*h*'F	*h*'Es	*h*pF2	*M*F1	*M*F2
K	0,1	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,01	0,01
Единицы измерения	МГц	МГц	МГц	МГц	МГц	МГц	МГц	МГц	км	км	км	км	км	км	-	-

В графе типы Es цифра рядом с буквой, указывающей тип Es, показывает число кратных отражений от наблюдаемого типа области Es. Если одновременно имеются отражения от нескольких типов Es, то на первом месте указывается тип, по которому определяется значение *f*bEs. Одновременно может отмечаться до 3-х типов (при этом 3-й тип отмечается без кратности).

В графе типы F-рассеяния классификация вида рассеянных отражений, представляется соответствующими буквами.

9.1.8.5 Месячные таблицы

Месячные таблицы представляют собой таблицы ежечасных значений критической частоты *f*oF2 и действующей высоты *h*'F2, снимаемых с ионограмм ВЗ в течении календарного месяца.

Ниже в качестве примера приведены месячные таблицы *f*oF2 (таблица 10) и *h*'F2 (таблица 11), полученные по данным стации Москва (34502). Мировое время.

Аналогично таблице 8 для получения истинных значений числовых параметров числовые значения таблиц 10 и 11 необходимо умножить на соответствующие коэффициенты, приведённые в таблице 9.

Т а б л и ц а 10 – Пример месячной таблицы параметра *f*oF2

Месячные значения ионосферного параметра foF2. Август 2011 г. Станция 34502.

День\Час	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	31	30	37	43	49	51	57	64	63	62	62	59	58	58	56	52	55	56	60	63	60	56	46 F	41 F
02	41	34 F	40	50	53 H	54	57	57	61	61	59	58	60	58	60	57	57	61	63	60	55UF	47UF	43UF	41UF
03	35UF	33UF	39 H	48UH	57	57 H	64 H	67	57	62	59	59	59	59	58	55	56	52	51	57 F	56 F	51 F	44 F	42 F
04	39 F	38 F	43 F	49 H	61 H	60	64	63	67	64	58	58	57	57	54	54	57	59	65	68	62	51	45	39
05	35 F	33 F	39UH	52	54	58	63	56 H	66	68UH	62	58UH	58	57	57 H	54	59	57	59	61	58	29 F	27 F	34UF
06	40UF	27UF	30 F	33EG	36 G	38EG	40EG	41EG	42EG	45 G	43EG	48 G	42EG	45 G	46	46	49	49	47	44	35	26	24	20
07	17	23	31	38 G	41 G	44 G	50UH	51 H	54	56	55 H	59	55	55	55	57	54	59	66	66 F	46 F	41UF	37UF	32UF
08	30UF	28UF	36	46	55	49 G	52	59 H	64	66	64	63	59	58	61	57	62	65	60	58	51 F	45 F	43 F	40 F
09	33 F	31UH	40UH	48	49	56	58	53	59	61 H	64UH	61	62	59	60	58	57	66	60	53	48	47	41UF	39
10	34	31	37 H	46	52	64	62	60 H	65	68	67	59	60	57	58	52	60	65	66	59	51	49	43	39
11	38	36	40	48	53	58	58	58	59	61	60 H	58 H	62	56	55	53	56	61	66	62	59	53	50	42
12	41	37	39	45	50	57	59	62	60	63	59	56	56	59	57	55	59	62	68	63	53	51	48	40
13	35	32	36	45	46 H	49	57 H	60	58	60	54	56	52	52	54	55	55	54	57 F	56 F	50 F	44 F	42 F
14	38 F	33 F	36	44	52	58	64 H	61	68	67	72	68	62	63	62	62	59	65	63	59	56	49	40	33
15	33	28	30	40 G	44	49	56	51	57 H	58	53	58	-	A 55	55	53	52	52	44UF	44UF	43 F	43	41	37 F
16	33 F	32 F	34	40 H	46	47	51	52	56	58	56	60	61	57	56	55	57	58	59	53	48	41	37	36
17	35	35	37	46	54	52	55 H	55	-	A 54	58	54	54	56	51	51	50	54	56	55	51	44	44	43
18	38	36	38	46	51	53	62	59	57	61	58 H	58	56	54	57	53	54	59	65	61	59 F	50 F	43 F	41
19	39 F	38 F	38 F	45	56	58UH	59	60	67	69	68	61	58	57	57	56	56	59	59	58	53	47 F	43	38 F
20	37 F	36 F	38	46	52 H	58 H	65	67	69UH	62	66	67	59	57	-	A 57	59	68	71	66	61	56	48	44
21	39 F	39	43	47	56	50 H	56	63	69	65	62	61	58	56	56	55	54	61	63	58	52	48	44	43
22	41	39	36	47	58UH	67	63UH	69	71	68	66	69	72	66	62	61	60	67	66	59	61	56	49	46
23	43	42	40	48	57	60	57UH	61	64	66	63UH	63	62	62	62	62	59	69	66	57	53	49	50	46
24	41	37	37	43	46	52	57	55 V	56	55	54 H	53	53	53	52	52	51	56	60	58 F	52UF	47UF	44 F	38UF
25	37UF	35UF	37 H	46	51 H	58	60	59 H	65	61	67	63	61	62	59	59	55	56	64	60	53 F	48 F	48 F	47 F
26	46	43 F	38UF	46 F	50	56 H	62	63	64	65	64	61	60	60 H	58	59	62	63	60	58	51	49	45	42
27	39	37	32 F	43	54	58	64	67	62	59 H	62	62	59	59	56	56	62	62	62	59	57	52	48 F	42
28	37	35	36	44	50	56	60	63	66	62	62 H	62	66	61	60	60	61	65	67	64	59	52	47	44
29	42	39	36	45	55 V	62	64	72	71	65	72	71	71	65	60	57	58	60	66	63	64	56	48	43
30	39	38	40	49	65	69 H	72 H	79	75	76	67 H	67	68	66	63	59	59	63	64	61	56	50	47	43
31	43	40	40	51	54	59UH	60UH	66	69	70	65	70	68	61	60	59	61	64	64	58	47	39	34	33
Ученко	31	31	31	31	31	31	31	31	30	31	31	31	30	31	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Среднее	37	35	37	45	52	55	59	60	63	62	61	60	60	58	57	56	57	60	61	58	53	47	43	40
Медиана	38	35	37	46	53	57	59	60	64	62	62	60	59	58	57	56	57	61	63	59	53	49	44	41
Н. кварт.	35	32	36	44	49	52	56	56	58	59	58	58	57	56	55	53	55	56	59	57	51	45	41	38
В. кварт.	41	38	40	48	55	59	63	64	67	65	65	63	62	61	60	59	59	65	66	61	58	51	46	43
Д. кварт.	6	6	4	4	6	7	6	8	9	6	7	5	4	5	5	6	5	9	7	5	7	6	6	5

Т а б л и ц а 11 – Пример месячной таблицы параметра *h*'F2

Месячные значения ионосферного параметра h'F2. Август 2011 г. Станция 34502.

День\Час	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	–	–	–	343	362	434	371EA	326	314	316	340	341	328	326	302	322	286	–	–	–	–	–	–	–
02	–	–	–	294	348	290	366	376	331	306	317	337	328	318	291	288	289	–	–	–	–	–	–	–
03	–	–	–	–	297	290	352UH	329	341	328	330	333	341	301	310	294UL	241	–	–	–	–	–	–	–
04	–	–	–	–	289	H311	UA292	351	322	301	301	327	330	326	307	287	278	–	–	–	–	–	–	–
05	–	–	321	238	348	310	291	398	317	328	UH310	304	UH343	304	295	–	L263	–	–	–	–	–	–	–
06	–	–	–	–	G –	G –	G –	G –	G –	G587	EG –	G –	G –	G668	EG441	437	276	–	–	–	–	–	–	–
07	–	–	–	428	352	UL420	EG488	357	369	361	362	UH320	338	327	321	286	264	–	–	–	–	–	–	–
08	–	–	–	332	238	482	EG484	377	H311	307	297	323	364	318	306	–	–	–	–	–	–	–	–	–
09	–	–	–	254	309	331	UH299	353	342	347	311	UH347	284	283	284	283	284	–	–	–	–	–	–	–
10	–	–	–	–	361	285	292	301	304	340	304	332	UH304	337	290	–	L271	300	EA	–	–	–	–	–
11	–	–	–	290	UL280	287	312	367	340	306	314	330	292	326	284	306	274	–	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	326	344	300	318	305	314	330	287	353	353	286	291	304	268	–	–	–	–	–	–	–
13	–	–	–	299	441	392	366	310	337	316	330	321	336	325	320	284	260	–	–	–	–	–	–	–
14	–	–	–	329	287	292	283	304	296	320	286	295	283	297	271	259	249	–	–	–	–	–	–	–
15	–	–	–	–	G306	384	330	H378	340	314	H411	H323	–	A342	UA294	295	268	–	–	–	–	–	–	–
16	–	–	–	347	315	357	340	H380	354	326	379	336	310	290	327	289	–	–	–	–	–	–	–	–
17	–	–	–	304	UL276	304	318	UH332	–	A379	312	354	312	307	268	–	–	–	–	–	–	–	–	–
18	–	–	–	283	310	330	281	320	364	312	336	300	323	292	284	260	–	–	–	–	–	–	–	–
19	–	–	–	–	266	309	UH279	307	278	285	295	310	312	316	299	271	–	–	–	–	–	–	–	–
20	–	–	–	322	UL276	294	295	290	283	311	314	290	278	292	–	A273	270	–	–	–	–	–	–	–
21	–	–	–	291	243	278	359	341	EA289	297	304	299	304	315	271	281	257	–	–	–	–	–	–	–
22	–	–	–	–	L –	L275	290	311	275	290	312	316	278	286	279	269	UL –	–	–	–	–	–	–	–
23	–	–	–	280	270	245	261	342	276	335	299	300	307	285	287	273	244	–	–	–	–	–	–	–
24	–	–	–	304	354	340	321	356	348	378	332	371	399	UL332	290	296	UL –	–	–	–	–	–	–	–
25	–	–	–	290	323	312	294	353	292	317	321	307	309	287	278	264	–	–	–	–	–	–	–	–
26	–	–	–	283	346	337	289	309	337	307	297	291	289	276	270	285	–	–	–	–	–	–	–	–
27	–	–	–	292	UL264	305	301	284	312	369	326	318	294	315	284	263	–	–	–	–	–	–	–	–
28	–	–	–	–	294	UL280	326	290	299	314	307	322	296	264	259	255	–	–	–	–	–	–	–	–
29	–	–	–	–	275	275	UL258	295	265	305	UH296	292	291	265	261	UL –	–	–	–	–	–	–	–	–
30	–	–	–	–	239	253	UL266	279	278	266	311	284	UH298	269	243	–	–	–	–	–	–	–	–	–
31	–	–	–	–	–	–	A305	UH343	EA283	269	290	276	275	255	263	UL –	–	–	–	–	–	–	–	–
Учтено	0	0	1	20	28	29	30	30	29	31	30	30	29	31	30	24	17	1	0	0	0	0	0	0
Среднее	0	0	321	306	308	324	316	331	314	328	317	318	313	310	292	288	268	300	0	0	0	0	0	0
Медиана	0	0	321	296	302	305	303	327	314	316	312	320	309	304	289	283	268	300	0	0	0	0	0	0
Н. кварт.	0	0	321	286	276	288	289	305	287	306	299	300	295	285	271	270	260	300	0	0	0	0	0	0
В. кварт.	0	0	321	325	347	336	340	356	339	336	326	333	329	326	302	294	276	300	0	0	0	0	0	0
Д. кварт.	0	0	0	38	71	51	51	51	52	29	27	33	45	41	31	24	16	0	0	0	0	0	0	0

9.2 Обработка ионограмм внешнего и трансионосферного радиозондирования

9.2.1 Анализ ионограмм

9.2.1.1 Ионограммы, получаемые при внешнем радиозондировании ионосферы, имеют следующие отличия от ионограмм, получаемых при наземном радиозондировании:

– следы отражённых сигналов начинаются вблизи высоты расположения бортового передатчика;

– дополнительно к привычным следам обыкновенной и необыкновенной волн на ионограммах часто наблюдается след необыкновенной Z-волны. След асимптотически заканчивается на частоте f_zI;

– на некоторых частотах наблюдаются устойчивые сигналы, возбуждённые широкополосным излучением передатчика в непосредственной близости от спутника и называемые плазменными резонансами; их частоты определяются параметрами плазмы в окрестности спутника;

– за критическими частотами, определяющими электронную концентрацию в максимуме ионосферы, наблюдаются следы отражения от Земли или от спорадического слоя Es и Земли.

9.2.1.2 Следы на ионограммах при трансионосферном и обратном трансионосферном радиозондировании, как и отражение от Земли, характеризуют не только внешнюю ионосферу, но и внутреннюю, параметры которой могут быть получены в результате специальной обработки.

9.2.1.3 С точки зрения системы контроля состояния ионосферы выделяют три контролируемые с помощью спутникового радиозондирования зоны: первая зона – пространство вблизи спутника, вторая зона – область внешней ионосферы, включая высоту и максимум концентрации слоя F2 и третья зона – область внутренней ионосферы. При этом наблюдается закономерность: с удалением от спутника его диагностирующие возможности ослабляются.

9.2.1.4 Область вблизи спутника характеризуется прежде всего частотами отсечки (см. рисунок 41) – т. е. минимальными частотами, на которых могут распространяться радиоволны определённого типа в плазме – f_{zs}, f_{os}, f_{xs}, где s указывает на то, что измерение сделано на высоте спутника.

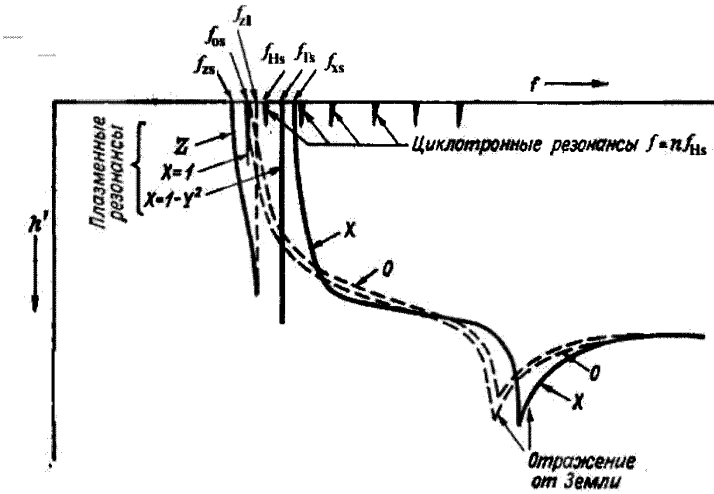


Рисунок 41 – Ионограмма ВнЗ с зоной плазменных и циклотронных резонансов

Частоты отсечки связаны с плазменной частотой на высоте спутника f_p следующими соотношениями:

О-компонента $f_p = f_{os}$,

X-компонента $f_p^2 = f^2_{xs} - f_{Hs} f_{xs}$,

Z-компонента $f_p^2 = f^2_{zs} + f_{Hs} f_{zs}$.

В области плазменных резонансов устойчивые сигналы на ионограмме наблюдаются на следующих частотах:

на плазменной частоте на высоте спутника;

на гирочастоте или циклотронной частоте на высоте спутника $f_{Hs} = eH/mc$;

на циклотронных гармониках на высоте спутника $n_1 f_{Hs}$, где $n_1 = 2, 3, 4$;

на верхней гибридной частоте на высоте спутника $f_{Ts} = \sqrt{f_{os}^2 + f_{Hs}^2}$;

на второй гармонике верхней гибридной частоты на высоте спутника $2 f_{Ts}$.

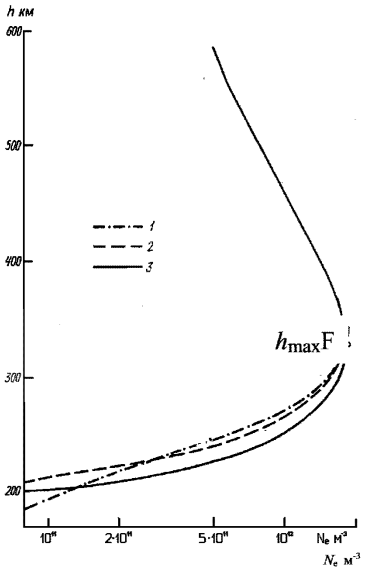
Кроме основных пиков, наблюдаются дополнительные пики, характеризующие распространение электростатической волны или резонансные явления пикообразного вида: диффузные пики, плавающие пики, пики, относящиеся к сумме или разности частот основных резонансных пиков, пик удалённого резонанса, характеризующий гирочастоту на истинной высоте его возникновения и т. д.

Область плазменных резонансов даёт возможность точного и «независимого» от распространения радиоволн определения геофизических характеристик среды – концентрации электронов и напряжённости магнитного поля вблизи спутника.

9.2.1.5 Вторая зона, контролируемая внешним зондированием, начинается, как и первая, вблизи спутника и заканчивается на высоте максимума электронной концентрации. Основным инструментом здесь является пересчёт h'_o- и h'_x-следов на ионограмме в $N_e(h)$-профили внешней ионосферы, который во многом аналогичен расчётам по данным наземных ионограмм. Способы пересчёта внешних ионограмм, в отличие от наземных, лишены трудности учёта параметров ионизации в долине и ниже $h(f\min)$. При расчёте $N_e(h)$-профилей во внешней ионосфере необходимо учитывать изменение гирочастоты как функции высоты. Главным источником ошибок является предположение, что радиоволны распространяются

вниз от спутника вертикально. Современные бортовые ионозонды должны отличать невертикальное распространение с боковым отклонением луча в плоскости магнитного меридиана от вертикального.

9.2.1.6 Третья зона – зона определения параметров внутренней ионосферы по данным спутникового зондирования – может быть разбита на две подзоны. В первой из них f_0F2 и h_{max}F2 могут быть найдены после расчёта $N_e(h)$-профиля по ионограммам внешнего зондирования, во второй модельный профиль внутренней ионосферы может быть определён по отражениям от Земли (рисунок 42).



1 и 2 – ВЗ на ст. Ростов-на-Дону (47,2° с. ш., 33,7° в. д.) 17:46 (1) и 18:15 (2); 3 – зондирование с ИСЗ ИК-19 (47,2° с. ш., 43,0° в. д.) 17:58:58 (выше h_{max}F по данным ВнЗ, ниже – по отражённым от Земли сигналам).

Рисунок 42 – Профили $N_e(h)$ во внутренней и внешней ионосфере, полученные по данным спутникового и наземного зондирования 26 марта 1981 года

9.2.1.7 Наиболее характерной чертой современных ионозондов должна быть возможность получения информации в режиме системного радиозондиро-

вания. Это означает, что, кроме ВЗ и НЗ, наземная станция ВЗ должна регистрировать ионограммы ВнЗ и ТИЗ (или ОТИЗ) с борта КА. При этих условиях станция ВЗ значительно расширяет зону, в которой она контролирует состояние ионосферы. Кроме информации ВЗ, она теперь получает информацию об обширной области (около 5000 км) вдоль трассы ИСЗ из ионограмм ВнЗ. При точности современных ионозондов (около 15 км по действующей глубине и 0,1 МГц по частоте) это позволяет получить $N_e(h)$ профиль внешней ионосферы, в том числе $N_{max}F$ (электронная концентрация в максимуме F-области) и $h_{max}F$ (высота максимума F-области), а также по $h'(f)$-кривым отражения от Земли оценить один параметр внутренней ионосферы, например, полутолщину области в параболической аппроксимации. Получаемые здесь же трансионограммы дополнительно дают сведения о состоянии ионосферы вдоль второй полосы определения параметров внутренней ионосферы. Последние сведения в основном относятся к крупномасштабным и мелкомасштабным неоднородностям ионосферы. Возможны различные схемы работы станции ВЗ, оборудованной аппаратурой системного радиозондирования. Для того чтобы не прерывать длительные и ценные ряды наблюдений, проводимых многими СП ионосферных наблюдений уже в течение нескольких десятилетий через каждые 15 минут можно, например, рекомендовать следующий режим. При отсутствии ИСЗ с ионозондом в зоне радиовидимости конкретной наземной станции ВЗ она проводит стандартное 15-минутное (или более частое в специальные дни) зондирование ионосферы в режимах ВЗ и НЗ. При появлении КА в зоне видимости ионосферной станции ВЗ его бортовая аппаратура переводится в режим, при котором полученные ионограммы ВнЗ здесь же передаются на Землю. На станции ВЗ из этих сигналов выделяются синхронизирующие импульсы, которые управляют работой передатчика станции ВЗ таким образом, чтобы его излучение попало в соответствующие временные и частотные «окна» приёмной аппаратуры бортового ионозонда.

В этом случае на ионограмме ВнЗ регистрируются сигналы ОТИЗ, которые вместе с ионограммой ВнЗ поступают на обработку на станцию ВЗ. Таким образом, на станции ВЗ одновременно должны регистрироваться ионограммы ВЗ, НЗ,

ВнЗ и ОТИЗ. В случае, если изучение передатчика ВЗ не следует использовать по каким-либо техническим (или иным) причинам для получения трансионограмм, ряд системного радиозондирования состоит из ВЗ, НЗ, ВнЗ и ТИЗ, где последний получается на основе использования уже не передающих, а приёмных цепей ионозонда.

9.2.2 Автоматическая и интерактивная обработка данных спутникового зондирования

9.2.2.1 Задачи автоматической обработки

Обработка ионограмм, полученных спутником, производится на Земле. Основным режимом обработки является автоматический. Задачами обработки являются:

- автоматическое выделение следов отражения обыкновенной и необыкновенной волн, а также медленной необыкновенной волны – z-моды (в случае ее присутствия), следов отражения от земли на ионограммах внешнего зондирования;

- автоматическое определение частот отсечек на ионограммах внешнего зондирования;

- автоматическое определение частот основных плазменных резонансов;

- автоматическое определение критической частоты *f*oF2;

- расчёт вертикальных профилей электронной концентрации по выделенным следам отражений (обыкновенной и необыкновенной модам);

- расчёт критической частоты вдоль орбиты спутника по данным об измерении динамических высокочастотных (далее – ВЧ) спектров в диапазоне частот от 0,1 до 20 МГц;

- расчёт локальной плазменной частоты (и локальной концентрации электронов) вдоль орбиты спутника по данным об измерении динамических ВЧ спектров в диапазоне частот от 0,1 до 20 МГц;

- обеспечение интерактивной обработки ионограмм и динамических ВЧ спектров и коррекции автоматически обработанных ионограмм и динамических ВЧ спектров в случае низкого качества ионограмм и спектров или в сложных случаях (сильных геомагнитных возмущениях, ионосферных неоднородностях и при наличии на ионограммах множественных следов отражения).

