



УДК 550.388.1

ОБЗОР ВТОРОГО ИЗДАНИЯ РУКОВОДСТВА ПО ИОНОСФЕРНЫМ, МАГНИТНЫМ И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ. ЧАСТЬ 1. ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Ю. В. Гришина¹, С. В. Журавлев¹¹Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова (ИПГ), Москва, Россия

Статья посвящена вопросам совершенствования методологического обеспечения ионосферного мониторинга государственной наблюдательной сети. Рассмотрены причины необходимости разработки новой редакции руководящего документа «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения». Проанализировано содержание документа и его основные отличия от первой редакции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: РУКОВОДСТВО, ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ИОНОСФЕРА, ИОНОСФЕРНАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ, СТАЦИОНАРНЫЙ ПУНКТ ИОНОСФЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, СРЕДСТВА ИОНОСФЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

EDN: EHTTBV

1. ВВЕДЕНИЕ

Руководящий документ РД 52.26.817–2023 «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения» разработан в соответствии с планом НИТР Росгидромета на 2020–2024 гг., тема «Развитие и модернизация технологий мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации и Арктики», в рамках которой должны были быть подготовлены руководящие документы и методики для обеспечения деятельности ионосферной, магнитной и гелиогеофизической наблюдательных сетей, методики поверки, калибровки средств измерений.

Во исполнение поручения Правительства Российской Федерации от 4 марта 2020 года № ДГ-ПЗ6-1491 о «регуляторной гильотине» 30 июля 2020 года вышел приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением». Приказ вступил в силу с 1 января 2021 года.

Первое издание руководящего документа «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения» — РД 52.26.817–2015 было выпущено в 2015 году, и на момент выхода приказа № 524 не во всем соответствовало изложенным в нем требованиям. Кроме того, в 2020 году в соответствии с РД 52.18.28–2020 наступил срок его проверки. По этим причинам взамен РД 52.26.817–2015 был разработан РД 52.26.817–2023 «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения», 2-ое издание, далее Руководство.

Электронная почта авторов для переписки:

Журавлев Сергей Владимирович, e-mail: Zhuravlev@ipg.geospace.ru<https://elibrary.ru/ehhtbv>Адрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

Руководство — это руководящий документ, регламентирующий работу ионосферной наблюдательной сети. Изменения внесены для координации с приказом № 524, существенно расширяющим виды наблюдений, касающихся изучения состояния ионосферы, и относящихся к ионосферной наблюдательной сети. Новая редакция документа конструктивно отличается от первой редакции, что вызвано уточнением формулировок, согласованием с новыми нормативными документами, учётом замечаний, полученных в процессе работы с использованием предыдущей версии документа. Основные положения настоящего руководящего документа принимают во внимание требования Международного научного радиосоюза (URSI) и Всемирной метеорологической организации (ВМО), распространяющиеся на международную сеть ионосферных наблюдений.

На основании опыта работы ионосферных наблюдательных пунктов была изменена структура документа, выделены разделы, соответствующие каждому виду наблюдений, удален раздел, связанный с методами низкоорбитальной радиотомографии, в связи с переводом этого вида наблюдений в исследовательский и сокращением средств наблюдений.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ДОКУМЕНТА

2.1. Структура документа

Руководство состоит из 13 разделов, каждый из которых посвящен отдельному аспекту ионосферных наблюдений. В разделе 1 описывается область применения и цель документа, в разделе 2 приведены нормативные ссылки, используемые в документе, разделы 3 и 4 содержат термины и определения, а также обозначения и сокращения, используемые в тексте.

Разделы 5-11 посвящены описанию различных методов наблюдений ионосферы, включая организацию ионосферной наблюдательной сети, методы вертикального и наклонного радиозондирования ионосферы, радиозондирование ионосферы с искусственных спутников Земли, наблюдения ионосферы методом высокоорбитальной радиотомографии, риометрический метод и оптические наблюдения авроральной зоны. Каждый из этих разделов содержит описание принципа реализации, требований к местам проведения наблюдений и технических характеристик оборудования. В разделе 12 определены правила сбора, хранения и выдачи результатов наблюдений потребителям и описаны средства сбора и передачи данных. Раздел 13 Руководства посвящен метрологическому обеспечению ионосферных наблюдений и нормативным документам.

