

Справочник

**Использование радиочастотного спектра в метеорологии:
прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды**

Издание 2008 г.

Бюро радиосвязи



**Всемирная
метеорологическая
организация**

WMO



**Международный
союз
электросвязи**



Справочник

**Использование радиочастотного спектра в метеорологии:
прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды**

Издание 2008 г.

Бюро радиосвязи



**Всемирная
метеорологическая
организация**



**Международный
союз
электросвязи**

© WMO-ITU 2009

Все права сохраняются. Ни одна из частей настоящей публикации не может быть воспроизведена какими бы то ни было средствами без предварительного письменного разрешения МСЭ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

"Проблема изменения климата – это нравственная проблема нашего поколения..."

Пан Ги Мун, Генеральный секретарь ООН

Пятнадцатый Всемирный метеорологический конгресс ВМО 2007 года, в Резолюции 4 (Сg-XV):

принимая во внимание:

важнейшее значение полос радиочастот для метеорологической и связанной с ней деятельности в области окружающей среды и научных исследований и для уменьшения опасности бедствий;

...

подчеркивая,

что некоторые полосы радиочастот являются уникальным естественным природным ресурсом ввиду их особых характеристик и естественных излучений, позволяющих проводить пассивное зондирование атмосферы и поверхности Земли и заслуживающих абсолютной защиты;

...

настоятельно призывает все страны-члены сделать все от них зависящее на национальном, региональном и международном уровнях для обеспечения наличия и защиты подходящих полос радиочастот;

...

предлагает Международному союзу электросвязи и администрациям его Государств-Членов

(1) обеспечить абсолютную защиту радиочастотных полос для пассивного зондирования;

(2) должным образом учитывать потребности ВМО в распределении радиочастот и регуляторные положения для метеорологической и связанной с нею деятельности в области окружающей среды и научных исследований;

...

Всемирная конференция радиосвязи МСЭ (Женева, 2007 г.), в Резолюции 673 (ВКР-07):

"учитывая,

a) что возможности наблюдения на местах и дистанционного наблюдения Земли зависят от наличия радиочастот в ряде радиослужб, допускающих широкий диапазон пассивных и активных применений на спутниковых платформах или платформах наземного базирования;

...

c) что данные наблюдения Земли также имеют важнейшее значение для мониторинга и прогнозирования изменения климата, для прогнозирования, мониторинга и ослабления последствий бедствий, для обеспечения более глубокого понимания, моделирования и проверки всех аспектов изменения климата, а также для связанного с этим процесса формирования политики;"

...

"решает предложить МСЭ-R

провести исследования о возможных способах повышения уровня признания существенной роли и глобального значения применений радиосвязи для наблюдения Земли, а также знания и понимания администрациями вопросов использования этих применений и связанных с ними преимуществ,"

....

Свыше 7000 стихийных бедствий, зарегистрированных в мире за период с 1980 по 2005 год, унесли жизни более 2 миллионов человек и нанесли ущерб, оценивающийся на уровне, превышающем 1,2 триллиона долларов США. Девяносто процентов этих стихийных бедствий, 72% смертей от несчастных случаев и 75% экономического ущерба приходятся на такие погодные, климатические и связанные с водной стихией факторы, как засухи, наводнения, ураганы и тропические циклоны. В настоящее время, например, такие основанные на использовании радиосвязи приложения, как дистанционные датчики, являются основным источником информации о земной поверхности и атмосфере. Эта информация, в свою очередь, используется для прогнозирования и мониторинга климата, погоды и качества воды, для предупреждения о стихийных бедствиях и уменьшения их опасности, а также для оказания поддержки операциям по оказанию помощи в случае бедствий и для планирования превентивных мер в целях адаптации к негативным последствиям изменения климата и смягчения этих последствий.

На протяжении вот уже 135 лет между ВМО и МСЭ налажено прекрасное сотрудничество и партнерство. Хотя ВМО концентрирует свои основные усилия на удовлетворении потребностей в информации об окружающей среде и соответствующих ресурсах радиочастотного спектра, МСЭ, как международный управляющий спектром, распределяет необходимые радиочастоты, для того чтобы обеспечить свободную от помех работу приложений, базирующихся на радиосвязи, и систем радиосвязи (наземных и космических), использующихся для прогнозирования и мониторинга климата, прогнозирования погоды, а также для раннего предупреждения о бедствиях и их обнаружения.

Следовавшие одна за другой Всемирные конференции радиосвязи МСЭ учитывали потребности ВМО в обеспечении наличия и защиты радиочастотных полос для таких инструментов наблюдения, как радиозонды, метеорологические радиолокаторы и радиолокаторы измерения профиля ветра, а также орбитальные инфракрасные и микроволновые зонды.

Другие информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), не рассматриваемые в настоящем справочнике, например проводные и спутниковые линии и компьютеры электросвязи, также являются важными составными частями информационной системы ВМО (WIS). Многие технические стандарты МСЭ (Рекомендации МСЭ-R и МСЭ-T) используются для развития и эксплуатации этой системы.

Настоящая новая версия справочника "Использование радиочастотного спектра в метеорологии: прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды" является еще одним подтверждением прекрасного сотрудничества между МСЭ и ВМО. Он стал результатом совместных усилий экспертов Рабочей группы 7С МСЭ-R под руководством г-на Е. Марелли (ЕКА), Председателя 7-й Исследовательской комиссии по радиосвязи МСЭ-R (научные службы), и Руководящей группы по координации радиочастот (РГ-КРЧ) Комиссии по основным системам (КОС) ВМО под председательством г-на П. Тристана (Meteo France).

В справочнике содержится обширная техническая и оперативная информация о существующих приложениях и системах наблюдения и об использовании радиочастот метеорологическими системами, включающими метеорологические спутники, радиозонды, метеорологические радиолокаторы, радиолокаторы измерения профиля ветра, а также спутниковое дистанционное зондирование. Он предназначен для метеорологического сообщества (т. е. погода, вода и климат) и сообщества электросвязи, включая государственные учреждения, отрасль и широкую общественность.



Г-н Мишель ЖАРРО
Генеральный секретарь
Всемирной метеорологической организации



Д-р Хамадун ТУРЕ
Генеральный секретарь
Международного союза электросвязи

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	vii
ВВЕДЕНИЕ.....	ix
ГЛАВА 1 – ОБЩАЯ СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	1
ГЛАВА 2 – МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СПУТНИКОВАЯ СЛУЖБА (MetSat).....	7
ГЛАВА 3 – ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГИИ.....	17
ГЛАВА 4 – МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РАДАРЫ.....	33
ГЛАВА 5 – ПАССИВНОЕ И АКТИВНОЕ БОРТОВОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	61
ГЛАВА 6 – ДРУГИЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – АКРОНИМЫ И СОКРАЩЕНИЯ, ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТЕОРОЛОГИИ.....	97

ПРЕДИСЛОВИЕ

7-я Исследовательская комиссия по радиосвязи (научные службы) была создана путем структурной реорганизации в 1990 году на Пленарной ассамблее МККР в Дюссельдорфе.

7-я Исследовательская комиссия включает несколько рабочих групп (РГ) по радиосвязи, занимающихся техническими вопросами, связанными с конкретными дисциплинами, относящимися к научным службам. Деятельность в области метеорологии, а также связанная с нею деятельность, подпадает под сферу компетенции Рабочей группы 7С (РГ 7С). РГ 7С проводит исследования, касающиеся внедрения и эксплуатации метеорологических пассивных и активных датчиков, работающих с платформ как наземного, так и космического базирования, а также метеорологических средств (в основном, радиозондов). Поскольку метеорология зависит также от радио как в отношении сбора данных, на которых строятся прогнозы, так и обработки и распространения информации о погоде и предупреждений населения, то эта деятельность касается РГ 7В. И наконец, можно отметить, что метеорологические радиолокаторы и радиолокаторы измерения профиля ветра изучаются в рамках РГ 5В, относящейся к общей радиолокационной службе.

Метеорология является важнейшей частью нашей повседневной жизни и многими нитями связана с нашими повседневными занятиями. Сегодня прогноз погоды является, вероятно, самой популярной программой на телевидении и радио. Он влияет не только на то, как мы одеваемся, или то, что мы собираемся делать, но также и на безопасность населения. Работа общественного транспорта также в значительной степени зависит от метеорологии, и поэтому способность точно предсказывать погоду особенно важна для обеспечения высокого уровня безопасности. В период нынешних крупных метеорологических и климатических катаклизмов этот вид деятельности также играет важную роль в прогнозировании, обнаружении и смягчении негативных последствий стихийных бедствий.

Разработка Рекомендаций и подготовка Всемирных конференций радиосвязи (ВКР) являются основными видами деятельности исследовательских комиссий. Эксперты 7-й Исследовательской комиссии испытывают очевидную потребность в обмене информацией не только со своими коллегами, чья работа зависит от метеорологических данных в целях обеспечения более высокой точности прогнозов погоды и климата, но и с более широкой аудиторией, для того чтобы заинтересованные лица понимали важность использования конкретных частот для метеорологических целей и способы их защиты, для того чтобы продолжать представлять метеорологические прогнозы с более высокой степенью достоверности.

В этой связи было решено подготовить и опубликовать данный справочник в сотрудничестве с Руководящей группой по координации радиочастот (РГ-КРЧ) Всемирной метеорологической организации (ВМО), с тем чтобы все пользователи этих стандартов могли лучше понимать метеорологические системы и тем самым качественнее проектировать и применять эти мощные инструменты. Одна из основных целей справочника состоит в том, чтобы предоставить читателю информацию об использовании систем радиосвязи и радиочастотных (РЧ) полос специалистами в области метеорологии и другими научными сотрудниками, занимающимися деятельностью в области защиты окружающей среды во всем мире, и о важности такого использования для обеспечения безопасности населения и мировой экономики.

Эффективное и рациональное использование распределенных полос частот имеет первостепенное значение для поддержания и повышения качества и точности прогнозов погоды и состояния воды. Важно понимать, например, что, если некоторые из частотных полос, распределенных в настоящее время для метеорологических целей, будут использоваться другими системами радиосвязи, несовместимыми с метеорологическими системами радиосвязи, то эти полосы могут стать непригодными для систем прогнозирования погоды, климата и/или бедствий, что крайне затруднит само прогнозирование, а иногда делает его невозможным.

Для меня, как для Председателя 7-й Исследовательской комиссии, является большой честью представить настоящий справочник сообществу пользователей метеорологических стандартов и

всему сообществу управляющих использованием радиочастотного спектра, для которых, я в этом уверен, он будет служить в качестве важного справочного руководства в их работе.

Настоящий справочник было бы невозможно подготовить при отсутствии вкладов от многих администраций, участвующих в работе 7-й Исследовательской комиссии и РГ-КРЧ. Вместе с тем, выдающаяся работа была проделана Докладчиками по различным частям справочника. Особую благодарность следует выразить г-ну Дэвиду Френку (США) и г-ну Жану-Мишелю Рене (ВМО), а также Председателям РГ 7С МСЭ-Р г-ну Эдоардо Марелли (ESA) и РГ-КРЧ ВМО г-ну Филиппу Тристану (Meteo France) за их руководство данным проектом. Особую признательность выражаем также г-ну А. Васильеву из Бюро радиосвязи, сыгравшему важную роль в опубликовании настоящего справочника.

Винсент Минс
Председатель 7-й Исследовательской комиссии

ВВЕДЕНИЕ

Своевременное предупреждение о надвигающихся стихийных и экологических бедствиях, точное прогнозирование климата и полное представление о состоянии мировых водных ресурсов – все эти вопросы носят повседневный характер и имеют чрезвычайно важное значение для мирового сообщества. Национальные службы метеорологии во всем мире отвечают за предоставление этой информации, необходимой для защиты окружающей среды, экономического развития (транспорта, энергетики, сельского хозяйства и т. д.), а также охраны человеческой жизни и собственности.

Радиочастоты относятся к ограниченным, ключевым ресурсам, используемым национальными службами метеорологии для измерения и сбора данных наблюдения, на основе которых проводится анализ и обработка прогнозов, в том числе предупреждающих сообщений, а также для распространения информации среди правительственных учреждений, директивных органов, организаций, занимающихся управлением операциями в случае бедствий, деловых кругов и населения.

В более общем плане, следует также подчеркнуть первостепенное значение радиочастот для всех видов деятельности, связанной с наблюдением за Землей, в частности деятельности в области глобального потепления и изменения климата.

Система, которая используется для получения и распространения информации, требует надежного доступа к радиочастотам в диапазоне от нескольких кГц до нескольких сотен ГГц и использования самых различных радиотехнологий, таких как радиосвязь (например для радиозондов и спутников), радиолокаторы (осадков и профиля ветра), а также технологий обнаружения, основанных на использовании радиосвязи (например, пассивное спутниковое дистанционное зондирование или обнаружение молний).

Поэтому радиочастоты являются ограниченным и ключевым ресурсом для метеорологического сообщества.

Следует понимать, что эти радиочастотные приложения тесно взаимосвязаны и помогают образовать глобальную метеорологическую систему и что отсутствие какого-либо из радиокomпонентов этой системы, связанных либо с наблюдением, либо с распространением данных, может поставить под угрозу весь метеорологический процесс.

Следует также подчеркнуть, что системы, использующие эти частоты, играют решающую роль в обнаружении, предупреждении и прогнозировании бедствий, вызываемых погодными условиями, наводнениями и изменением климата. А поскольку на эти виды бедствий приходится свыше 90% от всех стихийных бедствий, то эти системы являются важными компонентами рассчитанных на все опасные факторы систем раннего предупреждения о чрезвычайных ситуациях и бедствиях и смягчения их последствий.

Разработка новых, рассчитанных на массовый рынок приложений радиосвязи оказывает все возрастающее давление на частотные полосы, используемые для метеорологических целей. Это представляет потенциальный риск ограничения метеорологических применений в будущем. Особому риску подвергается пассивное спутниковое зондирование, связанное с измерением очень низких уровней естественной излучаемой радиации в некоторых полосах радиочастот. Эти полосы чувствительны к более чем одной геофизической переменной и поэтому должны использоваться вместе для того, чтобы можно было получить несколько различных величин. Требующиеся для этого радиочастоты определяются основными физическими свойствами и являются неизменными. Непрерывность наблюдений с использованием этих полос также имеет важное значение для мониторинга и оценки изменения климата.

Метеорологические пользователи спектра должны оставаться бдительными и все чаще решать вопросы, касающиеся использования спектра, совместно с другими службами радиосвязи. Признавая первостепенное значение конкретных служб радиосвязи для метеорологической и связанной с нею деятельности по охране окружающей среды, необходимой для охраны человеческих жизней и собственности, для защиты окружающей среды, проведения исследований и научных изысканий в области изменения климата, Резолюция 4 (Cg-XV) Всемирной метеорологической организации (ВМО) предлагает Международному союзу электросвязи и администрациям его Государств-Членов:

- обеспечить наличие и абсолютную защиту радиочастотных диапазонов, которые в связи с их особыми физическими характеристиками являются уникальным естественным ресурсом для пассивного зондирования атмосферы и поверхности Земли из космоса;

- должным образом рассматривать потребности ВМО в выделении радиочастот и в регламентных правилах для метеорологической и связанных с ней видов деятельности и научных исследований в области окружающей среды.

В этом отношении последние Всемирные конференции радиосвязи (ВКР-03 и ВКР-07) обеспечили несколько соответствующих распределений частот, в частности, для защиты пассивного спутникового зондирования в спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (пассивной). Аналогичным образом, будущие ВКР, такие как следующая ВКР, которая состоится в 2011 году, займутся поиском возможностей для распределения дополнительных частот для нескольких научных служб, что приведет к улучшению и/или защите метеорологических средств.

Возникшие в последнее время проблемы, связанные с совместным использованием частот метеорологическими системами, стали предметом многочисленных исследований в рамках МСЭ и его Сектора радиосвязи (МСЭ-R) в попытках определить, как можно обеспечить спектр для новых применений радиосвязи. Эти исследования были посвящены, главным образом, изучению потребностей в спектре и вопросов технической совместимости, могут ли появляющиеся технологии, и если да, то при каких условиях, использовать спектр совместно с существующими и будущими метеорологическими системами. В некоторых случаях эти исследования показали, что совместное использование частот в совмещенном канале невозможно и что выделение дополнительного спектра для появляющихся технологий приведет к вытеснению существующих пользователей, что неминуемо поставит целый ряд вопросов:

- Реалистичны ли планируемые потребности в спектре для новых технологий?
- Вынуждены ли будут нынешние пользователи освободить все или значительные части полос?
- Могут ли нынешние метеорологические пользователи позволить себе перейти на новую полосу? Следует помнить, что не все существующие системы эксплуатируются богатыми странами или коммерческими организациями и что, в частности, частотные полосы, используемые пассивным зондированием, определяются законами физики и не могут быть взяты в других частях спектра.
- В случае необходимости, может ли быть оказана финансовая помощь потенциально прибыльными новыми технологиями? И как эти потенциальные прибыли сравнить с социально-экономическим влиянием метеорологии?
- В случае перемещения, сколько раз должны иметь право перемещаться те, кто в настоящее время занимает ту или иную полосу?

В стремлении построить эти исследования с точки зрения перспективы Рабочая группа 7С по радиосвязи "Дистанционное зондирование" 7-й Исследовательской комиссии и Руководящая группа по координации радиочастот (РГ-КРЧ) ВМО подготовили настоящий справочник, призванный служить в качестве руководства для: профессиональных пользователей данных метеорологических систем, основанных на использовании радиосвязи; для лиц и правительственных органов, пользующихся услугами этих метеорологических систем, а также для сообщества радиосвязи, включая регуляторные органы и отрасль проводной электросвязи.

В настоящем справочнике представлены метеорологические системы, а также анализ и рассмотрение технических и функциональных характеристик каждой системы. Описание каждой метеорологической системы включает: используемые радиочастотные полосы; критерии, по которым могут быть спрогнозированы вредные помехи от конкурирующих пользователей; и влияние ухудшения или потери метеорологических данных на безопасность населения. Для лучшего понимания этой сложной области весь анализ построен в разбивке по следующим типам систем:

- 1) общая структура метеорологических систем;
- 2) системы метеорологической спутниковой службы;
- 3) системы вспомогательной службы метеорологии, в основном, радиозонды;
- 4) метеорологические радиолокаторы наземного базирования, включая метеорологические радиолокаторы и радиолокаторы измерения профиля ветра;
- 5) пассивное и активное космическое дистанционное зондирование для метеорологических видов деятельности;
- 6) другие системы радиосвязи для метеорологических видов деятельности.

В помощь читателю прилагается также краткий перечень аббревиатур и сокращений с указателем на более полный набор определений метеорологической терминологии.

ГЛАВА 1**ОБЩАЯ СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

	<i>Стр.</i>
1.1 Метеорологические системы Всемирной службы погоды.....	2
1.1.1 Глобальная система наблюдений	2
1.1.1.1 Приземное наблюдение	3
1.1.1.2 Аэрологическое наблюдение	3
1.1.1.3 Радиолокационные наблюдения	4
1.1.1.4 Наблюдательные станции на море	4
1.1.1.5 Наблюдения с воздушных судов	4
1.1.1.6 Наблюдения со спутников.....	4
1.2 Системы наблюдений других программ ВМО.....	5
1.2.1 Глобальная служба атмосферы ВМО.....	5
1.2.2 Глобальная система наблюдений за климатом	6
1.2.3 Программа по гидрологии и водным ресурсам.....	6
1.3 Будущие планы в отношении систем наблюдений ВМО: интегрированные глобальные системы наблюдений ВМО (ИГСН ВМО).....	6

1.1 Метеорологические системы Всемирной службы погоды

Чтобы анализировать, прогнозировать погоду и предупреждать о ней, современная метеорология должна практически мгновенно обмениваться метеорологической информацией по всему земному шару. Всемирная служба погоды (ВСП), являющаяся ядром Программ ВМО, объединяет системы наблюдения, средства электросвязи и центры обработки данных и прогнозирования, эксплуатируемые 187 Государствами-Членами, для того чтобы предоставлять метеорологическую и связанную с нею геофизическую информацию, необходимую для предоставления квалифицированных услуг всем странам.

ВМО координирует и контролирует работу Всемирной службы погоды, стремясь обеспечить, чтобы каждая страна имела всю информацию, необходимую ей для ежедневного предоставления метеорологических услуг (анализ, предупреждения и прогнозы), а также для осуществления долгосрочного планирования и проведения научных исследований. Все более важную часть Программы ВСП составляет поддержка международных программ, связанных с глобальным климатом, в частности с изменением климата и другими проблемами экологии, а также с устойчивым развитием.

Всемирная служба погоды (ВСП) состоит из трех интегрированных компонентов базовой системы (см. Рисунок 1-1):

- **Глобальная система наблюдений (ГСН)** обеспечивает высококачественные стандартизированные наблюдения за атмосферой и поверхностью океана со всех частей земного шара и из космоса.
- **Глобальная система телесвязи (ГСТ)** обеспечивает обмен данными метеорологических наблюдений в режиме реального времени, обработанными продуктами и связанной с ними информацией между национальными метеорологическими и гидрологическими службами.
- **Глобальная система обработки данных и прогнозирования** предоставляет обработанные метеорологические продукты (анализ, предупреждения и прогнозы), производимые сетью мировых метеорологических центров и специализированных региональных метеорологических центров.

РИСУНОК 1-1

Системы Всемирной службы погоды



Метео-01-1

1.1.1 Глобальная система наблюдений

Глобальная система наблюдений (ГСН) является основным источником технической информации о мировой атмосфере и представляет собой комбинированную систему, состоящую из сложных

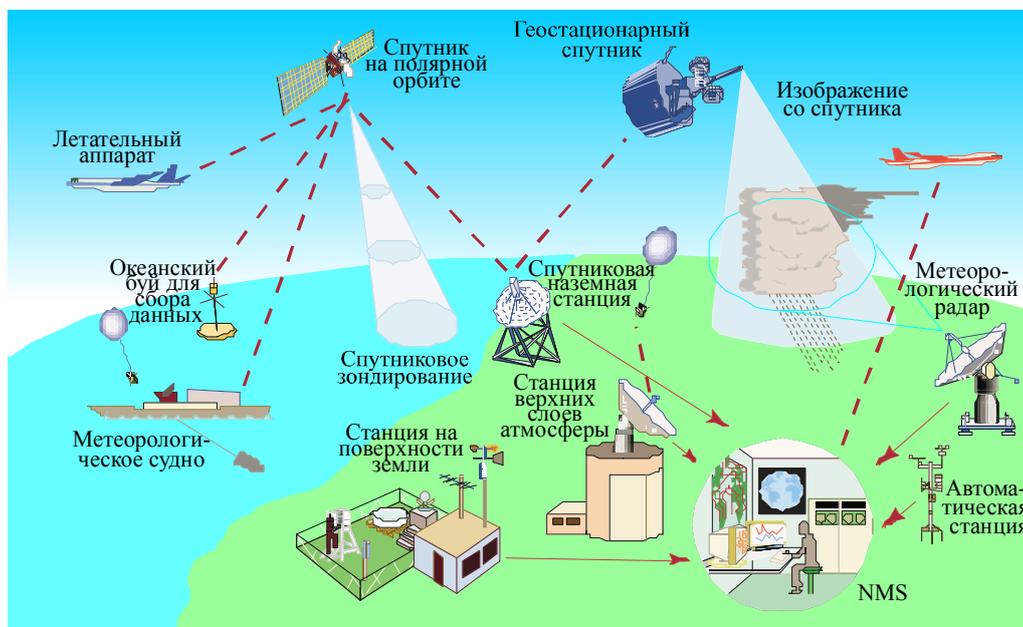
методов, способов и средств для измерения метеорологических и экологических параметров. ГСН обеспечивает, чтобы каждая страна имела доступ к важной информации, необходимой для ежедневной подготовки анализов погоды, прогнозов и предупреждений. Как показано на Рисунке 1-2, ГСН состоит из наблюдательных станций, расположенных на суше, на море, на воздушных судах и на метеорологических спутниках.

К наиболее очевидным преимуществам ГСН относятся защита жизни и собственности людей путем обнаружения, прогнозирования и предупреждения о таких суровых погодных явлениях, как штормы, торнадо, ураганы, внетропические и тропические циклоны. ГСН предоставляет, в частности, данные наблюдений для агрометеорологии, авиационной метеорологии и климатологии, в том числе для исследований в области климатических и глобальных изменений. Данные ГСН используются также для повсеместной поддержки программ в области окружающей среды.

Большую пользу прогнозы погоды приносят таким различным видам деятельности, как ведение сельского хозяйства, транспорт, строительство, предоставление метеорологических услуг населению, а также туризм, причем такие прогнозы охватывают период от нескольких дней до нескольких недель и даже сезонов.

Подробная информация о ГСН доступна по адресу: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/GOS.html>.

РИСУНОК 1-2
Глобальная система наблюдений (ГСН) ВМО



Meteo-01-2

1.1.1.1 Приземное наблюдение

Основу наземной системы по-прежнему составляют приблизительно 10 000 наземных станций, осуществляющих наблюдение на поверхности Земли или вблизи от нее. Наблюдения осуществляются каждые 1–3 часа по таким метеорологическим параметрам, как атмосферное давление, скорость и направление ветра, температура воздуха и относительная влажность. Обмен данными этих станций производится на глобальном уровне в режиме реального времени. Подгруппа данных наблюдения с этих наземных станций используется также в приземной сети Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК).

1.1.1.2 Аэрологическое наблюдение

Из приблизительно 900 аэрологических станций, имеющих во всем мире и обеспечивающих приблизительно 800 000 ежегодных запусков, радиозонды, прикрепленные к свободно поднимающимся шарам, производят измерения давления, скорости ветра, температуры и влажности на высоте, начиная от непосредственной близости от поверхности и выше, вплоть до 30 км. В районах океана, наблюдения с использованием радиозондов проводятся 15 судами, оборудованными автоматизированными бортовыми средствами аэрологического зондирования и

курсирующими, в основном, в районе Северной Атлантики. Подгруппа аэрологических станций, специально оборудованных для мониторинга климата, включает аэрологическую сеть ГСНК.

1.1.1.3 Радиолокационные наблюдения

Метеорологические радиолокаторы и радиолокаторы измерения профиля ветра оказываются весьма ценными при предоставлении данных с высоким разрешением как в пространстве, так и во времени, особенно в нижних слоях атмосферы. Метеорологические радиолокаторы широко используются как часть национальных и, все чаще, региональных сетей, главным образом, для краткосрочного прогнозирования суровых погодных явлений. Метеорологические радиолокаторы особенно полезны для оценки количества атмосферных осадков и, когда позволяет доплеровский радиолокатор, измерений ветра. Радиолокаторы измерения профиля ветра полезны, главным образом, при осуществлении наблюдений между зондированиями с использованием шаров и обладают большим потенциалом, являясь частью интегрированных сетей наблюдения.

1.1.1.4 Наблюдательные станции на море

В условиях океана ГСН использует суда, заякоренные и дрейфующие буи, а также стационарные платформы. Наблюдения, производимые с использованием порядка 7000 судов, нанятых в рамках Программы судов добровольного наблюдения ВМО, позволяют собрать те же данные, что и наземные станции с важными дополнительными элементами, касающимися температуры поверхности моря, а также высоты и периода волн. Оперативная программа дрейфующих буев включает 900 дрейфующих буев, ежедневно предоставляющих 12 000 сообщений с информацией о температуре поверхности моря и атмосферном давлении воздуха на поверхности.

Кроме того, под эгидой МОК ЮНЕСКО и в сотрудничестве с ВМО были созданы системы предупреждений о цунами в Тихом и Индийском океанах, принадлежащие Государствам-Членам и эксплуатируемые ими. Такие же системы планируется создать и в других морских районах. Эти системы включают сеть датчиков измерения в режиме реального времени состояния поверхности и больших глубин моря в целях обнаружения, мониторинга цунами и предупреждения о них.

1.1.1.5 Наблюдения с воздушных судов

Свыше 3000 воздушных судов предоставляют во время полета данные об атмосферном давлении, ветрах и температуре воздуха. Система передачи метеорологических данных с самолета (АМДАР) позволяет осуществлять высококачественные наблюдения ветров и температуры воздуха на крейсерской высоте полета, а также на выбранных высотах при взлете и посадке. В последние годы объем данных с воздушных судов резко увеличился и составляет приблизительно 300 000 сообщений ежедневно. Эти системы обладают большим потенциалом для измерений в местах, где имеется мало данных с радиозондов или они вообще отсутствуют. Они вносят важный вклад в аэрологический компонент ГСН.