9.2.2.2 Определение частотного диапазона, занимаемого ионограммой, и критической частоты

Как известно, ионосфера отражает радиоволны, частота которых ниже критической частоты главного максимума ионосферы $f_O F2$. Таким образом, во внешней ионосфере уровень электромагнитных шумов в диапазоне ниже критической частоты довольно низок. Если частоты превышают критическую частоту, то любые электромагнитные сигналы (сигналы радиовещательных КВ радиостанций, различных систем связи и пр.) проникают во внешнюю ионосферу, при этом регистрируемый уровень электромагнитных шумов резко возрастает.

Возможно использование измерения электромагнитного фона, производимого на каждой рабочей частоте ионозонда перед началом сеанса зондирования. Частота, на которой уровень шумов резко повышается (и на более высоких частотах остаётся высоким по сравнению с нижними частотами), обозначается как предположительная критическая частота обыкновенной волны $(f_O F2)_p$, и в дальнейшем анализ производится в частотном диапазоне от 0,1 МГц до предположительной критической частоты необыкновенной волны $(f_X F2)_p$, определяемой по формуле:

$$(f_X F2)_p = \frac{\sqrt{4(f_o F2)^2 + (f_H F2)^2}}{2} + \frac{f_H F2}{2}, \quad (8)$$

где индекс p показывает, что данные значения носят вероятностный характер и не окончательны, то есть определены программой автоматической обработки ионограмм и требуют минимизации невязки между определёнными частотами;

f_HF2 – гирочастота в максимуме области F, определяемая из модели IGRF (International Geomagnetic Reference Field – Международное отсчётное геомагнитное поле).

Упрощённый вариант – анализ производится в диапазоне частот от 0,1 МГц до [$(f_O F2)_p$ + 1 МГц].

9.2.2.3 Определение частот отсечек на высоте орбиты спутника

Одним из отличительных свойств ионограмм внешнего зондирования по сравнению с ионограммами ВЗ с поверхности Земли является наличие плазменных резонансов.

На рисунке 43 (ионограмма спутника Космос-1809) по уровню ВЧ шумов и по увеличению шумов на самой ионограмме определяется $(f_O F2)_p$.

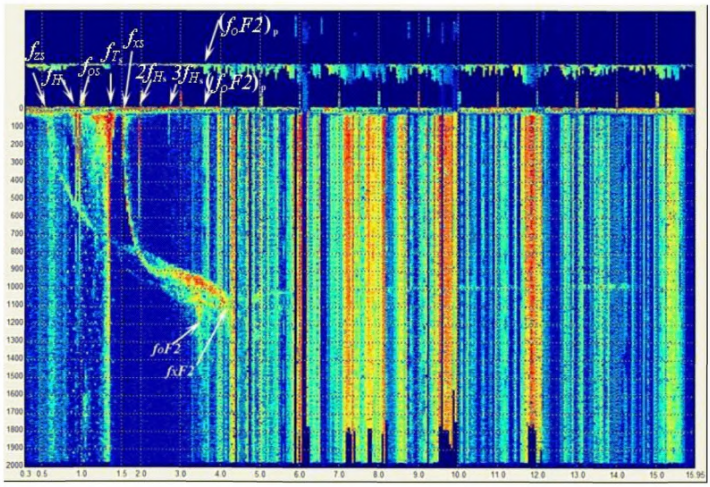


Рисунок 43 – Ионограмма внешнего зондирования с указанием резонансных частот

В дальнейшем анализ производится в частотном диапазоне от 0,1 МГц до [$(f_O F2)_p$ + 1 МГц]. Частота $(f_O F2)_p$ на данной ионограмме равна приблизительно 3,7 МГц. Общий анализ проводится в полосе от 0,1 до 4,7 МГц. Наиболее точно гирочастота f_{Hs} определяется по наивысшей гармонике, наблюдаемой на ионограмме.

В данном случае это 3 гармоника, частота которой равна ~ 2,76 МГц. Это можно проверить также по модели IGRF. Тогда гирочастота равна 0,92 МГц. Соответственно, это левый из двух близкорасположенных резонансов в диапазоне от 0,9 до 1 МГц. Тогда правый резонанс – это локальная плазменная частота f_{0s}. Используя формулы (9), легко рассчитать все остальные частоты.

$$
\begin{aligned}
f_{xs} &= \frac{\sqrt{4f_{0s}^2 + f_{Hs}^2}}{2} + \frac{f_{Hs}}{2}; \\
f_{Ts} &= \sqrt{f_{0s}^2 + f_{Hs}^2}; \\
f_{zs} &= \frac{\sqrt{4f_{0s}^2 + f_{Hs}^2}}{2} - \frac{f_{Hs}}{2}; \\
f_{Hs} &= \frac{f_{xs}^2 - f_{0s}^2}{f_{xs}}; \\
H_s &= 35{,}6\ \frac{f_{xs}^2 - f_{0s}^2}{f_{xs}}.
\end{aligned}
\qquad (9)
$$

Все величины, зависящие от высоты, берутся в окрестности спутника. Размерность модуля вектора напряжённости магнитного поля в окрестности спутника H_s будет выражена в микротеслах, если размерности f_{0s} и f_{xs} выражены в мегагерцах.

В дальнейшем производится минимизация невязки между всеми определёнными частотами и производится абсолютно точная привязка ионограммы по частотам отсечки. Зная частоты отсечки и частоты foF2 и f_xF2, запускается алгоритм распознавания образа следов на ионограмме.

9.3 Обработка результатов радиотомографии

9.3.1 Уравнения наблюдений

В простейшем случае GPS-приёмник или ГЛОНАСС-приёмник – это инструмент, измеряющий время прохождения сигнала от спутника k до приёмника i. Если это время умножить на скорость света в вакууме c, наблюдаемая величина (псевдодальность) может быть представлена в виде комбинации геометрического

расстояния между спутником k и приёмником i $\rho_i^k(t)$, ошибки синхронизации часов приёмника $\delta^k(t)$, ошибки синхронизации часов спутника $\delta_i(t)$, задержек, вызванных распространением сигнала через ионосферу, $I_i^k(t)$, и распространением сигнала через тропосферу $T_i^k(t)$. Обе задержки имеют линейную размерность и представляют собой соответствующие действующие расстояния. Также добавляется шум в наблюдениях, связанный, например, с многолучевостью и нестабильностью фазового центра антенны приёмника. Наблюдаемые псевдодальности (P_{1i}^k и P_{2i}^k – обозначения измерений псевдодальностей на частотах f_1 и f_2) и фазовые измерения (L_{1i}^k и L_{2i}^k – обозначения измерений фаз на частотах f_1 и f_2), выраженные в метрах, можно записать следующим образом:

$$
\begin{aligned}
P_{1i}^k(t) &= \rho_i^k(t) + I_{1i}^k(t) + T_{1i}^k(t) + c\,[\delta_i(t) - \delta^k(t)] + \varepsilon_1 \\
P_{2i}^k(t) &= \rho_i^k(t) + I_{2i}^k(t) + T_{2i}^k(t) + c\,[\delta_i(t) - \delta^k(t)] + \varepsilon_2 \\
L_{1i}^k(t) &= \rho_i^k(t) + N_{1i}^k\lambda_1 - I_{1i}^k(t) + T_{1i}^k(t) + c\,[\delta_i(t) - \delta^k(t)] + \varepsilon_1 \\
L_{2i}^k(t) &= \rho_i^k(t) + N_{2i}^k\lambda_2 - I_{2i}^k(t) + T_{2i}^k(t) + c\,[\delta_i(t) - \delta^k(t)] + \varepsilon_2,
\end{aligned}
\qquad (10)
$$

где $\varepsilon_{1,2}$ – случайные погрешности измерений;

$N_{1,2\,i}^k$ – число длин волн на соответствующих частотах.

Уравнения для фазовых измерений (L_{1i}^k и L_{2i}^k) включают в себя неоднозначность $N_{1,2\,i}^k\,\lambda_{1,2}$, равную расстоянию между приёмником и спутником в момент начала приёма. Ионосферные вклады в измерения псевдодальности и фазовые измерения противоположены по знаку.

9.3.2 Сигналы спутников

9.3.2.1 С каждого спутника излучаются сигналы на двух несущих частотах: L1 Carrier Wave 1575,42 МГц, L2 Carrier Wave 1227,60 МГц. Две частоты необходимы для создания возможности вычисления дисперсии и её учёта при измерениях. С помощью бифазной манипуляции (180°) на сигналы наложен двоичный

цифровой код. Цифровой код представляет собой результат сложения «псевдослучайной последовательности» и информационного сообщения.

Сложение производится операцией «сложение по модулю 2». Она не изменяет длину кода, повторное сложение приводит к исходному сообщению, наложение их друг на друга не влияет на способность распознать сообщение.

9.3.2.2 Основными типами форматов данных, с которыми необходимо работать на этапе восстановления трёхмерного распределения электронной концентрации для ВОРТ, являются двоичные форматы данных приёмников и текстовый формат RINEX (Receiver Independent Exchange Format – формат независимого обмена приёмников), преобразование в который может быть произведено штатными утилитами конвертирования.

Двоичные файлы имеют форматы, специфичные для каждого производителя приёмника, но всегда содержат самую полную информацию, включая возможные особенности приёмников, свойственные данному производителю.

Текстовые файлы RINEX обычно содержат заметно меньше информации по сравнению с двоичными, занимают больше места на носителях, но более просты для программного считывания и пригодны для просмотра текстовыми редакторами. Кроме того, формат файлов RINEX не зависит от производителей приёмников, задействованных в измерениях.

Для осуществления пространственно-временных радиотомографических реконструкций распределения электронной концентрации в ионосфере используются данные глобальных навигационных систем, которые включают в себя данные приёмных СП ионосферных наблюдений в формате RINEX и 15-минутные эфемериды спутников в формате SP3. В RINEX-файлах содержатся фазовые данные L1 и L2 (фазовые задержки, известные с точностью до начального целого числа циклов) и данные по групповым задержкам (псевдодальностям) P_{1i}^{k} и P_{2i}^{k}.

9.3.2.3 Главной измеряемой величиной для определения относительного ПЭС (с точностью до неизвестной постоянной величины) являются фазы несущих частот L1 и L2. Дополнительной информацией, обеспечивающей грубую оценку постоянной составляющей ПЭС, могут послужить измерения групповых

задержек (кодовые измерения) на тех же двух несущих частотах. Также для дополнительных расчётов, связанных с вычислением параметров ионосферы, могут требоваться измерения доплеровского смещения несущих частот.

9.3.2.4 Минимальным набором данных, предназначенных для РТ-реконструкции, является пучок лучей. Для каждого из лучей необходимо задать его пространственное положение, момент времени и интеграл вдоль луча.

Данные по пучку лучей представляются в текстовом файле. В первой строке должно быть указано количество лучей в пучке (для упрощения считывания файла). Каждая последующая строка представляет собой данные по одному лучу и содержит восемь чисел, разделённых пробелами:

- декартовы координаты x, y, z первого конца луча в системе отсчёта, связанной с центром Земли (оси x, y лежат в плоскости экватора, ось x пересекает нулевой меридиан, ось y – 90-й меридиан, ось z проходит через северный полюс). Координаты выражены в километрах;
- декартовы координаты x, y, z второго конца луча в той же системе отсчёта;
- время от начала суток в секундах;
- значение интеграла вдоль луча.

Пример листинга файла данных показан на рисунке 44. Дискретизация по времени 10 мин.

```
1843.96 3016.2 5291.26 20363.3 -8456.09 14569.1 45600 -63.390658981921419
1843.96 3016.2 5291.26 19780.1 -7416.93 15880.5 46200 -65.403995377767359
1843.96 3016.2 5291.26 19175.2 -6284    17069.4 46800 -67.480471137380633
1843.96 3016.2 5291.26 18561.4 -5056.76 18125.5 47400 -69.335612050677071
1843.96 3016.2 5291.26 17950.5 -3750.94 19040.4 48000 -70.82985899050054
1843.96 3016.2 5291.26 17351.6 -2367.55 19808   48600 -72.378998701016741
1843.96 3016.2 5291.26 16775.3 -916.757 20421.8 49200 -73.551728766112063
1843.96 3016.2 5291.26 16230.7 583.541  20877   49800 -74.553726029633353
1843.96 3016.2 5291.26 15724.3 2129.38  21170.7 50400 -75.629079916269404
1843.96 3016.2 5291.26 15262.8 3705.23  21300.3 51000 -76.46797139803688
1843.96 3016.2 5291.26 14851.4 5296.63  21265.2 51600 -77.231255239722728
1843.96 3016.2 5291.26 14492.8 6892     21065.7 52200 -77.543510722648392
1843.96 3016.2 5291.26 14189.3 8476.31  20703.4 52800 -77.610489451504947
1843.96 3016.2 5291.26 13940.9 10034.5  20181.8 53400 -77.728995918222708
1843.96 3016.2 5291.26 13746.6 11555    19504.4 54000 -77.775433696354682
1843.96 3016.2 5291.26 13603.8 13023.4  18676.7 54600 -77.688984909366937
1843.96 3016.2 5291.26 13531.8 14012.7  18012   55200 -77.773953117261257
```

Рисунок 44 – Пример листинга файла данных

В данном случае первый конец луча соответствует приёмному пункту наблюдений РТС, а второй – спутнику.

9.3.2.5 Выходными данными должны являться (все файлы текстовые):

1) массивы трёхмерных сеток.

Каждый файл содержит значения искомой функции на сетке последовательно развёрнутой по высоте, долготе и широте. В конце каждого ряда данных по высоте и долготе содержится символ перевода конца строки. Каждый файл соответствует фиксированному моменту времени. Количества отсчётов по высоте, долготе и широте равны указанному в конфигурационном файле числу интервалов плюс один. Имя файла состоит из фиксированного префикса array и номера отсчёта по времени;

2) карты ПЭС

Каждый файл содержит значения вертикального ПЭС, на сетке последовательно развёрнутой по долготе и широте. В конце каждого ряда данных по долготе содержится символ перевода конца строки. Каждый файл соответствует фиксированному моменту времени. Количества отсчётов по долготе и широте равны указанному в конфигурационном файле числу интервалов плюс один. Имя файла состоит из фиксированного префикса ПЭС и номера отсчёта по времени;

3) зависимость невязки от номера итерации.

Зависимость невязки от номера итерации сохраняется в файле df.dat в виде двух столбцов чисел, разделённых пробелом;

4) растровые изображения электронной концентрации на заданной высоте и в выбранном сечении;

5) растровые изображения карты ПЭС.

Пример файла с растровым изображением распределения электронной концентрации в выбранном сечении показан на рисунках 45, 46.

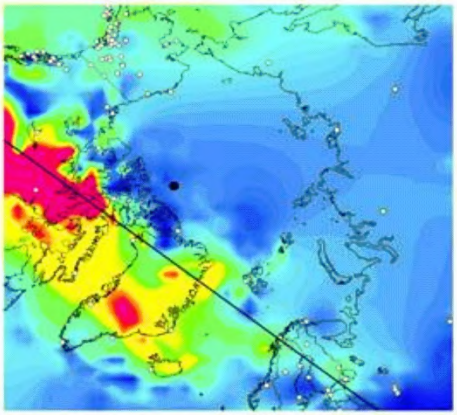


Рисунок 45 – Пример карты ПЭС

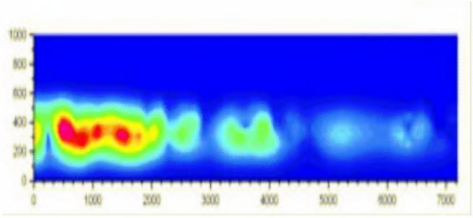


Рисунок 46 – Пример распределения электронной концентрации в выбранном сечении

9.3.2.6 Входными данными для восстановления радиотомографических разрезов ионосферы для НОРТ являются файлы регистрации изменения разности фаз предметного и опорного сигналов, получаемые от ПАК НОРТ.

В каждом выходном файле ПАК НОРТ содержатся два массива данных: амплитуда и в радианах, а также ряд атрибутов, характеризующих условия получения этих данных. Список атрибутов приведён в таблице 12.

Т а б л и ц а 12 – Список глобальных атрибутов данных файла

Обозначение атрибута в файле	Значение атрибута
freq	Частота дискретизации записанного сигнала, Гц
start_time	Время начала записи данных в формате ГГГГ-ММ-ДД ЧЧ:ММ:СС.мс
pass_id	Уникальный для данного ПАК комплекса идентификатор сеанса
max_elevation	Максимальный угол возвышения, достигнутый ИСЗ за время сеанса
sat_name	Международное наименование ИСЗ
sat_id	Идентификатор ИСЗ
station_name	Трёхсимвольное обозначение ПАК
station_id	Идентификатор ПАК
lat	Широта размещения ПАК, градусы
lon	Долгота размещения ПАК, градусы
height	Высота размещения ПАК, метры над уровнем моря
tle1	Первая строка баллистических данных
tle2	Вторая строка баллистических данных

9.3.2.7 Имена выходных файлов для НОРТ формируются в формате СТАГГГГММДДЧЧММССНИСЗ00.nc, где СТА – трёхсимвольное наименование ПАК, ГГГГ – год, ММ – месяц, ДД – день месяца, ЧЧММСС – часы, минуты и секунды времени начала записи, НИСЗ – четырёхсимвольное обозначение ИСЗ.

9.3.2.8 В процессе работы информационной технологии по восстановлению радиотомографических разрезов ионосферы формируется несколько выходных файлов, содержащих как результаты обработки информации, так и данные об условиях и промежуточных результатах расчёта распределения электронной концентрации ионосферы.

9.3.2.9 Выходными файлами процесса обработки являются:

– результаты реконструкции распределения электронной концентрации <имя _файла>.crf;

– растровое изображение распределение электронной концентрации <имя _файла>.png;

– файл условий обработки <имя _файла>.log;

– файл ошибок обработки <имя _файла>.err.

9.3.2.10 Имя файла содержит время середины сеанса регистрации данных, и записывается в формате ГГГГММДДЧЧммСС, где ГГГГ – год, ММ – месяц, ДД – день месяца, ЧЧммСС – часы, минуты и секунды времени начала записи, например, название файла 20090106234914.crf обозначает то, что он содержит результаты реконструкции по данным, зарегистрированным в 23 часа 49 минут 14 секунд (± 10 минут) 6 января 2009 года. Все значения времени в системе хранятся в мировом времени.

9.3.2.11 Файл с результатами реконструкции распределения электронной концентрации является текстовым файлом и содержит три столбца: широта (градусы), высота (км) и значение электронной концентрации в этой точке в 10^{11} эл/м^3.

Пример содержимого (первые 5 строк) приведён ниже:

26.239279 0.000000 3.668087e-020

26.689730 0.000000 3.637319e-020

27.140180 0.000000 3.606551e-020

27.590631 0.000000 3.575783e-020

28.041081 0.000000 3.545015e-020

9.3.2.12 Пример файла с растровым изображением распределения электронной концентрации показан на рисунке 47.

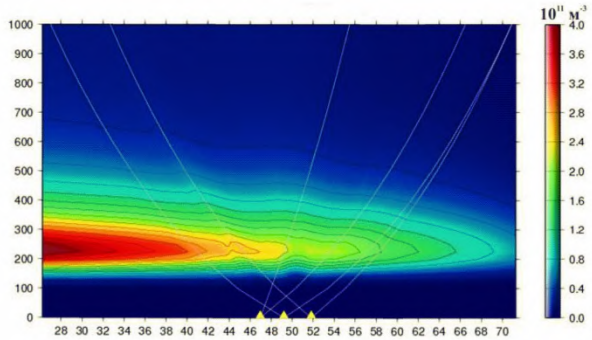


Рисунок 47 – Пример растрового изображения распределения электронной концентрации

9.3.2.13 Файл условий обработки содержит условия хода обработки данных. Пример файла представлен ниже:

```
$h={
decimator => 8,
relative_tolerance => 1,
sat_height => 1000,
t_step => 50,
h_step => 25,
iter => 30,
bounds => [-800, 1200, 150, 850],
stations => {ysk => 46.96, por => 49.2, nog => 51.81, },
edges => {ysk => [55.425097, 2.4390028, 66.416402, 2.91033327], por => [27.059776, 0.162539851, 70.821042, 2.96651014], nog => [32.715471, 0.241339654, 70.81787, 2.89780657], },
sta_num => 3,
num_rays => 9123,
grid_rows => 41,
grid_cols => 101,
ld_t0 => -2300,
ig_l2 => 0.168477,
mf2_l => 4.1875e+011,
mf2_r => 6.75e+010,
mf2_ht => 227,
rec_l2 => 0.00948261,
rec_l_ => 0.195833,
total => «0.800517 min», };
```

Содержимое файла имеет синтаксис структуры HASH языка программирования Perl для удобства его автоматической интерпретации. Значения тематических полей перечислены в таблице 13.

Т а б л и ц а 13 – Значения тематических полей

Наименование поля	Комментарий к содержимому поля
decimator	Для обработки из исходных данных берется каждое <decimator> измерение (если исходные данные избыточны)
relative_tolerance	Величина коррекции решения регуляризирующим профилем
sat_height	Высота ИСЗ над уровнем моря, км
t_step	Шаг сетки реконструкции по вдоль направления пролёта, км
h_step	Шаг сетки реконструкции по высоте, км.
bounds	Массив границ области реконструкции, для которых выводятся результаты реконструкции, км от южного пункта наблюдений РТС цепочки (минимальная широта, максимальная широта, минимальная высота, максимальная высота)
stations	Координаты использованных при обработке приёмных установок
edges	Широта и угол возвышения ИСЗ в крайних точках наблюдения для каждой приёмной установки
sta_num	Количество приёмных установок, данные которых использовались для обработки
num_rays	Количество измерений
grid_rows	Количество строк в сетке реконструкции
grid_cols	Количество столбцов в сетке реконструкции
ld_t0	Расстояние от наиболее южной приёмной установки до наиболее южного столбца (начала) сетки реконструкции
ig_l2	Относительная среднеквадратичная ошибка, полученная в ходе подбора начального приближения
mf2_l	Значение N_eF2 подобранного начального приближения в первом столбце сетки реконструкции
mf2_r	Значение N_eF2 подобранного начального приближения в последнем столбце сетки реконструкции
mf2_ht	Использованное значение высоты слоя F2
rec_l2	Относительная среднеквадратичная ошибка, полученная в ходе решения задачи реконструкции (восстановлении интегральных значений)
rec_l_	Относительная максимальная ошибка, полученная в ходе решения задачи реконструкции (восстановлении интегральных значений)
total	Время, затраченное на совместную обработку данных

10 Сбор, хранение и выдача результатов наблюдений потребителям

10.1 Средства сбора и распространения гелиогеофизической информации

10.1.1 Телекоммуникационные каналы связи Росгидромета

10.1.1.1 Для решения задач сбора и распространения гелиогеофизической информации (в том числе и ионосферной информации), используются прежде всего телекоммуникационные каналы связи Росгидромета.