2.2. Организация ионосферной наблюдательной сети

Очевидно, что организация ионосферной наблюдательной сети, рассматриваемая в разделе 5 документа, является очень важной задачей, требующей системного подхода. Она проводится в соответствии с организационными основами построения государственной наблюдательной сети. Методы ионосферных наблюдений включают в себя:

- вертикальное и наклонное радиозондирование, позволяющее получать информацию о состоянии ионосферы на различных высотах;
- наблюдения за полным электронным содержанием, которое позволяет определять количество электронов в ионосфере;
- наблюдения интегрального поглощения в ионосфере Земли радиоизлучения космических источников;
- оптические наблюдения авроральной зоны, которые позволяют изучать явления, связанные с полярными сияниями.

Размещение стационарных пунктов ионосферных наблюдений является ключевым моментом в организации ионосферной наблюдательной сети. Оно определяется пространственной изменчивостью основных параметров ионосферы. Установка стационарных пунктов ионосферных наблюдений проводится с учётом рельефа местности и наличия работающих радиотехнических средств другого назначения.

Организация новых наблюдательных подразделений ионосферной наблюдательной сети, стационарных пунктов ионосферных наблюдений, закрытие и перенос наблюдательных подразделений ионосферной наблюдательной сети, стационарных пунктов ионосферных наблюдений осуществляется в соответствии с РД 52.04.567.

Документация стационарных пунктов ионосферных наблюдений состоит из технической, хозяйственно-финансовой, организационно-оперативной и нормативной документации.

Технические средства и оборудование, необходимые для проведения ионосферных наблюдений, должны соответствовать установленным требованиям для выполнения работ (оказания услуг).

Работники, осуществляющие руководство в проведении ионосферных наблюдений, должны иметь высшее профессиональное образование по специальности «Гидрометеорология», «Прикладная гидрометеорология» или высшее профессиональное образование в области физико-математических, естественных наук, техники и технологии, а также не менее 3 лет опыта работы с наземными гелиогеофизическими приборами.

Ионосферная информация хранится в специально созданных базах данных и предоставляется с точным указанием места и времени наблюдения. Информационная продукция производится по методикам, утверждённым федеральным органом исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях.

2.3. Метод вертикального радиозондирования ионосферы

Раздел 6 руководящего документа — «Метод вертикального радиозондирования ионосферы» представляет собой детальное руководство по методологии и инструментам, используемым для исследования ионосферы с помощью ионозондов, таких как «Парус-А» и CADI. Суть метода вертикального зондирования (ВЗ) состоит в измерении времени распространения посланных вертикально вверх и вернувшихся обратно коротких радиоимпульсов с приемлемой степенью точности. Метод ВЗ основан на эффекте резонанса между электромагнитной волной и частотой плазменных колебаний в ионосфере. В результате этого эффекта определяются действующие высоты сигналов h' для каждой частоты f . Эти высоты являются условными высотами отражения от ионосферы радиосигналов и определяются по времени задержки между передачей и приемом отраженных от ионосферы сигналов при вертикальном падении в предположении, что скорость распространения сигнала постоянна и равна скорости света в вакууме.

Для проведения ионосферных наблюдений методом ВЗ требуется организовать станцию ионосферных наблюдений — стационарный пункт (СП) с антенно-фидерным комплексом и ионосферным павильоном. Земельный участок СП ионосферных наблюдений должен позволять разместить на нем антенно-фидерный комплекс ионозонда ВЗ и ионосферный павильон площадью не менее 45 м².

К техническим средствам и оборудованию, необходимому для проведения ионосферных наблюдений описываемым методом, относится ионозонд ВЗ ионосферы, подключённый к антенно-фидерному комплексу (АФК).

Ионозонд «Парус-А» предназначен для измерений времени задержки радиоимпульса, импульсного напряжения переменного тока, а также для отображения результатов измерений и расчётных значений.

Продуктом работы ионозонда является высотно-частотная характеристика ионосферы (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 концентрации электронов 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;
- автоматическое построение высотного профиля электронной концентрации ионосферы;
- автоматическое формирование стандартных телеграмм с измеренными параметрами ионосферы;
- определение частотной зависимости действующих расстояний между искусственным спутником Земли (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.

Основными компонентами ионозонда «Парус-А» являются:

- импульсный генератор;
- широкополосный передатчик с передающей антенной;
- приёмное устройство с приёмной антенной;
- преобразователь сигналов;
- блок индикатора.