1.1.1.6 Наблюдения со спутников

Космическая составляющая Глобальной системы наблюдений за состоянием окружающей среды и атмосферы включает группировку спутников, показанных на Рисунке 1-3. Перечень функционирующих в настоящее время метеорологических спутников и их параметров доступен по адресу:

Геостационарные спутники: <http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSgeo.html>.

Спутники на низкой околоземной орбите: <http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSleo.html>.

Кроме того, целый ряд научно-исследовательских спутников (например Aqua, CBERS, CloudSat, ERS, SPOT, TRMM, Landsat, QuikSCAT и т. д.) также включают специальную метеорологическую или климатологическую нагрузку, которая также вносит вклад в ГСН. Перечень функционирующих в настоящее время научно-исследовательских спутников и их параметров доступен по адресу:

<http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSresearch.html>.

Спутники на полярной орбите и геостационарные спутники обычно оснащены формирователями изображения в видимой и инфракрасной областях спектра, а также зондами с которых можно получить многие метеорологические параметры. Некоторые из спутников на полярной орбите оснащены приборами микроволнового зондирования, которые могут предоставлять вертикальные профили температуры и влажности воздуха во всем мире. Геостационарные спутники также могут использоваться для измерения скорости ветра в тропиках, наблюдая за облаками и водяным паром. Спутниковые датчики, средства связи и методы идентификации данных постепенно

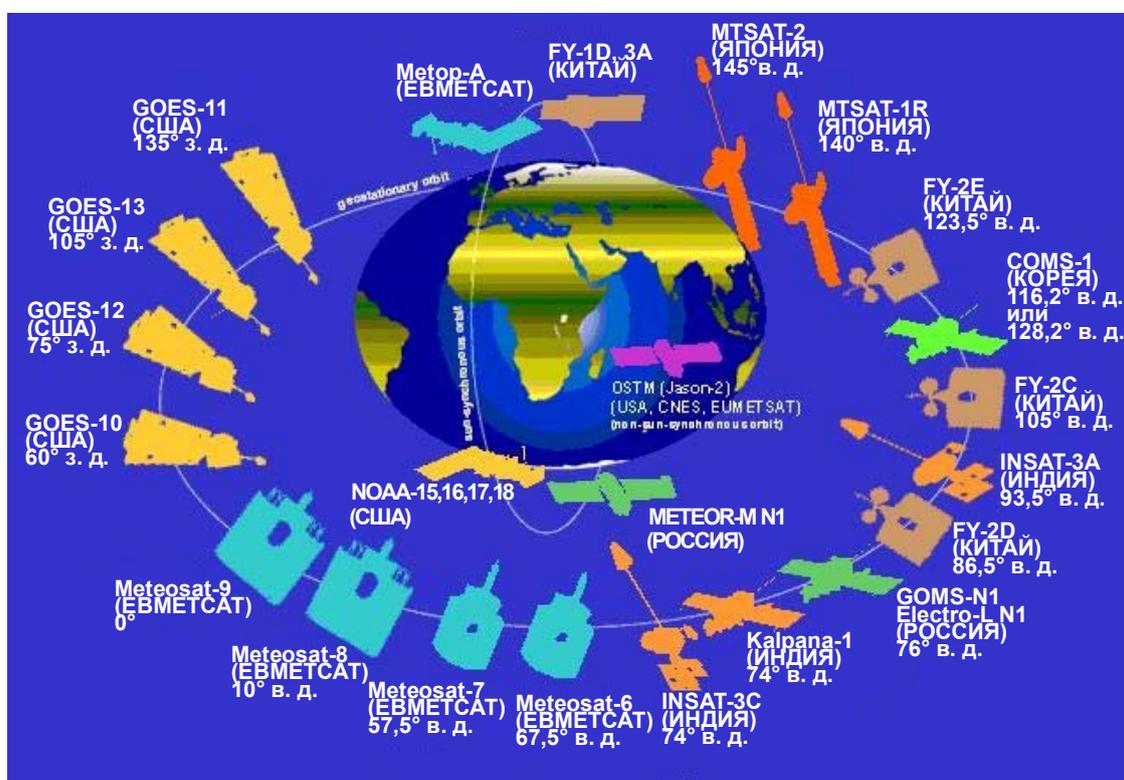
совершенствуются, а большой объем дополнительных спутниковых данных позволил значительно повысить качество прогнозирования, мониторинга погоды и климата и предупреждений о них.

Успехи в области цифрового моделирования позволили, в частности, разрабатывать все более совершенные методы получения информации о температуре и влажности воздуха непосредственно из излучений спутника. Впечатляющие успехи, достигнутые в последние годы в области анализа и прогнозов погоды и климата, включая предупреждения об опасных погодных явлениях (проливные дожди, штормы, циклоны), затрагивающих все население и всю экономику, стали возможными в значительной мере благодаря наблюдениям из космоса и их включению в цифровые модели.

Научно-исследовательские спутники включают новейшую группировку в космической составляющей ГСН. Научно-исследовательские миссии предоставляют ценные данные для оперативного использования, а также для многочисленных программ, поддерживаемых ВМО. Приборы научно-исследовательских миссий либо предоставляют данные, которые, как правило, невозможно получить от действующих метеорологических спутников, либо позволяют внести усовершенствования в существующие работающие системы.

РИСУНОК 1-3

Группировка метеорологических спутников Глобальной системы наблюдений ВМО (ситуация 2008 года)



Meteo-01-3

1.2 Системы наблюдений других программ ВМО

1.2.1 Глобальная служба атмосферы ВМО

Глобальная служба атмосферы ВМО (ГСА) включает целый ряд научных и связанных с мониторингом видов деятельности ВМО в области окружающей среды, в том числе сеть станций мониторинга фоновое загрязнения атмосферы ВМО и Глобальную систему наблюдений за озоном ВМО. Она включает более 20 обсерваторий и более 30 региональных станций. Основной целью ГСА является предоставление информации о химическом составе и соответствующих физических характеристиках атмосферы, необходимых для лучшего понимания поведения атмосферы и ее взаимодействия с океанами и биосферой. Другие системы наблюдения ГСА обеспечивают наблюдение за солнечной радиацией, обнаружение молний и мареографические измерения. ГСА является компонентом химии атмосферы Глобальной системы наблюдений за климатом.

1.2.2 Глобальная система наблюдений за климатом

Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК) предназначена для обеспечения комплексных наблюдений, необходимых для мониторинга климатической системы, для обнаружения и объяснения изменений климата, для оценки влияния неустойчивости и изменчивости климата, а также для поддержки научных исследований в целях обеспечения лучшего понимания, моделирования и прогнозирования климатической системы, в частности, изменения климата. ГСНК относится ко всей климатической системе, включая физические, химические и биологические свойства, а также атмосферные, океанические, гидрологические процессы, процессы криосферы и суши.

1.2.3 Программа по гидрологии и водным ресурсам

Эта программа осуществляет измерение основных гидрологических элементов на основе сетей гидрологических и метеорологических станций. Эти станции собирают, обрабатывают, хранят и используют гидрологические данные, в том числе данные о количестве и качестве как поверхностных, так и грунтовых вод. Программа включает Всемирную систему наблюдений за гидрологическим циклом (ВСНГЦ), базирующуюся на глобальной сети опорных станций и передающую гидрологические и метеорологические данные в режиме близком к реальному.

1.3 Будущие планы в отношении систем наблюдений ВМО: интегрированные глобальные системы наблюдений ВМО (ИГСН ВМО)

На своем Конгрессе 2007 года Члены ВМО решили работать в направлении обеспечения расширенной интеграции систем наблюдений ВМО и систем наблюдений, поддерживаемых ВМО, таких как Глобальная система наблюдений за океаном (ГСНО), Глобальная система наблюдений за поверхностью суши (ГСНС) и ГСНК. Идея создания интегрированных глобальных систем наблюдений ВМО (ИГСН ВМО) заключалась в том, чтобы свести воедино рабочие и управленческие функции всех систем наблюдения ВМО и обеспечить единый механизм взаимодействия с системами наблюдения, поддерживаемыми ВМО. Такая интеграция должна привести к повышению эффективности деятельности и снижению затрат. Основными целями ИГСН ВМО являются:

- повышение функциональной совместимости между системами, при этом особое внимание должно уделяться компонентам этих систем, расположенными в космосе и на месте;
- удовлетворение потребностей атмосферной, гидрологической, океанической областей, а также областей криосферы и суши в функциональных рамках общей интегрированной системы;
- обеспечение более широких рамок управления и совершенствование руководства и управления ВМО.

ГЛАВА 2

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СПУТНИКОВАЯ СЛУЖБА (МЕТСАТ)

		<i>Стр.</i>
2.1	Определение метеорологической спутниковой службы (МетСат) и ее распределения частот	8
2.1.1	Общее представление о спутниковых системах МетСат	8
2.2	Системы МетСат, использующие геостационарные (ГСО) спутники	10
2.2.1	Передача необработанных данных датчика изображения ГСО МетСат	10
2.2.2	Распространение данных ГСО МетСат	10
2.2.2.1	Распространение изображений высокого разрешения (HRI)	10
2.2.2.2	Радиометр вращательного сканирования в видимом и инфракрасном диапазонах (пониженная скорость) (S-VISSR)	11
2.2.2.3	Система с изменяемым форматом (GVAR) геостационарного оперативного спутника по исследованиям окружающей среды (ГОЕС)	11
2.2.2.4	Факсимильная передача метеоданных (ВЕФАКС)	11
2.2.2.5	Низкоскоростная передача информации (LRIT)	12
2.2.2.6	Высокоскоростная передача информации (HRIT)	12
2.2.3	Платформы сбора данных ГСО МетСат (DCP)	12
2.3	Системы МетСат, использующие НГСО спутники	12
2.3.1	Передача необработанных данных измерительных приборов НГСО МетСат	13
2.3.2	Распространение данных НГСО МетСат	13
2.3.2.1	Автоматическая передача изображений (APT)	13
2.3.2.2	Передача изображений с низким разрешением (LRPT)	13
2.3.2.3	Передача графической информации высокого разрешения (ХРПТ)	14
2.3.2.4	Низкая скорость передачи данных (LRD)	14
2.3.3	Системы сбора данных (DCS) на НГСО спутниках МетСат	14
2.4	Альтернативные механизмы распространения данных	15

2.1 Определение метеорологической спутниковой службы (МетСат) и ее распределения частот

Метеорологическая спутниковая служба (МетСат) определена в п. 1.52 Регламента радиосвязи (РР) как "спутниковая служба исследования Земли для целей метеорологии". Она обеспечивает функционирование радиосвязи между земными станциями и одной или несколькими космическим станциям с каналами для предоставления:

- информации о характеристиках Земли и ее природных явлениях, поступающей от активных или пассивных датчиков, расположенных на спутниках Земли;
- информации, получаемой с воздушных или наземных платформ;
- информации, распределяемой земным станциям.

Настоящая глава, касающаяся применений МетСат, включает следующие передачи с использованием радиосвязи (некоторые из этих систем известны также как службы непосредственной передачи данных):

- передачи данных наблюдения на главные приемные станции;
- ретрансляции предварительно обработанных данных на метеорологические станции пользователя;
- прямые радиовещательные передачи на метеорологические станции пользователя;
- альтернативное распространение данных среди пользователей.

В Таблице 2-1 показаны полосы радиочастот (РЧ), распределенные для РЧ передачи данных в рамках МетСат.

ТАБЛИЦА 2-1

Полосы частот для использования метеорологическими спутниками для передачи данных

Полоса частот (МГц)	Распределения МетСат
137–138	На первичной основе для направления космос-Земля
400,15–401	На первичной основе для направления космос-Земля
401–403	На первичной основе для направления Земля-космос
460–470	На вторичной основе для направления космос-Земля
1 670–1 710	На первичной основе для направления космос-Земля
7 450–7 550	На первичной основе для направления космос-Земля, только геостационарные спутники
7 750–7 850	На первичной основе для направления космос-Земля, только негеостационарные спутники
8 025–8 400	На первичной основе для направления космос-Земля для спутниковой службы исследования Земли (Примечание 1)
8 175–8 215	На первичной основе для направления Земля-космос
18 000–18 300	На первичной основе для направления космос-Земля в Районе 2, только геостационарные спутники
18 100–18 400	На первичной основе для направления космос-Земля в Районах 1 и 3, только геостационарные спутники
25 500–27 000	На первичной основе для направления космос-Земля для спутниковой службы исследования Земли (Примечание 1)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Поскольку МетСат является подклассом спутниковой службы исследования Земли, то распределения спутниковой службы исследования Земли (например, 25 500–27 000 МГц) могут также использоваться для функционирования применений МетСат.

2.1.1 Общее представление о спутниковых системах МетСат

Система МетСат обычно собирает самые различные данные с использованием формирователей изображений в видимой и инфракрасной областях спектра, а также приборов для пассивного и активного зондирования, используя также частоты микроволнового диапазона, распределенные для этой цели (см. Главу 5).

Необработанные данные, собранные приборами, находящимися на борту метеорологических спутников, передаются на основную станцию наземного базирования соответствующей эксплуатационной организации, обрабатываются и распространяются среди различных национальных метеорологических центров, официальных архивов и коммерческих пользователей. Необработанные данные, например, включают изображения Земли, сделанные на нескольких длинах волн, для того чтобы предоставить различные данные измерений. Обработанные данные обычно направляются обратно на метеорологический спутник для последующей ретрансляции в рамках прямой трансляции на станции пользователей посредством низко- и/или высокоскоростных цифровых сигналов или напрямую распределяются среди пользователей с использованием альтернативных средств передачи данных.

Метеорологические спутники поддерживают также системы сбора данных (ССД), в частности платформы сбора данных (ПСД) на геостационарных (ГСО) спутниках, а также такие системы, как Argos, на негеостационарных (НГСО) спутниках.

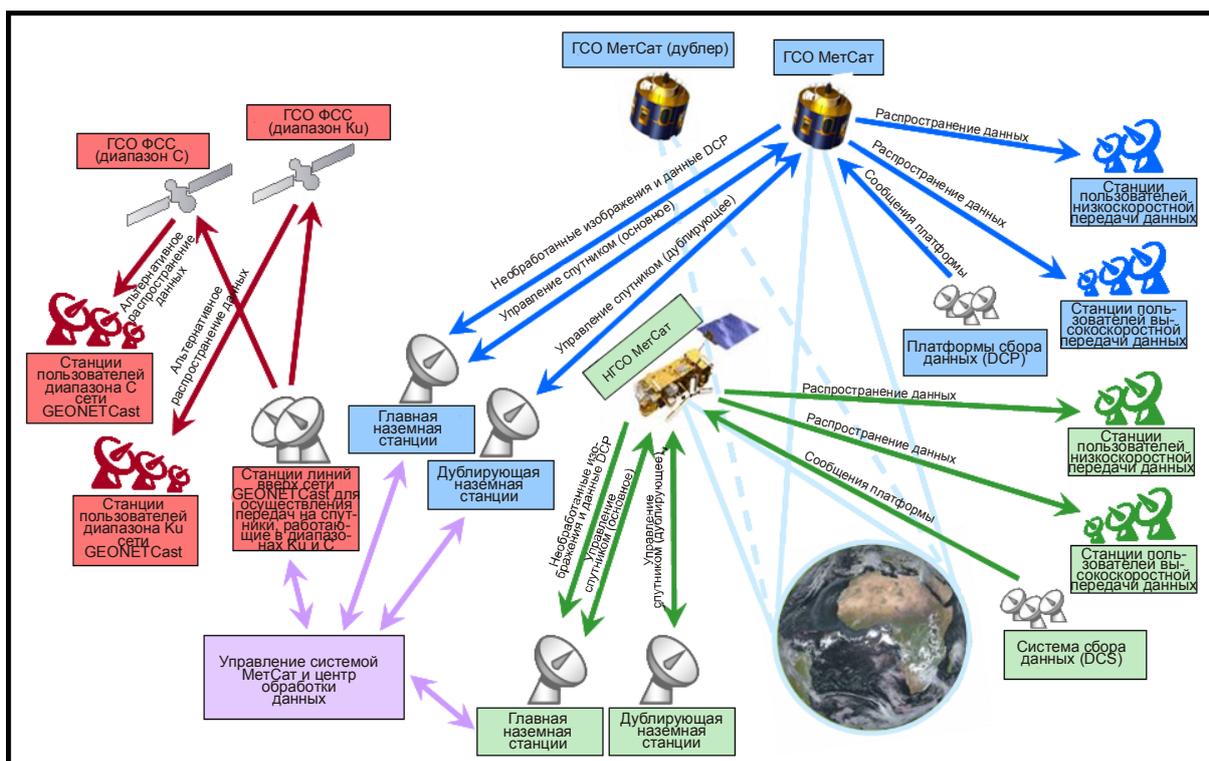
ПСД, обычно располагающиеся на земле, воздушных судах, морских судах и плавающих буйках, передают на геостационарные метеорологические спутники в полосе частот 401–403 МГц собранные данные по таким параметрам, как температура поверхности, скорость ветра, количество атмосферных осадков, высота потока, наличие газов в атмосфере и, в случае плавающих буйков, загрязнители океана. Они могут также передавать информацию о своем местонахождении, что позволяет определять их движение. Помимо эксплуатации региональных каналов ПСД, операторы MetSat также вносят вклад в международную систему сбора данных (МССД) путем эксплуатации международных каналов. В качестве дополнительного будущего применения, может быть также распределено специально выделенное количество каналов МССД для использования системой мониторинга чрезвычайных ситуаций/бедствий.

Платформы сбора данных, такие как система Argos, передают данные на НГСО спутники MetSat в полосе частот 401,580–401,690 МГц. В тех случаях, когда они установлены на буйках, такие платформы измеряют атмосферное давление, скорость и направление ветра, морские поверхностные течения и другие параметры моря. Среди других применений системы ССД на НГСО спутниках используются также для отслеживания передвижения животных и мониторинга позиций промыслового флота.

На Рисунке 2-1 показана общая архитектура системы MetSat.

РИСУНОК 2-1

Общая архитектура системы MetSat



2.2 Системы MetSat, использующие геостационарные (ГСО) спутники

В настоящее время в рамках Глобальной системы наблюдений Всемирной службы погоды функционируют несколько метеорологических спутников, обеспечивающих наблюдение за Землей с полным охватом с геостационарной орбиты (см. Рисунок 1-3). Постоянный и долгосрочный глобальный охват наблюдениями с геостационарной орбиты обеспечивается планируемыми будущими запусками метеорологических спутников, заменяющих или дополняющих существующие спутниковые системы.

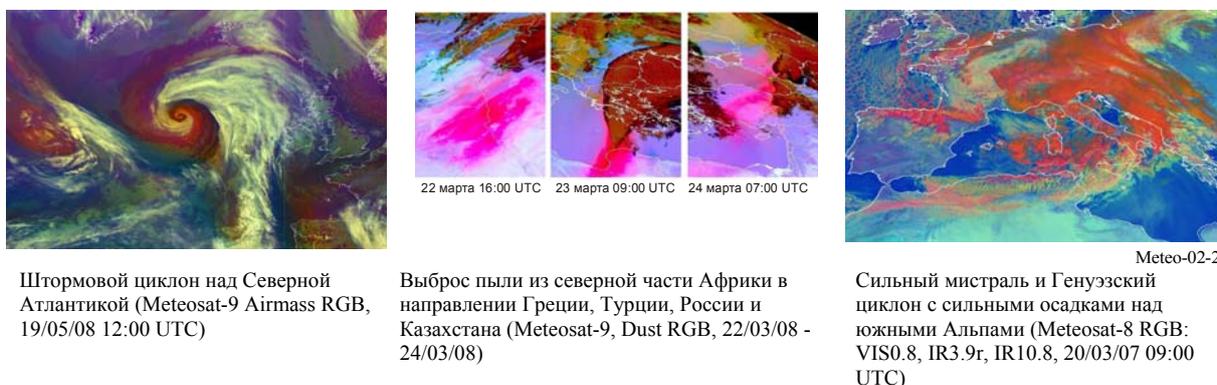
2.2.1 Передача необработанных данных датчика изображения ГСО MetSat

Данные, полученные формирователями изображения в видимой, в ближней и в инфракрасной областях спектра, а также другими датчиками, находящимися на борту метеорологических спутников ГСО, передаются основным рабочим станциям (часто носящим название станций передачи команд и приема данных или станций CDA) в полосе частот 1670–1690 МГц.

На Рисунке 2-2 представлены примеры изображений обработанных данных, полученных с прибора формирования изображений, находящегося на борту метеорологического спутника ГСО.

РИСУНОК 2-2

Изображение обработанных данных, полученных с метеорологического ГСО спутника



В мире имеется лишь несколько станций подобного типа, обычно одна-две на спутниковую систему. Они оборудованы антеннами диаметром приблизительно 10–18 метров и функционируют, как правило, с минимальным углом подъема в 3°. Показатель качества (G/T) таких станций составляет порядка 23 дБ/К. Типичные значения ширины полосы передач нынешнего поколения сетей ГСО MetSat находятся в пределах 2 МГц и 20 МГц в зависимости от характеристик прибора и используемых методов модуляции.

В связи с этим следует отметить, что системы MetSat, для которых присвоения были заявлены после 1 января 2004 года, полоса частот 1670–1675 МГц не будет защищена от вредных помех со стороны применений в подвижной спутниковой службе (ПСС) и поэтому больше не будет использоваться для новых систем MetSat.

Для систем ГСО MetSat следующего поколения (которые должны быть введены в действие около 2015 г.) скорости передачи данных и соответствующие потребности в ширине полосы для передачи на землю данных приборов значительно увеличатся (в пределах от 100 до 300 Мбит/с). Поэтому необходимо будет использовать более высокие частоты, например 7450–7550 МГц, 18,0–18,3 ГГц (Район 2), 18,1–18,4 ГГц (Районы 1 и 3), 25,5–27 ГГц.

2.2.2 Распространение данных ГСО MetSat

В следующих пунктах 2.2.2.1–2.2.2.6 содержится описание функций прямого распространения данных систем ГСО MetSat, эксплуатируемых в рамках Глобальной системы наблюдений Всемирной службы погоды.

2.2.2.1 Распространение изображений высокого разрешения (HRI)

Служба распространения HRI функционирует на космических летательных аппаратах Meteosat первого поколения (Meteosat-6 и Meteosar-7). Цифровой сигнал транслируется со скоростью 166,7 кбит/с с использованием модуляции PCM/PM/SPL. Формат HRI является особым для Meteosat,

а зона охвата идентична области электросвязи Meteosat (т. е. позициями ГСО являются $57,5^\circ$ в. д. и $67,5^\circ$ в. д.). Передачи данных содержат изображения высокого разрешения, в том числе калибровочные и навигационные данные. Основными пользователями являются метеорологические центры, университеты, частные специалисты по прогнозированию и телевизионные вещательные компании.

Распространение данных HRI среди пользователей осуществляется в подполосе частот 1690–1698 МГц с центральными частотами в 1694,5 МГц и 1691 МГц. Шириной полосы являются 660 кГц; показатель качества приемных станций составляет 10,5 дБ/К; типичные диаметры антенн – 3 м; а минимальный угол места антенны – 3° .

2.2.2.2 Радиометр вращательного сканирования в видимом и инфракрасном диапазонах (пониженная скорость) (S-VISSR)

S-VISSR работает на спутниках FY-2C, -2D и -2E китайской системы ГСО MetCat Feng-Yun-2.

Данные, полученные датчиками VISSR, передаются на главные рабочие станции наземного базирования этой системы MetCat. На земле данные подвергаются предварительной обработке в режиме близком к реальному и затем ретранслируются через тот же самый спутник с пониженной (растянутой) скоростью передачи данных. Эти данные принимаются земными станциями S-VISSR, носящими также название станций среднемасштабного использования данных (MDUS). Известно свыше ста приемных станций такого типа, действующих в настоящее время. Основными пользователями являются службы метеорологии и университеты.

Передачи S-VISSR осуществляются в подполосе частот 1683–1690 МГц. Типичной шириной полосы для передач S-VISSR являются приблизительно 6 МГц. Показатель качества станций приема составляет 10,5 дБ/К, а минимальный угол места антенн – 5° .

2.2.2.3 Система с изменяемым форматом (GVAR) геостационарного оперативного спутника по исследованиям окружающей среды (ГОЕС)

Геостационарные оперативные спутники по исследованиям окружающей среды (ГОЕС) Соединенных Штатов Америки передают обработанные данные измерений, известные под названием GVAR, как минимум нескольким сотням приемных станций в пределах общей зоны охвата ГОЕС с орбитальными позициями в 75° з. д. и 135° з. д. Сюда входят не только станции в Северной и Южной Америке, но и места в Новой Зеландии, Франции, Испании и Великобритании. Основными получателями этих данных являются университеты и правительственные учреждения, занимающиеся метеорологическими исследованиями или прогнозированием. К другим получателям относятся поставщики услуг с добавленной стоимостью, предоставляющие прогнозы погоды заинтересованным лицам. Поток данных, передаваемых на частоте 1685,7 МГц с шириной полосы, близкой к 5 МГц, состоит в основном из изображений и данных зондирования с дополнительными калибровочными и навигационными данными, а также данными телеметрии, текстовыми сообщениями и различными вспомогательными продуктами.

2.2.2.4 Факсимильная передача метеоданных (ВЕФАКС)

Аналоговые услуги факсимильной передачи метеоданных ВЕФАКС, которые в настоящее время продолжают использоваться, будут заменены цифровыми услугами низкоскоростной передачи информации (LRIT) в метеорологических спутниковых системах второго поколения. Услуги ВЕФАКС состоят из аналоговых передач на недорогие метеорологические станции пользователей в пределах зоны приема метеорологических спутников. Параметры услуг ВЕФАКС определены и согласованы Координационной группой по метеорологическим спутникам (КГМС), форумом для обмена технической информацией о геостационарных метеорологических спутниках и метеорологических спутниковых системах на полярной орбите. Услуги ВЕФАКС обеспечиваются спутниковыми системами Meteosat-6 и Meteosat-7, а также FY-2C, -2D и 2E.

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) зарегистрировала несколько тысяч приемных станций ВЕФАКС во всем мире, однако, как и в случае приемников GVAR и S-VISSR, точное количество используемых в настоящее время приемников неизвестно. Приемные станции ВЕФАКС являются основным оборудованием для эксплуатации служб метеорологии небольшого и среднего размеров и используются также университетами, природоохранными органами, информационными агентствами, школами и другими учреждениями. Приемные станции ВЕФАКС

известны также как наземные станции, передающие информацию со спутников потребителям (SDUS) (Meteosat), или станции LR-FAX (FY-2).

Передача услуг ВЕФАКС осуществляется в подполосе 1690–1698 МГц. Большинство услуг ВЕФАКС имеют центральную частоту в 1691 МГц и ширину полосы между 0,03 МГц и 0,26 МГц. Типичные приемные станции ВЕФАКС функционируют с углом места более 3° и используют антенны диаметром 1,2 м с показателем качества (G/T) в 2,5 дБ/К. Информационным содержанием передач ВЕФАКС являются участки спутниковых изображений, метеорологические продукты в наглядной индикации, тестовые изображения и служебные сообщения, содержащие буквенно-цифровую информацию в изобразительной форме.

2.2.2.5 Низкоскоростная передача информации (LRIT)

LRIT является новой услугой, внедренной в 2003 году на геостационарных метеорологических спутниках ГОЕС для осуществления передач на недорогие станции пользователей. Эта услуга призвана заменить услугу ВЕФАКС на других спутниках ГСО MetSat, обслуживая аналогичную категорию пользователей. Ожидается, что будут созданы тысячи станций пользователей, носящих название низкоскоростных станций пользователей (LRUS).

Передачи LRIT осуществляются в подполосе 1690–1698 МГц с центральными частотами около 1691 МГц. Ширина полосы составляет до 600 кГц. Антенны станций пользователей имеют диаметры в пределах от 1,0 м до 1,8 м и работают с минимальным углом подъема в 3°. Показатель качества для LRUS составляет 5–6 дБ/К в зависимости от места расположения станции пользователя.