10.1.1.2 Работу функциональных систем системы телесвязи Росгидромета обеспечивает прежде всего подсистема низовой связи (ПНС), отвечающая за передачу информации от СП ионосферных наблюдений в центры первичного сбора данных, расположенные в территориальных и областных центрах Росгидромета.

По структуре задействованных технических средств ПНС разделяется на:

- ПНС в районах с развитой телекоммуникационной инфраструктурой;
- ПНС с труднодоступными СП ионосферных наблюдений в районах с неразвитой телекоммуникационной инфраструктурой;

10.1.1.3 Работу функциональных систем системы телесвязи Росгидромета также обеспечивает ведомственная сеть связи, которая в свою очередь включает:

- подсистему каналов связи;
- транспортную корпоративную компьютерную сеть (ТККС) «Меком»;
- подсистему ведомственной электронной почты;
- подсистему ведомственной телефонии;
- подсистему информационной безопасности;
- подсистему управления;
- подсистему обеспечения функционирования.

10.1.1.4 Ведомственная сеть связи базируется на выделенных арендованных магистральных и внутризоновых каналах связи, пропускная способность которых не менее 64 кбит/с и составляет:

- на направлениях ЦГМС – УГМС не менее 64 кбит/с;
- на направлениях УГМС – региональный узел телесвязи не менее 128 кбит/с;
- на направлениях между региональным узлом телесвязи и Мировым метеорологическим центром и на каналах спутниковой связи VSAT (Very Small Aperture Terminal – малая спутниковая наземная станция не менее 1024 (2048) кбит/с;

10.1.1.5 Работу функциональных систем системы телесвязи Росгидромета также обеспечивает автоматизированная система передачи данных (АСПД) – прикладная система, осуществляющая основные функции на уровнях модели OSI (Open System Interconnection – стандартная модель взаимодействия открытых систем) от 4 до 7 и коммуникационные функции на уровнях от 1 до 3. Узлы АСПД функционируют на стыке различных технологий, включая стыковку различных интерфейсов, перекодировку и представление данных измерений, преобразование форматов сообщений, автоматизированную маршрутизацию сообщений по признакам, принятым в системе Росгидромета и ВМО;

10.1.1.6 К телекоммуникационным каналам связи относится также система циркулярного распространения информации (СЦРИ) Росгидромета.

СЦРИ Росгидромета использует технологию МИТРА (MITRA – Multiaddress Information TRAnsmission, многоадресная передача информации) – совокупность протоколов, алгоритмов, программных и технических средств, позволяющих организовать высоконадёжную и экономически эффективную многоадресную передачу файлов по спутниковым каналам и IP-сетям. Это прикладная система, которая обеспечивает передачу больших объёмов информации из центров обработки к её потребителям по каналам широкополосного спутникового вещания федерального государственного унитарного предприятия (ФГУП) «Космическая связь» в диапазоне от 3,4 до 7 ГГц (в настоящее время начато вещание и в диапазоне от 10,7 до 18 ГГц). Дополняет возможности АСПД и ТККС «Ме-

ком», использующих выделенные каналы связи относительно невысокой пропускной способности, а также обеспечивает передачу необходимой информации потребителям, не подключённым к АСПД и ТККС «Меком».

10.1.2 Прочие каналы связи Росгидромета

10.1.2.1 Для решения задач сбора и распространения гелиогеофизической информации используются также:

– спутниковые телекоммуникационные системы сбора данных Росгидромета с использованием отечественных полярно-орбитальных и геостационарных КА: оперативный сбор информации с платформ сбора данных (ПСД), ретрансляцию данных ПСД на наземные пункты приёма, получение данных от бортовых датчиков отечественных полярно-орбитальных и геостационарных КА;

– автономные пункты приёма гелиогеофизической информации непосредственно с борта КА в квазинепрерывном режиме;

– имеющиеся технические гелиогеофизические средства мониторинга, включая наземный комплекс приёма, обработки и распространения спутниковой информации (НКПОР) Росгидромета, в том числе подлежащие модернизации;

– обмен информацией по протоколу FTP с использованием сети Интернет;

– электронная почта через Интернет/»Меком»;

– вновь организованные выделенные каналы связи – оптоволоконные, радиорелейные и так далее с минимальной пропускной способностью 100 Мбит/с.

10.1.2.2 В настоящее время основным средством приёма-передачи гелиогеофизической информации, в том числе и о состоянии ионосферы, является Интернет и ведомственная сеть «Меком». В рамках этих сетей используются: технологические системы, АСПД «Погода» (в том числе, использование протокола WMO-FTP, WMO – World Meteorological Organization, ВМО), электронная почта e-mail (SMTP+POP3) и WWW (HTTP). Также используются спутниковый канал «Митра», телеграфная и телефонная сеть. По телефонной сети данные передаются с помощью модема, факса и голосом. Для приёма и передачи спутниковой

информации используются отдельные каналы FTP в рамках тех же сетей.

10.2 Организация сбора и передачи данных гелиогеофизических наблюдений

10.2.1 Организация сбора данных наблюдений базируется на использовании типовых технических и технологических решений Интегрированной информационно-телекоммуникационной системы Росгидромета, включая российский сегмент Информационной системы ВМО.

10.2.2 Все циркулирующие в подсистеме сбора гелиогеофизической информации данные сопровождаются метаданными, их описывающими. Метаданные создаются на уровне платформ сбора данных (СП ионосферных наблюдений), содержат уникальный идентификатор, сведения о содержании, пространственно-временном покрытии и сведения, отражающие специфику данных наблюдений.

10.2.3 Для сбора данных гелиогеофизических наблюдений используется прикладной протокол обмена данными на базе транспортного протокола TCP/IP и децентрализованный механизм подключения (рисунок 48).

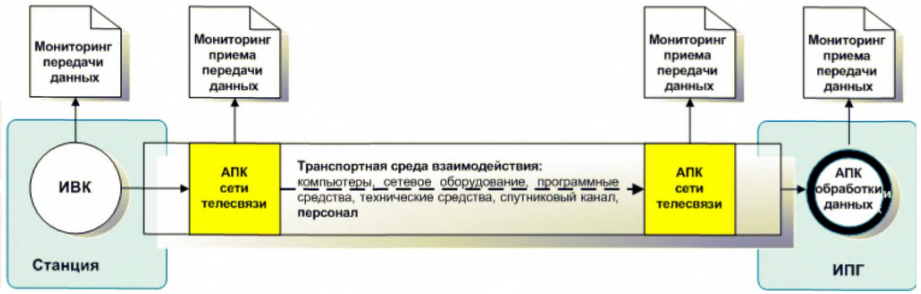


Рисунок 48 – Технология сбора данных гелиогеофизических наблюдений, использующая технологические системы сети телесвязи Росгидромета

Данная технология обеспечивает подключение любой платформы сбора данных к любому доступному центру сбора данных (ЦСД), с последующей регистрацией в системе распределённых данных интегрированная информационно-

телекоммуникационная система сбора и обмена геофизической информацией (далее – ИИТС) в качестве штатного источника данных, что существенно повышает живучесть всей системы в целом.

10.2.4 В качестве ПСД может рассматриваться контроллер или ПК, обеспечивающий передачу данных, модуль передачи данных которого разработан с использованием Библиотеки интеграции, выполняющей все функции аппаратно-программного комплекса (АПК) ПСД, и прошёл соответствующую сертификацию.

10.2.5 Обмен данными в сети взаимосвязанных ЦСД в режиме «выталкивание» (push) осуществляется по единым политикам управления данными в части распространения информации. Для этой цели предусматривается применение каталога распространения информации, как части аналогичного общесистемного каталога в соответствии с зоной действия сети взаимосвязанных АПК ЦСД.

10.2.6 Для обеспечения надёжности функционирования системы сбора данных наблюдений и управления функционированием геофизических измерительных комплексов предусмотрены резервные каналы связи и маршруты доставки критически важной информации с возможностью использования унифицированных протоколов передачи данных, организована регулярная проверка функционирования системы резервной связи.

Пример возможной организации основного (сплошная стрелка) и резервных (пунктирные стрелки) каналов связи и передачи данных из ЗГМО «Бор» (Подкаменная Тунгуска) представлен на рисунке 49. Основной маршрут:

- спутниковый канал связи ЗГМО «Бор» – спутниковый оператор конструкторского бюро «Искра» (с использованием ресурсов КА «Экспресс-АМ2»);

- волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) с пропускной способностью 2048 кбит/с – служба АСПД Среднесибирского УГМС (Красноярск);

- арендованные каналы связи Красноярск – Новосибирск, Новосибирск – Москва;

- ВОЛС с пропускной способностью канала Авиаметтелеком – ФГБУ «ИПГ» (оператор «АКАДО Телеком»).

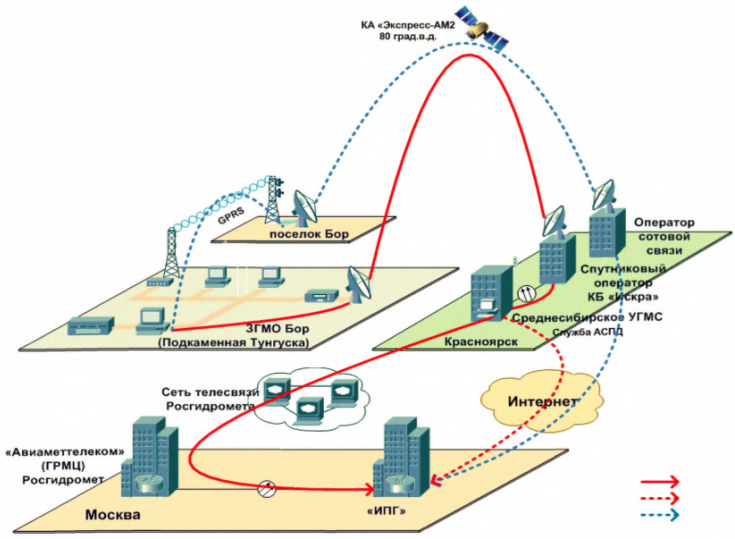


Рисунок 49 – Схема связи, основной и резервные маршруты передачи данных с СП ионосферных наблюдений Подкаменная Тунгуска в ФГБУ «ИПГ»

10.2.7 ПО платформ сбора данных гелиогеофизической информации должно иметь возможность автоматического обновления со специально выделенных для этой цели в ИИТС серверов. Для одновременной эксплуатации средств связи и измерительного комплекса необходимо обеспечение соответствующих характеристик электромагнитной совместимости.

10.3 Выдача результатов гелиогеофизических наблюдений

10.3.1 Общий поток информации, поступающий от наземных и космических систем наблюдательной сети службы и международного обмена, в Гелиогеофизической службе используется для решения следующих задач:

- оценки текущего состояния и прогноза солнечной активности, межпланетной среды, магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы;

- контроля и прогноза радиационной обстановки;

- диагностики изменений состояния магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы, за счёт естественных и антропогенных факторов.

10.3.2 Оперативная и режимно-справочная информация распространяется через:

- сайт ФГБУ «ИПГ»;

- телефонные автоинформаторы (ежечасные ионосферные и трёхчасовые геомагнитные данные, ежесуточные солнечные и геомагнитные данные);

- сеть Интернет;

- сеть абонентского телеграфа по суточной циклограмме;

- автоматизированную систему передачи данных Росгидромета («Погода»);

- электронную почту (E-mail);

- каналы GST WMO (глобальная система телесвязи ВМО);

- почту и все остальные вышеупомянутые каналы связи.

10.3.3 Потребители обеспечиваются оперативной гелиогеофизической информацией в соответствии с ведомственным заказом и заявками заинтересованных ведомств и организаций, в том числе и заявками стран СНГ.

10.3.4 Информационное обеспечение потребителей (органов государственной власти, организаций и населения) прогностической гелиогеофизической информации проходит по следующим направлениям:

- ежедневное и по запросу оперативное гелиогеофизическое обеспечение деятельности федеральных, муниципальных и местных органов исполнительной и законодательной власти Российской Федерации;

- ежедневное обеспечение населения информацией о текущих и ожидаемых гелиогеофизических явлениях на Солнце, в околоземном космическом пространстве (ОКП), магнитосфере, ионосфере и высоких слоях атмосферы через средства массовой информации;

- ежедневное обеспечение Российских и зарубежных организаций текущими данными и прогнозами состояния активности Солнца, радиационной обстановки в ОКП, магнитосферы, ионосферы и высоких слоёв атмосферы, условий распространения радиоволн, прогнозами распределения МПЧ на конкретных радиотрассах, а также специальными данными (Федеральные органы законодательной и исполнительной власти Российской Федерации, Росгидромет, МЧС, РАН,

РАМН, РЖД, Роскосмос, Минобороны, зарубежные научные, метеорологические и геофизические центры и др.);

- ежедневное обеспечение организаций экстренной информацией о возникновении опасных и аномальных геофизических и гелиофизических явлений (солнечные вспышки, геомагнитные бури и ионосферные возмущения, ухудшение радиационной обстановки), приводящих к изменению программ работы ПКК, выходу из строя аппаратуры спутников связи и других КА, а также наземных технических систем;

- обеспечение межведомственной Общероссийской комплексной системы оповещения населения (ОКСИОН) информацией об опасных и аномальных гелиогеофизических событиях;

- ежедневная рассылка прогнозов по электронной почте, факсу и курьерская рассылка по соответствующему перечню организаций.

10.3.5 В рамках специализированного АПК существует процедура формирования адресов, которая подготавливает данные для рассылки потребителям. АПК обеспечивает быстрое формирование информационных пакетов соответственно запросам.

10.3.6 Выпускается оперативная и режимно-справочная информация:

- ежедневная сводка «Обзор и прогноз космической погоды»;

- дважды в сутки выпускаются материалы, содержащие наблюдательные данные и диагностические оценки;

- гелиогеофизические прогнозы солнечной активности, состояния геомагнитного поля, состояния ионосферы и радиационной обстановки в ОКП (краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные);

- еженедельные бюллетени «Гелиогеофизические данные»;

- информация об опасных гелиогеофизических явлениях (ОГЯ). Данный вид информации поставляется в случаях, когда на основании солнечной, геомагнитной и ионосферной информации с наземных СП ионосферных наблюдений и по наблюдениям на космических аппаратах, а также данных о потоках заряженных частиц ожидается или регистрируется ОГЯ.

10.3.7 Примером выпуска обзора с диагностическими оценками является полусуточный прогноз состояния отдельных областей ионосферы по регионам. Краткосрочный полусуточный прогноз включает в себя:

- текущие ионосферные данные (ИОНДА) по слою F2 (foF2 и M3000F2) по опорным пунктам для следующих регионов территории РФ: полярная шапка, зона полярных сияний, средние широты, восток, юг. В качестве опорных пунктов используются следующие СП ионосферных наблюдений: обсерватория имени Кренкеля (о. Хейса), Салехард, Мурманск, Диксон, Москва, Санкт-Петербург, Хабаровск, Новосибирск, Подкаменная Тунгуска, Ростов-на-Дону, Магадан, Ашхабад, Ташкент. foF2 передаётся с точностью до десятых долей мегагерца. В случае foF2 > 10 МГц цифра, соответствующая десяткам мегагерц, опускается. M3000F2 передаётся с точностью до десятых;

- ионосферные характеристики, полусуточные прогнозы (ИОНХА), пятидневные прогнозы состояния ионосферы (ПРОГНОЗ) для тех же регионов;

- характеристики магнитной активности и сведения о началах и концах бурь по данным магнитных обсерваторий: Москва, Подкаменная Тунгуска.

10.3.8 Гелиогеофизическая служба каждые пять дней передаёт медианные значения и прогноз отклонений от медианных значений ионосферных и магнитных данных, рассчитанный для СП ионосферных наблюдений своего региона: Москва, Ростов и обобщённую и проверенную информацию всех региональных центров.

10.3.9 Ежемесячно выпускается прогноз ионосферной и магнитной возмущённости на следующий месяц, рассчитанный для СП ионосферных наблюдений, входящих в зону ответственности ФГБУ «ИПГ» (код ПРОГНОЗ), и обобщённый прогноз региональных центров Мурманск, Новосибирск, Хабаровск и Ташкент.

10.3.10 Выпускаются специализированные прогнозы распространения радиоволн:

- месячный прогноз МПЧ;

- суточный, пятисуточный, месячный прогноз диапазонов ОРЧ для конкретных радиотрасс.

11 Метрологическое, нормативное и техническое обеспечение ионосферных наблюдений

11.1 Научно-методическое руководство нормативным и метрологическим обеспечением ионосферных наблюдений

11.1.1 Под метрологическим, техническим и нормативным обеспечением ионосферных наблюдений понимается система программных мероприятий по стандартизации и метрологии, необходимая для разработки, производства и эксплуатации средств наблюдений, создания поверочных лабораторий, организации технологических процессов и других работ, для обеспечения единства и требуемой точности измерений, а также для технического обслуживания средств ионосферной наблюдательной сети.

11.1.2 Целью метрологического и нормативного обеспечения ионосферных наблюдений является своевременное создание и реализация системно увязанного комплекса стандартов и эталонов Российской Федерации, межгосударственных и международных стандартов, норм и правил, а также методов и средств измерений, поверки, калибровки, устанавливающих и обеспечивающих единство, требуемую точность и достоверность измерений при проведении ионосферных наблюдений, повышение эффективности наблюдений, недопущение недостоверных результатов измерений.

11.1.3 В метрологическое и нормативное обеспечение ионосферных наблюдений включены следующие направления деятельности:

- разработка новых нормативных документов, обновление (пересмотр, внесение изменений) действующих нормативных документов по стандартизации и обеспечению единства измерений на основании современных требований Росгидромета, Росстандарта, ВМО и др.;

- разработка норм, правил, требований, а также методик обработки ионосферных наблюдений;

- проведение научно-исследовательских работ по разработке необходимых стандартов;

- проведение фундаментальных и прикладных научных исследований с целью создания и (или) совершенствования эталонов единиц физических величин, методов и средств поверки и калибровки средств измерений, а также методик измерений, разработки соответствующего программного обеспечения;

- создание поверочных, калибровочных лабораторий и других метрологических комплексов для обеспечения ионосферных наблюдений;

- проведения испытаний с целью утверждения типа, аттестация методик измерений и программного обеспечения;

- нормативное и метрологическое обеспечение работ по сертификации продукции и систем менеджмента качества.

Направления деятельности по нормативному и метрологическому обеспечению ионосферных наблюдений согласуются с действующим в Российской Федерации фондом государственных стандартов, комплексом национальных эталонов Российской Федерации, системой каталогизации и системой сертификации.

11.1.4 Реализация работ по нормативному и метрологическому обеспечению ионосферных наблюдений осуществляются в соответствии с требованиями по стандартизации и метрологии в действующем законодательстве Российской Федерации и с положениями законов Российской Федерации: «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008 (далее –Закон), «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002, а также в соответствии с требованиями стандартов, норм и правил Государственной системы стандартизации в Российской Федерации, Государственной системы обеспечения единства измерений, Государственной системы каталогизации.

11.1.5 Выполнение работ по нормативному и метрологическому обеспечению ионосферных наблюдений взаимосвязано с тематическими федеральными и межгосударственными целевыми программами, в том числе с такими как: Федеральная космическая программа, ведомственная целевая программа Минпромторга «Проведение фундаментальных исследований в области метрологии, разработки государственных (в том числе, первичных) эталонов единиц величин»« и др.

11.1.6 Базовой организацией Метрологической службы Росгидромета в части работ по обеспечению единства измерений при наблюдениях за состоянием атмосферы в слоях выше 100 км, ионосферы, магнитосферы, околоземного космического пространства, межпланетного пространства и Солнца является ФГБУ «ИПГ» [1]. Научно-методическое руководство нормативным и метрологическим обеспечением ионосферных наблюдений осуществляет метрологическая служба ФГБУ «ИПГ».

11.1.7 Структура метрологической службы ФГБУ «ИПГ» представлена на рисунке 50.

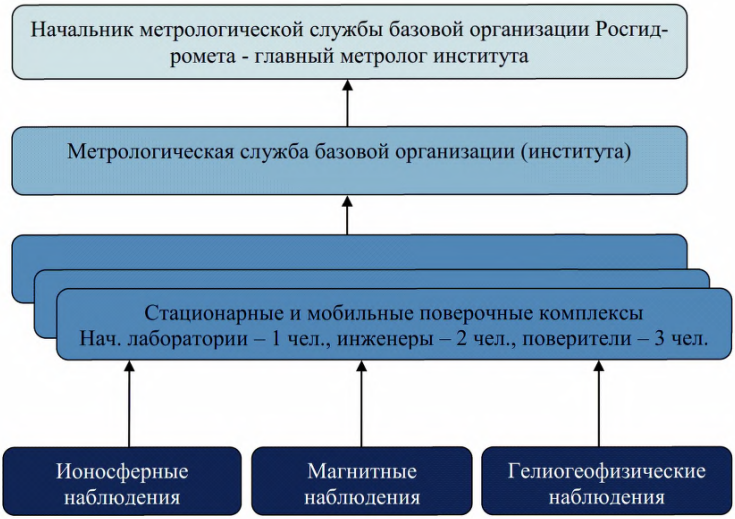


Рисунок 50 – Состав и структура метрологической службы ФГБУ «ИПГ»

11.1.8 Формирование метрологической службы ФГБУ «ИПГ» ведётся в соответствии с Положением [2] и предполагает совместное проведение регламентных, ремонтных и поверочных (калибровочных) работ в рамках технического обеспечения средств измерений (ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений) вместе с представителями предприятий-изготовителей, в основном, на местах эксплуатации этих средств.

11.1.9 Техническая поддержка метрологического обеспечения ионосферной наблюдательной сети осуществляется лабораторией измерительной техники с рабочими эталонами, имитаторами сигналов, стандартными техническими средствами контроля технических характеристик технических средств ионосферных наблюдений, созданной в ФГБУ «ИПГ» на основании требований Положения [2], РД 52.14.610, РД 52.04.567.

11.2 Распространение сферы государственного регулирования и обеспечения единства измерений на ионосферные наблюдения

11.2.1 На технические средства ионосферных наблюдений (средства измерений) распространяются следующие метрологические требования Закона:

- обязательное выполнение требований к средствам измерений (испытание и утверждения типа, поверка (калибровка));

- обязательное выполнение требований к техническим системам и устройствам с измерительными функциями (сертификация, подтверждение заявленных характеристик);

- обязательная аттестация методик (методов) измерений;

- обязательная аттестация программного обеспечения;

- метрологическая экспертиза, метрологический надзор и др.

11.2.2 Перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования в части ионосферных наблюдений, представлен в таблице 14 [3].

Таблица 14 – Основные измерения при осуществлении деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях (выдержка) [3].