Ионозонд CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde) используется в высокоширотном сегменте сети ВЗ ионосферы. Он позволяет одновременно работать с несколькими радиоприемниками и измерять параметры, такие как фаза, амплитуда и временная задержка отраженных сигналов. CADI имеет модульную структуру и включает в себя персональный компьютер, контроллер/приёмник, радиопередатчик и приёмник сигналов навигационных спутников с антенной, антенно-фидерный комплекс.

Обработка ионограмм включает использование международных стандартов и программных комплексов, которые обеспечивают как автоматическую, так и интерактивную обработку данных. Это позволяет извлекать критические частоты и высоты слоев ионосферы, а также оценивать их характеристики.

Работа с ионозондами требует соблюдения строгих мер безопасности. К ним относятся квалификация персонала, соблюдение инструкций по эксплуатации и использование защитного оборудования.

Результаты наблюдений представляются в различных форматах, включая урсиграммы и графики, что позволяет эффективно анализировать и интерпретировать данные о состоянии ионосферы. Важными аспектами являются:

- формат урсиграммы ИОНКА, который стандартизирует представление данных;
- график частотных характеристик следов отражений;
- суточный график действующих высот (h-график);
- суточная таблица;
- месячные таблицы;
- добавлен дополнительный формат IONMODEL для передачи информации результатов моделирования ионосферы.

Ионосферные наблюдения проводятся с целью контроля состояния ионосферы и исследования ее вертикальной структуры. Сеансы радиозондирования проводятся регулярно, с частотой 4 раза в час, а в особых случаях - каждые 5 минут. Это позволяет оперативно фиксировать изменения в состоянии ионосферы и передавать данные потребителям.

2.4. Метод наклонного радиозондирования ионосферы

В новом Руководстве полностью переписан раздел 7 — «Метод наклонного радиозондирования ионосферы», в котором учтен опыт работы ФГБУ «ААНИИ». Внесены правила обработки наклонных ионограмм и правила составления основных урсиграмм.

Метод наклонного зондирования ионосферы (НЗ) используется для исследования параметров распространения радиоволн (РРВ) на трассах между разнесёнными передатчиком и приёмником, что делает его важным инструментом для изучения ионосферы и улучшения качества радиосвязи. Этот метод охватывает широкий диапазон частот, обычно от 3 до 30 МГц. Для выполнения наблюдений необходимо, чтобы передатчик и приёмник имели точную систему синхронизации, например, GPS или Глонасс.

Цель НЗ заключается в получении информации о состоянии ионосферы и её реакции на различные гелиогеофизические процессы. Это позволяет повысить надёжность прогнозирования условий радиосвязи. С помощью НЗ можно определить ключевые характеристики линий радиосвязи, такие как максимальные (МНЧ) и минимальные (МНЧ) наблюдаемые частоты, диапазон оптимальных частот и участки диапазона, где минимально влияние многолучевого распространения.

Сегмент НЗ ионосферной наблюдательной сети развернут в Арктической зоне РФ на базе современных цифровых комплексов НЗ ионосферы, использующих сигналы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ). Сегмент НЗ позволяет проводить наблюдения за особенностями распространения радиоволн (диапазоны частот, модовая структура, регистрация аномальных способов распространения,

многолучевость и т. д.) на радиотрассах различной протяжённости и ориентации с высоким пространственным и временным разрешением. Наблюдения проводятся в диапазоне частот от 2 до 29 МГц.

В тексте раздела приведены координаты наблюдательных пунктов сегмента НЗ ионосферной сети на 2022 год, указаны названия станций и индексы для обработки данных. Описано каким образом ЛЧМ-сигнал используется для зондирования ионосферы. Определяется положение принимаемого и излучаемого сигналов на частотной шкале. Аналитическое представление ЛЧМ-радиоимпульса представлено формулой, где учитываются амплитуда, круговая частота и скорость изменения частоты.

Принимаемый сигнал изменяется по частоте, и его частотная развёртка задержана относительно развёртки передаваемого сигнала на время τ . Разностная частота определяется как произведение временной задержки и скорости изменения частоты в ЛЧМ-сигнале. Это позволяет установить связь между задержкой и временем распространения сигнала.

Комплекс НЗ состоит из приёмопередающего блока, компьютера, усилителя мощности и антенно-фидерной системы (АФС). Аппаратура должна размещаться в отапливаемом помещении. Вблизи комплекса не должно быть мощных источников помех.