2.2.2.6 Высокоскоростная передача информации (HRIT)

Услуга HRIT была внедрена в январе 2004 года с введением в действие первого спутника (Meteosat-8) из серии спутников второго поколения Meteosat. С началом функционирования японского спутника MTSAT-1R в июне 2005 года услуги HRI и S-VISSR были заменены услугами HRIT MTSAT.

Услуги HRIT обеспечиваются в подполосах 1684–1690 МГц или 1690–1698 МГц. Размер антенны для высокоскоростных станций пользователей (HRUS) и MDUS составляет 4 м, а минимальный угол подъема – 3°. Показатель качества для станций пользователя составляет 12–14 дБ/К в зависимости от места расположения станции пользователя.

2.2.3 Платформы сбора данных ГСО MetSat (DCP)

Системы сбора данных используются на метеорологических спутниках для сбора метеорологических и других данных об окружающей среде с удаленных DCP. Передачи с каждой DCP на метеорологический спутник осуществляются в полосе частот 401–403 МГц. DCP эксплуатируются в режиме временной последовательности. Интервалы времени прохождения сигнала обычно составляют 1 мин. Скорость передачи – 100 бит/с. DCP с более высокими скоростями передачи данных (300 бит/с и 1200 бит/с) начали функционировать в 2003 году и, как ожидается, будут быстро расти в ближайшем будущем. Ширина полосы канала высокоскоростных DCP составляет 0,7510 Вт кГц или 2,2510 Вт кГц, соответственно, для 300 и 1200 бит/с.

Существуют различные типы передатчиков DCP, работающих, как правило, с выходной мощностью в пределах 5 Вт, 10 Вт и 20 Вт с направленной антенной или 40 Вт – с ненаправленной антенной. Суммарная эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.) линий вверх находится в пределах 40–52 дБм. Системы сбора данных в настоящее время установлены на различных геостационарных метеорологических спутниковых системах.

DCP, направляющие свои данные на геостационарные спутники MetSat, используют частоты в диапазоне 401,1–402,4 МГц, при этом частота в 402–402,1 МГц предназначена для международного использования (33 канала с шириной полосы в 3 кГц). Используя узкие полосы (в 0,75 кГц) и сокращая время передачи информации, обычно до 10 с, можно получить данные от большого количества платформ. Так, например, в случае спутников ГОЕС, в 2007 году существовало около 27000 DCP ГОЕС и ежедневно передавалось до 400000 сообщений, причем это количество, как ожидается, должно существенно возрасти. Такое широкое использование, вероятно, потребует использования более высоких частот спектра и перехода на использование частоты в 403 МГц для этих платформ передачи информации.

2.3 Системы MetSat, использующие НГСО спутники

Помимо многочисленных ГСО спутников MetSat, Глобальную систему наблюдений дополняют спутниковые системы НГСО MetSat, обеспечивая ее данными измерений с глобальным охватом,

получаемыми с многочисленных пассивных и активных датчиков, осуществляющих наблюдения в видимой, инфракрасной и микроволновой областях спектра.

Постоянный и долгосрочный охват наблюдениями с негеостационарной орбиты будет обеспечиваться путем использования существующих и будущих спутников, эксплуатируемых целым рядом национальных и региональных метеорологических организаций во всем мире.

На Рисунке 2-3 представлены примеры усовершенствованного радиометра с очень большим разрешением (AVHRR), установленного на функционирующих системах НГСО MetSat и получающего глобальные изображения в видимой, ближней и инфракрасной областях спектра облаков, океанов и земных поверхностей. Примеры пассивных и активных датчиков, осуществляющих наблюдения в микроволновой области спектра и используемых в системах НГСО MetSat, приводятся в Главе 5.

РИСУНОК 2-3

Примеры изображений, полученных с использованием усовершенствованного радиометра с очень большим разрешением



Meteo-02-3

2.3.1 Передача необработанных данных измерительных приборов НГСО MetSat

Необработанные данные с метеорологических спутников на полярной орбите передаются в полосе частот 7750–7850 МГц на главные станции, расположенные в высоких широтах. Эти передачи осуществляются пакетами при прохождении спутников над своими главными станциями. Остальное время передатчики остаются выключенными. Другие системы НГСО MetSat используют или будут использовать полосу частот 8025–8400 МГц (например, FY-3, METEOR и NPP) или 25,5–27 ГГц (например, NPOESS) для передачи необработанных данных измерительных приборов спутника.

2.3.2 Распространение данных НГСО MetSat

В параграфах 2.3.2.1–2.3.2.4 содержится описание функций прямого распространения данных систем НГСО MetSat, функционирующих в рамках Глобальной системы наблюдений Всемирной службы погоды.

2.3.2.1 Автоматическая передача изображений (АРТ)

Автоматическая передача изображений (АРТ) была внедрена на некоторых космических летательных аппаратах в 1960-х годах и стала самой успешной системой прямого распространения данных среди систем пользователей в метеорологическом сообществе. В мире продолжают функционировать тысячи приемных станций АРТ. Станции АРТ являются очень дешевыми и эксплуатируются не только службами метеорологии и университетами, но и широким сообществом пользователей, не имеющим отношения к метеорологии.

Передачи АРТ базируются на аналоговой модуляции. Они осуществляются в четырех подполосах полосы частот 137–138 МГц с типичной шириной в 30–50 кГц, которая, однако, может достигать 175 кГц. Будущие передачи АРТ будут ограничены двумя подполосами в полосе частот 137–138 МГц: подполосами 137,025–137,175 МГц и 137,825–138 МГц.

Станции АРТ обычно состоят из ненаправленных антенн и серийных (COTS) ОВЧ приемников. К этим устройствам прилагаются недорогие системы обработки изображений, а также недорогое программное обеспечение, устанавливаемое на общедоступных настольных компьютерах.

2.3.2.2 Передача изображений с низким разрешением (LRPT)

LRPT заменяет применение АРТ на большинстве систем НГСО MetSat. LRPT основывается на схемах цифровой передачи и использует те же полосы частот, которые в настоящее время используются для АРТ. Ширина полосы также составляет до 175 кГц.

2.3.2.3 Передача графической информации высокого разрешения (ХРПТ)

ХРПТ обеспечивает изображения высокого разрешения для метеорологического сообщества. Передатчики ХРПТ постоянно находятся во включенном состоянии и могут приниматься любой станцией пользователей. В мире существуют сотни приемных станций ХРПТ, зарегистрированных в ВМО. Следует, однако, отметить, что это количество не является исчерпывающим, поскольку регистрация этих станций не носит обязательный характер. Данные ХРПТ важны для работы служб метеорологии и широко используются также и в других областях деятельности.

Передачи ХРПТ осуществляются в полосе частот 1698–1710 МГц с шириной полосы сигнала между 2,7 МГц и 4,5 МГц. Станции пользователей оснащены параболическими антеннами слежения, обычно диаметром от 2,4 м до 3 м. Рекомендуемый минимальный угол места для приема составляет 5°, хотя некоторые станции работают и с меньшими углами места. Показатель качества для станций составляет 5 дБ/К. Существуют и другие системы ХРПТ, работающие со скоростью передачи данных, примерно в два раза превышающей скорость исходных систем ХРПТ.

Существуют также усовершенствованные применения ХРПТ (АХРПТ), предназначенные для того, чтобы в будущем заменить ХРПТ на метеорологических спутниках. Операторы спутников могут перейти на эту новую услугу или продолжать осуществлять ХРПТ в течение какого-то времени.

Передачи АХРПТ будут осуществляться в той же полосе частот, которая используется другими системами ХРПТ. Ширина полосы будет находиться в пределах 4,5 и 5,6 МГц. Станции приема АХРПТ будут принимать с минимальными углами места 5°. Антенны являются параболическими, обычно диаметром от 2,4 м до 3 м. *G/T* станций АХРПТ будет составлять 6,5 дБ/К.

2.3.2.4 Низкая скорость передачи данных (LRD)

Первый спутник NPOESS, который должен появиться в 2013 году, впервые осуществит применение LRD с использованием ширины полосы в 6 МГц, заменив существующую АРТ, обеспечиваемую спутниками NOAA. Она будет осуществляться в полосе частот 1698–1710 МГц.

2.3.3 Системы сбора данных (DCS) на НГСО спутниках MetSat

Системы сбора данных на НГСО спутниках MetSat обеспечивают предоставление самой различной информации, используемой, главным образом, государственными учреждениями, но также и коммерческими организациями. Такие данные включают целый ряд параметров окружающей среды, касающихся океанов, рек, озер, суши и атмосферы и связанных с проходящими в них физическими, химическими и биологическими процессами. Они включают также данные наблюдений за передвижением животных. Использование коммерческими организациями ограничено и включает, например, мониторинг состояния нефтепроводов, для того чтобы защитить окружающую среду. Некоторые передатчики используются также для сообщения о чрезвычайных обстоятельствах и предоставления таких данных, как подтверждение угрозы/бедствия. К примерам систем сбора данных, работающих на базе негостационарных метеорологических спутников, относятся ARGOS и бразильская DCS. Поколение системы Argos-2 в настоящее время летает на спутниках на полярной орбите NOAA-15, -16, -17 и -18. Третье поколение Argos (Argos-3), которое уже используется на спутнике Metop-A, будет эксплуатироваться на спутниках NOAA-N², Metop-B и Metop-C и будет установлено на спутнике SARAL.

Системы Argos функционируют в полосе частот 401,580–401,690 МГц, хотя существуют тысячи платформ (известных, как оконечные передающие станции на платформах), каждая из которых требует всего лишь несколько кГц ширины полосы. Используя характер орбит спутников на полярной орбите, можно разместить многие платформы системы Argos. Поколение системы Argos-3 вводит новые услуги сбора данных, предлагающие высокую скорость передачи данных (4800 бит/с) и возможность запроса платформ. Платформа, известная как PMT (приемопередатчик сообщений платформы), запрашивается спутниками, использующими полосу частот 460–470 МГц.

Ожидается, что для четвертого поколения системы Argos (Argos-4) пропускная способность системы и ширина полосы должны быть значительно увеличены.

Бразильская DCS базируется на SCD (орбита с наклоном 25°) и спутниках CBERS, использующих полосу частот в 401,605–401,665 МГц для приема платформы для сбора данных. Учитывая совместимость бразильской DCS с системой Argos и дополнительными орбитальными спутниками, обмен данными между обеими системами производится с 2001 года.

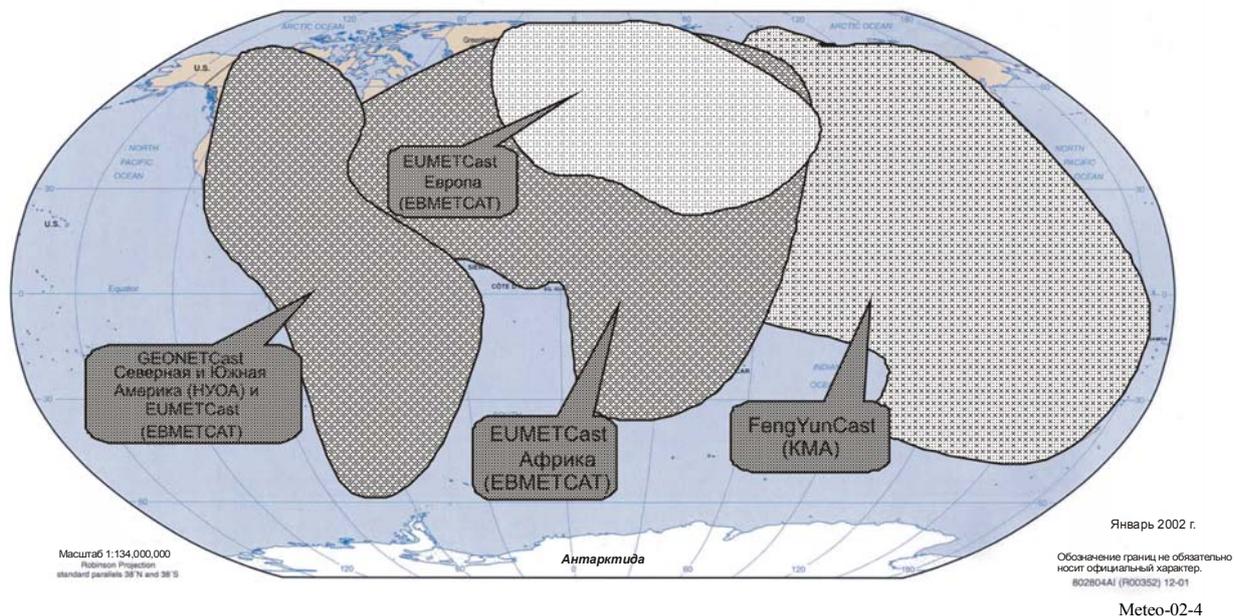
2.4 Альтернативные механизмы распространения данных

Помимо традиционных механизмов распространения данных систем ГСО и НГСО MetCat, в настоящее время создается новая система распространения данных под названием GEONETCast (см. Рисунок 2-4), являющаяся одной из главных инициатив в рамках Глобальной системы систем наблюдений за Землей (ГЕОСС), направленной на создание всемирной, оперативной, сквозной системы сбора и распространения данных наблюдений за Землей, использующей существующую инфраструктуру коммерческой электросвязи. Идея GEONETCast заключается в использовании возможностей многоадресной передачи глобальной сети спутников связи для передачи спутниковых данных об окружающей среде, а также данных и продуктов наблюдений от поставщиков этих данных до их пользователей. Планируется, что глобальный охват будет обеспечен путем объединения системы FENGYUNCast, американского компонента GEONETCast и системы EUMETCast.

Например, система EUMETCast является системой вещания данных об окружающей среде EUMETCAT, которая является системой распространения многих услуг, базирующейся на технологии стандарта цифрового телевизионного вещания (DVB). Она использует коммерческие геостационарные спутники связи для передачи файлов (данных и продуктов) во многие адреса широкого сообщества пользователей, расположенных в зонах географического охвата коммерческих спутников связи, включая Европу, Африку и американские континенты.

Используемая, главным образом, для распространения данных изображения и производных продуктов со спутников Meteosat и Metop, система EUMETCast обеспечивает также доступ к данным и услугам, предоставляемым несколькими внешними поставщиками данных, например национальными метеорологическими службами и операторами MetCat.

РИСУНОК 2-4
Охват глобальной сетью GEONETCast



ГЛАВА 3**ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГИИ**

	<i>Стр.</i>
3 Введение	18
3.1 Распределенные радиочастотные полосы.....	18
3.2 Метеорологические функции службы ВСМ.....	19
3.3 Примеры систем зондирования ВСМ	20
3.3.1 Радиозонды	20
3.3.2 Сбрасываемые парашютные зонды	22
3.3.3 Метеорологические ракеты.....	23
3.4 Факторы, влияющие на характеристики систем ВСМ	24
3.4.1 Система приемной антенны наземного базирования	24
3.4.2 Система обработки данных наземного базирования	25
3.4.3 Блоки зондирования одноразового применения	25
3.5 Характеристики метеорологических наблюдений, требуемые от службы ВСМ.....	26
3.6 Основания для национальных различий в операциях службы ВСМ	29
3.6.1 Разница в имеющейся технологии	29
3.6.2 Различия в климатологии высотного ветра	29
3.6.3 Различия в плотности сети	30
3.6.4 Использование полосы 401–406 МГц	30
3.6.5 Использование полосы 1688,4–1700 МГц	30
3.6.6 Потребности в сохранении обеих полос	31
3.7 Будущие тенденции	31

3 Введение

Вспомогательная служба метеорологии (ВСМ) определена в п. 1.50 Регламента радиосвязи (РР), как служба радиосвязи, используемая для метеорологических, включая гидрологические, наблюдений и исследований.

На практике служба ВСМ обычно обеспечивает связь между системой зондирования на месте на предмет метеорологических параметров и удаленной базовой станцией. Система зондирования на месте может транспортироваться, например, метеорологическим зондом. В качестве альтернативы, она может быть спущена через атмосферу на парашюте после того, как будет развернута с использованием воздушного судна или метеорологической ракеты. Базовая станция может находиться в фиксированном месте или быть установлена на мобильной платформе, как это происходит во время оборонительных операций. Базовые станции транспортируются на кораблях, воздушных судах, ведущих наблюдение за ураганами, или на исследовательских воздушных судах.

3.1 Распределенные радиочастотные полосы

Радиочастотные полосы, используемые службой ВСМ (за исключением тех, которые регулируются национальными примечаниями), указаны в Таблице 3-1¹.

ТАБЛИЦА 3-1

Радиочастотные полосы, используемые для систем / применений ВСМ

Частотная полоса	Использование
400,15–401 МГц	ВСМ
401–402 МГц	ВСМ
402–403 МГц	ВСМ
403–406 МГц	ВСМ
1 668,4–1 670 МГц	ВСМ MetCat
1 670–1 675 МГц	ВСМ MetCat
1 675–1 690 МГц	ВСМ MetCat
1 690–1 700 МГц	ВСМ MetCat
35,2–36 ГГц	ВСМ ESSS

Этот перечень включает службы, которые также имеют распределения на первичной основе в полосах частот, используемых службой ВСМ. Распределения для других служб налагают значительные ограничения на службу ВСМ. Совместное использование частот в совмещенном канале между другими службами и службой ВСМ осуществляется редко из-за маломощных передатчиков, используемых большинством систем ВСМ для относительно длинных линий. Поэтому, совместное использование полос чаще всего осуществляется на основе сегментации полосы. Это может быть организовано на международном уровне совместно с другими метеорологическими системами при содействии ВМО или на национальном уровне совместно с неметеорологическими системами.

ВМО систематически обновляет каталог систем радиозондирования, используемых в сети ВМО, так что метеорологи, пользующиеся этими датчиками, могут определить тип радиозонда, используемого на каждой станции. Этот каталог включает отчет об используемых полосах частот.

Пользователями услуг службы ВСМ также являются:

- органы по охране окружающей среды;
- университеты и исследовательских группы, занимающиеся вопросами метеорологии;
- службы обороны.

¹ С существующим распределением частот в этой полосе читатель может ознакомиться в Статье 5 РР.

Эти дополнительные системы обычно эксплуатируются независимо от повседневной деятельности национальных метеорологических служб и не перечислены в каталоге ВМО. Многие системы ВСМ, не относящиеся к ВМО, установлены на мобильных платформах и могут быть развернуты на больших территориях во время оперативного использования. Количество радиозондов, проданных этим независимым группам, сопоставимо с количеством радиозондов, используемым в существующей сети ВМО. Работа дополнительных систем обычно не регламентируется национальными органами радиосвязи.

Некоторые страны избегают совместного использования частот в совмещенном канале между всеми различными группами операторов радиозондов путем использования подробного плана размещения частот. Вместе с тем, во многих странах по-прежнему используется прагматичный подход к использованию спектра. Прежде чем запустить радиозонд, оператор системы радиозондирования сканирует имеющийся спектр ВСМ, используя приемное устройство базовой станции. Тем самым он определяет возможное наличие радиозондов в непосредственной близости от места запуска. После этого выбирается частота запускаемого радиозонда (при необходимости, настраивается перед запуском) таким образом, чтобы его работа не наносила ущерба системам, которые уже находятся в полете. Имеющийся спектр ВСМ для национальных служб ВСМ зачастую ограничен подполосой спектра, распределенного в РР на основании общенациональных соглашений о совместном использовании частот с другими службами радиосвязи, о чем говорилось ранее.

Обычное использование радиозондов в полосе 27,5–28 МГц прекращено из-за проблем, связанных с помехами от других служб. Анализ использования услуг службы ВСМ выявляет доступные для приобретения системы радиозондирования, работающие в сети ВМО в полосах частот 400,15–406 МГц и 1668,4–1700 МГц. Мотивы для продолжения использования этих двух полос службы ВСМ рассматриваются в одном из последующих разделов, после того как будут более подробно рассмотрены используемые системы.

3.2 Метеорологические функции службы ВСМ

Точные измерения изменений температуры окружающей среды, относительной влажности, а также скорости и направления ветра в зависимости от высоты весьма важны для оперативной метеорологии. Эти измерения определяют основные характеристики метеорологических систем, так что специалисты по прогнозированию могут судить о том, что может произойти в ближайшее время. Они обеспечивают также входные данные для моделей численных прогнозов погоды, используемых для составления долгосрочных прогнозов. Краткосрочные прогнозы требуют высокого разрешения по вертикали при измерении температуры и относительной влажности. Так, например, расположение облаков вблизи поверхности земли требует измерения с погрешностью менее 100 м по вертикали.

Служба ВСМ на протяжении многих десятилетий остается основным источником измерений параметров атмосферы с высоким разрешением по вертикали. ВСМ передает локальные измерения атмосферных метеорологических переменных с мест, расположенных над поверхностью, на базовую станцию, состоящую из приемного устройства и системы обработки данных. В большинстве случаев измеряются давление (или высота), температура, относительная влажность, а также скорость и направление ветра. Также могут производиться измерения составных частей атмосферы, например озона, аэрозолей или радиоактивности. Выходные данные базовой станции передаются в сеть метеорологической связи для объединения с данными, полученными от других приемных станций. Затраты ВСМ после окончания работы обычно не окупаются, так что стоимость передатчика и блока зондирования должна сохраняться на минимальном уровне.

В большинстве наиболее распространенных систем ВСМ работающий радиозонд может доставляться с помощью метеорологического зонда на высоту до 36 км от поверхности. Высота, до которой требуется проведение регулярных наблюдений, колеблется, в известной степени, в зависимости от применения и географического местоположения. Во многих странах обычные метеорологические операции рассчитаны на высоту до 25 км от поверхности, хотя некоторые станции должны производить измерения на высоте свыше 30 км. Составление прогнозов в глобальном масштабе требует учета движений в верхних слоях атмосферы, но не с такой степенью подробности, как в отношении условий в непосредственной близости от поверхности. Однако долгосрочный мониторинг климата и связанные с ним научные исследования требуют проведения измерений как можно в более высоких слоях атмосферы.

Радиозондовые измерения продолжительностью до двух часов передаются на базовую станцию, расположенную в месте запуска шара-зонда. В течение этого времени шар движется в потоке ветров в верхних слоях атмосферы и в отдельных случаях может преодолеть расстояние свыше 250 км от места запуска во время подъема. Во время спуска он может покрыть еще 150 км. Мощность его передач всегда не высока вследствие ограничений, зависящих от электрических батарей. Батареи должны функционировать при очень низких температурах, наблюдающихся во время полета, и, кроме того, не должны причинять ущерб окружающей среде или создавать угрозу для населения при падении на землю после того, как шар разрушится.

Ежедневно, в сети ГСН ВМО запускается свыше 1400 радиозондов; из них не менее 400 предназначены для измерений на объявленных участках ГСНК (Глобальной системы наблюдений за климатом). Информация, поступающая с каждого работающего зонда, сразу же используется национальными метеорологическими службами для поддержания местного прогнозирования. Она необходима также для составления многочисленных прогнозов погоды для всех частей мира, и задача заключается в том, чтобы в течение трех часов распространить готовые сообщения (со стандартным метеорологическим кодом) среди всех метеорологических служб мира. Эти сообщения также хранятся постоянно в архиве и затем используются в самых различных научных исследованиях. К числу других систем ВСМ, развернутых в настоящее время в более ограниченных количествах, относятся:

Тип	Описание
Сбрасываемые парашютные зонды	Сбрасываются на парашюте с высоко летящего воздушного судна. Сбрасываемые парашютные зонды обычно в течение получаса передают данные на приемную станцию, находящуюся на сбросившем их воздушном судне.
Зонды на привязи	Постоянно передают в обратном направлении данные с шара, находящегося на привязи обычно в пределах атмосферного пограничного слоя.
Метеорологические ракеты	Передают данные измерения параметров атмосферы на высоте до 95 км для специализированных научных исследований или запускаются с судов для измерений на небольшой высоте.
Небольшой беспилотный летательный аппарат (дистанционно-пилотируемый летательный аппарат (RPV) или беспилотный летательный аппарат (UAV))	Несет на себе блок датчиков, похожий на радиозонд, в отдаленные районы над океаном, а также передает данные обратно в виде стандартных метеорологических сообщений.

Текущие затраты на проведение радиозондовых измерений ограничивают оптимальное расстояние функционирования сети радиозондов 250 километрами в горизонтальном направлении. Это расстояние используется в качестве стандарта для сетевых исследований в отношении спектра, необходимого для эксплуатации ВСМ. Однако достаточная разрешающая способность устойчивых характеристик организованных метеорологических систем требует измерений с интервалом 50 км или менее в горизонтальном направлении. Метеорологические исследования требуют проведения радиозондовых измерений или измерений с использованием сбрасываемых зондов в этом интервале. В будущем распределение частот должно облегчить использование как действующих радиозондов, так и радиозондов научных сообществ.

Хотя количество действующих станций радиозондирования в сети ГСН со временем постепенно уменьшается, оно компенсируется возросшим использованием радиозондов для служб охраны окружающей среды и служб обороны. Кроме того, национальные службы метеорологии испытывают потребность в осуществлении локальных измерений в целевых районах над океаном. В следующем десятилетии можно ожидать значительного увеличения в использовании новых типов систем ВСМ в целях удовлетворения этих возрастающих потребностей.

3.3 Примеры систем зондирования ВСМ

3.3.1 Радиозонды

Во всем мире ежегодно совершается свыше 800 000 полетов радиозондов, см. Рисунки 3-1 и 3-2. Кроме того, для различных других применений осуществляется еще 400 000 полетов. Площадки расположения базовых станций, используемые для запуска радиозондов, обычно специально

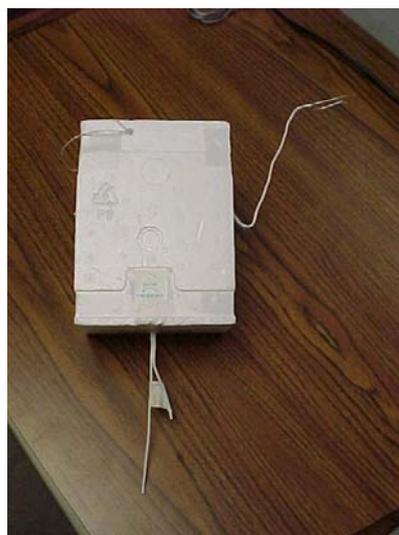
оборудуются таким образом, чтобы запуск шаров-зондов можно было произвести при любых погодных условиях. Важнейшие площадки оборудуются системами аварийного электропитания, для того чтобы измерения могли проводиться непрерывно, даже в случае повреждения местной инфраструктуры под воздействием экстремальных погодных условий либо других обстоятельств, например промышленной аварии.

РИСУНОК 3-1

Учетный полет радиозонда

Meteo-03-1

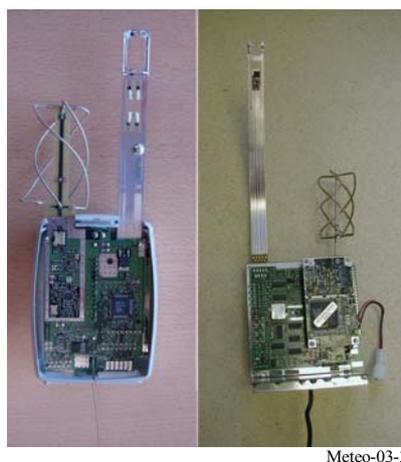
РИСУНОК 3-2

Радиозонды

Meteo-03-2

РИСУНОК 3-3

Электроника современного радиозонда



Meteo-03-3

Типичный радиозонд содержит несколько основных компонентов: передатчик, аккумуляторную батарею, блок датчиков, а также, как правило, приемник навигационного средства (NAVAID/GPS), см. Рисунок 3-3. Передатчик передает данные на приемную станцию. Радиозонды питаются от аккумуляторных батарей. Аккумуляторные батареи обычно активируются водой и изготовлены специально для использования в радиозондах, поскольку серийно выпускаемые щелочные аккумуляторные батареи не могут эксплуатироваться при температуре воздуха, которая может опускаться до -90°C . Блок датчиков содержит датчики, измеряющие атмосферные условия, например температуру, давление, влажность, озон или ионизирующую радиацию. Блок датчиков также кодирует показания датчика, для того чтобы их можно было передать на земную станцию.