Измерения	Обязательные метрологические требования к измерениям	
	Диапазон измерений	Предельно допустимая погрешность
36 Измерение максимальной частоты волны, отражающейся от слоя F2 ионосферы, МГц	От 1 до 20	$\Delta = \pm 0{,}2$
37 Измерение полного содержания электронов в ионосфере, $м^{-2}$	От 10^{16} до 10^{18}	$\Delta = \pm 2 \cdot 10^{16}$

11.2.3 На ионосферные наблюдения распространяются требования по утверждению типа средств измерений (внесение в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений - Госреестр средств измерений), на основании Закона и в соответствии с порядком, установленным в [4] и [5].

Пример свидетельства об утверждении типа средств измерений, полученного ФГБУ «ИПГ» на ионозонд «Парус-А», и описания типа средств измерения приведены на рисунке 51.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

RU.C.35.001.A № 48409

Срок действия до 12 октября 2017 г.

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Станции вертикального радиозондирования ионосферы наземные "Парус-А"

ИЗГОТОВИТЕЛИ
ФГБУН "Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова" Российской академии наук (ФГБУН "ИЗМИРАН"), г. Троицк, Московская обл.,
ФГБУ "Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова" (ФГБУ "ИПГ"), г. Москва

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № **51425-12**

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
100269 МП

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **3 года**

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от **12 октября 2012 г. № 838**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.
Заместитель Руководителя
Федерального агентства Ф.В.Булыгин

"24" 10 2012 г.

Серия СИ № 006904

Приложение к свидетельству № **4849** Лист № 1
об утверждении типа средств измерений Всего листов 4

ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Станции вертикального радиозондирования ионосферы наземные «Парус-А»

Назначение средства измерений

Станции вертикального радиозондирования ионосферы наземные «Парус-А» (далее – ионозонды) предназначены для измерений времени задержки радиоимпульса, импульсного напряжения переменного тока, а также для отображения результатов измерений и расчетных величин.

Описание средства измерений

Принцип действия ионозонда состоит в генерировании импульсного сигнала 100-микросекундной длительности, с заполнением несущей частотой от 1 до 20 МГц, излучаемого антенно-фидерным устройством (АФУ), не входящим в состав ионозонда, и измерении времени задержки этого сигнала после его отражения от слоев ионосферы.

Конструктивно ионозонды выполнены в виде функциональных блоков: радиоприемного устройства (РПУ), радиопередающего устройства (РПДУ), блока управления и цифровой обработки (БУ). РПДУ конструктивно представляет собой моноблок, выполняющий функции передатчика. РПУ представляет собой модульную конструкцию, выполненную в стандарте Евромеханика и имеет две конструктивные модификации. В первой модификации в конструкцию РПУ в качестве составной части встраивается БУ, во второй модификации БУ входит в состав персонального компьютера (ПЭВМ). Управление ионозондом осуществляется от ПЭВМ. В первой модификации ПЭВМ представляет собой автономное устройство, состоящее из системного блока, монитора, клавиатуры и манипулятора «Мышь». Во второй модификации ПЭВМ представляет собой сенсорную панель, входящую в состав РПУ.

По условиям эксплуатации ионозонды удовлетворяют требованиям группы 2 по ГОСТ 22261-94 с диапазоном рабочих температур от 10 до 30 °С, относительной влажностью воздуха 95 % при температуре 25 °С.

Внешний вид ионозондов, места опломбирования и наклеек представлены на рисунках 1…3.



* - место наклеек
Рисунок 1 – Внешний вид РПУ (модификация 1)



** - место пломбировки
Рисунок 2 – Внешний вид РПУ (модификация 2)

Рисунок 51 – Свидетельство и описание типа ионозондов «Парус-А»

В случае признания средств наблюдений техническими системами или устройствами с измерительными функциями в соответствии с ГОСТ Р 8.563 они должны быть сертифицированы в рамках системы добровольной сертификации и откалиброваны, если таковые не являются средствами измерений [6].

11.2.4 ПО ионозондов должно пройти аттестацию в соответствии с ГОСТ Р 8.654, Р 50.2.077, МИ 2891, другими документами.

11.3 Стандартизация и унификация средств ионосферных наблюдений

11.3.1 Требования к стандартизации ионосферных наблюдений

11.3.1.1 Базовой организацией службы стандартизации Росгидромета в области методов и технических средств наблюдений за состоянием атмосферы в слоях выше 100 км является ФГБУ «ИПГ» РД 52.14.610.

11.3.1.2 Работы по стандартизации ионосферных наблюдений проводятся в соответствии с законом Российской Федерации «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002, ГОСТ Р 1.0, требованиями ВМО (см. п. 11.3.1.3).

Все средства ионосферных наблюдений должны соответствовать разработкам современного международного уровня в соответствии с рекомендациями по ионосферным наблюдениям ВМО, Международного союза электросвязи (ITU), Международного радиосоюза (URSI), ведомственных и других рекомендаций.

11.3.1.3 Для стандартизации унификации ионосферных средств наблюдений ВМО разработала рекомендации к соответствующим техническим средствам. В целях координирования, стандартизации и улучшения всемирной метеорологической и связанной с ней деятельности Конгресс ВМО утверждает технические регламенты. В них входят стандартные практика и процедуры и рекомендованная практика и процедуры, называемые вместе стандарты и рекомендованная практика. Стандартные практика и процедуры имеют статус требований и страны-члены обязаны им следовать или выполнять.

В соответствии с требованиями ВМО ионосферная сеть наблюдений России должна соответствовать базе данных ВМО [7], созданной экспертами данной организации для сетей, входящих в глобальные системы наблюдений Expert Team on Evolution of Global Observing Systems (ET-EGOS). В таблице 15 приведены технические и метрологические рекомендации ВМО к ионосферным сетям и средствам наблюдений.

Т а б л и ц а 15 – Технические и метрологические требования ВМО к ионосферным сетям и средствам наблюдений

Параметр	Разрешение по горизонтали, км			Интервалы наблюдений, мин			Время задержки передачи данных, мин			Точность			Примечание
	желательно	удовлетворительно	не хуже	желательно	удовлетворительно	не хуже	желательно	удовлетворительно	не хуже	желательно	удовлетворительно	не хуже	
ПЭС	100	200	500	5	15	60	1	10	60	0,1 TECU	0,5 TECU	2 TECU	Определение ПЭС (TEC)
Ионосферные сцинтилляции (мерцания)	50	100	200	1	2	10	1	10	60	0,10 %	1,00 %	10,00 %	GNSS (Глобальная навигационная спутниковая система) Нарушение показателей, кратковременные затухания сигналов.
Вертикальная протяжённость возмущённой области F (h`P)	10	200	500	5	15	60	1	10	60	1 км	5 км	50 км	Минимальная действующая высота, соответствующая наибольшей частоте существования рассеянного следа отражения от области F
h_{max}F2	100	200	500	5	15	60	1	10	60	1 км	5 км	10 км	Определение профиля концентрации электронов (N_e(h)-профиля)
*f*oF2	100	200	500	5	15	60	1	10	60	0,05 МГц	0,1 МГц	0,2 МГц	Определение профиля концентрации электронов (N_e(h)-профиля)

Продолжение таблицы 15

Параметр	Разрешение по горизонтали, км			Интервалы наблюдений, мин			Время задержки передачи данных, мин			Точность			Примечание
	желательно	удовлетворительно	не хуже	желательно	удовлетворительно	не хуже	желательно	удовлетворительно	не хуже	желательно	удовлетворительно	не хуже	
Действующая высота области F	100	200	500	5	15	60	1	10	60	1 км	5 км	10 км	То же
*f*oEs	100	200	500	5	15	60	1	10	60	0,05 МГц	0,1 МГц	0,2 МГц	Условия распространения радиоволн
Скорость дрейфа ионосферной плазмы	10	50	300	<1	5	30	1	10	60	50 м/с	100 м/с	200 м/с	Перенос ионосферной плазмы
Поглощение радиоволн в ионосфере	100	200	500	<1	5	10	1	10	60	0,1 дБ	0,5 дБ	1 дБ	Наличие высокочастотных радиосигналов

11.3.2 Технический комитет по стандартизации ТК-101

11.3.2.1 Для обеспечения единства измерений при производстве гелиогеофизических, магнитных и ионосферных наблюдений при ФГБУ «ИПГ» создан технический комитет (ТК) по стандартизации ТК-101 – «Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере», в который организационно входят 6 подкомитетов. Структура ТК-101 приведена в таблице 16. ТК-101 отвечает за 54 национальных и межгосударственных стандарта.

Т а б л и ц а 16 – Структура ТК по стандартизации ТК-101

Название подкомитетов ТК-101	Организация, на базе которой создаётся подкомитет ТК-101, Руководители ТК-101, подкомитетов
Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере	ФГБУ «ИПГ», 129128, Москва, ул. Ростокинская, д. 9 *Председатель ТК-101 директор ФГБУ «ИПГ»*
Подкомитет ПК-1 Процессы в ионосфере, магнитосфере, атмосфере и в околоземном космическом пространстве	ФГБУ «ИПГ», 129128, Москва, ул. Ростокинская, д. 9 *Председатель ПК-1 главный метролог ФГБУ «ИПГ»*
Подкомитет ПК-2 Магнитное поле Земли	ФБГУН «ИЗМИРАН». 142190, Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4 *Председатель ПК-2 директор ФГБУН «ИЗМИРАН»*
Подкомитет ПК-3 Прохождение радиоволн в атмосфере, магнитосфере, ионосфере и околоземном космическом пространстве	ФГБУ «ИПГ», 129128, Москва, ул. Ростокинская, д. 9 *Председатель ПК-3 ст. науч. сотрудник ФГБУ «ИПГ»*
Подкомитет ПК-4 Методы и средства метрологического обеспечения измерений параметров прохождения радиоволн в верхней атмосфере, ионосфере Земли и околоземном пространстве	ФГУП «ВНИИФТРИ». 241570, Московская обл., Солнечногорский р-н, пгт. Менделеево *Председатель ПК-4 зам. руководителя НИО-8*
Подкомитет ПК-5 Метрологическое обеспечение физико-химических измерений параметров среды верхней атмосфере	ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 190005, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 19 *Председатель ПК-5 руководитель отделения Госэталонов*
Подкомитет ПК-6 Методы измерений термодинамических параметров, газового и аэрозольного состава атмосферы	ФГБУ «ЦАО», 141799, г. Долгопрудный, Московская обл., ул. Первомайская, д.3 *Председатель ПК-6 директор ФГБУ «ЦАО»*

11.3.2.2 В состав ТК-101 входят 15 организаций Росгидромета, РАН, Росстандарта. Перечень организаций, входящих в ТК-101, представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень организаций, входящих в ТК-101

Организация	Адрес
1 ФГБУ «ИПГ»	129128, г. Москва, ул. Ростокинская, д. 9
2 ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова» (ИЗМИРАН)	142190, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4
3 ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» Росстандарта (ФГУП «ВНИИФТРИ»)	141570, Московская обл., Солнечногорский р-н, г. п. Менделеево
4 ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева» Росстандарта (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)	19805, Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 19
5 ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» (ФГБУ «ЦАО»)	141799, г. Долгопрудный, Моск. обл., ул. Первомайская, д. 3
6 ФГБУН «Институт физики атмосферы Российской академии наук» (ФГБУН «ИФА РАН»)	119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3
7 ФГБУН «Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук» (ФГБУН «ИСЗФ СО РАН»)	664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126а
8 ФГУП «Геофизический Центр Российской академии наук» (ФГБУН «ГЦ РАН»)	112296, г. Москва, Молодежная, д. 3
9 ФГБУН «Институт динамики геосфер Российской академии наук» (ФГБУН «ИДГ РАН»)	112296, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 38, кор. 1.
10 ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»)	199397 Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38
11 ФГБУН «НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова» (ФГБУН «НИИЯФ»)	119992-ГСП, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
12 ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» Росстандарта (ФГУП «ВНИИОФИ»)	119361, г. Москва, ул. Озерная, д.46
13 ФГБУН «Институт космических исследований Российской академии наук» (ФГБУН «ИКИ РАН»)	117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32
14 ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН» (ФГБУН «ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН»)	125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7
15 ФГУП «Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации» Росстандарта (ФГУП «НИИУС»)	107113, г. Москва, Сокольнический вал, д. 37/10

11.3.2.3 Задачи ТК-101:

- выработка единых требований в области стандартизации и метрологического обеспечения всех видов работ, связанных с мониторингом физических полей и излучений в околоземном космическом пространстве, ионосфере, магнитосфере и атмосфере;

- разработка единых требований по организации мониторинга параметров ионосферы, магнитосферы и атмосферы техническими средствами;

- разработка единых требований на метрологическое обеспечение комплекса целевой аппаратуры;

- проведение экспертиз технических регламентов в составе экспертных комиссий;

- проведение экспертиз стандартов организаций;

- сотрудничество и оказание методической помощи предприятиям (организациям) по видам деятельности. Проведение консультаций и экспертиз с последующей выдачей экспертных заключений;

- сотрудничество с испытательными центрами (лабораториями) и органами по сертификации.

11.3.2.4 Специализация ТК-101 и его подкомитетов (таблица 16) по видам деятельности включает в себя:

- разработку документов по стандартизации в области метрологии: методик поверки, терминов и определений, технических требований к методам и средствам измерений;

- разработку перспективных стандартов национального и международного уровней;

- метрологическое и нормативное обеспечение и обслуживание реализации вышеуказанных работ.

11.4 Обеспечение качества ионосферных наблюдений

11.4.1 Обеспечение качества ионосферных наблюдений в соответствии с мировой практикой осуществляется через управление качеством. Данное направление обеспечения ионосферных наблюдений должно удовлетворять стандартам: ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ РВ 0015-002*.

---

* В случае проведение работ в рамках Гособоронзаказа, в соответствии с постановлением Правительства РФ от 17.08.2010 г. № 629.

11.4.2 Общая схема управления качеством согласно ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 0015-002 состоит в следующем:

- знать требования потребителей информации;

- выявлять и документировать процессы производства, управления и материально-технического обеспечения, связанные с ионосферными наблюдениями;

- определить цели: возможности ионозондов, каналов передачи измерительной информации, эксплуатационные характеристики, желаемый уровень надёжности, приемлемые и неприемлемые временны́е рамки ремонтных работ;

- получить одобрение этих целей пользователями (или пересмотреть их) и, при необходимости, направить официальное уведомление о различиях. Нехватка ресурсов или персонала может означать внедрение систем и/или методов наблюдения, которые удовлетворяют не всем требованиям потребителей;

- убедиться в достижении целей, т. е. определить аспекты технического обслуживания, запасных частей, профилактического ремонта и т. д.

- определить частоту проведения технического обслуживания;

- провести количественную оценку достижения целей и установить надлежащие показатели;

- осуществлять контроль за результатами, выявлять и устранять отклонения от нормы;

- оценить удовлетворённость потребителей и действия по повышению качества;

- оценить удовлетворённость потребителей обслуживанием, обеспечиваемым автоматическими системами;

- предпринять корректирующие и профилактические действия. Это означает совершенствование системы на протяжении срока её службы в целях повышения уровня её возможностей и уменьшения ограничений. Это особенно важно в отношении тех автоматических систем наблюдения, которые ещё не удовлетворяют всем требованиям.

11.5 Техническое обслуживание ионосферной наблюдательной сети

11.5.1 Обязанности персонала СП ионосферных наблюдений в части технического обслуживания

В обязанности персонала СП ионосферных наблюдений в части технического обслуживания входит:

- обеспечение физической сохранности оборудования;

- обеспечение в помещении, в котором размещено оборудование, необходимого режима температуры, пыле- и влагозащищённости;

- обеспечение и контроль наличия доступа к электросети и каналу доступа в сеть Росгидромета и, если это соответствует руководству по эксплуатации оборудования, в Интернет;

- составление и поддержание в актуальном состоянии схемы размещения оборудования;

- ведение журнала учёта работы оборудования, в котором фиксируется каждая возникающая нештатная ситуация;

- извещение специалистов головных НИУ о любой нештатной ситуации;

- знание руководств по эксплуатации и руководств оператора ПО;

- выполнение, в случае необходимости, по указанию специалистов головных НИУ операций с оборудованием из числа описанных в руководствах по эксплуатации;

- проведение технического осмотра и периодических планово-профилактических работ установленного оборудования.

11.5.2 Техническое обслуживание антенно-фидерных комплексов

11.5.2.1 Для обеспечения технического обслуживания АФК необходимо иметь техническую документацию на АФК, принимаемые в эксплуатацию.

11.5.2.2 Основной задачей технического обслуживания АФК является поддержание качественных показателей приёмо-передающего тракта измерительного комплекса в пределах, установленных паспортами на них, а также механического состояния всех элементов трактов, обеспечивающих надёжность их работы.

11.5.2.3 Техническое обслуживание подразделяется на текущее (повседневное) – технический осмотр и планово-профилактическое (периодическое).

Ремонтные работы подразделяются на текущие и капитальные.

11.5.2.4 При техническом осмотре опор обращают внимание на наличие повреждений и коррозии:

- конструкций мачт и оттяжек мачт (наличие искривлений в элементах поясов и решётки, наличие вибрации в оттяжках и элементах ствола);
- анкерных закреплений оттяжек мачт;
- конструкций крепления опоры к фундаментам;
- наземной части фундаментов.

Результаты технического осмотра записываются в технический журнал, а также делаются записи об устранении этих неисправностей.

11.5.2.5 При проведении текущих технических осмотров проводится визуальный контроль конструкций, видимых с земли невооружённым глазом или при помощи бинокля, осмотр которых не требует подъёма на высоту, а также затрат времени.

11.5.2.6 Планово-профилактическое обслуживание антенно-фидерных устройств выполняется согласно годовому плану-графику.

11.5.2.7 В план-график технического обслуживания, ревизий и текущего ремонта включают следующие работы:

- геодезическую проверку проектного положения стволов мачт с целью своевременного выявления опор, находящихся в аварийном состоянии;
- значений монтажных натяжений в оттяжках мачт (с их регулировкой), с осмотром оттяжек и механических деталей, болтовых соединений и сварных швов (с применением лупы в сомнительных случаях);

- крепление антенн и волноводных трактов;

- герметизацию антенно-волноводных трактов;

- снегозащитного ограждения;

- внешний осмотр светильников, проверка состояния изоляции питающих кабелей и т. д.);

- молниезащиты мачт и оттяжек;

- проведение контрольных замеров сопротивления заземления.

11.5.2.8 СП ионосферных наблюдений должен быть обеспечен инструментом, приспособлениями и оборудованием, необходимым для проведения текущего ремонта антенно-фидерных устройств, выполняемого персоналом.

11.5.3 Проверка работоспособности ионозонда на примере ионозонда «Парус-А»

Проверка правильности работы ионозонда проводится не менее одного раза в месяц.

Правильность работы ионозонда оценивается путём анализа ионограмм, на которых наблюдаются кратные отражения (рисунок 52).

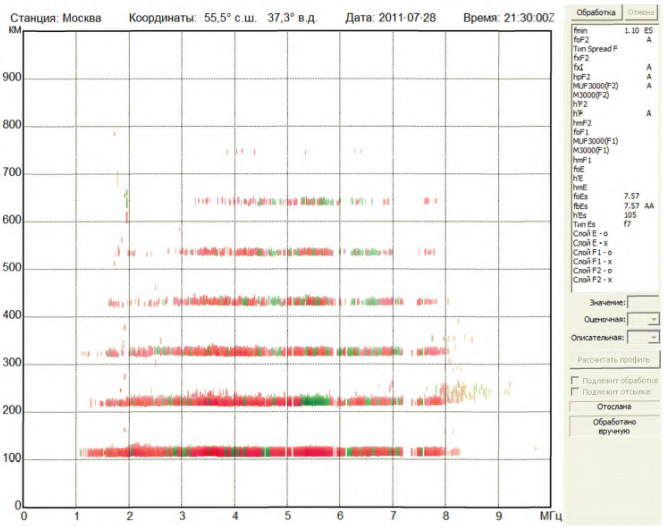


Рисунок 52 – Анализ ионограмм с кратными отражениями

Для проверки правильности измерения действующих высот оператор наводит курсор мышки на нижнюю точку следа основного отражения от слоя F2. Оператор запоминает частоту и действующую высоту для данной точки (h'_1 равна 226,3 км, fо равна 5,02 МГц) (рисунок 53).

Затем оператор наводит курсор мышки на нижнюю точку первого кратного отражения на той же частоте (h'_2 равна 452,7 км). Если действующие высоты определены правильно, должно выполняться соотношение $h'_2 = 2\ h'_1$ (рисунок 54). Если имеется второе кратное отражение, для него должно выполняться соотношение $h'_3 = 3\ h'_1$ (рисунок 55) и т. д.

Исключения из правил случаются при наклонном отражении от ионосферы, что происходит редко [8].