Результатом НЗ является ионограмма, которая отражает частотную зависимость группового запаздывания сигналов, прошедших через ионосферу. Ионограмма демонстрирует модовую структуру волнового поля и амплитудно-частотную характеристику ионосферного канала. Предварительный анализ ионограммы включает ознакомление с данными о радиотрассе, на которой были получены результаты. Учитываются координаты пунктов приёма и передачи, длина и тип трассы (среднеширотная, авроральная и т. д.).

При интерпретации ионограммы учитываются суточные изменения критических частот ионосферы. Результат каждого сеанса зондирования по каждой трассе наблюдений (ионограмма) представляет собой трёхмерный массив амплитуды (относительной амплитуды) принятых сигналов и шума от частоты и задержки.

В Руководстве также приведены примеры интерпретации основных способов распространения радиоволн по ионограмме, определены основные термины, используемые при обработке данных НЗ.

Для краткого представления результатов обработки ионограмм НЗ используется стандартный код урсиграммы УСФРЕ, состоящий из 6 групп символов, которые содержат информацию о станции передачи, станции приёма, дате, времени зондирования и наблюдаемых частотах.

Расширенный код УСФРЕ содержит 16 групп символов и используется для передачи более детализированных данных. Он включает информацию о максимальных и минимальных частотах для различных мод распространения. Приведены примеры кодов и их расшифровка.

Телеграммы составляются ежечасно не позднее 10-й минуты текущего часа. Количество телеграмм, составляемых ежечасно, зависит от количества обрабатываемых радиотрасс НЗ и указано в программе наблюдений.

Если на ионограммах отсутствуют отражённые сигналы, необходимо исключить технические неисправности. Возможные причины отсутствия сигналов — поглощение сигналов или малая ионизация ионосферной плазмы. В случае отсутствия сигналов в телеграмме указываются соответствующие коды.

Для автоматизированной обработки ионограмм используется специализированное ПО, которое позволяет визуализировать и обрабатывать данные, а также формировать телеграммы стандартным и расширенным кодами УСФРЕ. Описан процесс работы с программой и её функциональность.

Метод НЗ позволяет исследовать сложные процессы, происходящие в ионосфере, и предсказывать условия радиосвязи, что особенно актуально для высокоширотных регионов, таких как Арктика.

2.5. Радиозондирование ионосферы с искусственных спутников Земли

Раздел 8 — «Радиозондирование ионосферы с искусственных спутников Земли» включает в себя описание внешнего радиозондирования и трансионосферного радиозондирования ионосферы.

Внешнее радиозондирование ионосферы — это метод изучения ионосферы с помощью установленного на ИСЗ бортового ионозонда. Бортовой ионозонд излучает радиосигналы, которые, после отражения от ионосферы, принимаются приемником бортового ионозонда. Этот метод позволяет

изучать структуру и процессы, происходящие в ионосфере, между орбитой спутника и максимумом концентрации электронов.

Ионограммы, полученные при внешнем радиозондировании, имеют несколько отличительных особенностей по сравнению с теми, которые были получены при наземном радиозондировании. Эти особенности включают в себя:

- наличие плазменных резонансов, которые являются стабильными сигналами, возбуждаемыми широкополосным излучением передатчика вблизи спутника;
- наличие необыкновенной Z-волны;
- на частотах больших $foF2$ наблюдаются следы отражения от Земли или от спорадического слоя Es и Земли;
- следы отражённых сигналов начинаются вблизи высоты расположения бортового передатчика.

Обработка ионограмм включает в себя автоматическое определение следов отражения обыкновенной и необыкновенной волн, а также медленной необыкновенной z-волны (в случае ее присутствия), следов отражения от земли, частот отсечек на ионограммах внешнего зондирования, основных плазменных резонансов, критической частоты $foF2$, расчёт вертикальных профилей концентрации электронов, расчёт критической частоты и локальной плазменной частоты вдоль орбиты спутника. Обработка также включает в себя коррекцию ошибок, вызванных неперпендикулярным распространением радиоволн.

Трансионосферное радиозондирование (ТИЗ) представляет собой метод изучения внутренней структуры ионосферы. Этот метод включает в себя использование передатчика на Земле и приемника на спутнике, или наоборот.