Системы радиозондирования, не зависящие от приложений NAVAID/GPS, используют радиолокационное сопровождение путем подвешивания отражателя ниже шара-зонда. Если радиозонд использует сигналы NAVAID/GPS для измерения ветра, то он будет включать также приемник NAVAID/GPS, соответствующий типу используемых сигналов. Радиозонды NAVAID/GPS используют сигналы Глобальной системы определения местоположения (GPS), системы LORAN и сигналы ОНЧ.

Типичная разбивка стоимости радиозонда выглядит следующим образом: 20%–30% приходится на передатчик, 45%–60% – на блок датчиков, 20%–50% – на приемник NAVAID/GPS (в случае необходимости) и 15%–25% – на аккумуляторную батарею. Некоторые радиозондовые передатчики имеют относительно низкие характеристики по сравнению с большинством других служб радиосвязи. Широкое использование передатчиков с низкой устойчивостью и излучением в широкой полосе пропускания объясняется их относительно низкой стоимостью. По той же причине, по которой вычислительные мощности на радиозонде сводятся к минимуму, от использования передатчиков с высокой устойчивостью обычно воздерживаются до тех пор, пока не появится технология, приемлемая в ценовом отношении. Вместе с тем, условия эксплуатации в некоторых национальных сетях уже требуют использования узкополосных передатчиков, обладающих высокой устойчивостью.

3.3.2 Сбрасываемые парашютные зонды

Сбрасываемые парашютные зонды содержат компоненты, аналогичные компонентам радиозондов, однако уже скомпонованная система изменяется таким образом, чтобы ее можно было сбросить с воздушного летательного аппарата и тем самым прозондировать атмосферу во время спуска на парашюте, см. Рисунок 3-4. Поскольку использование антенны слежения больших размеров на воздушном летательном аппарате практически невозможно, то все сбрасываемые парашютные зонды эксплуатируются в полосе частот 401–406 МГц и используют NAVAID/GPS для измерения ветра. В состоянии эксплуатационной готовности, сбрасываемые парашютные зонды разворачиваются при гораздо большей плотности по пространству и времени, чем обычные радиозонды. Они используются в основном для отслеживания и составления профиля тропических штормов на море. Одновременно можно взять в полет и буксировать до 12 таких радиозондов. Высокая плотность разворачивания требует использования узкополосных передатчиков, обладающих высокой устойчивостью, наподобие тех, которые используются в более плотных частях сети радиозондирования.

3.3.3 Метеорологические ракеты

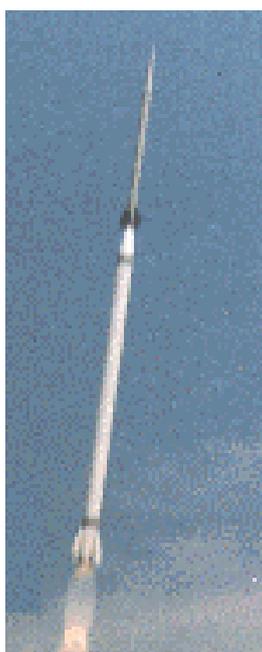
Метеорологические ракеты являются более специализированной системой ВСМ. Так же как и сбрасываемые парашютные зонды, они составляют профиль атмосферы во время спуска на парашюте. Метеорологические ракеты могут содержать такие же основные компоненты, что и радиозонды, однако блоки зондирования для проведения измерений на большой высоте могут отличаться от систем, используемых в нижних слоях атмосферы. В отличие от сбрасываемых парашютных зондов, они могут использовать либо радиолокационную пеленгацию, либо NAVAIID/GPS для измерения ветра. Большинство метеорологических ракет запускаются на очень большие высоты и обычно используются для поддержания операций, связанных с запуском космических средств, см. Рисунок 3-5. Поскольку разворачивание метеорологических ракет является достаточно дорогостоящим мероприятием, то для этого необходимо использовать более качественные передатчики.

РИСУНОК 3-4
Сбрасываемый парашютный зонд



Meteo-03-4

РИСУНОК 3-5
Метеорологическая ракета



Meteo-03-5

3.4 Факторы, влияющие на характеристики систем ВСМ

Системы ВСМ состоят из нескольких базовых компонентов радиосвязи. Наземная часть системы обычно включает систему антенна/приемник и систему обработки сигнала. В Рекомендации МСЭ-R RS.1165 – Технические характеристики и критерии показателей работы для систем радиозондирования вспомогательной службы метеорологии – содержится описание и технические параметры различных типов систем, используемых для работы ВСМ.

3.4.1 Система приемной антенны наземного базирования

ВСМ использует радиочастотный канал для обратной передачи данных системе антенна/приемник, размещенной в месте обработки данных. Двумя основными полосами, используемыми для этой цели, являются 400,15–406 МГц и 1668,4–1700 МГц. Система антенна/приемник обычно базируется на земле (для радиозондов и метеорологических ракет), однако в случае сбрасываемых парашютных зондов система антенна/приемник размещается на воздушном летательном аппарате. Конкретная конфигурация системы антенны и приемника отличается в зависимости от рабочей полосы и планируемой максимальной наклонной дальности полета. Всенаправленные антенны и решетки антенн типа Яги или уголкового отражателя обычно используются для систем, работающих в полосе частот 401–406 МГц, см. Рисунок 3-6. Эти типы антенн не требуют очень высокого усиления антенны для поддержания радиочастотной связи. Радиолокационная пеленгация (RDF) не используется для измерения ветров в этой полосе. Усиление антенны антенных систем, работающих в полосе 401–406 МГц, колеблется в пределах от 0 дБи до 10 дБи.

РИСУНОК 3-6

Ненаправленная антенна и направленные системы (401–406 МГц)



Meteo-03-6

Измерение ветра обычно осуществляется через RDF в полосе частот 1668,4–1700 МГц. Поэтому, чтобы избежать потерь на трассе, используются опоры слежения, оборудованные параболическими антеннами большого размера, или панели с фазированной решеткой, см. Рисунок 3-7. Опора антенны вращает антенну по азимуту и углу места, отслеживая движение ВСМ. Усиления антенны порядка 25–28 дБи являются типичными для антенных систем, эксплуатируемых в полосе частот 1668,4–1700 МГц.

РИСУНОК 3-7
Антенные системы слежения (1668,4–1700 МГц)



Meteo-03-7

3.4.2 Система обработки данных наземного базирования

Приемник пропускает сигнал радиозонда основной полосы в систему обработки сигналов, которая декодирует аналоговые или цифровые данные радиозонда и генерирует требуемые данные измерения параметров атмосферы, включая ветра. Большинство систем ВСМ не передают фактические значения метеорологических параметров (давление, температура, влажность, озон и т. д.) приемной станции. Чтобы свести к минимуму стоимость обработки данных в системе ВСМ, сначала передается электронная характеристика емкостного или резистивного датчика. После этого система обработки сигналов применяет показания емкостного и/или резистивного датчика и показания датчика, используемые для калибровки, к многочлену для того, чтобы рассчитать необходимый метеорологический параметр. Системы, использующие NAVAID/GPS для измерений ветра, также, по мере возможности, уступают обработку сигнала NAVAID/GPS системе обработки сигналов. Некоторые ВСМ просто принимают сигнал NAVAID/GPS и передают его приемной станции для обработки в системе обработки сигналов. Передача необработанных данных наземной станции увеличивает скорость передачи данных линии радиочастотной связи до уровня, превышающего тот, который потребовался бы, если бы обработка данных производилась на ВСМ. Такой подход является необходимым, ибо устанавливать вычислительные мощности на каждое устройство одноразового применения экономически нецелесообразно.

3.4.3 Блоки зондирования одноразового применения

Характер функционирования службы ВСМ накладывает ограничения на то, как они проектируются. Большинство проектных ограничений влияют на радиочастотные характеристики расходуемых компонентов ВСМ, а, следовательно, и на потребности в спектре для операций ВСМ. Самым существенным ограничением являются затраты на производство устройств. Однако серьезное беспокойство производителей и операторов вызывают также и другие ограничения, такие как плотность, масса, рабочая среда и выход мощности.

Затраты на производство обычно являются первым вопросом, возникающим при обсуждении проблемы создания передатчиков, более эффективно использующих радиочастотный спектр. Радиозонды относятся к устройствам одноразового применения. Обычно они совершают один полет и погибают; хотя небольшое количество из них восстанавливается и переоборудуется для повторного использования. Существует потребность в максимальном упрощении, насколько это возможно, компоновки схем, для того чтобы свести затраты к минимуму. Прогресс в области технологий предоставил возможность использовать экономичные интегральные схемы, позволяющие улучшить функциональные характеристики радиозондов. Исторически, многие из усовершенствований, внесенных в радиозонды, имели целью повысить точность измерения датчиков. В последние годы операторы были вынуждены внести некоторые улучшения в радиочастотные характеристики, для того чтобы увеличить плотность сети. Многие базовые конструкции радиозондов содержат

однокаскадные передатчики. Эти конструкции во время полета подвергаются воздействию изменений температур, напряжения аккумуляторных батарей и емкостной нагрузки антенны. Использование имеющихся на рынке специализированных интегральных схем (ASIC) в настоящее время растет, ибо подходящие устройства, способные функционировать в условиях предельных колебаний температур, становятся все более широкодоступными.

Плотность устройств одноразового применения ВСМ должна быть ограничена из соображений безопасности. Масса устройств одноразового применения ВСМ также ограничивается как из соображений безопасности, так и по причинам эксплуатационного характера. Хотя это весьма маловероятно, но, тем не менее, ВСМ должны быть спроектированы таким образом, чтобы в случае столкновения с воздушным летательным аппаратом, последний не был поврежден и не возникла ситуация, опасная для жизни. Следует отметить, что не было зарегистрировано ни одного случая столкновения между радиозондом и воздушным летательным аппаратом. Плотность имеет значение, главным образом, на тот случай, если данное устройство вдруг окажется затянутым в двигатель. Масса устройств также имеет значение, поскольку устройства одноразового применения ВСМ возвращаются на Землю после полета. Парашют используется для того, чтобы контролировать скорость спуска. Однако объект, обладающий значительной массой, может причинить ущерб. В настоящее время большинство устройств одноразового применения ВСМ имеют массу, намного менее 1 кг. Обычно радиозонды помещаются в пенопластовую, картонную или полиэтиленовую упаковку, имеющую небольшой вес и легко поддающуюся разрушению. Монтажные платы имеют небольшие размеры и содержат небольшое количество компонентов, а электрические схемы рассчитаны на максимальную отдачу по мощности. Ввиду ограничений по плотности и массе, крупные аккумуляторные батареи не могут использоваться для питания этих устройств.

Во время полета ВСМ могут быть подвержены различным видам экстремального воздействия. Температура окружающей среды может колебаться от 50° С до -90° С, влажность – от весьма засушливых условий до конденсации влаги или выпадения осадков. На больших высотах недостаток воздуха для вентилирования электроники и солнечная радиация могут привести к ее перегреву даже при низких температурах. Эти экстремальные изменения окружающей среды могут оказать сильное воздействие на показатели работы и эксплуатационные характеристики всех компонентов устройства, включая передатчик. Радиозондовый передатчик старой конструкции редко допускал сдвиг по частоте на 5 МГц или более под воздействием крайних температурных измерений или других факторов, например, обледенения антенны, обуславливающего ее емкостную нагрузку. Ввиду ограничений в отношении потребляемой мощности, а также воздействия, которое выработка тепла может оказывать на эксплуатационные характеристики датчика, строгое температурное регулирование электронных устройств практически невозможно. К тому же выяснилось, что многие коммерчески доступные интегральные схемы передатчиков, используемые отраслью беспроводной связи, не могут функционировать при крайне низких температурах.

Потребление энергии электронными устройствами ВСМ должно быть тщательно продумано на стадии проектирования. Большие аккумуляторные батареи увеличивают вес, создавая потенциальную угрозу безопасности. Кроме того, дополнительный вес увеличивает эксплуатационные затраты, требуя увеличения размеров шаров-зондов и больших объемов газа для их наполнения. Эффективное использование энергии является главной причиной, по которой ВСМ должны использовать как можно меньшую выходную мощность передатчика и при этом поддерживать устойчивую телеметрическую связь. Радиозондовые передатчики обычно генерируют на выходе 100–400 мВт, а бюджет линии связи только на предельной дальности имеет запас порядка 0,5–2 дБ. Широко используемый однокаскадный передатчик был признан весьма эффективным по мощности, в то время как было установлено, что передатчики усовершенствованной конструкции потребляют на 150–250% больше мощности, чем однокаскадные передатчики. Однако эти однокаскадные передатчики очень чувствительны к крайним температурным изменениям и емкостной нагрузке антенны во время эксплуатации, что приводит к значительному сдвигу частот. Поэтому конструкции передатчиков, позволяющие более эффективно использовать радиочастотный спектр, влияют как на стоимость производства передатчика, так и на стоимость сопутствующих электронных устройств.

3.5 Характеристики метеорологических наблюдений, требуемые от службы ВСМ

Характеристики наблюдений, требуемые от операций службы ВСМ, проиллюстрированы в настоящем разделе на нескольких примерах измерений с использованием радиозонда.

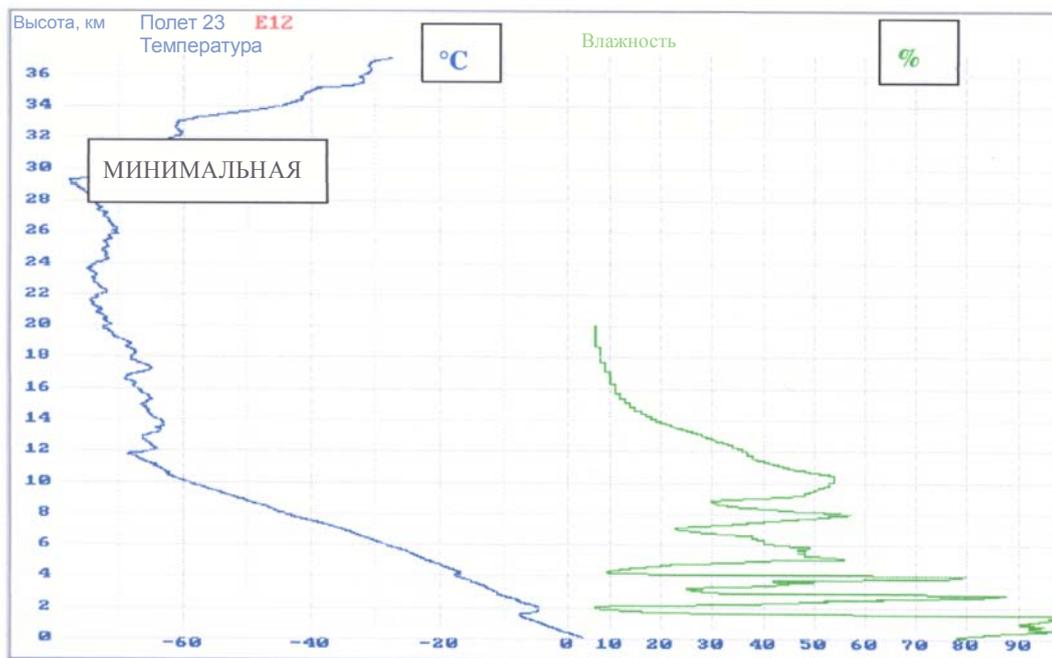
На Рисунке 3-8 показаны замеры температуры и относительной влажности в зависимости от высоты в процессе измерения, производимого с участка мониторинга климата, расположенного с координатами 60° с. ш. в Соединенном Королевстве (Леруик, Шетлендские острова, 23 января 2000 г.). Замеры температуры с использованием зонда имеют небольшие ошибки, менее

0,5° С на высотах до 28 км, и вполне пригодны для целей мониторинга климата. Во время этого наблюдения температура уменьшалась с относительно постоянной скоростью начиная от поверхности земли и до высоты, равной приблизительно 12 км. Метеорологи обозначают этот уровень как тропопаузу, представляющую собой границу между воздухом, взаимодействующим с поверхностью Земли, и воздухом в стратосфере, где имеет место лишь минимальное взаимодействие с приземными слоями. Между поверхностью и верхней частью тропопаузы существовали относительно тонкие слои, где, по мере увеличения высоты, температура либо незначительно повышалась, либо очень медленно падала. После того как ВСМ преодолела эти слои, относительная влажность также очень быстро упала. Значительные падения были зарегистрированы на высоте 1,8 км и 4 км в слоях, которые синоптики назвали бы температурной инверсией. К тому же были также отмечены менее явно выраженные изменения в вертикальном градиенте температуры на высоте около 8 км и 10,3 км, опять-таки связанные со значительным уменьшением относительной влажности по мере увеличения высоты. Колебания в скорости изменения температуры и влажности по вертикали влияют на распространение радиоволн в атмосфере. Таким образом, наблюдения ВСМ также хорошо подходят для определения условий распространения радиоволн.

Шары, поднимающие радиозонды, предназначены для обеспечения оптимальных высот, на которых происходит их разрушение, при подъеме со скоростью приблизительно 300 м/мин. Любая существенная потеря приема в начале подъема (даже на 10 с) нежелательна, поскольку она подрывает способность радиозонда различать изменения в температуре и относительной влажности, что необходимо для составления местных прогнозов. Отсутствие данных на протяжении четырех или пяти минут (даже в том случае, если это связано с приемом ложного сигнала системы навигации для измерений ветра) часто требует запуска второго радиозонда для выполнения эксплуатационного требования.

Показанные на Рисунке 3-8 результаты наблюдений являются типичными, учитывая что ошибки в измерениях относительной влажности составляли от 5% до 90% между уровнем поверхности земли и уровнем, на котором температура опускается ниже -40°C . К тому времени как на высоте 10 км температура опускалась ниже -60°C , датчик начинал срабатывать слишком медленно, чтобы полностью анализировать быстрые изменения относительной влажности. Это отражает заметное улучшение показателей работы датчиков относительной влажности радиозондов с 1980-х годов. Все существовавшие ранее датчики относительной влажности становились ненадежными при температурах от -30°C до -40°C . Датчик относительной влажности очень сложно изготавливать, что является одним из основных препятствий проектированию и изготовлению радиозонда без объемных долгосрочных инвестиций в проектирование и средства производства.

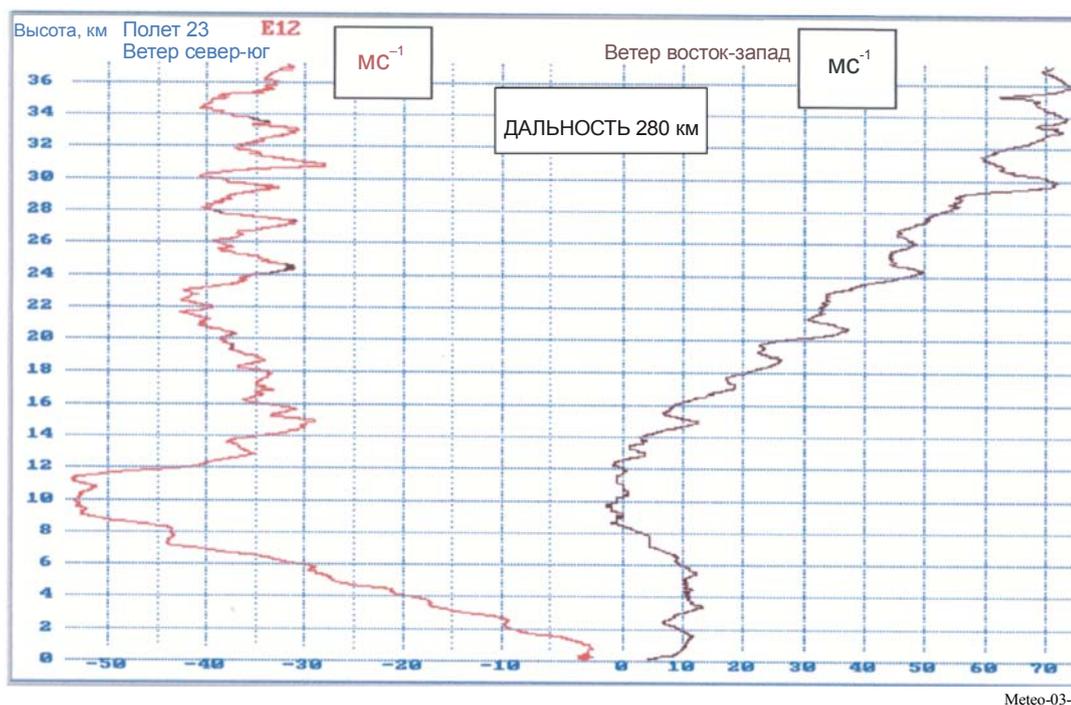
РИСУНОК 3-8
Измерение температуры и влажности радиозондом



В связи с недостатками в технологии датчиков, измерения влажности прекращаются на высоте 20 км. Минимальная температура на Рисунке 3-8 достигается на высоте около 29 км². Резкое повышение температуры на высоте более 29 км может объясняться существенным нагреванием, которое происходит в результате циркуляции воздуха в верхних слоях атмосферы в зимнее время в северном полушарии.

На Рисунке 3-9 показаны данные измерений ветра, полученные в результате отслеживания положения в полете того же самого радиозонда (запущенного из Лервика, Шетландские острова, 23 января 2000 г.), который показан на Рисунке 3-8. Движение радиозонда было вычислено с использованием навигационных сигналов Logan-C, получаемых радиозондом и затем передаваемых обратно на базовую станцию. Ожидается, что точность составляет около $0,5 \text{ мс}^{-1}$ для каждого из двух ортогональных компонентов, показанных на небольшой дальности, и уменьшается примерно до $1,5 \text{ мс}^{-1}$ при большей дальности, когда обратная передача на базовую станцию менее чем оптимальна. В направлении север-юг самые сильные ветры встречаются на высоте между 10 км и 12 км, при этом струйное течение сосредоточивается вблизи области резкого изменения температуры на высоте 10 км, как показано на Рисунке 3-8. В тот день была слабая составляющая восток-запад вблизи максимального струйного течения, но сила этого компонента непрерывно возрастала в верхних уровнях от 14 км до 30 км. Такое увеличение силы ветров явилось результатом постоянного перепада температуры в направлении от юга к северу на всех высотах от 14 км до 30 км, при этом воздух был холоднее на севере ближе к центру полярного вихря. Измерения высотного ветра имеют большое значение для служб воздушных перевозок и служб обороны. Результаты наблюдений ВСМ, такие как показано на Рисунке 3-9, обычно преобразовываются на базовой станции в специальный защитный код и передаются соответствующим операционным единицам.

РИСУНОК 3-9
Измерения ветра радиозондом



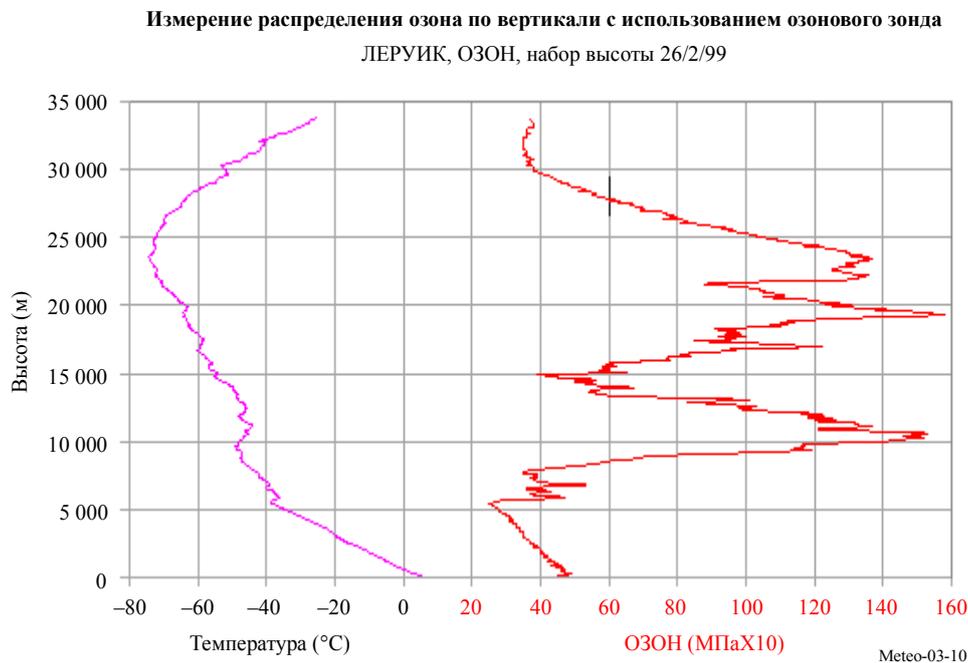
Meteo-03-9

На Рисунке 3-10 приводится пример измерений вертикальной структуры озона из одного и того же местоположения в Соединенном Королевстве, как показано на Рисунке 3-8. Здесь парциальное давление озона изображено как функция от высоты, наряду с одновременным измерением температуры. Измерения озона производились несколько раз в неделю для содействия текущим научным исследованиям. Данные измерений сразу же передавались в концентратор собранных данных, который координирует наблюдения из многих других мест на таких же высотах. В случае серьезного снижения уровня озона рассылаются оповещения. Содержание озона в тропосфере как правило низкое, т. е. в этот день в слоях ниже 5 км. В стратосфере высокие концентрации озона

² В этой точке температура упала близко к условиям, которые требуются для начала действия химических механизмов, разрушающих озон в зимнее время в северном полушарии.

обнаружены на высоте 10 км и 20 км, но не на высоте 15 км. Измерения организованы научным сообществом, с тем чтобы определить происхождение низких концентраций озона в стратосфере. Они могут быть вызваны естественным распространением озона из регионов с низкими концентрациями или разрушением, связанным с химическим загрязнением.

РИСУНОК 3-10



3.6 Основания для национальных различий в операциях службы ВСМ

3.6.1 Разница в имеющейся технологии

Хотя большинство радиозондовых систем приобретаются у ограниченного количества международных коммерческих поставщиков, в соответствии с экономическими условиями в некоторых странах требуется, чтобы в самой стране создавались национальные мощности по производству радиозондов. На практике успехи в разработке национальных систем отставали от развития радиозондовых систем, достигнутого за последние два десятилетия коммерческими поставщиками. Так, хотя большинству технологий, которые применяются в используемых во всем мире системах, поставляемых на коммерческой основе, не более пяти лет, некоторые национальные системы все еще основаны на технологиях 30–40-летней давности. Измерения, которые производятся этими национальными системами, очень важны для всех метеорологов, и таким странам необходимо предоставить достаточно времени для внедрения модернизированных систем с более эффективным использованием имеющегося радиочастотного спектра. Можно надеяться, что этого можно будет достичь к 2012 году.

3.6.2 Различия в климатологии высотного ветра

Как видно из Рисунке 3-9, шар-зонд в этом полете отклонился на расстояние 280 км от точки запуска, прежде чем он разрушился, и затем радиозонд был спущен парашютом на поверхность земли на еще более дальнем расстоянии. Для получения надежных данных о ветрах на такой дальности важно использовать радиозонды, которые получают навигационный сигнал либо Loran-C, либо GPS. Как правило, шар-зонд не относит на такие большие расстояния, как в этом случае. В высоких широтах в зимнее время в северном полушарии ветра на высоте более 16 км обычно не распределяются симметрично вокруг полюса. Так, очень сильные стратосферные ветры гораздо обычнее над Европой, а не над Северной Америкой. С другой стороны, есть много стран, в которых высотные ветры всегда слабые. Разница в условиях высотного ветра приводит к существенным различиям в условиях работы соответствующих национальных радиозондовых сетей. В некоторых странах радиозонд всегда будет оставаться на высоком угле места и небольшой дальности, тогда как в других странах радиозонд необходимо отслеживать на углах места ниже 5° над горизонтом на дальности свыше 200 км.

Если углы места шара-зонда остаются высокими (особенно если углы места менее 15° бывают редко), затраты на измерение радиозондами можно снизить, используя менее дорогие радиозонды, которым нет необходимости принимать и обрабатывать сигналы NAVAIID/GPS. Вместо этого радиозонд можно отслеживать с использованием сканирующей направленной антенны на базовой станции. Если радиозонд осуществляет передачу на частотах около 1680 МГц, подходящая направленная антенна гораздо меньше, чем альтернативная антенна для частот около 403 МГц. Частоты около 403 МГц предпочтительны для операций радиозондов при больших дальностях по целому ряду причин и могут обеспечить хороший прием и точные данные о ветрах при всем наборе высоты.