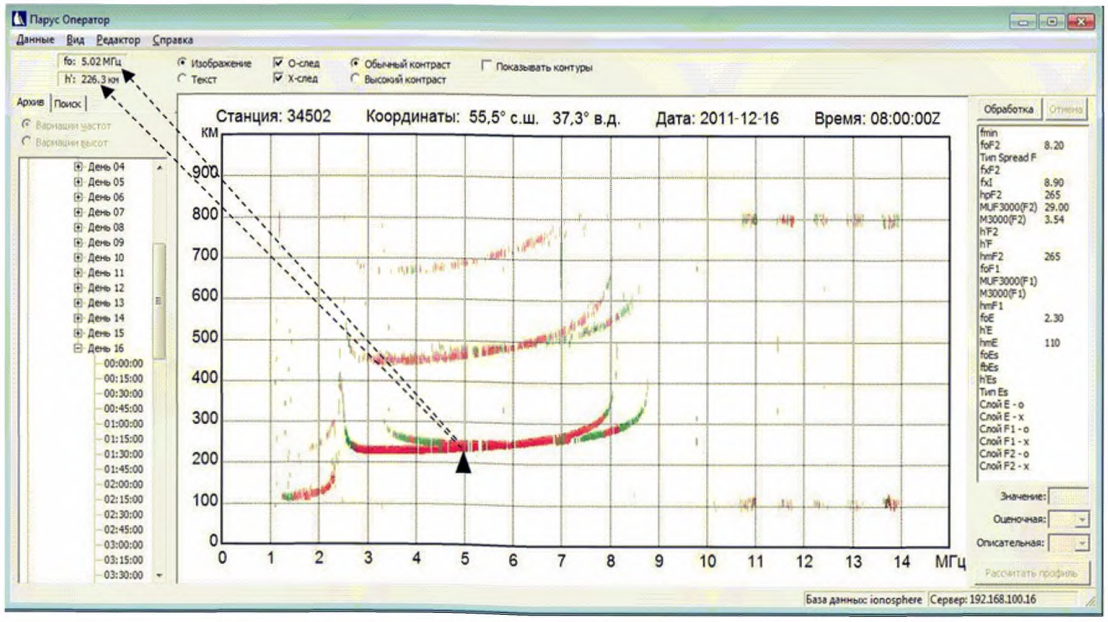


Рисунок 53 – Определение частоты и действующей высоты в нижней точке следа основного отражения от слоя F2

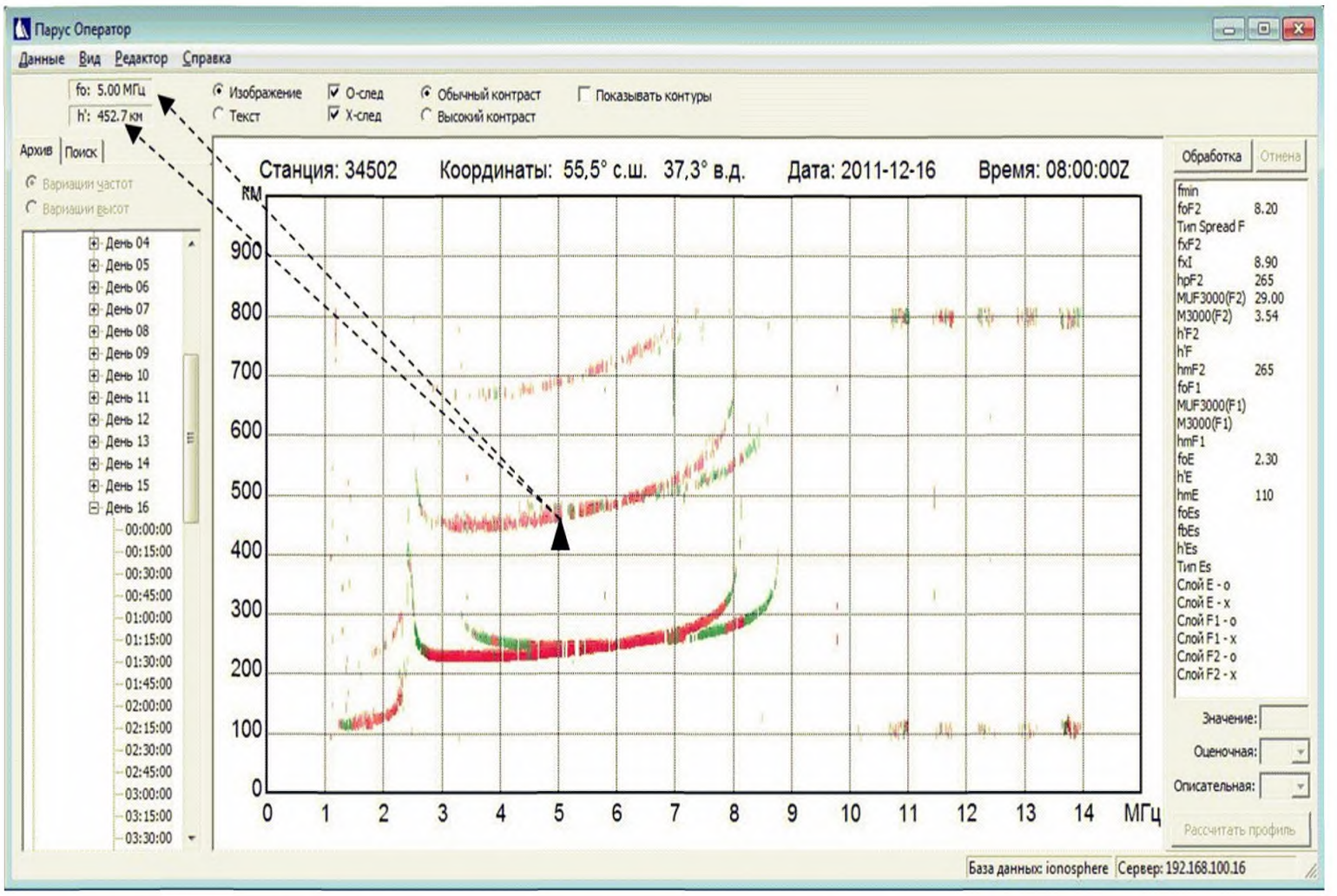


Рисунок 54 – Определение частоты и действующей высоты в нижней точке следа первого кратного отражения от слоя F2

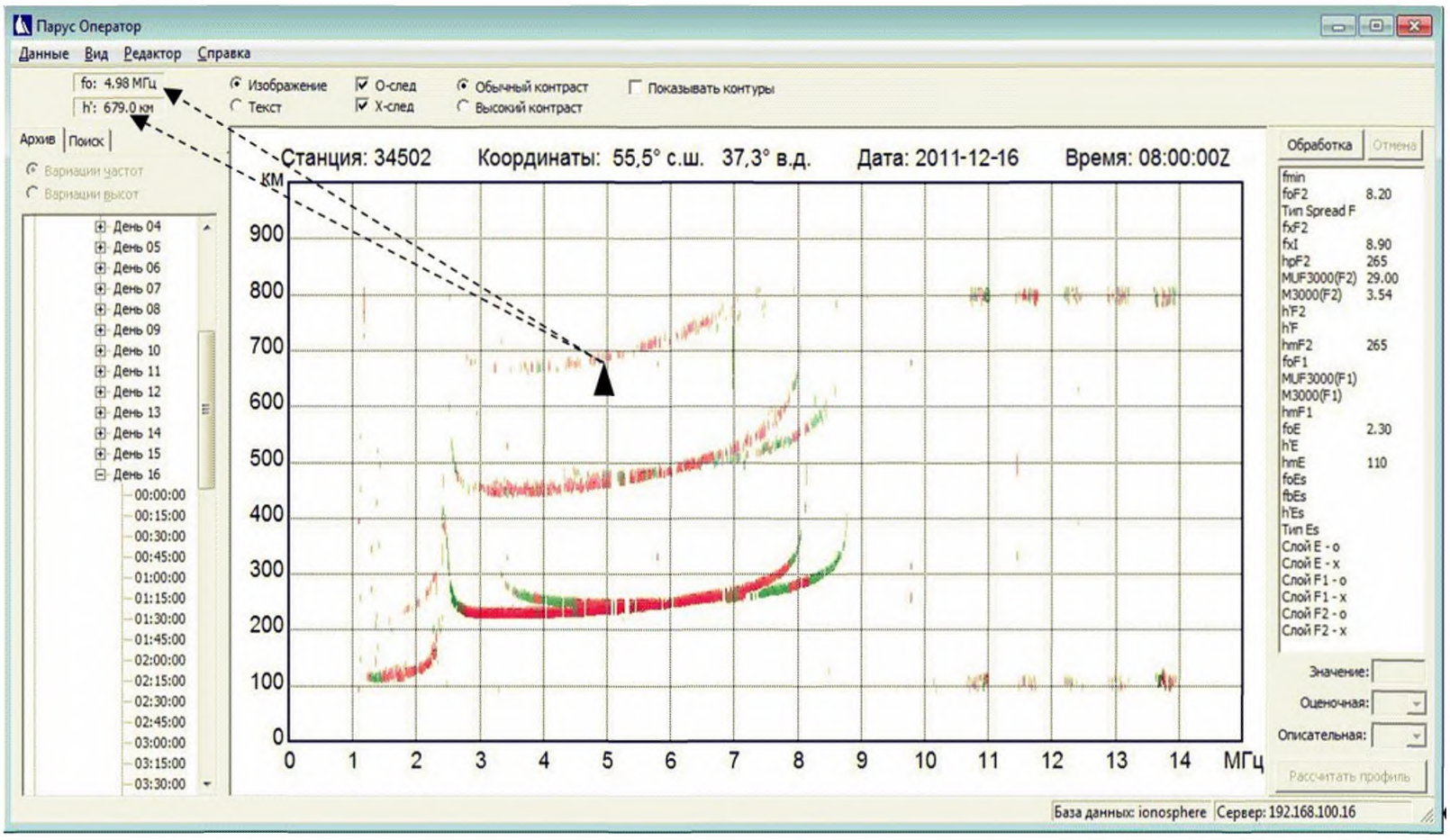


Рисунок 55 – Определение частоты и действующей высоты в нижней точке следа второго кратного отражения от слоя F2

11.5.4 Техническое обслуживание оборудования пунктов наблюдения РТС

11.5.4.1 Оборудование пунктов наблюдения РТС мониторинга состояния ионосферы должно находиться в работоспособном состоянии круглосуточно. Надёжная работа оборудования обеспечивается его грамотным использованием персоналом, ответственным за его эксплуатацию.

11.5.4.2 Диагностика состояния пункта наблюдений РТС осуществляется удалённо из Центра сбора, обработки и анализа данных. В случае отсутствия возможности дистанционной диагностики состояния пункта наблюдения РТС специалист из Центра сбора, обработки и анализа данных оперативно связывается с персоналом пункта наблюдения РТС и в случае необходимости выезжает на пункт наблюдения для устранения возникших неисправностей.

11.5.4.3 Техническое обслуживание оборудования осуществляют специалисты, прошедшие специальную подготовку и допущенные к самостоятельной работе распоряжением директора ФБГУ «ИПГ» (разработчика РТС).

К самостоятельной работе по техническому обслуживанию оборудования допускают специалистов, имеющих необходимую теоретическую подготовку, твёрдые знания по устройству оборудования, практические навыки по его обслуживанию, а также знающих правила технической эксплуатации оборудования, входящего в комплекс, правила техники безопасности и производственной санитарии.

Подготовку специалистов к самостоятельной работе по техническому обслуживанию оборудования осуществляют непосредственно в Центре сбора, обработки и анализа данных методом стажировки. Стажировку проводят в зависимости от уровня подготовки стажёра. Стажёра прикрепляют к наиболее опытным и грамотным специалистам Центра сбора, обработки и анализа данных. Стажировку специалистов целесообразно проводить с привлечением специалистов предприятия-изготовителя или на предприятии-изготовителе соответствующего оборудования.

12 Безопасность труда на СП ионосферных наблюдений

12.1 Цель проведения мероприятий по обеспечению безопасности труда

12.1.1 Целью проведения мероприятий по обеспечению безопасности труда на СП ионосферных наблюдений является защита персонала от воздействия опасных и вредных производственных факторов, исключение несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом, и профессиональных заболеваний на производстве.

12.1.2 Безопасность труда регламентируется нижеперечисленными нормативно-правовыми актами, национальными стандартами, документами Росгидромета и эксплуатационной документацией:

- Трудовым кодексом Российской Федерации (от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ);
- ГОСТ 12.0.230, ГОСТ 12.0.007, ГОСТ 12.0.003;
- инструкцией по технике безопасности при работе в СП ионосферных наблюдений;
- руководствами по эксплуатации ионозондов и других средств ионосферных наблюдений.

12.2 Мероприятия по обеспечению безопасности труда в СП ионосферных наблюдений, оборудованном ионозондом

12.2.1 Все лица, проводящие техническое обслуживание, ремонт ионозондов и АФК, должны пройти проверку знаний по правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей [9] и иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже III группы.

12.2.2 Перед началом эксплуатации устройств СП ионосферных наблюдений необходимо изучить руководства по эксплуатации этих устройств.

12.2.3 Для обеспечения безопасности при работе с ионозондом и с контрольно-испытательной аппаратурой необходимо:

– содержать в порядке рабочее место;

– иметь достаточную освещённость рабочего места;

– убедиться в наличии на месте испытаний штепсельных розеток и сети 220 В 50 Гц;

– иметь исправные сетевые шнуры у всех измерительных приборов;

– заземлить прибор, контрольно-измерительную аппаратуру и измерительные приборы;

– проводить стыковку и расстыковку разъёмов только при выключенном напряжении;

– проверить правильность маркировки состыкованных разъёмов и правильность сборки схемы в соответствии со схемой соединений;

– производить смену сгоревших или неисправных предохранителей в измерительных приборах при выключенном напряжении сети;

– при проведении ремонтных работ с передатчиком, в котором могут быть каскады с источниками высоковольтных напряжений, следует руководствоваться разделом руководства по эксплуатации, касающимся данного блока.

12.2.4 Не разрешается производить включение ионозондов, если климатические условия в помещении, где они установлены, не удовлетворяют требованиям руководства по эксплуатации.

12.2.5 Категорически запрещается производить эксплуатацию ионозонда при неисправной системе электрической блокировки, обеспечивающей отключение цепей высокого напряжения при вскрытии устройств.

12.2.6 Подключение устройств ионозонда к сети переменного тока допускается только специальными кабелями, входящими в комплект поставки ионозонда. Включение кабелей питания производится при выключенном рубильнике сетевого напряжения в помещении, где установлен ионозонд.

12.2.7 Включение сетевого кабеля передатчика ионозонда необходимо производить в соответствии с обозначениями на вилке кабеля и на розетке.

12.2.8 Подключения и отключения штепсельных разъёмов устройств ионозонда должны производиться при полном снятии питающего напряжения путём отключения кабеля питания данного устройства от сети 220 В.

12.2.9 Замену предохранителей необходимо производить при полностью отключённой от сети аппаратуре.

12.2.10 При приближении грозы необходимо прекратить все работы, заземлить антенную систему, отключить электропитание ионозонда и перейти в другое (более безопасное во время грозы) помещение.

12.2.11 Наладочные работы с блоками аппаратуры, выдвинутыми или вынутыми из стоек, а также со снятыми крышками (кожухами), должны производиться не менее, чем 2 лицами с соблюдением следующих мер предосторожности:

– подключение вынутых блоков к стойкам ионозонда должно производиться путём применения специальных удлинительных кабелей, входящих в комплект ионозонда;

– вынимать и вставлять блоки, а также производить подключение и отключение удлинительных кабелей и разъёмов отдельных элементов схемы разрешается только при полностью выключенном ионозонде;

– необходимо помнить, что даже после выключения ионозонда на конденсаторах фильтров выпрямителей может присутствовать значительное остаточное напряжение опасное для жизни. Наибольшую опасность в этом отношении представляют блоки радиопередающих устройств;

– при наладке включённых блоков аппаратуры следует помнить, что в них имеется напряжение переменного тока 220 В – опасное для жизни человека, а в радиопередающих и индикаторных устройствах – постоянное напряжение до нескольких киловольт, являющееся источником повышенной опасности. Напряжение сети 220 В может присутствовать даже в том случае, если сам блок выключен, но шланг питания стойки, из которой он вынут, включён в электрическую сеть;

– наладка и ремонт блоков с применением пайки должны выполняться только при полностью отключённой от сети аппаратуре.

12.2.12 При работе с радиопередающими устройствами ионозондов следует учитывать, что элементы этих устройств находятся под высоким напряжением постоянного тока, представляющим повышенную опасность для человека. Напряжение на конденсаторах фильтра высоковольтного выпрямителя может сохраняться даже после выключения передатчиков.

12.2.13 *В ионозондах серии «Парус» и других, высокое напряжение на конденсаторах высоковольтного выпрямителя может сохраняться до 3-х суток, поэтому конденсаторы нужно разрядить с помощью специального разрядного устройства каждый раз после открывания корпуса передатчика.*

12.2.14 При подключении к радиопередатчику ионозонда эквивалента антенны необходимо следить за тем, чтобы корпус эквивалента антенны был надёжно соединён с корпусом ионозонда.

12.2.15 ***При ремонте и наладке индикаторных устройств следует иметь в виду, что в них присутствует напряжение постоянного тока от 100 до 12000 В, подаваемое на электро-лучевую трубку индикатора (где она имеется).***

Приложение А
(справочное)

Физика ионосферы

А.1 Образование ионосферы

А.1.1 Высотное распределение температуры в атмосфере

Атмосфера описывается пятью фундаментальными параметрами: давлением P_n, плотностью нейтральных частиц ρ, концентрацией нейтральных частиц n_n, температурой нейтральной атмосферы T_n и составом. Области атмосферы чаще всего разделяют между собой, беря за основу высотное распределение температуры. При этом разделении отдельные области высот называют сферами, а верхняя граница каждой области носит название паузы. Самая нижняя область атмосферы, простирающаяся до высоты h от 10 до 15 км, именуется тропосферой. Здесь температура падает со скоростью от 6 до 8 К•км$^{-1}$. На высотах тропопаузы (от 15 до 20 км) падение прекращается и с переходом к высотам от 25 до 45 км температура начинает вновь возрастать (стратосфера). На высоте примерно 50 км устанавливается температурный максимум (стратопауза). Этот максимум образуется из-за поглощения солнечного ультрафиолетового излучения в интервале от 2424 до 3068 Å* тонким слоем озона (с максимумом плотности на высоте около 25 км). Озон является малой составляющей – его плотность не превышает нескольких миллионных долей от общей плотности атмосферы. Тем не менее, его роль в нагреве верхней атмосферы и в экранировании опасного для жизни ультрафиолетового (UV) излучения исключительно велика. Выше стратопаузы температура вновь начинает падать (мезосфера) и на высоте от 85 до 90 км (мезопауза) устанавливается абсолютный минимум атмосферной температуры, равный от 170 до 190 К. Этот минимум объясняется тем, что на указанных высотах отсутствуют какие-либо заметные механизмы нагрева. Но уже к высоте от

---

* Ангстрем Å = 10^{-10} м

90 до 100 км ситуация меняется – температура вновь начинает возрастать. Это возрастание происходит со скоростью от 4 до 8 К/км до высот от 250 до 350 км. Далее устанавливается изотермическое состояние, при котором температура с высотой почти не меняется (термосфера) и зависит, прежде всего, от уровня солнечной активности, сезона, а также времени суток. Таким образом, типичное высотное распределение температуры для низкой (1996 г.) и высокой (1989 г.) солнечной активности имеет вид, представленный на рисунке А.1.

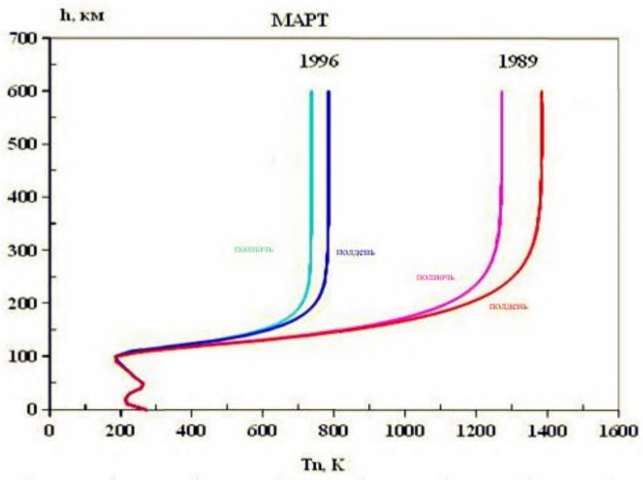


Рисунок А.1 – Высотное распределение температуры 15 марта в годы высокой (1989) и низкой (1996) солнечной активности

А.1.2 Состав атмосферы

Состав атмосферы у земной поверхности в процентах по объёму приведён в таблице А.1. В ней, кроме того, содержатся сведения о молекулярной массе M_{oi} различных газов, а также об их плотностях ρ_{oi} и концентрациях.

Считается, что ниже высоты от 90 до 120 км, в зависимости от условий, атмосфера хорошо перемешана – состав почти не меняется с высотой (чему способствует хорошо развитая на этих высотах турбулентность). Поэтому эту область однородной по составу атмосферы часто называют гомосферой. Однако положение гомогенности касается лишь основных её компонентов – N_2, O_2 и Ar.

Т а б л и ц а А.1 – Состав атмосферы у земной поверхности.

Газ	Состав, %	M_{oi}, а.е.м.*	ρ_{oi}, кг м$^{-3}$	n_n, м$^{-3}$
Молекулярный азот, N_2	78,09	28,02	0,975	$2,07 \cdot 10^{25}$
Молекулярный кислород, O_2	20,95	32,00	0,262	$5,53 \cdot 10^{24}$
Аргон, Ar	0,93	39,04	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{23}$
Углекислый газ, CO_2	0,03	44,01	$3,75 \cdot 10^{-4}$	$7,98 \cdot 10^{21}$
Молекулярный водород, H_2	10^{-3}	2,01	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$2,66 \cdot 10^{20}$
Гелий, He	$5 \cdot 10^{-4}$	4,00	$6,25 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{20}$
Озон, O_3	10^{-6}	48,00	-	-
Воздух	100	28, 97	1,25	$2,66 \cdot 10^{25}$
*1 а.е.м. $\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг				

Что же касается малых составляющих, то их относительное содержание с высотой меняется. Концентрации одних компонентов возрастают, других убывают, образуются их слои. Вид их высотного распределения зависит, главным образом, от глубины проникновения в атмосферу тех или иных участков солнечного спектра и химических реакций с другими газовыми составляющими. Это хорошо видно на примере озона O_3, а также оксида азота NO, играющего важную роль в образовании самой нижней части ионосферы – области D. Положение меняется на высотах, превышающих 120 км, где турбулентность выражена уже крайне слабо, в силу чего перемешивание здесь никакой роли практически не играет. Благодаря этому содержание всех газовых компонентов меняется с высотой каждая со своей скоростью, зависящей от атомного или молекулярного веса и диссоциации (расщепления молекул) под воздействием солнечной радиации. Эту область называют гетеросферой, а границу между этими двумя областями – турбопаузой. Высотное распределение газового состава важнейших для ионосферы газовых компонент на высотах от 0 до 600 км представлено на рисунке А.2.

А.1.3 Излучение Солнца

Высоты выше 60 км характеризуются присутствием свободных электронов и ионов, влияющих на распространение радиоволн. Эту область называют ионо-

сферой. Причиной образования её является солнечное коротковолновое излучение в диапазоне от 0,5 до 1216 Å. Энергия фотонов достаточно велика, чтобы вступая в контакт с нейтральными атомами и молекулами верхней атмосферы, «выбивать» из них отрицательно заряженные электроны, способные вести свободное существование, а сами атомы и молекулы превращать в положительно заряженные ионы. Так как число образующихся тех и других частиц строго одинаково, ионосфера остаётся электрически нейтральной.