Преимущества трансионосферного радиозондирования заключаются в возможности использования мощного передатчика, который увеличивает отношение сигнал/шум, широкого диапазона частот и информативность этого метода. ТИЗ также позволяет изучать внутреннюю структуру ионосферы и определять профили концентрации электронов.

2.6. Наблюдения ионосферы методом высокоорбитальной радиотомографии

Раздел 9 — «Наблюдения ионосферы методом высокоорбитальной радиотомографии» дает исчерпывающую информацию по организации и функционированию радиотомографического сегмента ионосферной наблюдательной сети, включая технические, организационные и эксплуатационные аспекты. Основная цель этого сегмента — мониторинг состояния ионосферы с помощью радиотомографии, что позволяет получить пространственное распределение концентрации электронов в той области ионосферы, в которой имеется достаточное количество лучей, пересекающих ее зондирующими сигналами спутниковых навигационных систем. Основным принципом радиотомографии (РТ) ионосферы с использованием сигналов высокоорбитальных навигационных систем (ВНС) является одновременный приём когерентных сигналов минимум на двух частотах от нескольких высокоорбитальных навигационных космических аппаратов (ВНКА) несколькими программно-аппаратными комплексами (ПАК) высокоорбитальной томографии (ВОРТ). Применяются аппараты функционирующих глобальных спутниковых радионавигационных систем второго поколения — GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Дополнительно могут использоваться европейская система КА «Galileo» и китайская система КА «Бэйдоу-2» («Beidou-2», европейское название «Compass»), а также две региональные системы спутниковой навигации — индийская IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System — Индийская региональная спутниковая система) и японская QZSS (Quasi-Zenith Satellite System — Квазизенитная спутниковая система). Эти системы используют радиомаяки с определёнными частотами, что позволяет получать данные о распределении концентрации электронов в ионосфере.

Радиотомографический сегмент (РТС) включает в себя стационарные пункты наблюдений, оборудованные программно-аппаратными комплексами (ПАК ВОРТ), и Центр сбора и обработки данных (Центр РТС), который отвечает за анализ и обработку полученной информации. Пункты наблюдений должны соответствовать определённым критериям:

- обеспечение местными структурами Росгидромета непрерывности ионосферных наблюдений;
- возможности передачи требуемых параметров наблюдения и удалённого управления из Центр РТС;
- расстояние между пунктами наблюдений должно составлять от 200 до 400 км для обеспечения необходимого пространственного разрешения.

Задачами ПАК ВОРТ 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.

В состав ПАК ВОРТ входят:

- приёмник спутниковый геодезический многочастотный;
- антенна для приёма сигналов спутников ВНС с кабелем;
- персональный промышленный компьютер;
- источник бесперебойного питания и другие компоненты, обеспечивающие работу системы.

ПАК ВОРТ работают в автоматическом режиме круглосуточно, принимая сигналы ВНС с частотой опроса от 0,1 до 10 Гц. Данные передаются в Центр РТС, где осуществляется их обработка. Обработка данных включает восстановление распределения электронной концентрации в ионосфере с использованием полученных сигналов. Основными входными данными являются фазовые и групповые задержки навигационных радиосигналов, которые затем используются для создания карт распределения концентрации электронов.

Центр РТС размещается в Москве в ФГБУ «ИПГ» и осуществляет дистанционный сбор данных и мониторинг состояния автоматических пунктов наблюдения РТС, радиотомографическую реконструкцию распределения концентрации электронов в ионосфере над территорией РФ с заданным пространственным и временным разрешением по методикам и информационным технологиям ВОРТ. Центр РТС также предоставляет заинтересованным организациям и физическим лицам информацию о состоянии ионосферы над территорией РФ, отмечая в ней ионосферные проявления гелиогеофизических событий.

2.7. Риометрический метод

В новом Руководстве полностью обновлен раздел 10 — «Риометрический метод», в котором также использован опыт работы ФГБУ «ААНИИ». Риометр — это пассивный научный прибор (относительный измеритель непрозрачности ионосферы, Relative Ionospheric Opacity Meter) для наблюдения поглощения радиоволн. Он измеряет интенсивность радиошума, исходящего от звёзд и галактик, и достигающего земной поверхности после прохождения через ионосферу. Риометрический метод используется для наблюдения поглощения радиоволн в ионосфере, преимущественно на высотах менее 100 км.