Во многих развитых странах стало слишком дорого нанимать оператора для мониторинга измерений радиозонда, и возрастает спрос на полностью автоматизированные системы запуска шаров-зондов, контролируемых из удаленного места, и сейчас действуют многие такие системы. В них всегда используются радиозонды с NAVAIID/GPS, работающие в полосе 401–406 МГц. В автоматической системе должно быть не менее двух радиозондов, заранее настроенных на различные рабочие частоты в полосе. Как и в случае управляемых вручную операций, если первый запуск радиозонда не удался из-за быстрого разрушения шара-зонда, то радиозонд может продолжать осуществлять передачу. Кроме того, другой радиозонд, запущенный из близлежащего места, уже может использовать номинальную частоту станции. Автоматическая система запуска перед запуском сканирует частоты между 401 МГц и 406 МГц, чтобы убедиться в том, что какой-либо радиозонд уже не осуществляет передачу в этом диапазоне на выбранной частоте. В обоих случаях для получения оперативных измерений необходима вторая частота.

3.6.3 Различия в плотности сети

ВМО определила и регулярно рассматривает минимальные глобальные и региональные требования к плотности сетей ВСМ. Потребности службы ВСМ в спектре различны в каждой конкретной стране в зависимости от плотности сети. Любая оценка потребностей в спектре должна основываться на всем сообществе пользователей этой службы, включая оборонные и экологические учреждения. При более высокой плотности сети требуется большая эффективность использования спектра. У стран, которые эксплуатируют более плотные сети, обычно имеются бюджетные ресурсы для приобретения ВСМ с более эффективными с точки зрения использования спектра передатчиками. Это обычно те страны, которые также отличаются самыми высокими ежедневными колебаниями атмосферных условий. У стран, эксплуатирующих сети небольшой плотности, может не иметься ресурсов для эксплуатации большого количества станций или приобретения высокоустойчивых узкополосных передатчиков.

3.6.4 Использование полосы 401–406 МГц

Некоторые страны Европы эксплуатируют весьма плотные сети, используя радиозонды с минимальным отклонением и узкополосные излучения в этой полосе. Некоторые другие страны эксплуатируют широкополосные вспомогательные радарные системы, в которых наземная станция передает радиозонду импульс, а радиозонд отвечает на этот импульс и передает метеорологические данные. В обоих случаях для операций требуется почти вся полоса 401–406 МГц, с учетом того что между 401 МГц и 403 МГц служба ВСМ должна проводить координацию с передачами от платформы сбора данных службы ССИЗ (Земля-космос) и службы МетСат (Земля-космос).

В некоторых областях мира существует ограниченное количество станций запуска. В таких случаях могут иметься ресурсы для приобретения передатчиков, которые могут освободить часть полосы для других видов использования. Одним из таких случаев является Австралия, где полная полоса не требуется и администрация решила использовать часть полосы для других служб радиосвязи. Следовательно, в некоторых странах может иметься спектр для других видов использования, но в ряде регионов мира для операций ВСМ требуется вся полоса. ВМО пришла к выводу о том, что в обозримом будущем для работы ВСМ потребуется вся полоса 401–406 МГц, и также допустила, что стандартные операции радиозондов в полосе 400,15–401 МГц будут невозможны, поскольку совместное использование частот в совмещенном канале со спутниковыми службами практически неосуществимо.

3.6.5 Использование полосы 1688,4–1700 МГц

Ситуация в полосе 1688,4–1700 МГц отличается от ситуации в полосе 401–406 МГц. В частности, хотя вся эта полоса распределена ВСМ, она также распределена службе МетСат на равной первичной основе. Операции ВСМ и МетСат в совмещенном канале несовместимы, и уже произошла существенная сегментация полосы. ВСМ причиняет помехи значительного уровня наземным

станциям MetSat. Полоса 1680 МГц используется в мире по-разному, но в некоторых частях мира (Северная Америка и Азия) для операций ВСМ может предоставляться только подполоса 1675–1683 МГц. При обсуждении потребностей ВСМ в полосе 1668,4–1700 МГц необходимо учитывать, что обычно имеется только часть этой полосы. Большинство стран могут осуществлять операции в 7–8 МГц спектра, тогда как ряду стран для поддержки операций все еще требуется более 15 МГц.

3.6.6 Потребности в сохранении обеих полос

Считается, что для непрерывных успешных метеорологических операций важнейшее значение имеет наличие обеих РЧ полос для операций ВСМ. Во-первых, в ряде стран Европы и Северной Америки обе полосы необходимы для удовлетворения потребностей в спектре для операций ВСМ, принимая во внимание договоренности о совместном использовании частот с другими службами. Для синоптических, научно-исследовательских и оборонных операций ВСМ может не хватать только одной из этих полос. Кроме того, каждая полоса обеспечивает особые характеристики, необходимые для различных типов операций ВСМ. Полоса 401–406 МГц обеспечивает меньшие потери при распространении. Такие меньшие потери при распространении дают преимущество в тех частях мира, где сильные ветры приводят к большой наклонной дальности между базовой станцией и радиозондом. Меньшие потери при распространении также позволяют использовать для отслеживания полета более простые, менее крупные приемные антенны. Для операций ВСМ в этой полосе для измерения ветров используется одна из форм радионавигации (GPS, LORAN-C), поскольку радиопеленгационная антенна была бы чрезмерно большой. По причинам бюджетного характера и/или причинам, связанным с национальной безопасностью, некоторые администрации предпочитают использовать полосу 1668,4–1700 МГц. Радиопеленгация ВСМ устраняет необходимость в компоновке схемы для радионавигации. Это снижает стоимость приборов одноразового применения. Некоторые страны эксплуатируют свои системы ВСМ, которые не зависят от международных систем NAVAID/GPS как таковых, такие системы могут иметься не всегда.

3.7 Будущие тенденции

Хотя конструктивные решения ВСМ, как правило, просты и в них используются недорогие компоненты, произошли и продолжают происходить изменения, направленные на улучшение показателей работы таких систем. Как отмечалось ранее, многие инвестиции в усовершенствование систем направлены на повышение качества датчиков и не всегда той части линии системы, которая относится к телеметрии. Однако в связи с возрастающими потребностями в дополнительных частотных присвоениях в какой-либо конкретной зоне для поддержки как синоптических, так и не синоптических операций стали требоваться также улучшения в РЧ характеристиках.

Кроме того, внедрение GPS на радиозондах в целях измерения ветров приводит к существенному повышению эффективности использования спектра радиозондов NAVAID/GPS. В большинстве стран это также дает возможность существенного повышения точности измерений высотного ветра. Для определения параметров ветра с помощью GPS требуется, чтобы от этого устройства на поверхность земли передавался существенный объем относящихся к GPS данных, что увеличивает требования к скорости передачи данных, а также в результате расширяет ширину полосы передатчика и увеличивает использование элементов питания по сравнению с радиозондами, не относящимися к NAVAID/GPS. Обработка всего решения GPS на таком устройстве может быть технически неосуществимой, поскольку должна применяться дифференциальная поправка для устранения ошибок, вызываемых условиями распространения и другими параметрами. Такая дифференциальная поправка может применяться только на приемной станции.

Библиография

WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation, No. 8.

ГЛАВА 4

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РАДАРЫ

		<i>Стр.</i>
4.1	Введение	34
4.1.1	Типы метеорологических радаров.....	34
4.1.2	Уравнение дальности действия радара	35
4.2	Погодные радары	36
4.2.1	Требования пользователей.....	36
4.2.2	Сети погодных радаров	36
4.2.3	Эксплуатационные аспекты отражательной способности	38
4.2.4	Схемы излучения погодных радаров и стратегии сканирования	39
4.2.4.1	Схемы излучения	39
4.2.4.2	Точное определение шума	40
4.2.4.3	Стратегии сканирования.....	41
4.2.4.4	Устранение эхо-сигналов от неподвижных объектов	41
4.2.5	Допплеровские радары	41
4.2.6	Радары с двойной поляризацией	41
4.2.7	Традиционные продукты базовых данных метеорологических радаров.....	42
4.2.7.1	Базовая отражательная способность	44
4.2.7.2	Средняя радиальная скорость	44
4.2.7.3	Ширина спектра	45
4.2.7.4	Продукты метеорологических радаров с двойной поляризацией	46
4.2.7.5	Продукты производных данных	46
4.2.8	Настоящие и будущие потребности в спектре	46
4.2.9	Уязвимые места погодных радаров.....	47
4.2.9.1	Типы возможных помех	48
4.2.9.2	Воздействие постоянных помех	48
4.2.9.3	Воздействие импульсных помех.....	50
4.2.9.4	Помехи от ветряных ферм.....	51
4.2.10	Восприимчивость систем, совместно использующих спектр с погодными радаром, к помехам.....	54
4.3	Радары для профилирования ветра (WPR)	54
4.3.1	Требования пользователя	55
4.3.2	Эксплуатационные и частотные аспекты	56
4.3.3	Существующие и перспективные потребности в спектре	57
4.3.4	Аспекты совместного использования частот устройствами для профилирования ветра	58

4.1 Введение

Метеорологические радары наземного базирования работают в радиолокационной службе и используются для оперативной метеорологии, прогнозирования погоды, исследования атмосферы, а также воздушной и морской навигации. Они играют важнейшую роль в процессах незамедлительного предупреждения о метеорологической и гидрологической ситуации. Они представляют собой "последнюю линию обороны", защищающую от гибели людей и утраты имущества при ливневых паводках или сильных штормах и как таковые относятся к числу наиболее известных спасательных средств в метеорологии.

Метеорологические радары, как правило, являются радаром объемного сканирования с остронаправленными лучами, обнаруживающими и измеряющими как интенсивность атмосферных осадков, так и скорость ветра. Они используются для прогнозирования формирования ураганов, торнадо и других опасных метеорологических явлений, а также для наблюдения за ходом штормов на их разрушительном пути. Современные радары позволяют отслеживать путь сильных и небольших штормов и предоставлять информацию об интенсивности осадков, которая используется составителями прогнозов для прогнозирования возможности ливневых паводков. Кроме того, они предоставляют необходимую информацию о сильных ветрах и возможности грозовых разрядов.

В настоящей главе рассматриваются радары наземного базирования, которые обычно используются в метеорологии, и их особенности по сравнению с другими радаром.

4.1.1 Типы метеорологических радаров

Первый и наиболее известный из типов радаров – это погодный радар. Такие радары предоставляют данные в пределах области вокруг его местоположения. Знакомые многим результаты работы этих радаров обычно показывают в телевизионных прогнозах погоды. В Таблице 4-1 приводятся полосы частот, которые обычно используются для операций погодных радаров.

ТАБЛИЦА 4-1

Основные полосы частот погодных радаров

Полоса частот (МГц)	Название диапазона
2 700–2 900	S-диапазон
5 250–5 725 (в основном 5 600–5 650 МГц)	C-диапазон
9 300–9 500	X-диапазон

Вторым типом метеорологического радара является радар профилирования ветра (WPR). Такие радары предоставляют данные из области приблизительно конусообразной формы, расположенной непосредственно над радаром. WPR – это относительно недавняя разработка, которая позволяет измерять скорость ветра – скорость и направление – как функцию от высоты над уровнем земли. При правильном оснащении WPR также может измерять температуру воздуха (как функцию от высоты). Полосы радиочастот, которые используются WPR, обычно расположены около 50 МГц, 400 МГц, 1000 МГц и 1300 МГц (более подробные сведения приводятся в п. 4.3).

Третий, менее распространенный тип, – это вспомогательный радар, который используется для отслеживания находящихся в полете радиозондов. Использование таких радаров рассматривается в Главе 3, посвященной радиозондам.

Все радары работают, испуская радиосигналы, которые отражаются от цели, такой как транспортные средства, поверхности, дождевые капли или турбулентные потоки в атмосфере. Хотя радары испускают мощные сигналы, отраженные сигналы радаров являются слабыми. Это объясняется тем, что излучаемый сигнал должен дважды пройти путь: один раз от радара до цели, а второй раз в обратном направлении. В случае метеорологических радаров такой недостаток даже еще усиливается, поскольку цель (являющаяся каплями осадков (дождь, град, снег и т. д.) или даже, в случае доплеровского метода, пылью, насекомыми или просто атмосферными помехами) не является особо эффективным отражателем. Значение отраженного сигнала связано с отражательной способностью цели и может различаться в зависимости от размера и характера цели. Потребность в получении таких слабых сигналов может обеспечиваться различным образом, например с помощью

более высокой мощности передатчиков, крупных антенн, которые обеспечивают ширину луча с большим усилением, сверхчувствительными приемниками и длительным временем интегрирования сигналов. Поэтому важнейшим требованием является относительно "спокойный" спектр – отсутствие антропогенного электронного шума и помех.

4.1.2 Уравнение дальности действия радара

Уравнение дальности действия радара (4-1) описывает отношение между мощностью отраженного сигнала и характеристиками радара и цели. Уравнение может быть представлено в следующем виде:

$$\overline{P_r} = \frac{\pi^3 \cdot P_t \cdot G^2 \cdot \theta^2 \cdot c \cdot \tau \cdot |K|^2 \cdot L \cdot Z}{2^{10} \cdot \lambda^2 \cdot R^2 \cdot \ln 2}, \quad (4-1)$$

где:

- $\overline{P_r}$: средняя мощность отраженного сигнала (W)
- P_t : выходная мощность передатчика (W)
- G : усиление антенны (без указания размеров)
- K : составной коэффициент рефракции (без указания размеров)
- λ : длина волны радара (м)
- c : скорость света (м/с)
- θ : ширина луча (рад) антенны по половинной мощности (3 дБ)
- τ : ширина импульса
- r : дальность до цели
- L : коэффициент потерь, связанный с распространением радиоволн и обнаружением приемника (дБ)
- Z : эффективная отражательная способность радара (м³).

Перестановка числителей приводит к легкому для понимания формулированию уравнения дальности действия радара (4-2), которое показывает различные вклады в принимаемую мощность с точки зрения постоянных величин и параметров, связанных с радаром и целью.

$$\overline{P_r} = \underbrace{\frac{\pi^3 c}{1024 \cdot \ln 2}}_{\text{Постоянные величины}} \cdot \underbrace{\frac{P_t \cdot G^2 \cdot \theta^2 \cdot L}{\lambda^2}}_{\text{Связанные с радаром параметры}} \cdot \underbrace{|K|^2 \frac{Z}{R^2}}_{\text{Связанные с целью параметры}}. \quad (4-2)$$

Уравнение (4-2) может применяться к распределенной цели, когда соблюдаются следующие условия:

- цель занимает всю длительность импульса;
- частицы расположены по всему участвующему региону;
- частицы осадков представляют собой однородные диэлектрические сферы небольших, в сравнении с длиной волны радара, диаметров;
- размер частиц удовлетворяет условиям рэлеевского рассеяния;
- диэлектрическая постоянная $|K|^2$ и распределение рассеивающих элементов по размерам являются однородными в рассматриваемом объеме V ;
- диаграмма направленности антенны может аппроксимироваться с помощью гауссовой формы;
- падающие волны и волны обратного рассеяния являются линейно поляризованными;
- воздействие многолучевого рассеяния не учитывается.

Логарифмическая форма уравнения дальности действия радара (4-2) [Doviak and Zrníc, 1984] приводится в уравнении (4-3):

$$Z(A_z, E_l, R) \text{ (dBZ)} = 10 \log(P_r) + 20 \log(R) - 10 \log(L_p) + 10 \log(C). \quad (4-3)$$

Это уравнение наиболее полезно тем, что оно иллюстрирует необходимость четко определенных параметров различных систем, для того чтобы производить точное измерение отражательной способности. Такие параметры включают:

- принимаемую мощность P_r (Вт);
- дальность R (м);
- азимутальный угол и угол места (градусы);
- чрезмерные потери при распространении L_p (дБ); и
- так называемую радарную постоянную S .

Радарная постоянная, как правило, включает такие параметры, как ширина луча антенны, ширина импульса, усиление преобразования приемника, а также потери в системе и на местах.

Следует подчеркнуть, что для радаров, отслеживающих отдельные цели, уравнение дальности действия радара дает принимаемый сигнал, пропорциональный $1/r^4$ (где r – расстояние). Для метеорологических радаров ситуация совсем другая, поскольку цели, такие как осадки, часто заполняют весь остронаправленный луч радара. В этом случае уравнение дальности действия радара дает принимаемый сигнал, пропорциональный $1/r^2$. В результате метеорологические радары предусматривают большие дальности обнаружения, но в силу этого более чувствительны к помехам.

4.2 Погодные радары

4.2.1 Требования пользователей

Метеорологи используют погодные радары, с одной стороны, для обнаружения, определения местонахождения и измерения объема осадков, которые находятся в облаках или выпадают из них, и, с другой стороны, для определения скорости ветра с использованием движения осадков или атмосферных частиц. Радары измеряют интенсивность осадков за конкретные периоды времени, а также движение осадков или атмосферных частиц в направлении антенны погодного радара или от нее, что позволяет измерять чередование в рамках метеорологических явлений. Это является важнейшим фактором при обнаружении опасных метеорологических явлений, таких как торнадо или ливневые паводки, а также при заблаговременном предупреждении. Основное требование пользователей к погодным радарам – обнаруживать твердые и жидкие осадки, а также оценивать интенсивность осадков и радиальную скорость³.

4.2.2 Сети погодных радаров

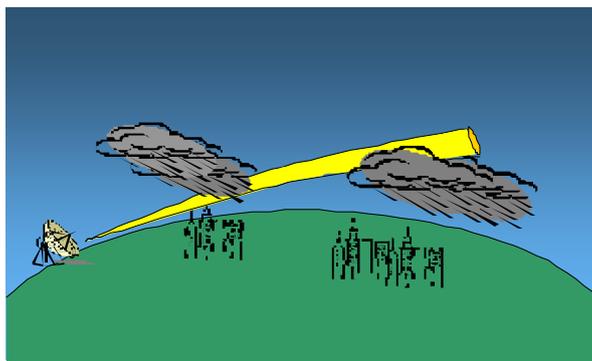
Основным недостатком погодных радаров является то, что интенсивность эхо-сигналов, которые возвращаются от конкретного метеорологического явления, обычно уменьшается с увеличением расстояния от радара. Это вызвано не только затуханием в свободном пространстве и другими видами затухания в атмосфере, но также и тем, что по мере увеличения расстояния от радара, луч радара удаляется от поверхности земли и становится шире. (Это связано с кривизной земной поверхности и углом места луча.) (См. Рисунок 4-1.)

Это приводит к уменьшению процентной доли метеорологических явлений, которые подсвечиваются лучом. Хотя часть явления в верхних слоях все еще может быть видна радару, то, что происходит в нижних слоях, может быть уже невидным. Осадки, которые выпадают на некотором расстоянии от радара, могут быть не обнаружены или могут проявляться с меньшей интенсивностью, что таким образом уменьшает дальность действия радара.

Чтобы преодолеть этот недостаток, как правило, равномерно располагают несколько радаров, которые образуют распределенные сети. Такие сети работают круглосуточно и в целом покрывают крупные районы, такие как страны или даже часть континента, в целях обнаружения и слежения за развитием метеорологических явлений, что таким образом дает возможность заблаговременного предупреждения об опасных метеорологических явлениях. Пример такой сети, которая включает радары как S-диапазона, так и C-диапазона и развернута в Западной Европе, приводится на Рисунке 4-2.

³ Это скорость перемещения осадков в направлении радара или от него (в радиальном направлении). Не приводится никакой информации о силе осадков. Осадки, перемещающиеся в направлении радара, имеют отрицательную скорость. Осадки, перемещающиеся от радара, имеют положительную скорость. Скорость осадков, перемещающихся перпендикулярно лучу радара (в области вокруг радара), будет равна нулю. Скорость приводится в узлах.

РИСУНОК 4-1

**Моделированное изображение
увеличения высоты луча радара с расстоянием**

Meteo-04-1

РИСУНОК 4-2

Пример сети погодных радаров

Meteo-04-2

Дополнительный подход к преодолению этого недостатка состоит в разработке небольших, недорогих, маломощных радаров X-диапазона, которые могли бы дополнять данные, получаемые от существующих сетей погодных радаров. Примером такой сети является (CASA²), которая, как ожидается, существенно улучшит зондирование вблизи поверхности земли с помощью процесса, называемого DCAS – дистрибутивное совместное адаптивное зондирование. В рамках процесса DCAS данные, полученные от нескольких радаров X-диапазона, будут сравниваться в реальном времени для использования в алгоритмах обнаружения, цифровом прогнозировании погоды и моделях транспортировки. В связи с явными преимуществами таких радарных сетей, ожидается, что

эта система обеспечит существенные усовершенствования в анализе и прогнозировании погодных условий на поверхности земли.

4.2.3 Эксплуатационные аспекты отражательной способности

Отражательная способность – это относящийся к радарам термин, означающий способность цели радара отражать энергию. Отражательная способность дождя η связана с относительной диэлектрической проницаемостью воды ϵ_r , диаметром капли D , в также длиной волны λ . Для дождевых капель, содержащихся в рассматриваемом объеме V , отражательная способность может быть выражена уравнением (4-4):

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 \sum_j D_j^6 / V \quad \text{м}^{-1}, \quad (4-4)$$

где $|K|^2$ равно 0,93 для жидкой воды и 0,18 для льда. Отражательная способность используется для оценки интенсивности осадков и интенсивности дождя и является показателем мощности отраженного сигнала.

В случаях выпадения осадков, когда размер дождевой капли известен (или предполагается), отражательная способность объема может быть соотнесена с общим объемом жидкой воды на удельный объем. Общий объем воды в сочетании с распределением капель по размеру и соответствующей конечной скоростью капель облегчает расчет интенсивности дождя.

Параметр Z отражательной способности радара может быть определен как:

$$Z = \frac{1}{V_e} \sum_i D_i^6, \quad (4-5)$$

где:

- Z : объем, который предполагается на основе эффективной отражающей поверхности рассеивающих объектов для общего количества сфер в данном объеме
- D : диаметр капли воды
- V_e : эффективный объем капли.

Объем Z связан с эффективной отражающей поверхностью на удельный объем η , определяемый по формуле:

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 Z, \quad (4-6)$$

где:

- Z : объем
- η : эффективная отражающая поверхность на удельный объем
- λ : длина падающей волны
- $|K|$: составной коэффициент рефракции.

Поскольку диаметр дождевых капель в рассеивающем объеме не одинаков, распределение дождевых капель может аппроксимироваться по формуле:

$$N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D), \quad (4-7)$$

где:

- $N(D)$: числовая концентрация диаметра
- D : диаметр
- ΛD : размер интервала
- N_0 и Λ : постоянные величины для конкретного метеорологического явления.

Когда известно распределение размеров дождевых капель, суммирование $\sum_i D_i^6$ в пределах удельного объема задается уравнением:

$$Z = \int_0^{\infty} D^6 N(D) dD. \quad (4-8)$$

Когда вертикальная скорость воздушного потока равняется нулю, интенсивность дождя, R , задается уравнением:

$$R = \frac{\pi \rho}{6} \int_0^{\infty} D^3 v_t(D) N(D) dD, \quad (4-9)$$

где:

- R : интенсивность дождя
- D^3 : объем дождевых капель, пропорциональный Z
- $v_t(D)$: конечная скорость дождевой капли диаметра D
- ρ : плотность воды.

Когда N_0 является постоянной величиной, связанное с этим отношение Z - R можно выразить уравнением (4-10):

$$Z = AR^b, \quad (4-10)$$

где Z обычно выражается как $\text{dB}_Z = 10 \log Z$ ($\text{мм}^6/\text{м}^3$), а A и b являются постоянными величинами. (A – постоянная рассеивания, а b – множитель частоты). Наиболее часто используемое отношение Z - R – это отношение Маршалла-Палмера, где $Z = 200 \cdot R^{1.6}$ Z и R выражаются в $\text{мм}^6/\text{мм}^3$ и $\text{мм}/\text{ч}$, соответственно. Однако отношение Z - R не является однозначно определяемым. Как A , так и b зависят от распределения размера капель (DSD), которое изменяется в зависимости от типа и интенсивности дождя.

4.2.4 Схемы излучения погодных радаров и стратегии сканирования

4.2.4.1 Схемы излучения

Для обеспечения обработки результатов сканирования области, в рамках так называемых "стратегий сканирования" (как правило, в пределах 10–15 мин.), в метеорологических радаров используются самые различные схемы излучения при разных углах места с применением наборов различной ширины импульса, PRF и скоростей вращения. Типичных схем не имеется, и они изменяются на основе ряда факторов, таких как функциональные возможности радара, среда, в которой работает радар, и требуемые метеорологические продукты.

В качестве примера, проведенное недавно изыскание по метеорологическим радарам С-диапазона в Европе показало следующие большие диапазоны значений различных параметров схем излучений:

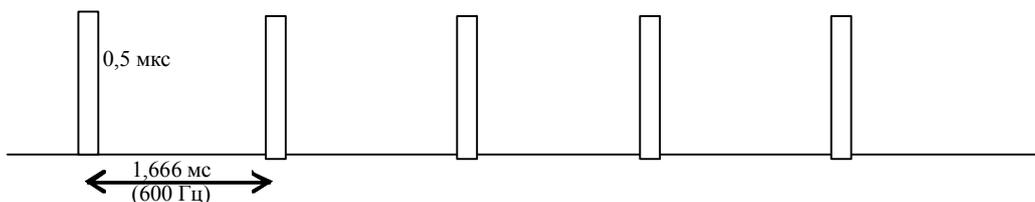
- операционный угол места – от 0° до 90° ;
- ширина импульса – от 0,5 до 2,5 мкс (для функционирующих радаров);
- частота повторения импульса (PRF) – от 250 до 1200 Гц;
- Скорость вращения – от 1 до 6 об./мин.;
- использование конкретных радаров с различными схемами излучения, в которых сочетаются различная ширина импульсов и PRF, и, в частности, использование постоянных, расположенных в шахматном порядке или чередующихся PRF (т. е. различных PRF в рамках отдельной схемы).

Пример различных схем излучения приводится на Рисунке 4-3.

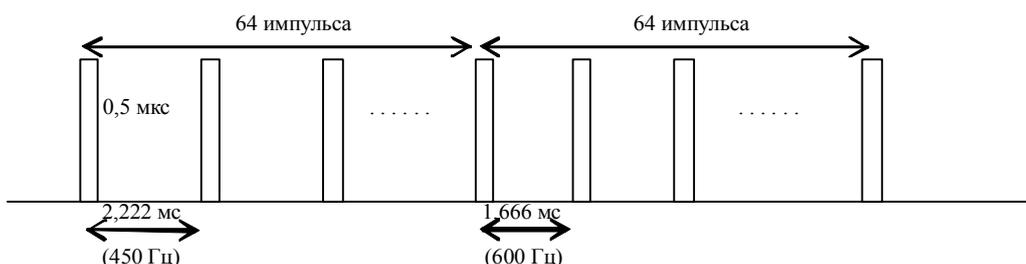
РИСУНОК 4-3

Некоторые типы схем излучения погодных радаров

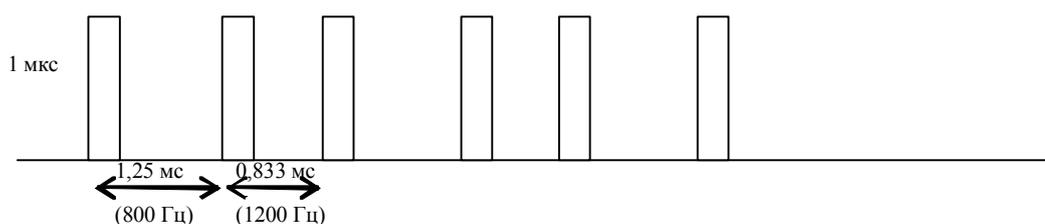
Постоянная PRF



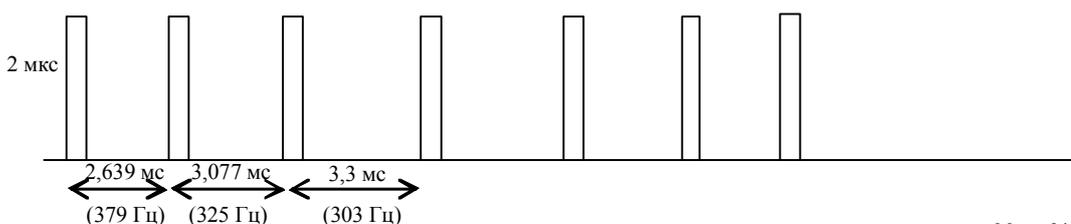
Расположенная в шахматном порядке PRF



Двойная чередующаяся PRF (двойная PRT)



Тройная чередующаяся PRF (тройная PRT)



Meteo-04-3

4.2.4.2 Точное определение шума

С учетом того, что отраженный сигнал поступает на метеорологические радары ослабленным, из сигнала следует вычесть уровень шума, с тем чтобы обеспечить наиболее точные измерения и получить необходимые метеорологические продукты.