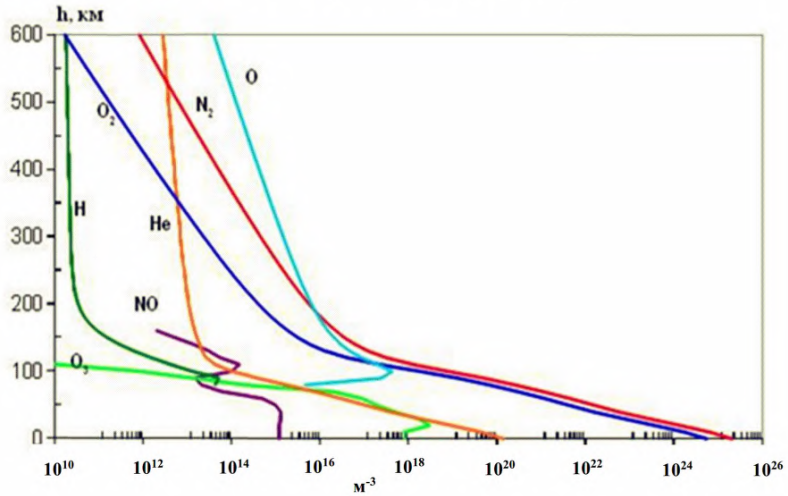


Рисунок А.2 – Высотное распределение газового состава важнейших для ионосферы газовых компонент. Н – атомарный водород, О – атомарный кислород

На рисунке А.3 показано спектральное распределение интенсивности потока ионизирующего излучения Солнца J видимого при λ, изменяющейся от 3800 до 7600 Å, UV (от 100 до 3800 Å), рентгеновского X (от 1 до 100 Å) и инфракрасного IR ($\lambda \geq 7600$ Å) излучений на уровне моря. Легко заметить, что видимое излучение, не принимающее участие в образовании свободных электронов, занимает весьма узкую полосу частот. Вместе с тем, на его долю приходится

заведомо большая часть интенсивности излучения Солнца. Ионизирующее излучение в X и UV диапазонах показано синим и фиолетовым цветом соответственно.

К счастью для всех форм жизни на Земле, ионизирующее коротковолновое излучение (UV, X) поглощается на высотах от 60 до 180 км, так что земной поверхности достигают только «мягкий» ультрафиолет (λ, изменяющаяся от 3000 до 3800 Å), видимый свет и инфракрасное излучение – рисунок А.4.

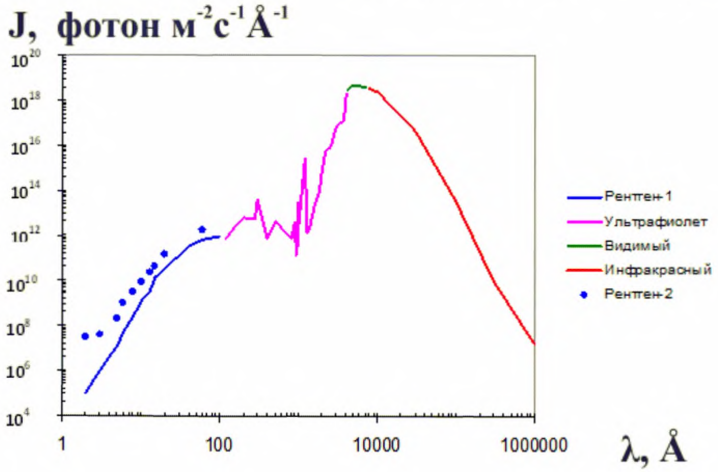


Рисунок А.3 – Спектр *J* в X, UV, видимом и IR диапазонах при низкой (сплошная кривая) и высокой (точечный фрагмент) солнечной активности

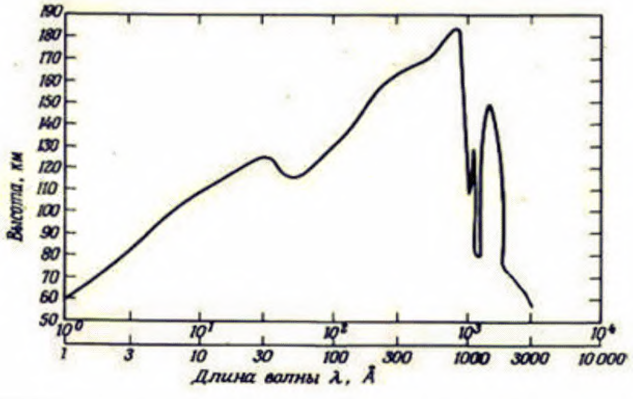


Рисунок А.4 – Уровень 50 %-го поглощения как функция длины волны падающего излучения

Видно, что из всего спектра ионизирующего излучения глубже всего в среднюю и верхнюю атмосферу (выше 60 км) проникает весьма энергичное рентгеновское излучение с λ, изменяющейся от 1 до 3 Å. Тем не менее, его вклад в образование электронов в невозмущённых условиях крайне мал. Это объясняется тем, что интенсивность этого потока составляет ничтожную долю интенсивности всего солнечного излучения: J (в диапазоне от 1 до 3 Å) не более 10^8 фотон $м^{-2}с^{-1}Å^{-1}$ – см. рисунок А.3.

А.1.4 Фотоионизация

А.1.4.1 На рисунке А.5 показаны высотные профили скорости образования электронов q(h) в ионосфере при вертикальном падении потока солнечного ионизирующего излучения.

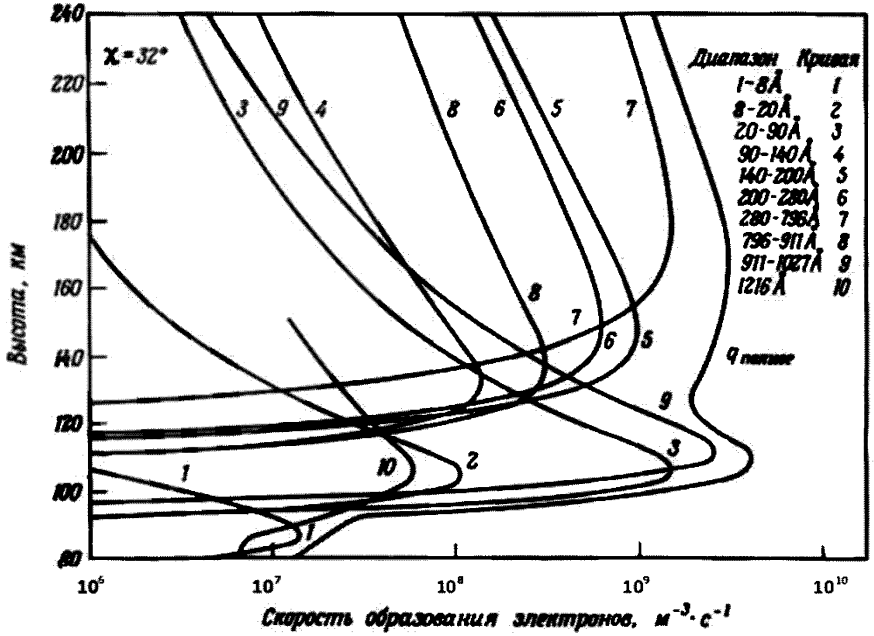


Рисунок А.5 – Ионизация атмосферы рентгеновским и ультрафиолетовым излучением различных диапазонов длин волн

Подавляющая часть этого излучения «ассимилируется» атмосферой на высотах от 105 до 170 км. В течение дня высота максимума скорости фотоионизации перемещается к высотам от 200 до 250 км, а пик этой скорости уменьшается более чем на порядок величины – рисунок А.6. Исключение составляет излучение на длине волны, равной 1216 Å, называемой линией Лайман-альфа (Lα) – острый пик на рисунке А.3. Оно проникает до высот от 60 до 90 км – см. рисунок А.4, ионизируя молекулу NO с образованием пары: положительный ион NO+ и электрон.

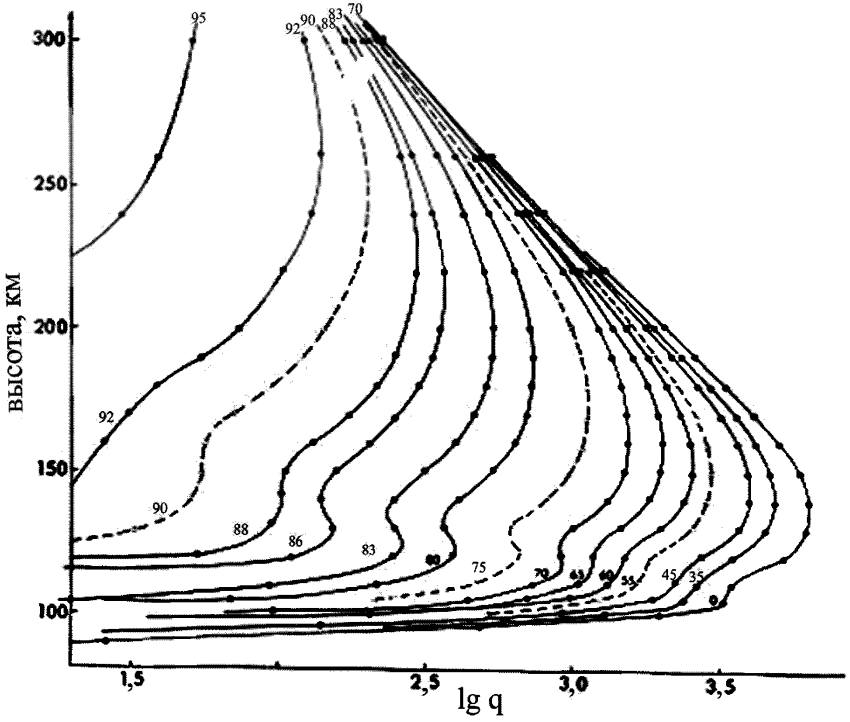


Рисунок А.6 – Вариации суммарной скорости образования электронов в минимуме солнечной активности для различных зенитных углов Солнца (цифры возле кривых, в градусах)

А.1.4.2 Коротковолновое излучение Солнца подвержено сильным циклическим (11-летним) колебаниям. Его активность оценивается либо в единицах излучения на длине волны 10,7 см ($F_{10,7}$, рисунок А.7), либо в числах Вольфа Rz (зависящих от числа солнечных пятен. В годы минимума солнечной активности $F_{10,7}$ изменяется от 70 до 80 единиц (Rz изменяется от 5 до 10).

В годы максимума солнечной активности $F_{10,7}$ достигает от 230 до 250 единиц ($Rz \approx 200$). При этом поток излучения в ультрафиолетовом диапазоне (λ от 100 до 1000 Å) изменяется не более чем в 2 раза, тогда как в рентгеновском (λ от 1 до 10 Å) – от одного до двух порядков величины.

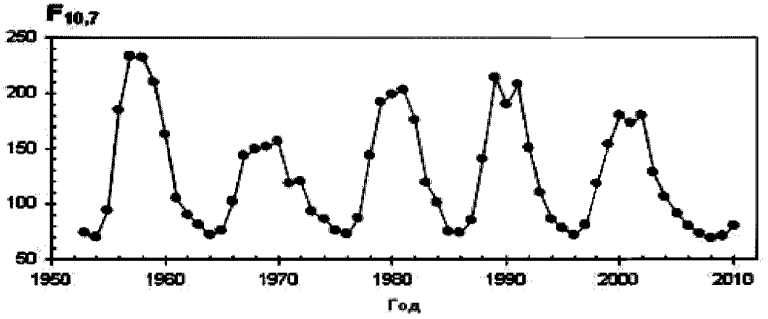


Рисунок А.7 – Сглаженная среднегодовая кривая солнечной активности

А.1.5 Рекомбинация

Если бы образующиеся благодаря солнечному ионизирующему излучению свободные электроны не исчезали под воздействием каких-либо процессов, их количество в ионосфере необратимо возрастало бы. В реальности этого не происходит. Во всех слоях атмосферы, в особенности на высотах от 100 до 130 км, где образуется наибольшее количество свободных электронов, в ночные часы N_e уменьшается во много раз. Это убывание содержания электронов ото дня к ночи происходит благодаря химической реакции рекомбинации (перераспределения), при которой отрицательно заряженные электроны e^- воссоединяются с положительно заряженными ионами с восстановлением нейтральной частицы. Если при этом ион представляет собой положительно заряженный атом X_a^+, то реакция:

$$X_a^+ + e^- \rightarrow X_a + \omega\hbar \qquad (A.1)$$

называется радиоактивной рекомбинацией (она сопровождается выделением порции энергии, равной $\omega\hbar$, где ω – круговая частота, $\hbar$ – постоянная Планка). В случае, когда ион представляет собой положительно заряженную молекулу, реакция:

$$X_aY^+ + e^- \rightarrow X_a + Y, \qquad (A.2)$$

называется диссоциативной рекомбинацией α (она сопровождается диссоциацией молекулы на атомы). Обе эти реакции определяют время задержки между образованием и гибелью заряженных частиц обеих сортов, а, следовательно, и их концентрацию. Чем дольше длительность задержки, тем выше концентрация, и наоборот. Скорость гибели заряженных частиц называют коэффициентом рекомбинации. Она определяется сортом атомных и молекулярных ионов, с которыми взаимодействует электрон. А так как количество сортов нейтральных частиц в верхней атмосфере, как мы видели выше, велико, то велико и разнообразие коэффициентов их рекомбинации. Их результирующую, представляющую собой средневзвешенную от наиболее важных реакций, называют эффективным коэффициентом рекомбинации $\alpha_{эфф}$.

А.1.6 Динамические процессы в атмосфере

А.1.6.1 Ветер в мезосфере

Солнце не только ионизирует, но и нагревает среднюю и верхнюю атмосферу. Из-за этого в ней возникают перепады температуры и, следовательно, дав-

ления, в результате чего генерируются разнообразные ветровые и волновые движения. В физике ионосферы и в данном документе за направление ветра – «восточный», «западный» и т. д., принято то, куда он дует, в противоположность метеорологии, где за направление ветра принимают то, откуда он дует.

Преобладающий ветер глобального масштаба на высотах менее 100 км возникает из-за сезонных перепадов температуры и давления – рисунок А.8. Он является геострофическим, т. е. движущимся строго вдоль параллели. В северном полушарии на высотах от 60 до 90 км зимой доминирует сильный восточный ветер (его скорость от 10 до 100 м $с^{-1}$ и более).

Летом ветер становится западным. Изменение основных параметров атмосферы, характерных для зимнего и летнего периодов происходит в периоды равноденствий продолжительностью около месяца. В это время часто наблюдается также меридиональная компонента преобладающего ветра, которая вызывает широтный поток воздуха.

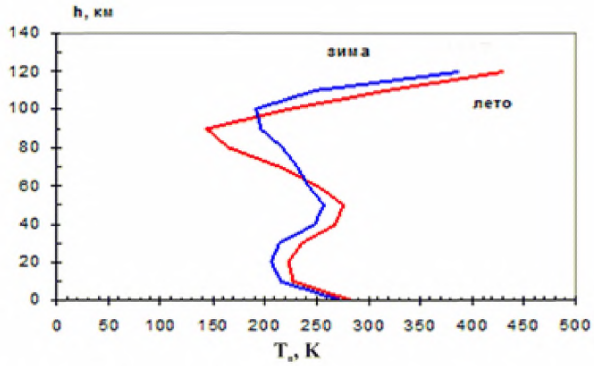


Рисунок А.8 – Температура среднеширотной средней атмосферы летом и зимой, полдень

А.1.6.2 Ветер в термосфере

Выше 120 км ветер возникает из-за градиентов давления, обусловленных суточными изменениями температуры. Эти суточные колебания температуры, достигающие 180 К и 70 К в годы максимума и минимума солнечной активности,

соответственно, приводят к расширению атмосферы днём, к так называемому дневному вздутию. Горизонтальный градиент давления, образующийся вокруг дневного вздутия, является движущей силой термосферного ветра. Так как на этих высотах концентрация заряженных частиц велика, а концентрация нейтральных частиц относительно мала, этот ветер уже не является строго геострофичным. Он зависит также от вязкости, силы Кориолиса и магнитоионного трения или ионного увлечения (выше 100 км ветер начинает приводить в движение, зависящее от магнитного поля, положительные ионы окружающей среды, в результате чего ионное увлечение становится существенным источником потерь энергии ветра). Все это приводит к сложным траекториям переноса воздушной массы. Тем не менее, вне зависимости от сезона горизонтальный ветер здесь направлен перпендикулярно изобарам в сторону от дневного вздутия атмосферы. Этот ветер дует из освещённого полушария в ночную сторону Земли, как через полярные области, так и через линию терминатора на других широтах. Ночью и на высоких широтах, где ионная концентрация мала, ветер носит преимущественно геострофический характер. Типичная величина скорости горизонтального ветра на высотах среднеширотного слоя F2 составляет днём от 30 до 50 м $с^{-1}$, а ночью от 150 до 200 м $с^{-1}$. Скорость вертикальной компоненты ветра не превышает 15 м $с^{-1}$.

А.1.6.3 Внутренние гравитационные волны

Энергия внутренних гравитационных волн (ВГВ) в основном берётся из крупномасштабных ветровых движений в верхней атмосфере. Последние возбуждают приливные движения, амплитуда которых на этих высотах достигает таких больших величин, что в процессе их распада выделяется большое количество энергии, что приводит к генерации ВГВ. Их период составляет от нескольких минут до нескольких часов, длина волны вертикальных движений около нескольких километров, а горизонтальных – вплоть до нескольких тысяч километров. ВГВ отождествляют с перемещающимися ионосферными возмущениями, которые наблюдаются на больших высотах и могут проходить несколько тысяч

километров со скоростями порядка сотен километров в час. Они возникают в высоких широтах и движутся по направлению к экватору.

А.1.6.4 Приливы в атмосфере

Солнце и Луна действуют на атмосферу, вызывая приливные силы, периодичность которых связана с солнечными (24 ч) и лунными (24,8 ч) сутками. Эти силы возбуждают в атмосфере приливные волны, что приводит к движению атмосферы, главным образом, в горизонтальном направлении. Движение перпендикулярное магнитному полю Земли индуцирует электромагнитные силы, которые возбуждают токи в тех слоях ионосферы, где существенна электропроводность. В результате этого происходят периодические солнечно-лунные геомагнитные вариации. Возникающая в результате указанного процесса система электрических полей, токов и зарядов, в свою очередь, заметным образом сказывается на ионосфере.

А.1.7 Диффузия

Как можно видеть из рисунка А.5, высота максимума ионообразования (образования свободных электронов) располагается между 105 и 170 км. Между тем, максимум электронной концентрации находится на высотах между 250 и 350 км. Смесь электронов и ионов верхней атмосферы можно считать плазмой. На плазму действуют сила тяжести, а также силы, возникающие при движении и столкновениях, термосферный ветер и, кроме того, электрические поля. О роли термосферного ветра говорилось выше. А под влиянием градиента плотности в поле силы тяжести происходит диффузия (просачивание) плазмы через нейтральные частицы с высот, где её плотность велика (где она образуется), на высоты с меньшей плотностью, т. е. вверх. Кроме того, скорость диффузии зависит от окружающей температуры, высотных градиентов температуры, электрон-

ной и ионной концентрации, компонентов земного магнитного поля, а также частоты соударений иона O^+, основного на этих высотах, с нейтральными составляющими – O, O_2, N_2.

Другой вопрос, касающийся слоя F2, связан с суточными вариациями электронной концентрации в нем. Именно – несмотря на то, что в ночные часы процессы фотоионизации перестают продуцировать электроны и ионы, и их концентрации на высотах D и E областей становятся ничтожно малыми, на высотах слоя F2 они сохраняются в заметных количествах, особенно в летние периоды. За счёт чего? За счёт протоносферы – внешней части ионосферы, где преобладают легкие ионы H^+. Протоносфера представляет собой резервуар, в который в освещённое время суток стекает плазма из слоя F2, и из которого она в ночные часы возвращается обратно на меньшие высоты. Зимой в средних широтах дни коротки, а ночи длинны. В силу чего за освещённое время суток протоносфера не успевает «насытиться» плазмой и, соответственно, отдать её ночной зимнего слоя F2. Летом картина обратная: светлое время велико, а ночи коротки. Пополнение протоносферы плазмой происходит достаточно долго, поэтому отдача её велика.

А.1.8 Баланс ионизации

В равновесных условиях скорость образования заряженных частиц q уравновешивается скоростью их гибели l, либо совместного процесса гибели и переноса ионосферной плазмы. Иначе говоря, временны́е вариации электронной концентрации описываются выражением:

$$\partial N_e / \partial t = q - l - \mathrm{div}\,(N_e V), \qquad (A.3)$$

где V – скорость переноса.

На высотах области E и слоя F1 процессами переноса можно пренебречь, а характерные времена процессов гибели в реакциях рекомбинации для основных ионов N_2^+, O_2^+ и O^+ столь малы, что в невозмущённых условиях:

$$\partial N_e / \partial t = 0$$

И концентрация электронов определяется условием фотохимического равновесия:

$$q = l$$

Во внешней ионосфере, напротив, несущественны как ионообразование, так и рекомбинация, поскольку здесь доминирует перенос. В слое F2 необходимо учитывать все три основных процесса.

Высотное распределение основных ионов, а также электронной концентрации на высотах от 90 до 1000 км можно видеть на рисунке А.9.



Рисунок А.9 – Ионный состав в средней атмосфере в период весеннего равноденствия

А.2 Структура ионосферы

А.2.1 Область D

Область D проявляется на ионограммах ВЗ косвенно, через параметр $f\min$. Это обусловлено тем, что концентрация электронов в области D в невозмущённых условиях меньше $1{,}24 \cdot 10^{10}$ м$^{-3}$, и стандартный ионозонд ВЗ, излучающий и принимающий сигналы в диапазоне от 1 до 20 МГц, не диагностирует наличие области D. Малая концентрация электронов на этих высотах связана с двумя причинами. Во-первых, как видно из рисунка А.4, на высоты этой области проникает только очень узкая полоса спектра солнечного ионизирующего излучения: ультрафиолет в линии $L\alpha = 1216$ Å и рентген с $\lambda \leq 3$ Å (поток крайне энергичных космических лучей, проникающих ниже 50 км, столь слаб, что не в состоянии образовывать свободные электроны в сколько-нибудь заметных количествах). Во-вторых, скорость исчезновения свободных электронов в реакциях рекомбинации с положительными ионами в области D гораздо выше, чем на высотах E и F областей, так как положительные ионы здесь представляют собой не первичные ионы NO^+, O_2^+, H^+ или O^+, а вторичные кластеры – их соединения с молекулами воды: $NO^+ \cdot H_2O$, $H^+ \cdot (H_2O)_2$ и т. д. Наличие этих кластеров приводит к увеличению скорости рекомбинации (гибели свободных электронов) на порядок величины. Таким образом, химические процессы взаимодействия положительных ионов друг с другом и с нейтральными молекулами, образования сложных ионных кластеров, прилипания свободных электронов к нейтральным молекулам с образованием отрицательных ионов, играют существенную роль в формировании области D.

Граница между зонами преобладания первичных и вторичных положительных ионов в ней, располагающаяся на высотах от 80 до 82 км, примерно совпадает с высотой мезопаузы. Поэтому высотный профиль N_e в области D имеет форму колена: концентрация электронов мала ниже 80 км (как правило $N_e \leq 10^3$ см$^{-3}$) и начинает возрастать выше этой границы.

Из-за малой концентрации свободных электронов область D слабо влияет на геометрию распространения радиоволн. Её воздействие на них проявляется иным образом. Именно: вследствие высокой концентрации нейтральных частиц на этих высотах, частота соударений электронов с ними столь велика, что распространяющиеся сквозь среду радиоволны теряют в этих взаимодействиях значительную часть своей энергии, фактически поглощаясь нижней ионосферой.