Целью риометрических наблюдений является непрерывное измерение интенсивности космического радиоизлучения для выявления аномальных вариаций поглощения радиоволн. Риометры способны регистрировать высыпания частиц, которые не обязательно будут видны оптическими методами.

Аномальное поглощение в нижней ионосфере обычно подразделяют на четыре основных типа:

- внезапные ионосферные возмущения (ВИВ или SID — Sudden Ionospheric Disturbance, или SCNA – Sudden Cosmic Noise Absorption), возникающие во время хромосферных вспышек на Солнце вследствие воздействия рентгеновского излучения на нижнюю ионосферу. Поглощение наблюдается только на освещённой полусфере Земли и продолжается обычно несколько десятков минут;
- авроральное поглощение (АА — Auroral Absorption) или поглощение полярных сияний (ППС), которое наблюдается преимущественно в зоне полярных сияний и носит крайне нерегулярный характер;
- поглощение типа полярной шапки (ППШ) наблюдается во всей полярной области на геомагнитных широтах выше 60°, появляется обычно через 1–2 ч после мощных солнечных вспышек, когда солнечные космические лучи с энергией 1–100 МэВ достигают орбиты Земли;
- поглощение, связанное с внезапным началом магнитных бурь (SCA — Sudden Commencement Absorption).

Каждый из этих типов аномального поглощения может появляться независимо друг от друга.

В новом Руководстве добавлены образцы заполнения урсиграмм - кодированной информации о поглощении в ионосфере. Приведены примеры возможных аномальных возмущений в ионосфере, регистрируемых данным методом, с иллюстрациями.

Риометрическая аппаратура состоит из риометра, фазированной коротковолновой антенны, аналого-цифрового преобразователя и компьютера.

Проведение наблюдений риометрическим методом включает в себя непрерывную регистрацию вариаций уровня космического радиоизлучения, расчёт кривой спокойного дня (КСД), анализ наблюдаемых возмущений и оперативную диагностику возмущённости. Разница между фактически измеренным уровнем сигнала и кривой спокойного дня объясняется поглощением радиоволн в ионосфере.

Регистрация аномальных возмущений в ионосфере включает в себя выявление и анализ различных типов аномального поглощения, таких как ВИБ, АА, ПППШ и SCA.

Результаты измерений интенсивности космического радиоизлучения передаются в режиме реального времени в головное НИУ. При появлении аномальных явлений информация передаётся кодом урсиграммы с информацией о поглощении.

2.8. Оптические наблюдения авроральной зоны

Для установления соответствия Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 524 в новом Руководстве добавлен раздел 11 — «Оптические наблюдения авроральной зоны».

Оптические наблюдения авроральной зоны предназначены для изучения формы и динамики структур полярных сияний, а также иных оптических атмосферных явлений. Для этого используется наземная цифровая камера всего неба (ЦК), позволяющая проводить фотофиксацию всего небосвода в текущий момент с достаточно высоким временным разрешением.

Для реализации метода на станции ионосферных наблюдений, приспособленной для проведения оптических наблюдений арктической зоны, располагают специальное оборудование — цифровой оптический комплекс, состоящий из стационарного пункта оптических наблюдений (СПО) и внешних элементов СПО. В состав СПО входит вспомогательное оборудование: управляющий персональный компьютер (ПК), сетевое передающее оборудование, контроллеры, файловое хранилище данных и т. д. Внешние элементы комплекса включают в себя: ЦК, антенны спутниковой связи, глобального позиционирования и резервного канала связи.

ЦК осуществляет непрерывную съёмку всего небосвода в заданные промежутки времени.

Размещение станции ионосферных наблюдений определяется положением авроральной зоны и частотой повторяемости наблюдаемых полярных сияний. Выбор места расположения станции должен учитывать требования к условиям проведения оптических наблюдений, наличие элементов энергетической инфраструктуры и каналов связи.

Сегмент СПО ионосферной наблюдательной сети представляет собой цепочку СПО с локализацией по магнитному меридиану, покрывающую каждый час местного магнитного времени (MLT), соответствующего азимутальному размеру 15° исправленной геомагнитной долготы (CGLon), и обеспечивающую получение данных с временным разрешением не более 5 секунд. Распределение СПО по широте должно осуществляться с шагом не более 4° географической широты в областях полярной шапки Северного и Южного полушарий, полярной и южной границ аврорального овала, а также его активной зоны, субполярной ионосферы и ниже до 55° исправленной геомагнитной долготы (CGLat).