Если обозначить уровень шума как N , а полезный сигнал (т. е. возвращенный метеорологический сигнал) как S , то метеорологические радары выполняют следующий процесс:

- 1 Для каждого селекторного импульса радар измеряет отраженный сигнал, который равен полезному сигналу (S) и шуму (N), т. е. $N+S$.
- 2 Для получения S радар из значения $N+S$ вычитает уровень шума N .
- 3 Затем на основе S с помощью доплеровского анализа радар может определить все метеорологические продукты, такие как осадки (dB_Z) или скорость ветра.

Для получения более точных метеорологических продуктов сигнал S должен быть как можно более точным, а это означает, что точное определение шума радаром имеет важнейшее значение.

В связи с этим точное определение шума, называемое также "**нуль-контроль**", осуществляется на регулярной основе либо во время очередных излучений радара (путем оценки), либо в периоды времени особых измерений (см. пример стратегии сканирования, приведенный ниже).

Следует отметить, что для ряда радаров такое измерение шума осуществляется без какого-либо излучения радара, а это означает, что оно могло бы влиять на проектирование некоторых радиосистем, целью которых является обнаружение сигналов радара для уменьшения помех, или, если во время такого точного определения шума появится какая-либо помеха, что она могла бы повлиять на все измерения радара после такого определения, а возможно и на всю стратегию сканирования. В частности, такая помеха более чем вероятно привела бы к представлению более низкого значения интенсивности осадков, чем в реальной ситуации, что будет иметь явные последствия для процессов функционирования и предупреждения.

4.2.4.3 Стратегии сканирования

Изложенные выше различные стратегии излучения используются в ряде радаров в их стратегиях сканирования, в ходе которых, при различных углах места и скоростях вращения, передается одна схема излучения. В этом случае также не имеется типичной стратегии сканирования, и такие стратегии различаются в зависимости от количества параметров, включая базовые метеорологические требования, среду работы радара, конкретные метеорологические условия и т. д.

Пример такой стратегии сканирования приводится на Рисунках 4-4 и 4-5.

4.2.4.4 Устранение эхо-сигналов от неподвижных объектов

Так называемые эхо-сигналы от неподвижных объектов включают несколько скрытых неподвижных компонентов; один из таких компонентов включает рассеяние низких частот, а второй – рассеяние более высоких частот (вследствие того, что растительность раскачивается ветром). Эхо-сигналы от целей, не являющихся осадками, известны под названием мешающие отражения, и их следует устранять. В современных погодных радарах используются различные методы устранения мешающих наземных отражений:

- При доплеровской фильтрации для сокращения мешающего наземного отражения используется фильтр верхних частот. Этот процесс эффективен в том случае, если радиальная скорость ветра выше частоты среза доплеровского фильтра.
- Статистическая фильтрация основана на том факте, что изменчивость относящихся к дождю показателей выше изменчивости показателей отражательной способности мешающего наземного отражения. Процесс статистической фильтрации эффективен, даже если радиальная скорость ветра равна нулю (тангенциальный дождь).
- Использование поляриметрического радара для подавления мешающего отражения от дождя или поверхности земли.

4.2.5 Доплеровские радары

Доплеровские погодные радары использовались более 30 лет в исследованиях атмосферы для измерения конвекции при грозах и для обнаружения фронтов порывов ветра, а в настоящее время широко используются для оперативных систем погодных радаров. В отличие от существовавших ранее радаров, доплеровское оборудование может определять не только существование и расположение отражающих целей, но и их радиальную скорость. Это позволяет измерять скорость ветра, обнаруживать торнадо, а также измерять поле ветра с использованием сканирования индикатора скорости и азимута.

Важной функциональной возможностью является устранение мешающего отражения от поверхности земли. Новые разработки в этой области направлены на когерентные передатчики, такие как клистроны или лампы бегущей волны (ЛБВ). Чистота спектральной фазы традиционных радаров в настоящее время ограничивается магнетронной технологией. Однако существующие магнетроны могут экономично передавать высокую среднюю мощность для увеличения отношения сигнал-шум.

4.2.6 Радары с двойной поляризацией

Технология поляриметрических радаров или радаров с двойной поляризацией позволяет определять рассеивающие объекты путем дистанционного зондирования их формы. Поляриметрические погодные радары могут использоваться для лучшего обнаружения атмосферных осадков, а также повышения надежности и точности показателей интенсивности осадков, которые требуются для гидрологических применений. Фактически падающие дождевые капли имеют тенденцию к

расплющиванию (исчезающие сферы), и чем больше размер капли, тем она более плоская в горизонтальном направлении. Сочетание измерения отражательной способности и фазы с использованием двух видов поляризации, горизонтальной (h) и вертикальной (v), позволяет более точно оценивать коэффициенты a и b в отношении $Z-R$.

Некоторые недавно разработанные алгоритмы, основанные на дифференциальном отношении отражательной способности Z_h/Z_v и дифференциальной фазы $\phi_h - \phi_v$, в которых принимается во внимание также дифференциальное ослабление, считаются весьма перспективными для получения точных оценок дождевых осадков.

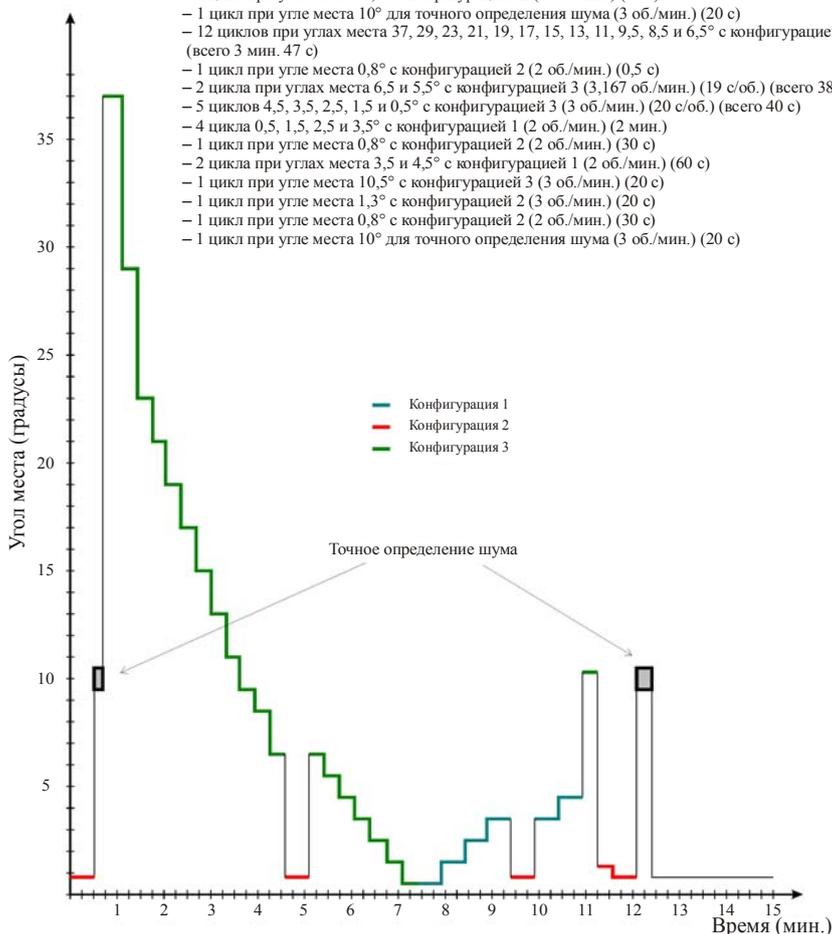
Помимо формы, атмосферные осадки характеризуются своими диэлектрическими постоянными, что является главным фактором при расчете площади рассеяния и площади ослабления. Диэлектрические характеристики атмосферных осадков различаются в зависимости от частоты, на которой работает радар, поскольку жидкая вода и лед сильно различаются. С использованием преимуществ таких характеристик были введены алгоритмы для различения дождя и снега и для количественной оценки жидкой воды и льда в облаках с использованием измерений дифференциального ослабления, произведенных с помощью двухдиапазонного радара.

РИСУНОК 4-4

Описание стратегии сканирования погодного радара

Типичная стратегия сканирования (общее время около 15 мин.):

- 1 цикл при угле места $0,8^\circ$ с конфигурацией 2 (2 об./мин.) (30 с)
- 1 цикл при угле места 10° для точного определения шума (3 об./мин.) (20 с)
- 12 циклов при углах места 37, 29, 23, 21, 19, 17, 15, 13, 11, 9,5, 8,5 и $6,5^\circ$ с конфигурацией 3 (3,167 об./мин.) (19 с/об.) (всего 3 мин. 47 с)
- 1 цикл при угле места $0,8^\circ$ с конфигурацией 2 (2 об./мин.) (0,5 с)
- 2 цикла при углах места $6,5$ и $5,5^\circ$ с конфигурацией 3 (3,167 об./мин.) (19 с/об.) (всего 38 с)
- 5 циклов $4,5, 3,5, 2,5, 1,5$ и $0,5^\circ$ с конфигурацией 3 (3 об./мин.) (20 с/об.) (всего 40 с)
- 4 цикла $0,5, 1,5, 2,5$ и $3,5^\circ$ с конфигурацией 1 (2 об./мин.) (2 мин.)
- 1 цикл при угле места $0,8^\circ$ с конфигурацией 2 (2 об./мин.) (30 с)
- 2 цикла при углах места $3,5$ и $4,5^\circ$ с конфигурацией 1 (2 об./мин.) (60 с)
- 1 цикл при угле места $10,5^\circ$ с конфигурацией 3 (3 об./мин.) (20 с)
- 1 цикл при угле места $1,3^\circ$ с конфигурацией 2 (3 об./мин.) (20 с)
- 1 цикл при угле места $0,8^\circ$ с конфигурацией 2 (2 об./мин.) (30 с)
- 1 цикл при угле места 10° для точного определения шума (3 об./мин.) (20 с)



Meteo-04-4

4.2.7 Традиционные продукты базовых данных метеорологических радаров

Допплеровские метеорологические радары создают три категории продуктов базовых данных на основе отраженных сигналов: базовая отражательная способность, средняя радиальная скорость и ширина спектра. Все продукты более высоких уровней формируются на основе этих трех базовых продуктов. При проектировании радаров в качестве основного требования к показателям работы часто указывается точность базовых продуктов. При отсутствии требуемой точности на этом низком уровне, не может быть достигнута точность продукта на более высоком уровне, как это показано в Таблице 4-2.

РИСУНОК 4-5

Схемы излучений, связанные со стратегией сканирования, которая показана на рисунке 4-4

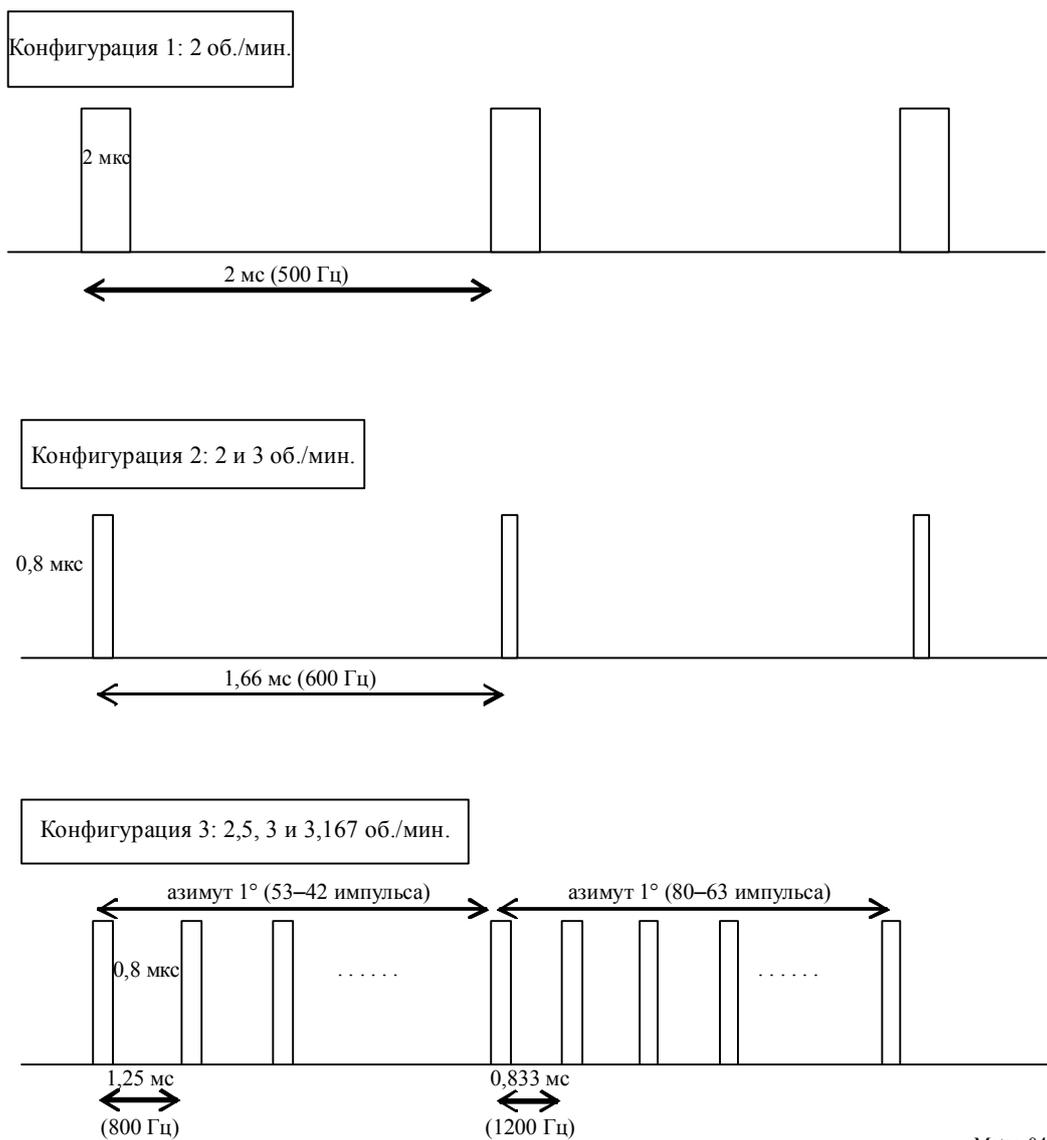


ТАБЛИЦА 4-2

Типичные требования к точности базовых данных метеорологических радаров

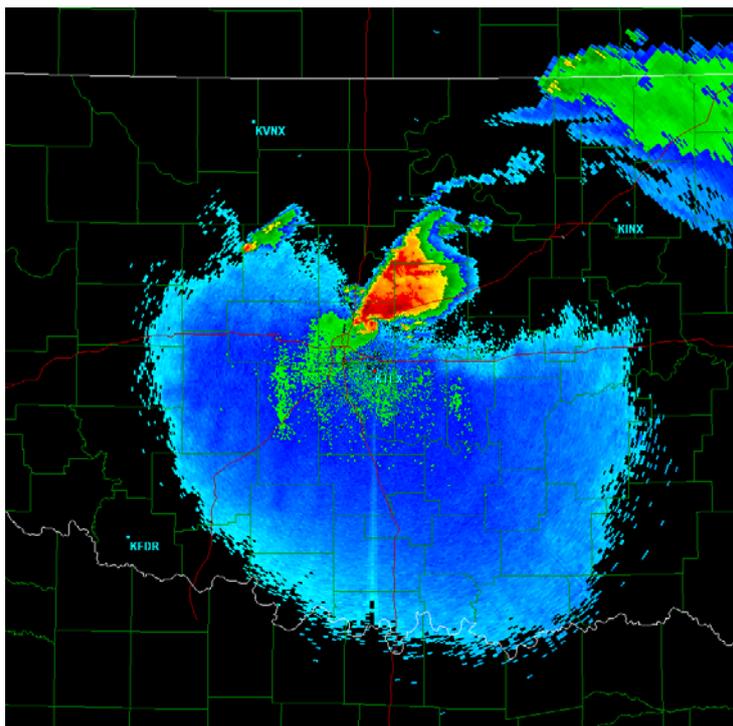
Продукт базовых данных	Проектное требование к точности
Базовая отражательная способность	< 1 дБ
Средняя радиальная скорость	< 1 м/с
Ширина спектра	< 1 м/с

4.2.7.1 Базовая отражательная способность

Базовая отражательная способность используется во многих применениях погодных радаров, наиболее важным из которых является оценка интенсивности дождя. Базовая отражательная способность представляет собой интенсивность отраженных импульсов и рассчитывается на основе линейного среднего от отраженной мощности. Любая помеха радару добавляется к мощности отраженного импульса и влияет на значения отражательной способности. Измерения отражательной способности могут быть поставлены под сомнение, если искажение превышает требования к точности базовых данных.

РИСУНОК 4-6

Типичное представление отражательной способности

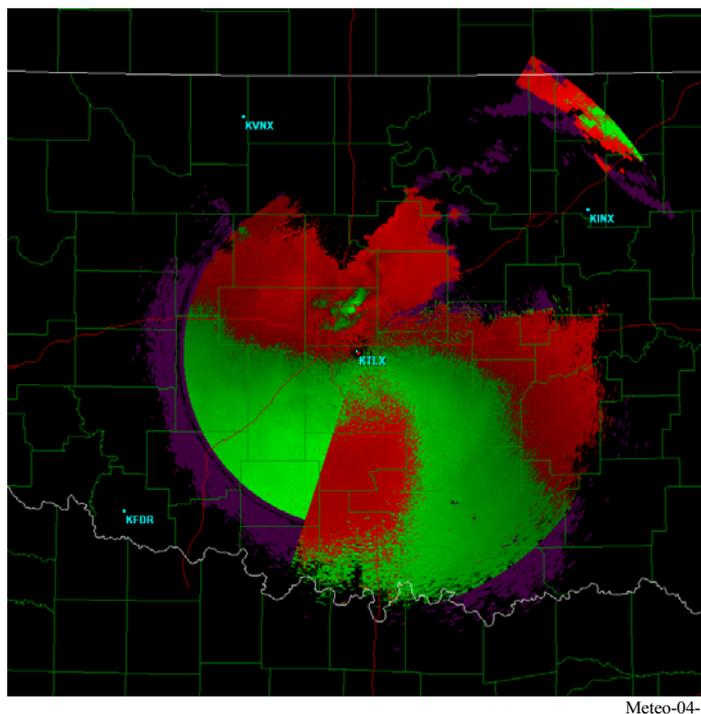


Meteo-04-6

4.2.7.2 Средняя радиальная скорость

Средняя радиальная скорость также известна под названием средняя доплеровская скорость и представляет собой взвешенную по отражательной способности среднюю скорость целей в определенной контрольной области. Средняя радиальная скорость относится к статичному моменту спектральной плотности; радиальная скорость – к базе данных. Она обычно определяется на основе большого количества последовательных импульсов и рассчитывается из аргумента комплексной вариации одиночного сдвига фазы. Аргумент комплексной ковариации обеспечивает оценку для углового смещения вектора доплеровского сигнала от одного импульса радара к другому. Угловая скорость доплеровского вектора равна смещению, деленному на интервал времени между импульсами. Доплеровский спектр показывает отражательную способность и взвешивание данных по распределению скоростей в радаре в пределах области его работы.

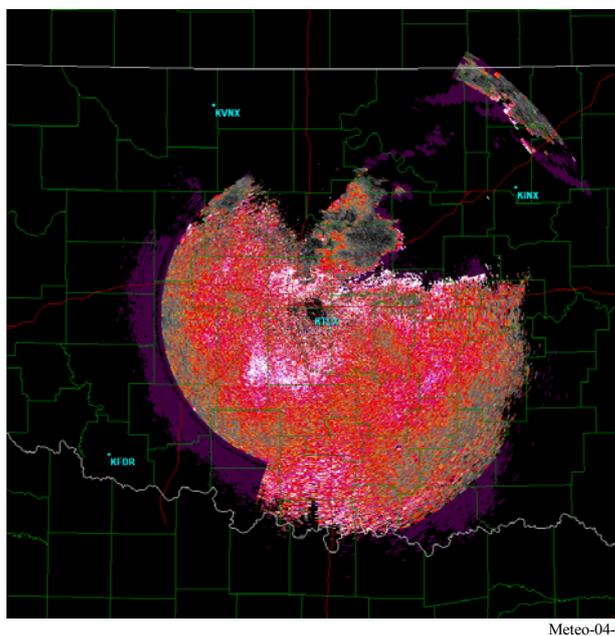
РИСУНОК 4-7
Типичное представление радиальной скорости



4.2.7.3 Ширина спектра

Для соответствия требованиям конструкции радара, ширина спектра рассчитывается на основе корреляции одиночного сдвига фазы исходя из гауссовой спектральной плотности. Она является показателем разброса скоростей в контрольной области работы радара и представляет собой стандартное отклонение от скорости спектра. Ширина спектра зависит от отражательной способности и градиентов скорости по всей длительности импульса, а также от турбулентности в пределах длительности импульса [Doviak and Zrníc 1984]. При расчетах ширины спектра усреднение замеров не применяется. Однако используется суммирование действительных и мнимых частей серий замеров, т. е. замеров, произведенных на радиусах.

РИСУНОК 4-8
Типичное представление ширины спектра



4.2.7.4 Продукты метеорологических радаров с двойной поляризацией

4.2.7.4.1 Дифференциальная отражательная способность

Дифференциальная отражательная способность – это продукт, который относится к поляриметрическим метеорологическим радарам и представляет собой отношение мощностей отраженных сигналов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Помимо прочего, это приемлемый показатель формы капель. В свою очередь, форма капель представляет собой приемлемую оценку среднего размера капель.

4.2.7.4.2 Коэффициент корреляции

Коэффициент корреляции – это продукт поляриметрического метеорологического радара и представляет собой статистическую корреляцию между мощностями отраженных сигналов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Коэффициент корреляции описывает сходные элементы в характеристиках обратного рассеяния горизонтально и вертикально поляризованных эхо-сигналов. Это приемлемый показатель для районов, где сочетаются различные типы осадков, такие как дождь и снег.

4.2.7.4.3 Показатель линейной деполяризации

Еще одним продуктом поляриметрического радара является показатель линейной деполяризации, который представляет собой показатель мощности отраженного сигнала в вертикальной плоскости от горизонтального импульса или мощности отраженного сигнала в горизонтальной плоскости от вертикального импульса. Это также приемлемый показатель для районов, где сочетаются различные типы осадков.

4.2.7.4.4 Конкретная дифференциальная фаза

Конкретная дифференциальная фаза – это также продукт поляриметрического метеорологического радара. Представляет собой сравнение разницы отраженных фаз между горизонтальным и вертикальным импульсами. Такая разница фаз вызвана различием в количестве фаз волн (или в длине волн) по всей трассе распространения для волн с горизонтальной и вертикальной поляризацией. Ее не следует путать с доплеровским сдвигом частоты, который вызывается движением облаков и частиц осадков. В отличие от дифференциальной отражательной способности, коэффициента корреляции и показателя линейной деполяризации, которые все зависят от отраженной мощности, конкретная дифференциальная фаза представляет собой "эффект распространения радиоволн". Это также очень хорошая оценка интенсивности дождя.

4.2.7.5 Продукты производных данных

С использованием продуктов базовых данных процессор производит для пользователя радара продукты более высокого уровня на основе производных данных. В настоящем документе не будут подробно рассматриваться продукты производных данных, поскольку они различаются для каждого конкретного радара и их количество довольно велико. Для обеспечения точности продуктов производных данных, продукты базовых данных необходимо тщательно поддерживать.

4.2.8 Настоящие и будущие потребности в спектре

Поскольку для ряда применений радиосвязи выбор полосы частот (или длины волны λ) в основном является результатом компромисса между дальностью/отражательной способностью, которая изменяется как λ^{-4} , затуханием в дожде, которое уменьшается по мере увеличения λ , становясь пренебрежимо малым на дециметровых длинах волны, а также точностью данных и стоимостью. Например, Ка-диапазон (около 35 ГГц, длина волны 8,6 мм) подходит для обнаружения небольших капель воды, которые встречаются в недождевых облаках (≤ 200 мкм), тогда как, с другой стороны, S-диапазон (2700–2900 МГц, длина волны 10 см) выбирается для обнаружения ливневых дождей на весьма большой дальности (до 300 км) в условиях тропического и умеренного климата.

S-диапазон (5600–5650 МГц, длина волны 5,4 см) в целом предпочтительно использовать в условиях умеренного климата, поскольку он обеспечивает приемлемый компромисс между указанными выше параметрами, давая возможность обнаружения дождя на большой дальности (до 200 км), хотя его количественная оценка фактически будет ограничиваться более 100 км, и также обеспечивая

преимущество более низких затрат в результате как более низкой мощности, так и меньшего размера антенны по сравнению с радаром, работающим на более низких частотах и имеющих такое же пространственное разрешение.

Погодные радары X-диапазона (9300–9500 МГц, длина волны 2,5–3,2 см) являются наиболее чувствительными и могут обнаруживать более мелкие частицы, но, поскольку характеризуются более высоким затуханием, используются только для наблюдений погоды только на весьма небольшой дальности (около 5 км). Такие радары используются для исследований развития облаков, поскольку они могут обнаруживать очень маленькие частицы воды, и также используются для обнаружения слабых осадков, таких как снег. Кроме того, в связи с их небольшим размером, погодные радары X-диапазона часто используются как мобильные переносимые установки. Выбор частоты метеорологического радара также определяет рабочие характеристики для максимально измеримой скорости ветра и максимальной дальности. В импульсном радаре время между импульсами определяет диапазон однозначного определения дальности⁴ для радара. Отражение от импульса должно возвратиться на приемник до передачи следующего импульса, или же принимаемый импульс становится нечетким. В доплеровских радарных системах частота повторения импульсов (PRF) определяет максимальную однозначную скорость, которую может измерить радар. При проектировании радара его конструктор ограничен значением произведения диапазона однозначного определения дальности и однозначной скорости – постоянной величины, которая задается уравнением:

$$R_m \cdot V_m = c \frac{\lambda}{8}, \quad (4-11)$$

где:

- R_m : диапазон однозначного определения дальности для радара (максимальная дальность, которую радар может измерить)
- V_m : однозначная скорость для радара (максимальная скорость, которую радар может измерить)
- c : скорость света (3×10^8 м/с)
- λ : длина волны сигнала радара.

Длина волны сигнала, устанавливаемая частотой, на которой работает радар, является единственным параметром, оставленным на усмотрение конструктора радара для наибольшего увеличения максимальной дальности работы радара и измерения радаром максимальной скорости. Уменьшение длины волны требует уменьшения эффективной дальности и возможности измерения эффективной скорости, или сочетания обеих мер, в таких же масштабах, что и увеличение по частоте. Чтобы ограничить воздействие неточности и улучшить значение произведения дальности и скорости, в современных погодных радаров, в частности С-диапазона, часто используются различные схемы излучения, сочетающие различные PRF (см. п. 4.2.4).

Значения приводятся для двух типов различных технологий: магнетронов и клистронов или ЛБВ, при этом последняя может передавать короткие излучаемые импульсы, характеризующиеся более широким спектром излучения. Некоторые магнетроны демонстрируют сдвиг частоты менее 1 МГц относительно широкого диапазона температуры окружающей среды. Для радаров с быстрым сканированием требуется большой объем спектра, например 10 МГц, ввиду использования сжатия импульса.