А.2.2 Область Е

На первый взгляд образование области Е представляет собой довольно простую задачу, так как в нем полностью отсутствуют отрицательные ионы, из положительных ионов доминируют NO^+ и O_2^+, а процессы переноса плазмы ещё не столь влиятельны, как в области F. Поэтому считается, что конфигурацию этой области можно в первом приближении описать так называемым слоем Чепмена. Он соответствует простейшим условиям образования ионосферы. К ним относятся: постоянство температуры T_n, экспоненциальное падение с высотой давления P_n, концентрации нейтральных частиц n_n и их плотности ρ, а также наличие нейтральных частиц лишь одного сорта. В этом случае высота максимума области:

$$h_{max} \sim \ln[H_o n_n (\cos\chi)^{-1}], \qquad (А.4)$$

где H_o^* – высота однородной атмосферы, соответствующая высоте, на которой P_n, n_n или ρ уменьшаются в 2,72 раза от первоначального значения;

χ – зенитный угол Солнца (при χ равном 0 Солнце находится в зените, следовательно, к вечеру с ростом χ возрастает и h_{max}).

---

* H_o – это высота слоя, в котором уместилась бы вся атмосфера, если бы P_n, n_n или ρ не уменьшались с высотой экспоненциально.

При этом скорость ионизации в максимуме области описывается выражением:

$$q_{max} \sim n_n J H_o^{-1} \cos\chi, \qquad (A.5)$$

Легко видеть, что в данном случае с ростом зенитного угла q_{max}, напротив, уменьшается.

На высотах области Е скорость гибели заряженных частиц:

$$l = \alpha_{эфф} N_e^2 , \qquad (A.6)$$

так как здесь концентрации электронов и положительных ионов строго равны между собой. Таким образом, для условия фотохимического равновесия ($q = l$) получаем для всех высот области зависимость:

$$q = \alpha_{эфф} N_e^2 , \qquad (A.7)$$

В действительности все не так просто. Температура с высотой меняется и, притом, существенно (см. рисунки А.1 и А.8). Атмосфера состоит не из одного, а из множества сортов частиц, относительное содержание с высотой также меняется (см. рисунок А.2). Наконец, ионизирующее излучение не монохроматическое, а состоит из широкого спектра ультрафиолетового и рентгеновского излучения (см. рисунок А.3). Тем не менее, за исключением некоторых второстепенных деталей, модель слоя Чепмена вполне удовлетворительно характеризует образование и поведение области Е. Область Е часто в литературе определяют, как слой Е.

А.2.3. Спорадический слой Es

При ВЗ время от времени наблюдаются радиосигналы, отражённые не только от регулярных области Е и слоя F2 ионосферы, но и от дополнительных

образований, в комплексе именуемых спорадическим слоем Es. Электронная концентрация в этом слое может существенно превышать электронную концентрацию области E и слоя F2. Es представляет собой устойчивое скопление ионизированных облаков повышенной ионизации. При этом размеры облаков и расстояния между ними должны быть достаточно большими, чтобы обеспечить как интенсивное отражение от Es, так и хорошее прохождение волны сквозь них. Если расстояние между этими облаками уменьшается настолько, что спорадический слой Es становится сплошным, то он полностью экранирует всю вышележащую ионосферу.

Ракетные измерения показали, что спорадический слой Es – электронного происхождения. Поэтому на предельных частотах, на которых наблюдаются отражения от него, часто фиксируются случаи двойного лучепреломления (обыкновенная и необыкновенная компоненты), которые здесь ещё труднее регистрировать, чем в области E вследствие очень малой толщины спорадического слоя Es. Горизонтальные размеры области, в которой наблюдается Es, часто превышают 1000 км в поперечнике.

Происхождение спорадического слоя Es связывают с возникновением двух прямо противоположных направлений горизонтального ветра (дующего поперёк силовых линий магнитного поля) в области высот шириной всего лишь несколько километров. Этот ветровой сдвиг приводит к такому вертикальному перемещению ионизированных частиц, при котором они оказываются как бы в ловушке в тонком атмосферном слое. Однако, для того, чтобы ветровой сдвиг мог поддерживать существование ионизированной области, электронная концентрация в котором часто заведомо превышает N_e в области E и слое F2, необходимо, чтобы положительные ионы, составляющие пару для электронов, были необычного состава. К числу таких ионов относят металлические ионы. Скорости рекомбинации с этими ионами на несколько порядков ниже, чем скорости рекомбинации с обычными на этих высотах ионами NO^+ и O_2^+. Тонкие слои на высотах от 100 до 110 км таких ионов, сопутствующих появлению спорадического слоя Es, действительно были выявлены с помощь ракетных экспериментов.

Классификация отражений от различных типов спорадических слоёв Es приводится в разделе 9.1.2.

А.2.4 Область F

А.2.4.1 Слой F1

В зависимости от тех или иных геофизических условий (сезон и время суток) область F может делиться на два слоя: F1 и F2.

Слой F1 во многом напоминает область E, и прежде всего тем, что его образование подчиняется условиям фотохимического равновесия: на нем слабо сказываются эффекты переноса плазмы – дрейфа и диффузии. Тем не менее, его характеристики усложнены тем, что он образуется на высотах, переходных с точки зрения ионного состава с ионов O_2^+ (и в меньшей степени NO^+) к ионам O^+. Скорость рекомбинации электронов с последними значительно ниже, чем с O_2^+, поэтому значения N_e здесь заметно выше, чем в области E.

А.2.4.2 Слой F2

В максимуме слоя F2 электронная концентрация N_e определяется концентрацией атомного кислорода $[O]$, линейным коэффициентом потерь β ($l = \beta N_e$), дрейфом w, направленным либо вверх, либо вниз, а также J/J_{144}:

$$\lg N_e^{max} \sim \lg [O] - \lg \beta + w + \lg (J/J_{144}) \qquad (A.8)$$

где J/J_{144} – отношение полного потока солнечного ионизирующего излучения к его значению при уровне солнечной активности $F_{10,7}$ равном 144.

При этом высота максимума слоя также зависит от этих параметров, но в иной пропорции:

$$h_{max} \sim \lg [O] + \lg\beta + w, \qquad (A.9)$$

Ниже высоты максимума невозмущённого F2 слоя распределение электронной концентрации часто описывается выражением, следующим из той же теории Чепмена:

$$N_e = N_e^{max} [1 - (h - h_{max})^2/(4H_0^2)], \quad (A.10)$$

В данном случае имеем параболическую область с полутолщиной $2H_0$.

А.3 Изменчивость ионосферы

А.3.1 Суточные вариации

А.3.1.1 Суточные вариации области D

Ночью свободные электроны в области D практически отсутствуют. Однако первые электроны на высотах от 60 до 75 км появляются с рассветом – при зенитных углах Солнца χ от 90° до 95°. Далее в светлое время суток N_e здесь строго следует за изменением в течение дня угла χ. Поэтому суточный ход параметра $f$min, который контролирует ПЭС в области D, симметричен относительно местного полудня.

А.3.1.2 Суточные вариации области E

Максимум N_e в области E, также хорошо повторяет временной ход угла χ в течение светлого времени суток. В полдень значения N_e в максимуме области E достигают величин от $7{,}8 \cdot 10^{10}$ до $2 \cdot 10^{11}$ м$^{-3}$ в зависимости от широты и уровня солнечной активности. Ночная область E на ионограммах ВЗ не видна, так как в это время значения N_e в максимуме становятся меньше 10^{10} м$^{-3}$. Вместе с тем минимальная высота области E в течение дня испытывает вариации, не превышающие единиц километров.

А.3.1.3 Суточные вариации спорадического слоя Es

Основной особенностью Es является сильная и как бы случайная изменчивость вероятности его появления, а также его параметров от часа к часу. Представление о разбросе единичных значений концентрации спорадического слоя Es могут дать результаты измерений в течение месяца. Тем не менее установлено, что разброс единичных значений N_e в спорадическом слое Es относительно медианы за месяц существенно превышает соответствующую изменчивость концентрации слоя F2 и области E. При этом в средних и низких широтах максимум частоты появления Es приходится на полуденные часы, а в авроральной зоне – на ночные.

А.3.1.4 Суточные вариации слоя F1

Данный слой хорошо выражен лишь в летний сезон. В это время его суточный ход подобен суточному ходу области E, т.е. следует за зенитным углом Солнца.

А.3.1.5 Суточные вариации слоя F2

Слой F2 наблюдается круглые сутки. Но разность между дневными и ночными значениями максимума концентрации N_e велика зимой и мала летом. Кроме того, максимум концентрации N_e приходится на околополуденные часы зимой, а летом смещается к вечеру. Напротив, суточные вариации высоты велики и летом и зимой. Но если зимой h_{max} в ночные часы выше дневных значений в пределах от 50 до 80 км, то летом днём h_{max} от 80 до 100 км выше, чем ночью.

А.3.2 Сезонные вариации

А.3.2.1 Сезонные вариации области D

Годовой ход содержания свободных электронов в области D хорошо следует сезонным изменениям зенитного угла Солнца. Т. е. N_e и параметр $f$min, как правило, выше летом, чем в равноденствие и некоторые периоды зимы. Но именно зимой в средних широтах часто наблюдаются события, длящиеся от нескольких дней до нескольких недель, во время которых значения N_e и $f$min значительно превышают нормальные не только зимние, но и летние. Это явление получило название зимняя аномалия в нижней ионосфере (многократное повышение N_e вызывает резкое повышение величины поглощения радиоволн в ионосфере, поэтому эффект часто называют зимней аномалией поглощения). Его объясняют динамическими процессами, приводящими к потеплению среднеширотной страто-мезосферы и к вытеснению сложных ионов-связок, которые рекомбинируют со свободными электронами быстрее, нежели первичные ионы NO^+, O_2^+.

А.3.2.2 Сезонные вариации области E

Какие-либо сезонные особенности в области E слабо выражены: концентрация в максимуме почти строго следует за сезонными вариациями угла χ, так что ее суточный ход хорошо описывается выражением:

$$N_{e\,max} \sim (\cos\chi)^{0,6} \qquad (А.11)$$

А.3.2.3 Сезонные вариации спорадического слоя Es

В среднеширотной зоне вероятность появления развитого спорадического слоя Es зависит от сезона наблюдений. Она велика летом, когда следы Es присутствуют почти на каждой ионограмме, и мала зимой, когда Es практически

всех типов наблюдается весьма редко. Связано такое поведение спорадического слоя Es с сезонными изменениями системы ветров и турбулентности в среднеширотной мезосфере – нижней термосфере. В экваториальной зоне свойства Es в течение года изменяются мало, так как Es данного типа зависит от мало меняющегося в течение года экваториального электроджета (электроструи).

А.3.2.4 Сезонные вариации слоя F1

Слой F1, как говорилось, появляется весной, становится чётко отделимым от слоя F2 летом, и исчезает осенью. Иначе говоря, он представляет собой сугубо летнее явление.

А.3.2.5 Сезонные вариации слоя F2

Годовой ход N_e^{max} ведёт себя аномальным образом: летом в средних и умеренно высоких широтах N_e^{max} существенно (примерно в 3 раза) ниже, чем зимой, т. е. меняется обратно годовому ходу зенитного угла Солнца. Особенно отчётливо это проявляется в высоких широтах – рисунок А.10. Рисунок А.10 представляет собой зависимость критических частот слоёв, величины которых связаны с соответствующими максимумами концентраций слоёв соотношением

$$fo\# = 9 \cdot 10^{-6} \sqrt{N_e^{max}}, \qquad (A.12)$$

где $fo\#$ в МГц, # – наименование слоя отражения;

N_e^{max} есть электронная концентрация в максимуме области, выраженная в м$^{-3}$.

При этом высота максимума h_{max} летом от 20 до 30 км выше, чем зимой. Из анализа выше приведённых формул 8 и 9 для этой области следует, что сезонная аномалия в нем объясняется, главным образом, годовым ходом коэффициента линейной рекомбинации: летом его значения примерно в 3 раза

выше, чем зимой. Что и определяет противоположные по знаку сезонные изменения h_{max} и N_e^{max}.

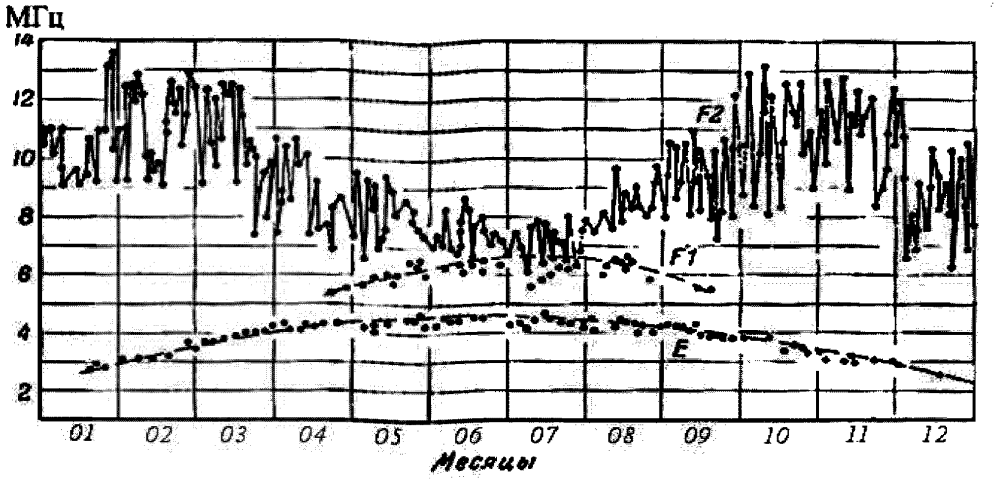


Рисунок А.10 – Годовой ход критических частот слоёв F2, F1 и области E

А.3.3 Связь с 11-летним циклом солнечной активности

Прямая зависимость электронной концентрации от уровня солнечной активности, выраженного в единицах $F_{10,7}$ или Rz, проявляется во всех областях ионосферы. В области D она проявляется в росте параметра $f$min, в области E и слоях F1 и F2 – в росте критических частот (рисунок А.11).

Для среднеширотных станций ВЗ отношения критической частоты в максимумах области E и слоя F1 при переходе от максимума солнечной активности к минимуму изменяются примерно в следующих пределах:

$$(f\text{oE})_{max} / (f\text{oE})_{min} \approx (f\text{oF1})_{max} / (f\text{oF1})_{min} \approx 1{,}2 — 1{,}4$$

На средних широтах в слое F2 отношение

$$(f\text{oF2})_{max} / (f\text{oF2})_{min} \approx 1{,}6 — 2{,}0 ,$$

а зимой достигает даже 3.

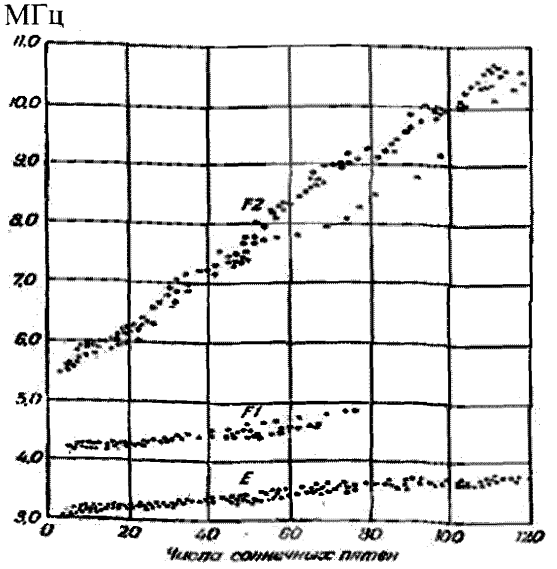


Рисунок А.11 – Зависимость критических частот области Е и слоёв F1 и F2 от числа солнечных пятен

А.4 Возмущения в ионосфере

А.4.1 Солнечные вспышки

Нормальный суточный ход различных параметров ионосферы иногда прерывается возмущениями, во время которых почти мгновенно прекращается отражение радиоволн от ионосферы и радиосвязь на большинстве трасс волн декаметрового диапазона. В момент солнечной вспышки концентрация электронов в области D мгновенно возрастает настолько, что сигналы, излучённые ионозондом, полностью в нем поглощаются. Измеренные до и после вспышки параметры слоёв F1 и F2 отличаются незначительно. При этом никакие последствия, связанные с их исчезновением, в критических частотах и действующих высотах слоёв F1 и F2 не наблюдаются. Лишь в области Е на короткое время возрастает критическая частота от 0,4 до 0,6 МГц. Это явление, возникающее внезапно, и называемое SID (sudden ionospheric disturbances, внезапные ионосферные возмущения)

или эффектом Деллинджера, наблюдается только на освещённой половине земного шара. Его продолжительность колеблется от нескольких минут до одного – трёх часов. Выражено оно более резко в низких широтах и вблизи местного полудня. Вследствие того, что на возмущение реагирует в основном область D ионосферы, можно сделать вывод, что само возмущение вызывается коротковолновой частью спектра солнечного излучения – вспышкой в рентгеновском диапазоне излучения.

На рисунке А.12 приведён поток рентгеновского излучения в двух диапазонах: от 0,5 до 4 Å и от 1 до 8 Å во время указанной вспышки. Как легко видеть, интенсивность излучения в первом диапазоне возросла на 4 порядка величины, а во втором – на 3 порядка. Оно проникает глубоко в нижнюю ионосферу – область D, где вызывает скачкообразный многократный рост электронной концентрации. А так как на этих высотах от 60 до 80 км концентрация нейтральных частиц атмосферы все ещё относительно велика, электроны, «отбирая» энергию у распространяющейся в ионосфере радиоволны, не «возвращают» её, а расходуют на столкновения с нейтралами, вызывая аномальный рост затухания радиосигналов.

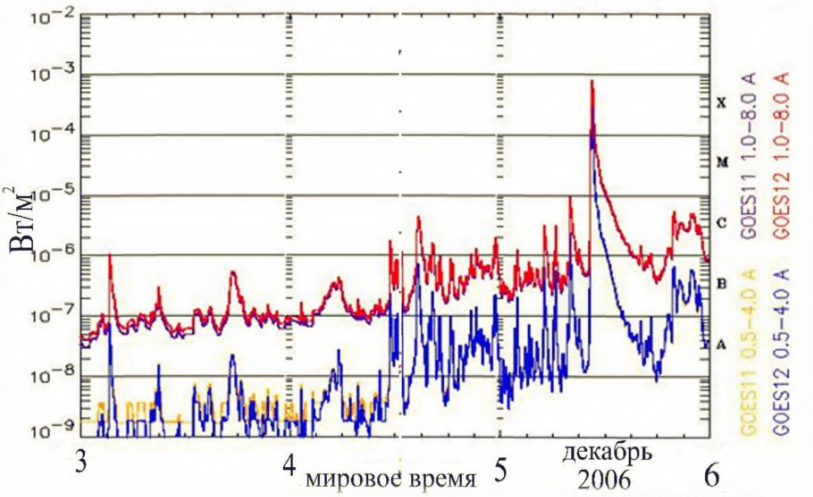


Рисунок А.12 – Интенсивность рентгеновского излучения в диапазонах от 0,5 до 4,0 Å и от 1,0 до 8,0 Å

А.4.2 Ионосферные бури

Возмущения в ионосфере, связанные с возмущениями геомагнитного поля – магнитными бурями, проявляются ярче всего в слое F2. Магнитные бури начинаются в интервале от 20 до 50 часов после солнечной рентгеновской вспышки. Их возбуждают частицы низких энергий (главным образом протоны и электроны), выброшенные Солнцем во время вспышек и вторгающиеся в магнитосферу Земли. Скорость их распространения существенно меньше скорости света, поэтому они достигают Земли с указанным ранее запаздыванием. Во время ионосферной бури состояние ионосферы становится очень неустойчивым, радиосвязь часто сильно нарушается, а в полярных областях в некоторых случаях радиосвязь прекращается в диапазоне от 1 до 20 МГц. Обычно ионосферные бури разыгрываются в течение нескольких минут, иногда до часа и более, причём главным образом в неосвещённое время суток. Продолжительность возмущений колеблется от нескольких дней до двух – трёх недель. Они наступают с небольшим запозданием почти одновременно на больших участках земной поверхности. Но наиболее сильные ионосферные бури наблюдаются в полярных широтах, где они сопровождаются интенсивными сияниями.

По характеру изменения критических частот foF2 различают три типа возмущений: отрицательные, двухфазные и положительные. Отрицательные возмущения характерны тем, что весь период времени возмущённое значение $(f\text{oF2})_в$ меньше среднемесячного невозмущённого значения foF2 на десятки процентов – рисунок А.13а.

Эти возмущения наиболее часто наблюдаются в периоды равноденствий, когда они наиболее интенсивны. При положительных возмущениях (рисунок А.13б), напротив, $(f\text{oF2})_в > f\text{oF2}$, что чаще происходит зимой и в приполюсных областях. Двухфазные возмущения (рисунок А.13в) отличаются тем, что в первые несколько часов после начала бури $(f\text{oF2})_в$ превышают невозмущённые значения foF2, но затем в течение всего периода возмущения $(f\text{oF2})_в < f\text{oF2}$.

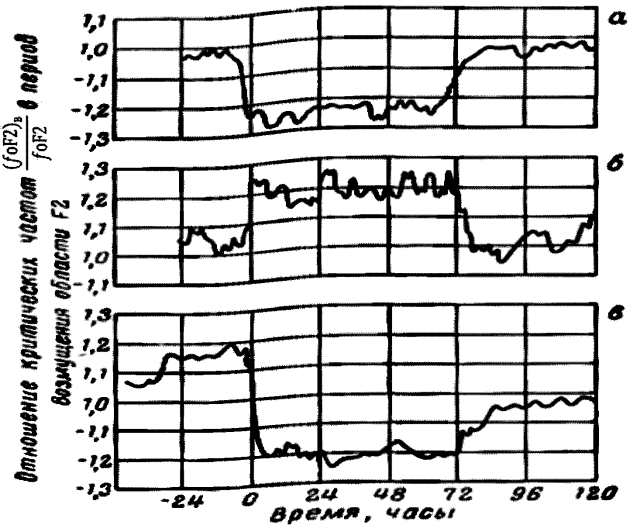


Рисунок А.13 – Зависимости отношений возмущённых значений $(foF2)_в$ к их средним невозмущённым значениям $foF2$

Отрицательные возмущения в высоких и средних широтах сопровождаются положительными возмущениями в низких и приэкваториальных широтах. Область изменения знака возмущения приходится на геомагнитную широту $\Phi \approx 40°$. Сходная картина наблюдается для положительных возмущений в средних и высоких широтах: они также сопровождаются изменением знака возмущения в низких широтах.