СПО и внешнее оборудование в его составе может быть организован на базе существующих полярных станций Росгидромета, либо в виде автономного автоматизированного контейнера, установленного в полевых условиях.

Требования к внешним условиям проведения оптических наблюдений в тёмное время суток включают в себя:

- отсутствие искусственной засветки небосвода (например, городской) в тёмное время суток;
- отсутствие боковых засветок оптической системы ЦК прямыми источниками света, например, внешними осветительными приборами СПО или расположенной в непосредственной близости осветительной инфраструктуры города, прожекторами и светоотражающими средствами;

- удалённость от инженерных сооружений высотой более 5 м, антенных мачт со светоотражающими и/или светоотражающими элементами, жилых домов, а также лесных массивов должна составлять не менее 50 м.

Цифровой снимок ЦК представляет собой запись интенсивности видимого излучения небосвода в формате отсчётов фоточувствительных элементов матрицы. С помощью автоматических алгоритмов из поступающих с ЦК снимков должны формироваться оперативные цифровые кеограммы, которые представляют собой развёрнутую по времени суточную запись интенсивности и широты полярных сияний. Кеограммы необходимы для непрерывного общего анализа текущего состояния ионосферы, а именно времени начала авроральных суббурь, широтной локализации, скорости и пространственного развития сопутствующих полярных сияний в видимом оптическом диапазоне. Снимки должны сортироваться по временной метке и объединяться в хронологическом порядке, образуя комбинированное изображение кеограммы. Качество наблюдений за полярными сияниями ограничено геометрическими искажениями изображения наблюдаемой поверхности небосвода. Область первичного анализа кеограммы следует ограничивать углом $\pm 60^\circ$, отсчитываемым от зенита вдоль ОУ.

Объём памяти для хранения результатов оптических наблюдений файлового хранилища должен резервироваться исходя из размера каждого изображения и интервалов экспозиции. Файловое хранилище должно быть рассчитано на автономное хранение файлов изображений в течение 1 года.

Ключевые минимальные требования к ЦК:

- поле обзора: должно обеспечивать большую область покрытия — 170° градусов по широте;
- спектральная полоса пропускания: от 400 до 700 нм, для захвата видимых полярных сияний;
- чувствительность сенсора: должна быть меньше 1 кРЛ, при этом соотношение сигнал/шум должно быть не хуже 5:1 для записи полярных сияний;
- пространственное разрешение: диаметр панорамного снимка — 32 пикселя, для детектирования магнитосферной суббури в пределах 1° широты (~ 100 км);
- длительность экспозиции: программируемая, 1 секунда;
- частота снимков: детектирование начала суббури с точностью до 10 секунд, с частотой снимков 3 секунды.

ЦК должна быть установлена на крышу контейнера или рабочего помещения СПО таким образом, чтобы оптическая ось системы линз или объективов камеры была направлена в зенит с точностью до 1° . Компоненты цифрового оптического комплекса должны стабильно работать в естественных условиях крайнего Севера при температуре окружающей среды: от -70 до $+40^\circ\text{C}$.

Задачей оптических наблюдений авроральной зоны является наблюдение за высокоширотными оптическими явлениями в ионосфере с целью определения времени, положения и динамики развития структур авроральных проявлений магнитосферных суббурь. ФГБУ «ААНИИ» является головным НИУ по данному виду наблюдений. Все снимки, поступающие с сегмента оптических наблюдений авроральной зоны ионосферной наблюдательной сети, должны передаваться в ФГБУ «ААНИИ» для обработки и длительного хранения.

2.9. Сбор, хранение и выдача результатов наблюдений потребителям

Был актуализирован раздел 12 Руководства — «Сбор, хранение и выдача результатов наблюдений потребителям». Раздел построен в соответствии с существующей системой передачи данных. Сбор и распространение гелиогеофизической информации обеспечиваются и поддерживаются с помощью целого ряда средств, в том числе:

- телекоммуникационной инфраструктурой Росгидромета, включающей в себя: подсистему каналов связи, корпоративную компьютерную сеть, электронную почту, телефонную связь, системы защиты информации;
- спутниковыми телекоммуникационными системами для сбора данных с использованием отечественных полярно-орбитальных и геостационарных спутников;
- автономными пунктами приема гелиогеофизической информации непосредственно со спутников в квазинепрерывном режиме;
- существующими техническими гелиогеофизическими средствами мониторинга, в том числе наземным комплексом приема, обработки и распространения спутниковой информации;

- обменом данными по протоколу FTP с использованием сети Интернет и выделенных каналов связи с минимальной пропускной способностью 100 Мбит/с;
- организацией сбора и передачи данных, призванной обеспечить передачу данных ионосферных наблюдений в режиме реального времени в центры обработки. При этом для обеспечения надежной доставки критически важной информации проложены резервные каналы и маршруты.