4.2.9 Уязвимые места погодных радаров

Погодный радар определяет дальность до целей (связанных с погодой) путем измерения времени, которое требуется для того, чтобы излучаемый сигнал распространился от передатчика до цели и вернулся в месторасположение радара. Время распространения зависит от длины трассы, а точность

⁴ Максимальный диапазон однозначного определения дальности – это самая большая дальность, на которую передаваемый импульс может распространяться и возвращаться к радару до передачи следующего импульса. Другими словами, максимальная однозначная дальность – это максимальное расстояние, на которое энергия радара может распространяться туда и обратно в период между импульсами и все еще давать надежную информацию.

его измерения в существенной степени зависит от времени нарастания и затухания импульса. Передний или задний фронт импульса представляет собой индикатор, с помощью которого измеряется время прихода отраженного импульса, и чем оно короче, тем выше возможная точность измерения.

Для сохранения краткого времени переноса импульса требуется линейность фазочастотных характеристик оборудования передатчика и приемника в относительно широкой полосе. Необходимая ширина полосы примерно пропорциональна более краткому из двух значений времени переноса импульса, а попытки уменьшить ширину полосы излучаемого сигнала (путем дополнительной фильтрации и т. д.) до величины, которая меньше необходимой, ухудшает точность системы. Требование в отношении необходимой ширины полосы часто удивляет тех, кто не знаком с радарными системами. Показатели работы также ухудшаются помехами, получаемыми в пределах необходимой ширины полосы радара.

Необходимо также принимать во внимание, что, хотя большинство передач радиосвязи предусматривают единичный проход трассы между антеннами с известными характеристиками, сигнал радара должен пройти эту трассу дважды при наличии мешающего отражения от объектов (дождевых капель, града, переносимых ветром веществ), не предназначенных для этой цели. Получаемые в результате сигналы чрезвычайно слабы. Несмотря на часто большую мощность передатчиков и высокочувствительные приемники, радары чрезвычайно чувствительны в шуму и помехам.

4.2.9.1 Типы возможных помех

Способность погодных радаров точно представлять текущее состояние атмосферных условий может ухудшаться под действием различных форм помех, которые могут ограничивать, или в худшем случае сводить на нет, способность радаров обнаруживать скорость и направление ветра на различных высотах, обнаруживать и отслеживать ураганы, тайфуны, торнадо, штормовые ветры и другие связанные со штормами явления. В связи с чувствительностью радаров, мешающие сигналы могут значительно ухудшать показатели работы погодных радаров. В силу этого важно определить типы помех, которые могут ухудшить эксплуатационные возможности радаров.

Основными типами помех, которые могут испытывать погодные радары, являются постоянные, изменяющиеся во времени, назойливые сигналы типа импульсов. Как только эти формы помех выявлены, можно затем установить максимальный уровень помех, которые могут вынести метеорологические радарные системы, прежде чем их возможность прогнозирования не будет поставлена под угрозу.

В соответствующих Рекомендациях МСЭ-R содержатся уровни защитных критериев радаров для метеорологических радаров и, в частности, максимальное значение $I/N = -10$ дБ для постоянных помех.

4.2.9.2 Воздействие постоянных помех

4.2.9.2.1 Географическое покрытие

Постоянные помехи могут уменьшать дальность действия радара, приводя к ограничению географической зоны покрытия ввиду соответствующего увеличения шума. Современное покрытие метеорологических радаров достигает приблизительно 200 км. В Таблице 4-3 в кратком виде приводятся потери в дальности и покрытии по мере увеличения помех (шума).

4.2.9.2.2 Интенсивность дождя

Постоянные помехи могут также приводить к увеличению получаемой радаром энергии, что может воздействовать на измерения отражательной способности, связанной с различными типами осадков (например, дождя, снега и града). В Таблице 4-4 в кратком виде приводятся данные об увеличении процентных значений для нескольких видов выпадающих осадков по мере увеличения помех (шума).

ТАБЛИЦА 4-3

Потери в дальности и покрытии

Увеличение шума (дБ)	Соответствующее отношение I/N (дБ)	Потери в покрытии (км)	Потери в покрытии (% относительно поверхности)
0,5	-10	11	11%
1	-6	22	21%
2	-2,3	42	38%
3	0	59	50%
4	1,8	75	61%
5	3,3	88	69%
6	4,7	100	75%
7	6	111	80%
8	7,3	121	84%
9	8,4	130	88%
10	9,5	137	90%

ТАБЛИЦА 4-4

Увеличение интенсивности осадков

Увеличение шума (дБ)	Соответствующее отношение I/N (дБ)	Увеличение интенсивности осадков в атмосферном слое (%)	Увеличение интенсивности конвекционных осадков (%)	Увеличение интенсивности снега (%)	Увеличение интенсивности града (%)
0,5	-10	7,5	8,0	5,9	9,3
1	-6	15,5	16,6	12,2	19,5
2	-2,3	33,4	35,9	25,9	42,9
3	0	54,0	58,5	41,3	70,8
4	1,8	77,8	84,8	58,5	104,2
5	3,3	105,4	115,4	77,8	144,1
6	4,7	137,1	151,2	99,5	191,8
7	6	173,8	192,9	123,9	248,8
8	7,3	216,2	241,5	151,2	317
9	8,4	265,2	298,1	181,8	398,5
10	9,5	321,7	364,2	216,2	495,9

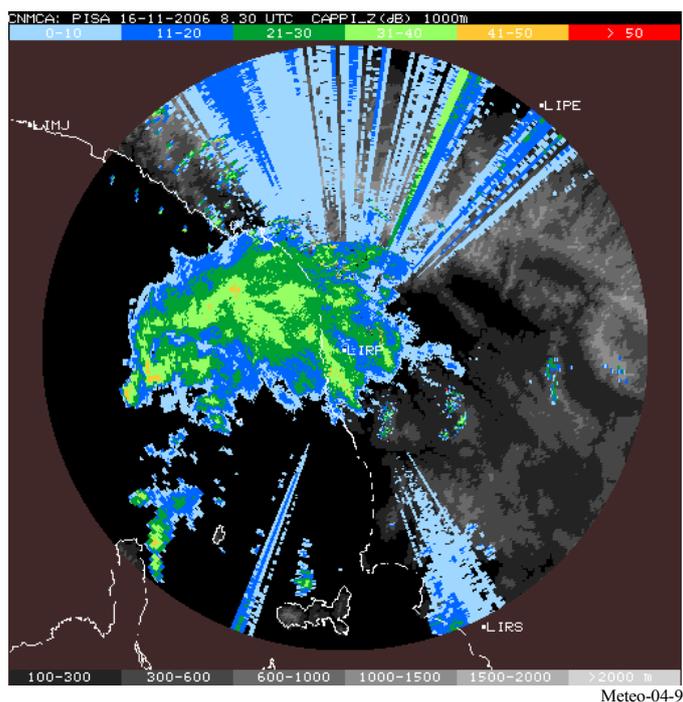
Следует отметить, что увеличение помех не привело бы к изменению способности радаров обнаруживать дождевые элементы (т. е. измерение, которое не считалось дождевым элементом, по-прежнему не будет им считаться), а воздействовало бы только на показатели интенсивности дождя.

Интересно также отметить, что, в том что касается уменьшения покрытия или завышенной оценки интенсивности дождя, действующий в настоящее время согласованный критерий защиты в -10 дБ I/N представляет собой ухудшение показателей работы радара на 7–11% по сравнению с выраженным в процентном отношении ухудшением показателей работы, обычно согласованным для всех служб радиосвязи.

Пример воздействия постоянных помех на режим работы радара в условиях осадков приводится на Рисунке 4-9. Важно подчеркнуть, что, хотя помехи и являются постоянными, их различное воздействие обусловлено вращением антенны, при этом максимальные помехи (выделены на данном рисунке зеленым цветом) создаются на азимуте источника помех.

РИСУНОК 4-9

Пример помех для режима работы погодного радара в условиях осадков



4.2.9.2.3 Измерение ветра

В случае доплеровских измерений, оценка воздействия какой-либо конкретной постоянной помехи несколько другая, и она зависела бы в особенности от того, как фаза мешающего сигнала может изменять фазу полезного сигнала, воздействующего на полученное измерение ветра.

Несомненно, это последнее допущение не очень легко определить, и оно будет зависеть от сигнала и/или среды. Однако предлагается рассмотреть различные ситуации на теоретической основе:

- *Случай 1* – Если фаза обнаруженного радаром мешающего сигнала является произвольной, это означает, что получаемый в результате вектор будет нулевым, каким бы ни был его уровень. Следовательно, теоретически он не будет оказывать какого-либо воздействия на измерения ветра.
- *Случай 2* – И наоборот, если обнаруженная фаза не является произвольной, а практически постоянной, результатом этого был бы постоянный вектор с определенным модулем, а воздействие на измерение ветра будет зависеть как от фазы, так и от модуля такого вектора. Однако определить такое воздействие, даже для уровня постоянных помех, вряд ли просто, и поэтому на данном этапе оно не определяется.

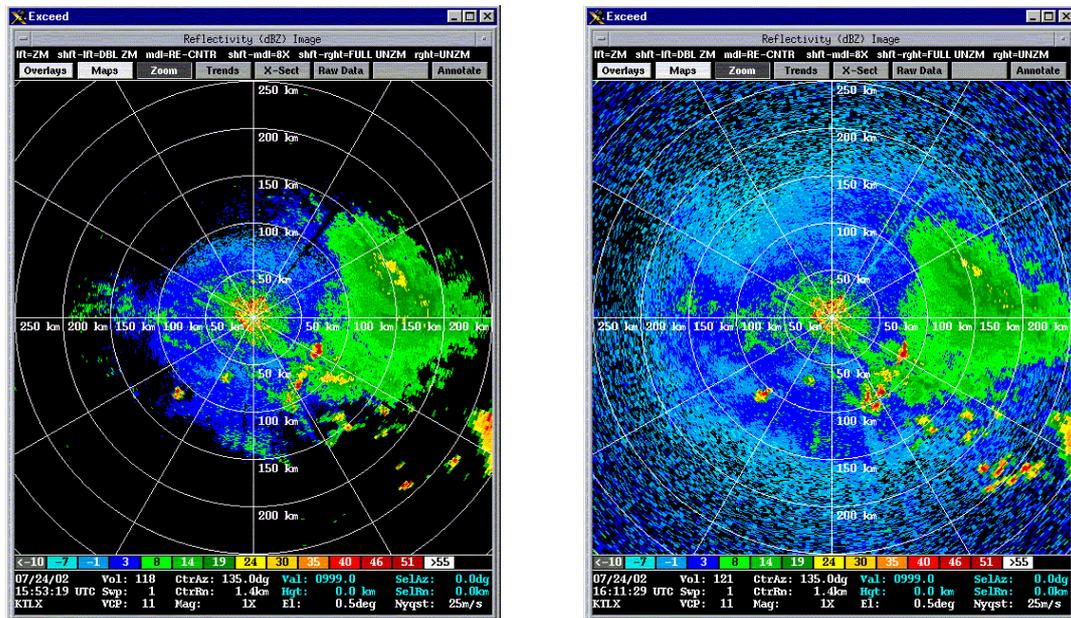
Кроме того, можно также предположить, что, когда уровень помех значительно ниже уровня полезного сигнала, фаза этого последнего сигнала не изменяется, тогда как, наоборот, если мешающий сигнал существенно выше, то обнаруженная радаром фаза будет фазой мешающего сигнала. При последней ситуации обсуждения изложенных выше случаев 1 и 2 остаются в силе. Между этими двумя ситуациями, т. е. когда уровни как мешающего, так и полезного сигналов являются постоянными, представляется довольно сложным оценить, каким из сигналов будет обуславливаться обнаружение фазы.

4.2.9.3 Воздействие импульсных помех

Импульсные помехи могут оказывать существенное воздействие на данные по отражательной способности, которые метеоролог использует для прогнозирования опасных метеорологических явлений. В некоторых случаях импульсная помеха могла бы привести к тому, что возвращаемые данные не могли бы дать надежное изображение целей в атмосфере. Пример этого приведен на Рисунке 4-10.

РИСУНОК 4-10

**Сравнение воздействия отсутствия помех
и искажения помехами на режим работы погодного радара в условиях осадков**



Отсутствие помех

Искажение помехами

Meteo-04-10

4.2.9.4 Помехи от ветряных ферм

В последние годы создаются ветряные турбины все больших размеров, что частично объясняется к.п.д. генераторов, желанием использовать более мощные, более высокие ветряные фермы, к.п.д. генераторов и т. д. Несомненно, основной движущей силой этого являются экономические стимулы, и был проведен тщательный анализ побудительных мотивов для конструирования ветряных турбин больших размеров. Типичная структура турбины состоит из башни, гондолы, ротора и трех лопастей. Типичный производственный комплекс, или ветряная ферма, состоит из многих генераторов ветряных турбин. Ветряные турбины и фермы, даже на довольно больших расстояниях, создают значительную вероятность ухудшения метеорологических данных над весьма крупными областями и могут оказывать заметное воздействие на информацию о фактической погоде и на прогнозы погоды.

Для точного прогнозирования погоды погодные радары спроектированы таким образом, чтобы проверять сравнительно узкий диапазон высот. В связи с чувствительностью радаров ветряные турбины, если они устанавливаются в пределах видимости установки погодного радара, могут значительно ухудшать показатели работы погодных радаров. Существуют три механизма, которые могут привести к ухудшению показателей работы: маскирование, мешающее отражение и обратное рассеяние.

4.2.9.4.1 Маскирование

Любые географический объект или сооружение, которые расположены между радаром и целью, вызывают эффект затенения или маскирования. Нельзя исключать возможность возникновения эффекта затенения за счет ветряных турбин, в зависимости от их размеров. Можно ожидать, что степень такого воздействия будет различной, в зависимости от габаритов турбины, типа передающего радара и ориентации турбины по отношению к радару.

4.2.9.4.2 Мешающие отражения

Радар может принимать сигналы, отраженные от любой поверхности, которая способна их отражать. В конкретных географических районах или при определенных метеорологических условиях отрицательное воздействие на показатели работы радара могут оказывать нежелательные отраженные сигналы, которые могут маскировать полезные сигналы. Такие нежелательные отраженные сигналы называются мешающими отражениями. Ветряная турбина или турбины, расположенные на близком расстоянии от погодного радара, могут создавать синоптикам проблемы в работе.

Сигналы, вызванные мешающими отражениями от наземных предметов, характеризуют высокую отражательную способность этих предметов, имеют почти нулевой доплеровский сдвиг и малую ширину спектра и всегда локализованы. По сравнению с постоянно возникающими мешающими отражениями от наземных предметов, помехи, создаваемые ветряными турбинами, являются существенно более сложной проблемой. Принимаются сигналы, зеркально отраженные и от (неподвижных) башенных опор, и от (движущихся) лопастей. Как и при мешающих отражениях от наземных предметов, сигналы, вызванные мешающими отражениями от ветряных турбин, также характеризуют высокую отражательную способность турбин и модулируются под воздействием вращения лопастей, которое приводит к систематическому изменению эффективной площади отражения цели.

Доплеровский сдвиг обусловлен несколькими факторами, включая скорость вращения лопастей и ориентацию ротора по отношению к лучу радара. Доплеровская скорость будет максимальной, если ротор расположен под углом 90° к линии прямой видимости радара, и почти нулевой, если ротор повернут к радару либо лицевой, либо тыльной стороной. Учитывая вероятность попадания всего сооружения ветряной мельницы в область разрешения радара, представляется, что ширина спектра существенно увеличится. Это вызвано тем, что лопасти вращаются в направлении от радара и к нему. При попадании нескольких турбин в область разрешения одного радара этот эффект лишь усиливается.

4.2.9.4.3 Энергия обратного рассеяния, возникающего в результате турбулентных вихрей

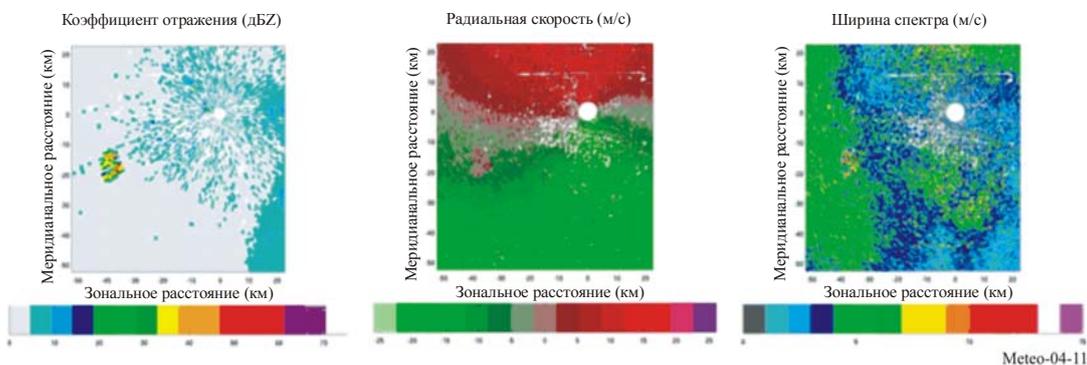
Помимо сигналов вследствие мешающих отражений от турбин, создаваемых за счет отражений от реальных ветряных турбин, может появляться энергия обратного рассеяния, которая возникает в результате турбулентных вихрей, являющихся следствием работы ветряных ферм. Представляется, что эти эхо-сигналы обладают теми же свойствами, что и сигналы обратного рассеяния в безоблачном воздухе в результате скачков показателя преломления брэгговской длины волны радара. Эти эхо-сигналы в турбулентном следе будут дрейфовать вместе с полем ветра и, вероятно, будут характеризовать гораздо более низкую отражательную способность по сравнению с зеркальными отражениями от турбин. Тем не менее, они могут существенно увеличивать часть зоны обзора радара, которая затронута мешающими отражениями от ветровых турбин, и, следовательно, усугубить эту проблему.

4.2.9.4.4 Примеры мешающих отражений от ветровых турбин

На Рисунке 4-11 [Palmer and Isom, 2006] представлены два различных примера помех, создаваемых ветряными фермами⁵. Ожидается, что коэффициент отражения будет большим, и его значение составит порядка 45 дБZ, при этом ширина спектра будет периодически принимать большое значение, превышающее 10 м/с. Отчетливо виден относительно небольшой район с высоким коэффициентом отражения к юго-западу от радара, который соответствует расположению ветряной фермы, удаленной от места расположения погодного радара приблизительно на 45 км.

РИСУНОК 4-11

Примеры помех, создаваемых ветряными фермами погодным радаром, в условиях ясного неба

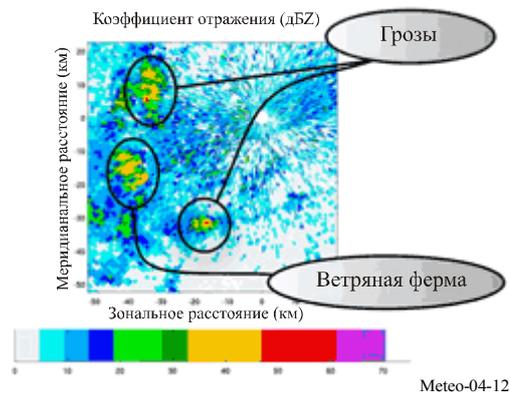


На Рисунке 4-12 изображена та же самая ветряная ферма во время бури.

⁵ Ветряные фермы – это объединенные в группы ветряные турбины, которые используются для выработки электроэнергии.

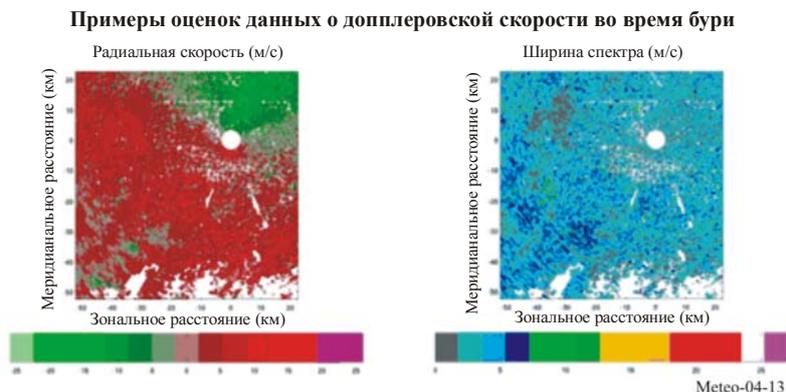
РИСУНОК 4-12

Пример помехи, создаваемой ветряной фермой, и ее влияние на коэффициент отражения во время одиночной бури



Не имея предварительных знаний чрезвычайно трудно отличить влияние мешающих отражений, вызванных ветряными турбинами, от влияния грозы. В связи с тем, что лопасти вращаются по направлению к радару и от него, можно ожидать почти нулевую медианную доплеровскую скорость. Как показано на Рисунке 4-13, большая ширина спектра, безусловно, снижает точность оценок доплеровской скорости за счет небольших отклонений от нуля.

РИСУНОК 4-13



4.2.9.4.5 Воздействие мешающих отражений от ветряных турбин на работу и точность прогнозирования метеорологического радара

Недавно проводились исследования на местах, которые продемонстрировали воздействие мешающих отражений от ветряных турбин на погодные радары. Эти исследования показали, что фермы из ветряных турбин могут оказывать существенное влияние на метеорологические радары и сами по себе могут ухудшать точность обнаружения опасных метеорологических явлений.

Результаты анализа ясно показали, что мешающие отражения, создаваемые ветряными турбинами, присутствуют на больших секторах (несколько десятков градусов) относительно направления на ветряную турбину, даже на довольно больших расстояниях. Следовательно, воздействием ветряных турбин на прием погодным радаром отраженных сигналов нельзя пренебрегать.

В частности, из результатов анализа следует, что воздействие одной одиночной ветряной турбины на работу погодного радара в доплеровском режиме является весьма значительным даже на расстояниях в несколько десятков километров. Следует также подчеркнуть, что на расстояниях менее 10 км все данные радара содержат ошибки по всем азимутам, даже при угле 180° относительно сектора, в котором расположена ветряная ферма.

Для защиты метеорологических радаров от вредных помех, создаваемых ветряными фермами, требуется применять ряд методов ослабления влияния мешающих отражений от ветряных турбин. Прежде чем делать какие-либо окончательные выводы относительно методов обработки,

применяемых для ослабления влияния мешающих отражений от ветряных турбин, следует провести дополнительное изучение этого влияния, с тем чтобы понять всю глубину данного явления и его воздействие на метеорологические радары. После того, как это сделано, возможно, потребуется разработать методы ослабления влияния мешающих отражений от ветряных турбин, учитывая ожидаемый рост количества систем на основе ветрогенераторов.

До того как будут получены результаты проводимых исследований, которые касаются ослабления влияния помех метеорологическим радарам, создаваемых ветряными турбинами, оперативное решение, направленное на недопущение или ограничение воздействия ветряных ферм, состоит в том, чтобы обеспечить необходимое расстояние разнеса между двумя системами. Например, в ряде европейских стран в настоящее время рассматриваются следующие рекомендации:

- 1 Ни одна ветряная турбина не должна развертываться от антенны радара на расстоянии, меньше чем:
 - 5 км для радаров в диапазоне C;
 - 10 км для радаров в диапазоне S.
- 2 Проекты ветряных парков должны проходить процедуру изучения воздействия, если речь идет о расстоянии, меньше чем:
 - 20 км от радаров в диапазоне C;
 - 30 км от радаров в диапазоне S.

4.2.10 Восприимчивость систем, совместно использующих спектр с погодными радаром, к помехам

Как отмечалось выше, мощность передатчика и усиление антенны погодного радара являются, как правило, достаточно высокими, с тем чтобы компенсировать увеличенную длину трассы (типичное значение пиковой э.и.м. составляет около 100 дБВт). Эти характеристики приводят к увеличению расстояния, на котором радар может причинять помехи системам, работающим на той же самой частоте (при должном учете ширины канала радара). Кроме того, имеют место случаи, когда радары и фиксированные микроволновые линии, которые совместно работали на протяжении некоторого времени, становятся несовместимыми при модернизации микроволновой системы путем замены аналогового оборудования цифровым, при этом повышается восприимчивость к импульсной помехе.

4.3 Радары для профилирования ветра (WPR)

Радары для профилирования ветра используются в целях получения вертикальных профилей ветра в необслуживаемых и, в некоторых случаях, удаленных районах путем обнаружения очень малых долей излученной мощности, обратно рассеянной за счет турбулентности в безоблачной атмосфере. На Рисунке 4-14 приводится фотография типовой установки радара для профилирования ветра.

РИСУНОК 4-14

Фотография установленного радара для профилирования ветра



Meteo-04-14

Одним из главных преимуществ приборов для профилирования ветра перед другими системами измерения ветра является их способность осуществлять непрерывный мониторинг поля ветра. Кроме того, они также могут использоваться для обнаружения осадков, измерения основных возмущений в поле вертикальной скорости (гравитационных волн и восходящих конвекционных потоков), измерения интенсивности турбулентности и устойчивости атмосферы. Эти приборы также могут предоставлять подробную информацию о виртуальной температуре атмосферы за счет добавления системы радиоакустического зондирования (РАСС)⁶.

4.3.1 Требования пользователя

Подходящим способом для изучения воздействия требований пользователя к эксплуатационным параметрам и конструкции устройств для профилирования ветра является рассмотрение следующего уравнения, выведенного из [Gossard and Strauch, 1983]:

$$SNR = \text{const} \frac{\bar{P}_t A_e \Delta_z \lambda^{1/6} t_{obs}^{1/2}}{T_{sys}} \frac{C_n^2}{z^2}, \quad (4-12)$$

где:

- \bar{P}_t : средняя мощность передатчика (Вт)
- A_e : эффективная апертура (градусов)
- Δ_z : разрешение по высоте (м)
- z : высота (м)
- λ : длина волны (м)
- t_{obs} : время наблюдения (усреднения) (с)
- T_{sys} : шумовая температура системы (К)
- C_n^2 : структурный параметр (безразмерный).

В этом уравнении структурный параметр не зависит от частоты, но имеет сильную зависимость от высоты. Частотная зависимость практически полностью выражается через параметр длины волны, однако на низких частотах существенный вклад в шумовую температуру удачно сконструированного радарного приемника вносит космический шум. Кроме того, это уравнение справедливо только для инерционного поддиапазона атмосферной турбулентности, что фактически ограничивает выбираемую длину волны радара для профилирования ветра диапазоном приблизительно 10–0,2 м (30–1500 МГц). Следует отметить, что турбулентность быстро исчезает по мере нагрева за счет трения за пределами инерционного поддиапазона, а также на коротких волнах.

Требование пользователя к высокому разрешению по времени приводит к уменьшению отношения сигнал/шум вследствие сокращения времени усреднения. Это требование можно удовлетворить путем выбора некоторого сочетания:

- большой апертуры;
- высокой импульсной мощности и высокой частоты повторения импульсов (ЧПИ), с тем чтобы увеличить среднюю мощность;
- длиной волны; и
- работы в диапазоне высот вблизи радара, при которой высокая ЧПИ не приводит к возникновению проблем с неоднозначностью по дальности и при которой обратное рассеяние в атмосфере и величина, обратная квадрату высоты, являются относительно большими.

Требование пользователя к высокому разрешению по вертикали приводит к уменьшению отношения сигнал/шум в связи с необходимостью использования более коротких импульсов и снижения тем самым медианного значения мощности. Для обеспечения высокого разрешения по вертикали требуется полоса большой ширины. Это требование можно удовлетворить путем выбора некоторого сочетания:

⁶ В РАСС используется акустический источник, частота которого подобрана таким образом, чтобы длина волны акустического колебания была очень близка к половине длины волны электромагнитного колебания, излучаемого радаром. РАСС измеряет скорость акустического колебания, которая зависит от температуры. Таким способом РАСС осуществляет дистанционное измерение виртуальной температуры атмосферы.

- большой апертуры;
- высокой пиковой мощности, высокой ЧПИ, и сжатия импульсов для увеличения средней мощности;
- длинной волны; и
- работы в диапазоне высот вблизи радара, при которой высокая ЧПИ не приводит к возникновению проблем с неоднозначностью по дальности, и при которой обратное рассеяние в атмосфере и величина, обратная квадрату высоты, являются относительно большими.