Резкое падение $foF2$ во время отрицательного возмущения сопровождается ещё более резким (до одной – двух сотен километров) возрастанием $h_{max}F2$.

А.4.3 Поглощение в полярной шапке

Солнечные рентгеновские вспышки часто сопровождаются вторжением высокоэнергичных протонов солнечной плазмы (с энергиями от 1 до 100 МэВ) в ионосферу Земли. Распространяясь по спирали вдоль силовых линий геомагнитного поля, они попадают в полярные районы спустя от 20 мин до 20 ч после начала вспышки. Основное физическое воздействие этих частиц на

ионосферу заключается, как и в случае SID, в сильной ионизации области D, что сопровождается резким возрастанием поглощения радиоволн декаметрового диапазона. Поэтому это явление называют ППШ или PCA (Polar Cap Absorption). Влияние геомагнитного поля обычно препятствует вторжению таких частиц в ионосферу за пределами зоны полярных сияний. Таким образом, поглощение в полярной шапке характерно лишь для высоких широт (выше $\approx$ 70°) и практически однородно по всей области полярной шапки. Длится этот эффект непрерывно до трёх – четырёх суток и не всегда сопровождается магнитными возмущениями, так как концентрация потоков высокоэнергичных частиц, вызывающих возмущение подобного рода, мала. Величина максимального увеличения поглощения днём от 5 до 10 раз больше, чем ночью. ППШ чаще происходит в равноденствие, редко зимой. Частота появления ППШ возрастает в годы максимума солнечной активности.

А.4.4 Авроральное поглощение

Авроральное поглощение в полярной зоне (АП, auroral absorption) инициируется вторжением потоков энергичных электронов с энергиями более 40 кэВ, сопровождающих солнечные вспышки. Они охватывают зону полярных сияний, то есть достаточно узкую полосу магнитных широт ($\Phi \approx 60° — 75°$), и сопровождаются магнитными бурями. Зона поглощения разомкнута на вечерней стороне Земли и перемещается за Солнцем. За 12 часов она поворачивается на 180°. Но в целом протяжённость зоны возмущения вдоль магнитной параллели достигает сотен градусов по долготе. Эффекты АП чаще наблюдаются в периоды равноденствия. Летом и зимой эффект АП примерно вдвое меньше.

А.5 Распространение радиоволн в ионосфере

А.5.1 Электромагнитные волны

Основными характеристиками электромагнитных волн принято считать частоту, длину волны и поляризацию.

Длина волны прямо связана с частотой через (групповую) скорость распространения излучения. Групповая скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме равна скорости света, в других средах эта скорость меньше. Фазовая скорость электромагнитного излучения в вакууме также равна скорости света, в ионосфере она больше скорости света.

Фазовая скорость (u_f) – скорость перемещения точки, обладающей постоянной фазой колебательного движения, в пространстве вдоль заданного направления. Обычно рассматривают направление, совпадающее с направлением волнового вектора. Определяется как произведение длины волны λ на частоту f, в соответствии с формулой:

$$u_f = \lambda f. \qquad (А.13)$$

В свободном пространстве все волны распространяются с одинаковой скоростью, равной скорости света $3 \cdot 10^8$ мс$^{-1}$. В среде их скорость распространения отлична от с и зависит как от частоты, так и свойств среды.

Изменение скорости распространения в зависимости от частоты и свойств среды определяется дисперсией. Дисперсия – это явление, обусловленное зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) электромагнитного колебания (частотная дисперсия), или, то же самое, зависимость фазовой скорости в веществе от длины волны (или частоты).

Показатель преломления среды n есть отношение скорости волны в вакууме к ее скорости в данной среде, т. е.

$$n = \text{с}\, u_f^{-1}. \qquad (А.14)$$

В ионосфере n всегда меньше единицы, так как здесь $u_f > c$. То, что фазовая скорость превышает скорость света, означает, что она характеризует не реальную скорость распространения энергии волны, а скорость изменения ее фазы, зависящую от состояния среды.

Групповая скорость (u_g) есть скорость движения «группы волн», образующих в каждый данный момент времени локализованный в пространстве волновой пакет. Она связана с фазовой скоростью соотношением:

$$u_f u_g = c^2, \tag{A.15}$$

Групповая скорость определяет истинную скорость распространения энергии волны. В ионосфере она связана с показателем преломления соотношением

$$u_g = n\,c. \tag{A.16}$$

Поляризация электромагнитных волн – явление направленного колебания векторов напряжённости электрического поля ***E*** или напряжённости магнитного поля ***H***. В общем случае поляризация эллиптическая.

А.5.2 Критическая частота слоя

В свободном пространстве n равно 1 и $u_g = c$. Прохождение радиоволн через среду, в которой присутствуют свободные электроны, приводит их в движение. Это, в свою очередь, оказывает влияние на свойства волны, причём n становится меньше 1. Соответственно, уменьшается u_g. Если по мере продвижения волны концентрация электронов возрастает, показатель преломления n падает ещё более, вызывая падение групповой скорости u_g. Наконец, при вертикальном падении волны с Земли на ионосферу концентрация электронов может достичь величины, при которой (для волны данной частоты) выполняется условие $n = 0$. Это означает, что скорость волны также становится равной нулю. И если за этой

границей концентрация электронов продолжает возрастать, волна вынуждена повернуть назад и отразиться обратно к Земле по своему первоначальному пути. Это явление называют резонансом.

Так как показатель преломления зависит не только от свойств среды, но также и от частоты падающей волны, ионосфера является диспергирующей средой. Поэтому сигналы различной частоты будут либо отражаться от разных высот ионосферы (зависящих от концентрации электронов), либо проходить сквозь неё, если частота радиоволны будет столь велика, что явление резонанса для неё не наступит.

В первом приближении показатель преломления определяется выражением:

$$n^2 = 1 - f_p^2 f^{-2}, \qquad (A.17)$$

где f_p – плазменная частота электронов среды.

Следовательно, условие отражения равнозначно условию:

$$f_p = f,$$

где плазменная частота среды (в данном случае электронов) находится из выражения:

$$f_p = (N_e\, e^2)^{0,5} (\pi m)^{-0,5}, \qquad (A.18)$$

где m – масса электрона.

Концентрация электронов, которая вызывает резонанс на данной частоте f, вычисляется по формуле:

$$N_e = \pi m f^2 e^{-2} = 1{,}24 \cdot 10^{10} f^2, \qquad (A.19)$$

где f выражена в МГц, а N_e в м$^{-3}$.

Так как электронная концентрация сначала растёт с высотой, а затем уменьшается, то образуется ионосферный слой. Каждый слой характеризуется своей критической частотой. Для слоя F2 вводят обозначение *f*oF2, для слоя F1 – *f*oF1, для области E – *f*oE. Для расчёта критической частоты используют формулу (А.12), вытекающую из (А.19).

А.5.3 Действующая высота

Условная высота отражения от ионосферы радиосигнала, определяемая по времени задержки между передачей и приёмом отражённого от ионосферы сигнала при вертикальном падении в предположении, что скорость распространения сигнала постоянна и равна скорости света в вакууме, называется действующей высотой. Действующая высота больше истинной высоты. Эта разница, несущественная вдали от критической частоты области, быстро возрастает с приближением частоты излучаемых радиоволн к критической частоте тех или иных ионосферных областей – рисунок А.14.

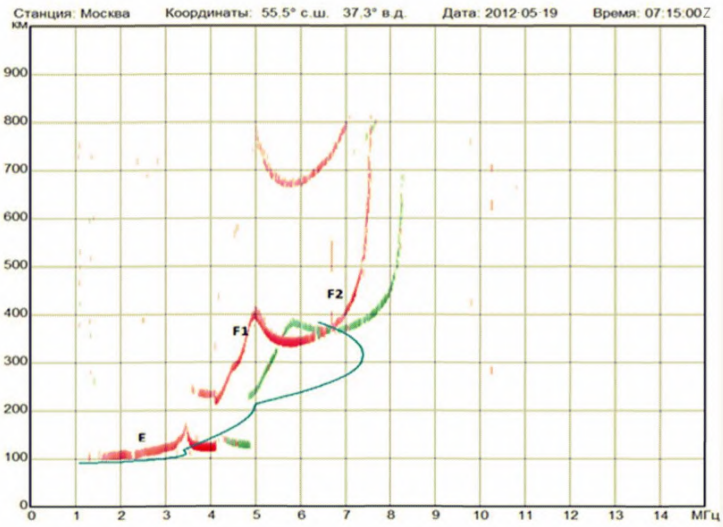


Рисунок А.14 – Высотно-частотная характеристика ионосферы (ионограмма)

Чтобы найти истинную высоту отражения радиосигнала, необходимо учесть уменьшение скорости распространения электромагнитной волны в плазме. На рисунке А.14 (синяя кривая) представлена высотная зависимость плазменной частоты ($f(h)$-профиль).

А.5.4 Поляризация электромагнитной волны

А.5.4.1 Электрон испытывает действие силы, перпендикулярной как к магнитному полю, так и к направлению первоначального движения. Поскольку сила перпендикулярна магнитному полю, то под её влиянием электрон вращается вокруг линий магнитного поля. В случае, когда существует компонента скорости вдоль магнитного поля, движение электрона будет спиральным. Скорость вращения электрона зависит при этом только от модуля вектора напряжённости магнитного поля Н, заряда и массы электрона, но не от направления или величины приложенной силы. Частота вращения называется гирочастотой электрона:

$$f_{\text{H}} = \text{e}H(2\pi\text{m})^{-1} . \qquad \text{(А.20)}$$

Зависимость последней от H приводит к тому, что в магнитном поле Земли f_{H} различна в различных точках земной поверхности и на разных высотах. В средних и низких широтах:

$$f_{\text{H}} \leq 1{,}6 \text{ МГц}.$$

В случае распространения радиоволн через ионосферу действующей на электрон силой является напряжённость переменного электрического поля волны. В присутствии геомагнитного поля движение электронов становится сложным: оно разлагается на две эллиптические компоненты противоположного направления вращения. Таким образом, возникают две распространяющиеся независимо волны с противоположной поляризацией.

Магнитоионную составляющую эллиптически поляризованной радиоволны, векторы электромагнитного поля которой имеют правое вращение, называют обыкновенной компонентой, иногда вместо слова компонента говорят

волна. Магнитоионная составляющая эллиптически поляризованной радиоволны, в которой направление вращения векторов электромагнитного поля является обратным по отношению к обыкновенной радиоволне, называют необыкновенной радиоволной. Различают быструю (X-компоненту) и медленную (Z-компоненту) необыкновенные компоненты. При распространении сигнала от Земли в подавляющем большинстве случаев возникает x-волна. Обыкновенная и необыкновенная волны отражаются от одной и той же высоты, если выполняется соотношение

$$fx^2 - fo^2 = fx\, f_H, \qquad (A.21)$$

где fx –частота необыкновенной компоненты;

fo –частота обыкновенной компоненты.

Если f_x и fo велики по сравнению с f_H, то выполняется соотношение:

$$fx - fo \approx f_H/2 \qquad (A.22)$$

Иначе говоря, на частотах, существенно превышающих гирочастоту, частоты O- и X-компонент различаются между собой на половину гирочастоты – рисунок А.14 (красная линия – след отражения обыкновенной компоненты, зелёная – необыкновенной).

А.5.4.2 В высоких широтах, где направление распространения волны при вертикальном падении на ионосферу составляет малые углы с вектором геомагнитного поля, а значение высотного градиента dN_e/dh достаточно велико, ощутимая часть энергии волны просачивается в область, где дополнительно может быть возбуждена необыкновенная волна. Она называется Z-компонентой (рисунок А.15). При этом $fx > fo > fz$, где fz –частота Z-компоненты, и в данном случае также справедливо соотношение:

$$fx - fz = f_H \qquad (A.23)$$

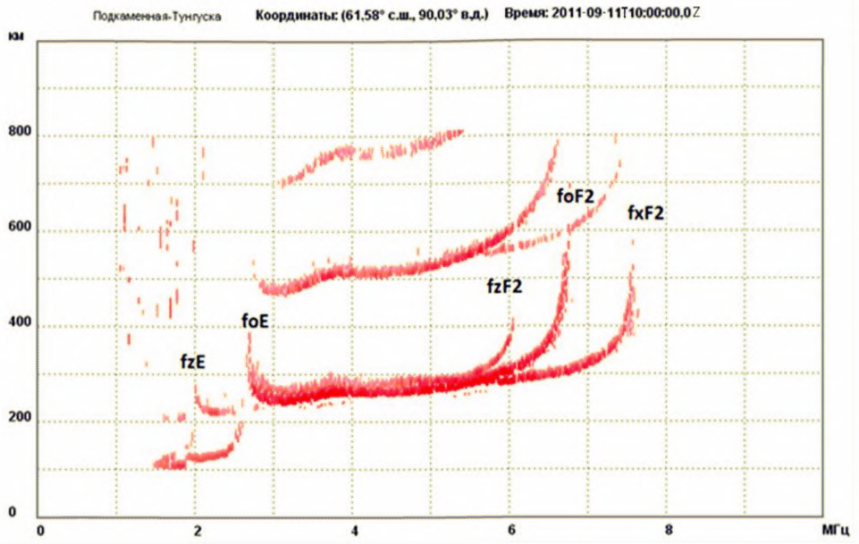


Рисунок А.15 – Пример ионограммы со следами Z-компоненты

А.5.4.3 Волна, посланная вертикально вверх на горизонтально ионизированный слой, в присутствии магнитного поля следует по криволинейному пути от начала области до точки отражения. Таким образом, отражение волны происходит не строго над головой, а на некотором расстоянии в стороне. Происходит боковое отклонение радиоволн в ионосфере. Обыкновенная и необыкновенная компоненты отклоняются в плоскости магнитного меридиана в противоположных направлениях, например, для северного полушария: необыкновенная – по направлению к экватору, обыкновенная – по направлению к полюсу. Дистанция между точками отражения может достигать 40 % толщины области. Это означает, что О- и Х-компоненты могут при проникновении через слой F2 отклониться на расстояние от 30 до 100 км к северу и югу от зенита.

Необходимо также учитывать, что горизонтальные неоднородности в структуре ионосферы могут приводить к разнице в форме следов отражений на ионограмме.

А.5.5 Поглощение радиоволн в ионосфере

Как уже говорилось, ионосфера является средой, содержащей свободные электроны, которые приходят в движение при прохождении через них радиоволны. Если считать каждый электрон совершенно свободным, так что его движение под влиянием волны происходит беспрепятственно и продолжается до тех пор, пока проходит волна, то это означает, что энергия волны не поглощается. Сколько он её получает в течение одного цикла, столько же и возвращает в течение другого цикла. Таким образом, электрон не совершает никакой работы, и волна распространяется без затухания.

В действительности, однако, электроны время от времени сталкиваются с находящимися в ионосфере тяжёлыми нейтральными молекулами и ионами, теряя при этом энергию, которую они имели до столкновения и которую они, в свою очередь, отняли у волны. При этих упругих (без рекомбинации) столкновениях волна теряет энергию и затухает. Затухание зависит от числа столкновений в единицу времени (1 с), которое зависит, в свою очередь, от концентрации электронов, и от частоты волны. Среднее число столкновений (их частота) обозначается через ν. Если частота волны f больше частоты ν, электроны будут совершать много колебаний между последовательными столкновениями, в результате чего большинство колебаний останется незатухающим. Электрон теряет во время столкновения только ту энергию, которую он получил от волны перед столкновением, так что только часть энергии, равная νf^{-1}, рассеивается и не возвращается волне. Следовательно, затухание пропорционально νf^{-1} и убывает с ростом частоты волны. Таким образом, величина затухания для фиксированной частоты волны зависит от произведения двух величин: концентрации электронов N_e и частоты их столкновений ν.

В нижней ионосфере (область D) N_e мала, но ν очень велика, так как здесь плотность нейтральной атмосферы много выше, чем в вышележащих областях ионосферы. В результате величина νN_e становится большой, что приводит к значительному затуханию радиоволн, проходящих через эту область. Поскольку

это поглощение влияет на все частоты (его величина пропорциональна f^2) и происходит в области, где скорость волны почти не меняется (вследствие малости N_e), то его называют неотклоняющим. Так как величина поглощения зависит от частоты волны, а в магнитном поле волна расщепляется на обыкновенную и необыкновенную компоненты, то влияние этого поля приводит к тому, что величина поглощения будет различной для них.

Величина поглощения обыкновенной волны пропорциональна $(f + f_H \cdot \cos\theta)^{-2}$, необыкновенной $(f - f_H \cdot \cos\theta)^{-2}$, где θ – угол между направлением нормали к фронту волны и вектором магнитного поля Земли. То есть затухание радиоволны

$$\varkappa \sim (f \pm f_H \cdot \cos\theta)^{-2}, \qquad \text{(A.24)}$$

Легко видеть отсюда, что чем частота падающей на ионосферу волны ближе к гирочастоте, которая, как указывалось ранее, не превосходит 1,6 МГц, тем больше разница в величинах поглощения для обыкновенной и необыкновенной компонент волны. Поэтому на ионограммах ВЗ следы отражения необыкновенной компоненты появляются на частотах, превышающих 2,5 МГц.

Вблизи критических частот слоёв появляется дополнительное поглощение, которое возрастает независимо от величины νN_e. Это происходит вследствие того, что вблизи точки отражения волны её групповая скорость уменьшается. Тем самым увеличивается время, в течение которого электроны, сталкиваясь с тяжёлыми нейтральными или заряженными частицами верхней атмосферы, теряют свою энергию. Так как это поглощение происходит в области высот, где волна испытывает отклонение от вертикали, оно называется отклоняющим.

А.5.6 Рассеяние радиоволн в ионосфере

Ионосфера крайне редко напоминает гладкую, монотонную среду с плавно изменяющейся с высотой структурой. Как правило, она представляет собой облачную среду с хаотически движущимися образованиями – вкраплениями неоднородностей электронов различной плотности и самого различного масштаба от сотен и тысяч километров до сотен метров по горизонтали и от десятков километров до десятков метров по вертикали. В случае сильной шероховатости отражающей области следы отражённых сигналов теряют чёткую структуру и становятся рассеянными – рисунок А.16.

Рассеяние может проявляться вследствие турбулентности, при которой поверхности равной концентрации электронов расположены беспорядочно. Кроме того, рассеяние может явиться результатом частичного отражения в местах разрывов электронной концентрации на некотором уровне.

Количество отражённой энергии от такой поверхности зависит от того, как быстро изменяются свойства среды по сравнению с длиной волны при переходе через эту поверхность. Если плотность ионизации быстро изменяется на расстоянии, равном длине волны зондирующего сигнала (λ от 25 до 200 м), то граница будет отражать больше энергии, чем, если бы изменение было сравнительно постепенным. Следовательно, эффект рассеяния зависит не столько от неоднородностей плотности ионизации, сколько от её изменений или флуктуаций. Эффекты рассеяния значительно чаще проявляются в ночные часы, чем в дневные. Это связано с тем, что в отсутствие такого мощного источника образования электронов, как солнечное ионизирующее излучение, ночная область F образуется благодаря стоку электронов из протоносферы на высоты от 250 до 350 км – процессу существенно более хаотичному, чем фотоионизация.

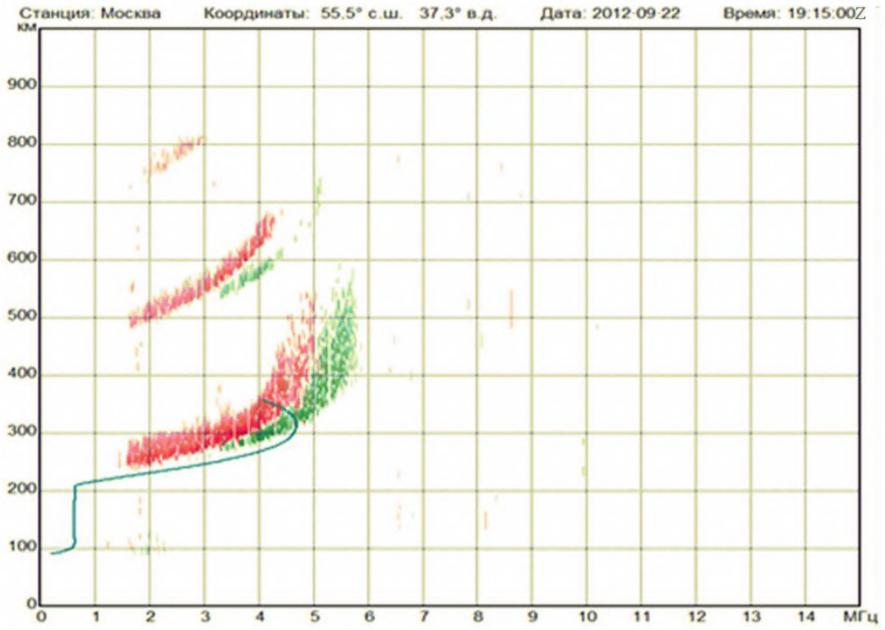


Рисунок А.16 – Рассеянные отражения в области F

Библиография

[1] Положение о Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (утверждено постановлением Правительства РФ от 23 июля 2004 г. N 372) С изменениями и дополнениями от:14 декабря 2006 г., 29 мая, 7 ноября 2008 г., 27 января, 8 августа, 14 сентября 2009 г., 15 июня 2010 г., 24 марта 2011 г., 6 июня, 2 ноября 2013 г., 27 декабря 2014 г.

[2] Положение о метрологической службе Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (утверждено приказом Росгидромета от 27.12.2012 № 819).

[3] Перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и выполняемых при осуществлении деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений (утверждён приказом Минприроды России от 07.12.12 г. №424).

[4] Порядок проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа (утверждён приказом Минпромторга от 30 ноября 2009 г. № 1081).

[5] Порядок утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений (утверждён приказом Минпромторга от 30 ноября 2009 г. № 1081).

[6]Административный регламент исполнения федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной функции по отнесению технических средств к средствам измерений (утверждён приказом Минромторга России от 15 февраля 2010 г. № 122).

[7]Требования ВМО к средствам наблюдений и наблюдательным сетям. [Электронный ресурс] // Всемирная метеорологическая организация: [Сайт]. URL: gost.e-ecolog.ru (Дата обращения 13.08.2014).

[8] Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм, перевод с английского, издательство «Наука», Москва, 1977 г., 342 с.

[9] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 13.01.2003 № 6).

Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	изменённой	заменённой	новой	аннулированной			внесения изменения	введения изменения

РД 52.26.817–2015.
РУКОВОДСТВО ПО ИОНОСФЕРНЫМ,
МАГНИТНЫМ И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ.
Часть I.
ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Подписано к печати 14.10.2015. Формат 60×84/8.
Печать офсетная. Печ. л. 24,4. Тираж 230 экз. Заказ № 20.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королева, 6.

gost.e-ecolog.ru