2.10. Метрологическое обеспечение ионосферных наблюдений

Раздел 13 — «Метрологическое обеспечение ионосферных наблюдений» переработан в соответствии с актуальной базой нормативных документов.

Метрологическое обеспечение ионосферных наблюдений включает в себя установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для обеспечения единства и требуемой точности измерений в ионосферной сети наблюдений.

Целями метрологического обеспечения являются повышение качества измерений и надежности средств измерений, а также выполнение требований законодательства в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Задачами метрологического обеспечения являются проведение работ по обеспечению качества измерений, внедрение новых средств измерений, планирование и организация поверки (калибровки) средств измерений.

Метрологическая служба ФГБУ «ИПГ» обеспечивает научно-методическое руководство метрологическим обеспечением, являясь базовой организацией Метрологической службы Росгидромета в части работ по обеспечению единства измерений при наблюдениях за состоянием атмосферы, ионосферы, магнитосферы, околоземного космического пространства, межпланетного пространства и Солнца.

Государственное регулирование обеспечения единства измерений в сфере гидрометеорологии, включая ионосферные наблюдения, осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 № 102 «Об обеспечении единства измерений».

Средства измерений, используемые в ионосферных наблюдениях, должны быть утвержденного типа, пройти процедуру поверки и быть зарегистрированы в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ).

Организации, эксплуатирующие средства измерений в ионосферных наблюдениях, обязаны ежегодно предоставлять отчеты о результатах поверки и техническом состоянии средств измерений в метрологическую службу ФГБУ «ИПГ» до 25 декабря каждого года.

Нормативное обеспечение ионосферных наблюдений включает в себя разработку и реализацию системы нормативных актов различных уровней (законодательство, стандарты, международные соглашения и т. д.).

Задачами нормативного обеспечения являются разработка новых нормативных документов, обновление (пересмотр, внесение изменений) действующих нормативных документов, а также проведение научно-исследовательских работ по разработке нормативных документов.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, новая редакция руководящего документа «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения» приводит в соответствие действующему законодательству функционирование пунктов ионосферных наблюдений Росгидромета, помогает обеспечивать эффективное управление и контроль, единообразие и согласованность в процессе проведения наблюдений, сбора данных и передачи их потребителю, а также может помочь в организации наблюдений ионосферы другим юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, занимающимся проведением ионосферных наблюдений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках НИТР Росгидромета 2020–2024 гг. (тема 6.1).
Регистрационный номер АААА-А20-1200112390082-9

ЛИТЕРАТУРА

- РД 52.26.817–2023 «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения»
- Поручение Заместителя председателя Правительства Российской Федерации от 4 марта 2020 года № ДГ-ПЗ6-1491
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением».
- РД 52.26.817–2015 «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения»
- РД 52.04.567–2003 «Положение о государственной наблюдательной сети»
- Федеральный закон от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями и дополнениями).

REVIEW OF THE SECOND EDITION OF THE MANUAL ON IONOSPHERIC, MAGNETIC AND HELIOGEOPHYSICAL OBSERVATIONS. PART 1. IONOSPHERIC OBSERVATIONS

Grishina Y.V., Zhuravlev S.V.

The article is devoted to the issues of improving the methodological support of ionospheric monitoring of the state observation network. The reasons for the need to develop a new edition of the guidance document "Guidance on ionospheric, magnetic and heliogeophysical observations. Part I. Ionospheric observations". The content of the document and its main differences from the first edition are analyzed.

KEYWORDS: MANUAL, IONOSPHERIC OBSERVATIONS, IONOSPHERE, IONOSPHERIC OBSERVATION NETWORK, STATIONARY IONOSPHERIC OBSERVATION POINT, IONOSPHERIC OBSERVATION FACILITIES