Следует отметить, что использование сжатия импульсов (для увеличения длительности импульса) означает, что высота наименьшего строга дальности должна увеличиться.

Требование пользователя относительно получения данных о скорости и направлении ветра на больших высотах приводит к уменьшению отношения сигнал/шум в связи со снижением величины, обратной квадрату высоты, а также в связи с тем, что, хотя это и не очевидно из уравнения, при увеличении высоты уменьшается структурный параметр и сужается инерционный субдиапазон со стороны коротких волн (высоких частот). Это требование можно удовлетворить путем выбора некоторого сочетания:

- большой апертуры;
- высокой пиковой мощности и сжатия импульсов для увеличения средней мощности;
- длинной волны; и
- большого времени усреднения.

Кроме того, в условиях слабого рассеяния в атмосфере, для выполнения требования пользователя, касающегося надежной работы при любых погодных условиях, необходимо соответствующее отношение сигнал/шум. Такая ситуация характерна для периодов низкой влажности в зимнее время и для случаев низкой турбулентности, т. е. случаев, когда струйные течения наблюдаются на высоте 10–15 км. Это требование можно удовлетворить путем выбора некоторого сочетания:

- полосы частот;
- высокой средней мощности и апертуры антенны;
- более высокой чувствительности приемника; и
- низкого уровня помех и шумов в системе.

4.3.2 Эксплуатационные и частотные аспекты

Обеспечение антенны с большой апертурой и высокой средней излучаемой мощностью является дорогостоящим. Стоимость антенны и усилителя мощности радара для профилирования ветра часто составляет более половины общей стоимости устанавливаемой системы. Поэтому применение достижений технологии в этих областях не относится к привлекательным вариантам улучшения показателей работы.

Однако в том, что касается апертуры антенны, имеется еще один фактор, который следует учитывать, и который определяет минимальный размер. Работа многолучевых устройств для профилирования основана на том, что для получения данных главный луч последовательно отклоняется на два или четыре ортогональных азимута при углах места, составляющих порядка 75° и, зачастую, до вертикального положения. Луч антенны должен быть достаточно узким, чтобы можно было очертить два, четыре или пять положений луча. Используются антенны с полной шириной диаграммы направленности по уровню 3 дБ, составляющей от 5° до 10° , что соответствует усилению антенны от 33 до 27 дБи, соответственно. Усиление определяет эффективную апертуру через уравнение (4-13):

$$A_e = 10^{G/10} \lambda^2 / 4\pi. \quad (4-13)$$

В связи с помехами и перегруженностью радиочастотного спектра, а также с применением по этой причине регулирования, частоты радаров для профилирования ветра не могут выбираться произвольно. Для ряда применений с высокими требованиями, например радара по исследованию верхней и средней атмосферы, расположенного в Японии, а также радаров на Восточном и Западном стартовых полигонах в Соединенных Штатах Америки, потребовалось использовать очень большие (порядка $10\,000\text{ м}^2$), мощные (пиковая мощность 250 кВт и выше, средняя мощность – 12,5 кВт и выше), коротко-импульсные (1 мкс) радары, работающие на частотах около 50 МГц. Научно-исследовательские организации также эксплуатируют другие устройства для профилирования, работающие на частотах между 40 и 70 МГц, при условии что эти устройства не должны создавать помех.

Устройства для профилирования, работающие в диапазоне 400–500 МГц предназначены для:

- измерения профилей ветра на расстояниях порядка 0,5–16 км над радаром с разрешением по вертикали, составляющим 250 м на малых высотах, и 1000 м – на больших высотах, с использованием антенн с усилением около 32 дБи;
- медианные значения мощности составляют порядка 500 Вт и 2000 Вт при малых и больших высотах зондирования, соответственно;
- при этом работа осуществляется с использованием необходимой ширины полосы менее 2 МГц.

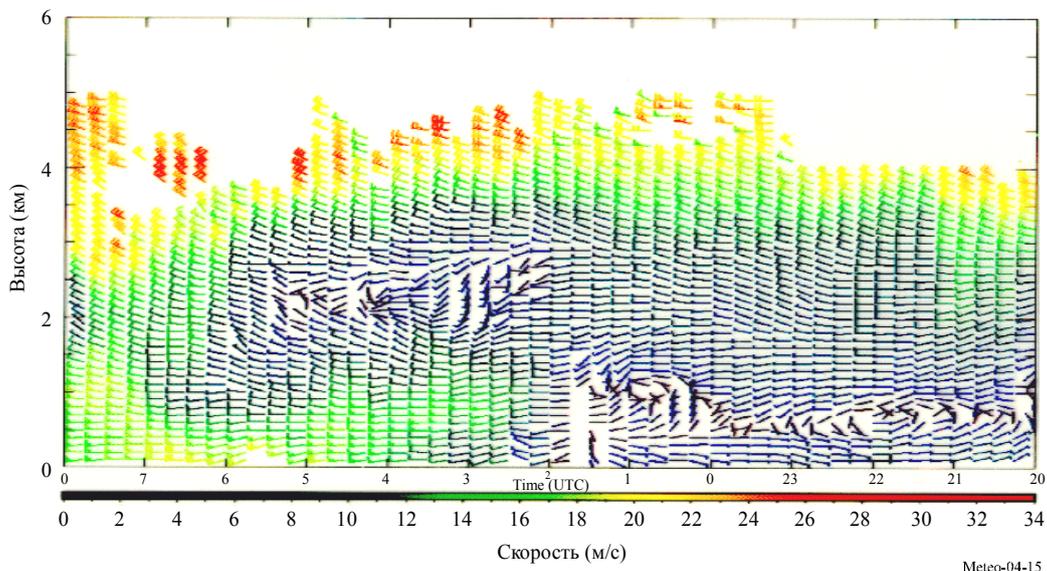
Добавление третьего режима работы на очень малой высоте позволит уменьшить наименьший строб дальности с 0,5 км до 0,25 км, и возможно, сократить разрешение по вертикали до 150 м или 200 м, оставаясь при этом в пределах необходимой ширины полосы 2 МГц.

Увеличение рабочей частоты радара для профилирования ветра обеспечивает более высокую разрешающую способность измерительной системы ценой уменьшения общей высоты измерения. По этой причине устройства для профилирования, работающие на частотах 915 МГц и 1270–1375 МГц, в основном считаются устройствами для пограничного слоя, способными измерять профиль ветра только на нескольких нижних километрах атмосферы. Эти устройства работают с разрешением по вертикали, составляющим порядка 100 м, и используют антенны с усилением ниже 30 дБи и медианной мощностью порядка 50 Вт, при этом необходимая ширина полосы составляет 8 МГц и выше.

Например, с помощью мобильной системы для профилирования, работающей на частоте 924 МГц, построено графическое изображение зависимости скорости ветра от высоты (см. Рисунок 4-15). Ориентация каждого флажка представляет собой направление ветра как функцию от высоты (вертикальная ось) и времени (горизонтальная ось), при этом цветом обозначена скорость ветра.

РИСУНОК 4-15

Зависимость скорости ветра от высоты



4.3.3 Существующие и перспективные потребности в спектре

Устройства для профилирования ветра являются системами наземного базирования, имеющими антенны высотой один-два метра и вертикально ориентированные лучи. Географический разнос и экранирующее влияние рельефа местности обеспечивают эффективную защиту от создания помех другим аналогичным устройствам, а также от помех, создаваемых этими устройствами. Таким образом, недорогая сеть из устройств для профилирования ветра, разнесенных на расстояние, скажем, 50 км ровной местности (для более пересеченной или лесистой местности требуется меньшее расстояние), может работать на одной и той же частоте. При таком обосновании устройства для профилирования обычно бывают совместимыми с большинством служб наземного базирования.

Общепризнано, что на частоте около 400 МГц требуется полоса шириной 2–3 МГц, а на частотах около 1000 МГц или 1300 МГц – полоса шириной 8–10 МГц, и можно предположить, что положения Резолюции 217 (ВКР-97) являются достаточными для удовлетворения этих требований:

"... настоятельно призвать администрации к внедрения радаров для профилирования ветра в качестве систем радиолокационной службы в следующих полосах, при должном учете возможности обеспечения совместимости с другими службами и присвоениями станциям этих служб, тем самым уделяя надлежащее внимание принципу географического разнота, в частности в отношении соседних стран, и памятуя о категории службы каждой из этих служб:

- 46–68 МГц в соответствии с п. 5.162А;
- 440–450 МГц;
- 470–494 МГц в соответствии с п. 5.291А;
- 904–928 МГц только в Районе 2;
- 1270–1295 МГц;
- 1300–1375 МГц;"

"... что в случае, если невозможно достичь совместимости между радаром для профилирования ветра и другими радиоприменениями, работающими в полосе 440–450 МГц или 470–494 МГц, можно было бы рассмотреть вопрос об использовании полос 420–435 МГц или 438–440 МГц;"

4.3.4 Аспекты совместного использования частот устройствами для профилирования ветра

Распределенные на ВКР-97 полосы для использования устройствами для профилирования были тщательно отобраны, с тем чтобы свести к минимуму вероятность помех, причиняемых этим устройствам другими пользователями этих полос и создаваемых этими устройствами. Прежде чем были определены полосы для радаров для профилирования ветра, была создана экспериментальная сеть в полосе 400,15–406 МГц. Опыт эксплуатации показал, что работа радаров для профилирования ветра создает помехи системе COSPAS-SARSAT.

В связи с этим в Резолюции 217 (ВКР-97) было конкретно установлено, что радары для профилирования ветра не должны эксплуатироваться на частотах 400,15–406 МГц. Именно существование данной экспериментальной сети обеспечило важную информацию о совместимости радаров для профилирования ветра с другими службами. Спектральная плотность э.и.и.м. этих радаров составляет в горизонтальном направлении порядка:

- –18 дБ(Вт/кГц) на центральной частоте (449 МГц);
- –36 дБ(Вт/кГц) на частоте, отстоящей на 0,5 МГц;
- –55 дБ(Вт/кГц) на частоте, отстоящей на 1 МГц;
- –70 дБ(Вт/кГц) на частоте, отстоящей на 2 МГц;
- –79 дБ(Вт/кГц) на частоте, отстоящей на 4 МГц.

Эти низкие значения в сочетании с малыми высотами антенн и потерями на трассе, пропорциональными $1/r^4$ при распространении над поверхностью Земли, позволяют применять географический разнос в качестве чрезвычайно эффективного средства совместного использования частот. Например, мобильная радиостанция любительской службы, настроенная на центральную частоту радара, способна обнаружить различимый сигнал радара для профилирования ветра на расстоянии до 3 км при распространении над травянистой равниной.

Однако в главном луче спектральная плотность э.и.и.м. больше на 57 дБ, и, в результате, приемники на борту воздушных судов и космических аппаратов подвергаются помехе с гораздо более высоким уровнем. Проблема усугубляется тем, что потери на трассе пропорциональны $1/r^2$. Принятые вслед за этим меры, направленные на облегчение проблемы, связанной с радаром для профилирования ветра в полосе 400,15–406 МГц, показали, что модуляция, которая применяется в радаре, работающих на частоте 404 МГц, оказывает значительное воздействие на их характеристики совместного использования частот. В настоящее время к импульсам применяется фазовое кодирование для различения двух или трех "чипов" в пределах каждого импульса, для того чтобы обеспечить сжатие импульсов. Если никакое дальнейшее кодирование не применяется, излучаемый спектр будет состоять из линий, разделенных ЧПИ. При этом на каждый импульс накладывается, один член псевдослучайной фазово-кодовой последовательности длиной 64 символа, с тем чтобы спектральные линии следовали с интервалами, равными ЧПИ/64, а мощность линий была уменьшена в 64 раза. Кроме того, передатчики радаров для профилирования выключались по команде компьютера, каждый раз, когда спутник системы COSPAS-SARSAT оказывался ближе 41° над горизонтом радара.

(В связи с малым количеством этих спутников такие отключения не приводят к сколь либо заметной потере данных устройством для профилирования).

Фазовое кодирование, применяемое к излучениям устройств для профилирования, работающих на частоте 404 МГц, должно "устраняться" в приемнике. В результате, помехи от других систем, не являющихся системами радаров для профилирования ветра, воспринимаются устройством для профилирования как некогерентные и шумоподобные. Следовательно, минимальный детектируемый сигнал (устройства для профилирования) составляет порядка -170 дБм, в то время как трудности с помехами возникают лишь при уровнях -135 дБм и выше.

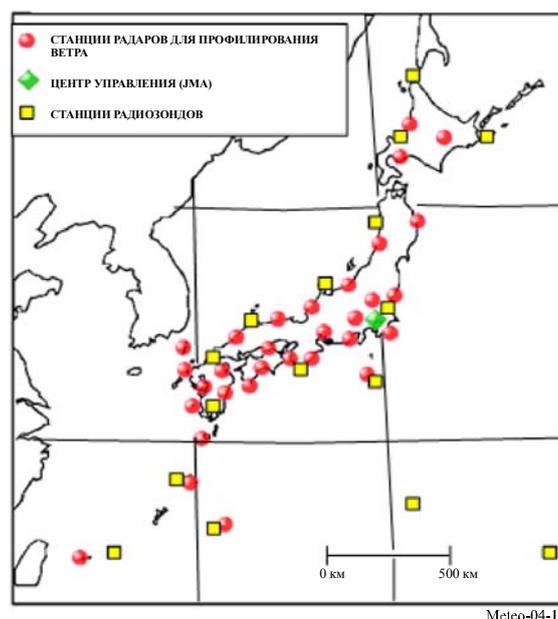
В Резолюции 217 (ВКР-97) определяется спектр, который должен использоваться радаром для профилирования ветра. Не рекомендуется использовать для этих радаров другие полосы, например 400,15–406 МГц. Однако те же самые методы, используемые для улучшения ситуации с помехами спутникам в этой полосе, также применимы и в других полосах.

Еще одним примером совместного использования частот с радаром для профилирования ветра является распределение на ВКР-2000 радионавигационной спутниковой службе полосы 1215–1300 МГц. После этого был проведен ряд технических исследований по оценке совместимости между этими системами РНСС и радаром для профилирования ветра, действующими в полосе 1270–1295 МГц. Результаты этих исследований представлены в Отчете 90 ЕСС. Согласно выводам, содержащимся в этом отчете, системы РНСС могли бы при определенных условиях причинять помехи радарам для профилирования ветра и ухудшать их работу, по крайней мере трехлучевым радаром. В то же время в этом отчете перечислен ряд методов ослабления влияния помех (аппаратных и программных), которые могли бы помочь преодолеть эти трудности. Некоторые из этих методов предусматривают выбор наведения антенны, добавление лучей или задействование радаром частот 1274 или 1294 МГц, на которых наблюдаются нулевые значения модулированных сигналов РНСС. Последний способ, вероятно, проще всего применить.

Японское метеорологическое агентство (JMA) эксплуатирует сеть устройств для профилирования ветра и систему сбора данных (WINDAS) в целях мониторинга развития и прогнозирования опасных метеорологических явлений. Эта сеть состоит из тридцати одного устройства для профилирования ветра, работающего на частоте 1,3 ГГц, которые установлены по всей Японии, и которые передают информации в центр управления, расположенный в штаб-квартире JMA в Токио (Рисунок 4-16).

РИСУНОК 4-16

Пример сети радаров для профилирования ветра



Meteo-04-16

Данные, поступающие от этой системы, используются с июня 2001 года в качестве исходных значений во всех моделях численного прогноза погоды JMA, предназначенных для оказания помощи в прогнозировании опасных метеорологических явлений. Эти данные объединяются с данными, поступающими от доплеровских радаров и коммерческих воздушных судов, и обеспечивают всесторонний "анализ ветра в верхней атмосфере". Результаты этого анализа далее распространяются

по всему миру через Глобальную систему электросвязи, а также размещаются на веб-сайте JMA (<http://www.jma.go.jp/jp/windpro/>).

Справочные документы

- DOVIAK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1984] *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.
- GOSSARD, E. E. and STRAUCH, R. G. [1983] *Radar Observation of Clear Air and Clouds*. Elsevier, New York, United States of America, 280 pages.
- PALMER, R. and ISOM, B. [February 2006] Mitigation of Wind Turbine Clutter on the WSD88D Network. School of Meteorology. University of Oklahoma, Radar Operations Center Presentation.

Тексты МСЭ-R

- Recommendation ITU-R M.1464-1 – Characteristics of radiolocation radars, and characteristics and protection criteria for sharing studies for aeronautical Radionavigation and meteorological radars in the radiodetermination service operating in the frequency band 2700–2900 MHz (2002).

Библиография

- DIBBERN, J., MONNA, W., NASH, J. and PETERS, G. (Ed.) [March 2000] COST Action 76. Development of VHF/UHF wind profilers and vertical sounders for use in European observing systems, Final Report. European Commission, Directorate-General Science, Research and Development.
- DOVIAK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1993] *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.
- DOVIAK, R., ZRNIC, D. and SIRMANS, D. [November 1979] Doppler Weather Radar. *Proc. IEEE*, Vol. 67, 11.
- Intercomparison of Techniques to Correct for Attenuation of C-Band Weather Radar Signals. *J. Applied Meteorology*: Vol. 37, 8, p. 845–853.
- LAW, D. *et al.* [March 1994] Measurements of Wind Profiler EMC Characteristics, NTIA Report 93-301, 63 pages. National Telecommunications and Information Administration.
- MAMMEN, T. [1998] Weather radars used by members, WMO instruments and observing methods, Report No. 69.
- MCLAUGHLIN, D. J., CHANDRASEKAR, V., DROEGEMEIER, K., FRASIER, S., KUROSE, J., JUNYENT, F., PHILIPS, B., CRUZ-POL, S. and COLOM, J. [January 2005] Distributed Collaborative Adaptive Sensing (DCAS) for Improved Detection, Understanding, and Prediction of Atmospheric Hazards. Ninth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), American Meteor. Society.
- SESSIONS, W. B. [December 1995] SARSAT SARP instrument performance when receiving emissions from NOAA 404 MHz wind profiler radars, NOAA, NESDIS, E/SP3, 87 pages.
- SKOLNIK, M. [1990] *Radar Handbook*. Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, United States of America.
- WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation, No. 8, World Meteorological Organization.

ГЛАВА 5

ПАССИВНОЕ И АКТИВНОЕ БОРТОВОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Стр.

5	Введение	62
5.1	Пассивное микроволновое радиометрическое зондирование	63
5.1.1	Требования к спектру	64
5.1.2	Наблюдение характеристик поверхности Земли	66
5.1.2.1	Наблюдение за поверхностью океанов	66
5.1.2.2	Наблюдение за поверхностью суши.....	67
5.1.2.3	Вспомогательные параметры для других приборов дистанционного зондирования...	68
5.1.3	Параметры качества	68
5.1.3.1	Радиометрическая чувствительность	68
5.1.3.2	Порог радиометра ΔP	68
5.1.3.3	Геометрическое разрешение	69
5.1.3.4	Время интегрирования.....	69
5.1.4	Типовые условия работы пассивных датчиков	69
5.1.4.1	Спутники на низкой околоземной орбите	69
5.1.4.2	Спутники на геостационарной орбите	69
5.1.5	Основные технические характеристики	69
5.1.6	Показатели работы и критерии помех	71
5.1.7	Трехмерные измерения параметров атмосферы	71
5.1.7.1	Пассивные микроволновые приборы для вертикального зондирования атмосферы...	72
5.1.7.2	Механизм вертикального атмосферного зондирования	73
5.1.7.3	Применение вертикального зондирования атмосферы	75
5.1.7.4	Характеристики пассивных датчиков, ориентированных в надир, которые работают в диапазоне 60 ГГц.....	76
5.1.7.5	Пассивный микроволновый краевой зонд	77
5.1.7.6	Восприимчивость пассивных микроволновых зондов к помехам	79
5.2	Активные датчики.....	79
5.2.1	Введение	79
5.2.2	Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR)	80
5.2.3	Высотомеры.....	82
5.2.4	Рефлектометры	83
5.2.5	Радары контроля осадков	84
5.2.6	Радары профилирования облачности	85
5.2.7	Критерии помех и качества, касающиеся датчиков.....	86
5.2.8	Уровни плотности потока мощности (п.п.м.).....	86

5 Введение

О существовании метеорологических спутников широко известно практически во всем мире, а создаваемые ими изображения регулярно показываются по телевидению, в массовой прессе и в интернете. Таким образом, люди привыкли просматривать совмещенные с картой изображения с расширенной цветовой гаммой, показывающие облачный покров, температуру поверхности, снежный покров и другие погодные явления.

Реже, но все же довольно широко (если приходится) в большинстве стран мира просматриваются спутниковые изображения, на которых показывается распространение пожаров и возникающих в результате них дымовых облаков; вулканический пепел и температуры поверхности моря, к которым было привлечено внимание широкой общественности в связи с явлением *Эль-Ниньо*.

Общим для многих из этих изображений является то, что они создаются, главным образом, на основе данных, записанных с использованием датчиков, которые работают в видимой и инфракрасной областях частотного спектра, которые многие, не имеющие отношения к науке, считают "светом", а не "радио". Однако многие из этих продуктов и другие продукты, которые обычные люди видят не часто, создаются на основе разнообразных частот микроволнового диапазона либо самостоятельно, либо в сочетании с другими измерениями.

Таким образом, не многие знают, что бортовое дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы с использованием радиочастот – от ОВЧ до СВЧ и верхних областей спектра – имеет важное и все возрастающее значение в прикладной метеорологии и в научно-исследовательской деятельности в области метеорологии, в частности для смягчения последствий бедствий, связанных с погодными и климатическими условиями, а также в научном понимании мониторинга и прогнозирования изменения климата и последствий этого изменения.

Прогресс, достигнутый за последние годы в анализе и прогнозировании погоды и климата, в том числе в предупреждении об опасных погодных явлениях (ливнях, бурях, циклонах), оказывающих воздействие на население и экономику, в значительной степени является результатом наблюдений из космоса и включения данных наблюдений в цифровые модели.

Существует два класса широко используемых бортовых устройств дистанционного зондирования – **активные** и **пассивные**, которые работают в спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ).

Пассивное зондирование заключается в использовании только одних приемников, без передатчиков. Радиация, которую улавливают эти приемники, имеет естественное происхождение, как правило, с очень низкими уровнями мощности. В ней содержится важная информация об исследуемых физических процессах. Интерес представляют пиковые значения радиации, указывающие на наличие конкретных химических веществ, либо отсутствие определенных частот, указывающее на поглощение частотных сигналов в атмосферных газах. Уровень сигнала или его отсутствие на конкретных частотах используется для определения того, присутствуют ли конкретные газы (наглядными примерами являются влага и загрязняющие вещества) и, если эти газы присутствуют, то в каком количестве и в каком месте. Самая разнообразная информация об окружающей среде может быть обнаружена с использованием пассивных датчиков в полосах частот, которые определяются фиксированными физическими свойствами. Эти свойства могут также проявляться в других диапазонах. Уровень сигнала на заданной частоте может зависеть от нескольких факторов, что делает необходимым использование нескольких частот для установления многих неизвестных. Использование нескольких частот является основным методом, применяемым для измерения различных характеристик атмосферы и поверхности Земли.

Активное зондирование отличается от пассивного зондирования тем, что в нем используются и передатчики, и приемники, размещенные на борту спутника. Как правило, передача сигнала и прием отраженного сигнала осуществляются с одного и того же спутника. Спектр использования активного зондирования широк: от измерения характеристик поверхности моря, например морских волн и ветров, до определения густоты произрастания деревьев во влажном лесу.

Вопрос совместимости для обоих классов дистанционного зондирования предусматривает такие же проблемы, как и с другими космическими службами: взаимные помехи между спутниками и другими РЧ передающими станциями, расположенными либо на земле, либо в космосе. Решение этих проблем предполагает использование хорошо известных методов, которые, как правило, связаны с проведением координации с другими пользователями на основе ограничения мощности, характеристик антенны, а также разделения во времени и совместного использования частот.

Восприимчивость к помехам, присущая спутникам пассивного дистанционного зондирования, и в частности тем, которые имеют большую зону обслуживания, обусловлена тем, что они подвергаются суммарному излучению от множества излучателей, расположенных на земле, включая

внутриполосные и внеполосные излучатели. Следовательно, в то время как одиночный наземный излучатель может излучать мощность, которой не достаточно для того, чтобы причинять помеху, наличие большого числа таких излучателей уже способно причинить вред измерениям, которые проводятся путем накопления сигналов этих излучателей. Это обстоятельство вызывает беспокойство в отношении таких явлений, как излучения фиксированной службы высокой плотности (HDFS), применения сверхширокополосной (СШП) связи и устройства малого радиуса действия (SRD), либо промышленных, научных и медицинских (ПНМ) устройств. Проблема вызвана лишь пространственной плотностью таких излучателей, а не их индивидуальными характеристиками. Ситуация усугубляется по мере увеличения плотности таких наземных излучателей, и уже сообщалось о случаях серьезных помех.

На эти естественные излучения, которые могут наблюдаться на заданных частотах, обладающих уникальными свойствами, влияет в разной степени ряд геофизических параметров. Следовательно, для выделения и нахождения каждой отдельной составляющей общего естественного излучения, а также для нахождения интересующих параметров из заданного набора измерений, измерения должны одновременно проводиться на нескольких частотах в микроволновом диапазоне. В результате этого помехи, которые могут повлиять на любой из ряда "пассивных" полос частот, могут тем самым оказать воздействие на измерение заданного компонента атмосферы в целом.

В случае приемо-передающих устройств характер и характеристики сигнала известны, и относительно просто определить, правильно ли принимается сигнал. В литературе описано множество полезных методов обнаружения и исправления ошибок в системах радиосвязи, однако эти методы, к сожалению, невозможно использовать, если характеристики различных принимаемых сигналов неизвестны. Именно так обстоит дело в случае пассивного дистанционного зондирования, которое обладает специфической восприимчивостью к помехам, в связи с тем, что эта восприимчивость обусловлена недетерминированным характером естественного сигнала, для приема которого предназначен пассивный датчик, а также чрезвычайно низким уровнем мощности естественной радиации.

Даже при чрезвычайно низких уровнях помех, принимаемых пассивным датчиком, его данные могут ухудшиться, и наибольшую угрозу, вероятно, представляет собой ситуация, когда помеха не будет обнаружена, искаженные данные будут ошибочно приняты за достоверные данные, а выводы, полученные на основе результатов анализа этих искаженных данных, будут в значительной степени ошибочными. В большинстве случаев пассивные датчики не способны отличить естественную и искусственную радиацию, и зачастую ошибки в данных нельзя обнаружить, ни исправить. Таким образом, обеспечение целостности данных зависит от предотвращения помех, и в настоящее время единственным решением является наложение на всемирной основе строгих ограничений на помехи и максимальную мощность. Можно отметить, что в ряде положений Регламента радиосвязи такие ограничения мощности применяются к передатчикам активной службы в целях защиты пассивных датчиков от внутриполосных и внеполосных помех.

В последние годы значительный интерес проявляется к использованию радаров профилирования облачности, работающих в диапазоне миллиметровых волн, для научно-исследовательских применений. Необходимость лучшего понимания роли облачности в нашей климатической системе имеет весьма высокий приоритет в исследованиях изменения климата. Наряду с последними достижениями в технологии радаров миллиметровых волн необходимость в этих научных исследованиях является движущей силой развития радаров профилирования облачности, работающих в миллиметровом диапазоне волн. В настоящее время эти радары, работающие главным образом на частотах около 35 ГГц (диапазон Ka) и около 94 ГГц (диапазон W), обеспечивают необходимую качественную и количественную информацию, которая нужна тем, кто занимается исследованием климата. Радары миллиметровых волн, обладающие чувствительностью к гидрометеорам небольших размеров, высоким пространственным разрешением, минимальной восприимчивостью к мешающим отражениям от наземных предметов и относительно малыми размерами, являются идеальными средствами для исследования облачности. Они могут работать с фиксированных наземных, подвижных наземных, воздушных и бортовых платформ.

5.1 Пассивное микроволновое радиометрическое зондирование

Пассивная микроволновая радиометрия является средством, имеющим исключительно важное значение для наблюдения Земли. В ССИЗ работают пассивные датчики, предназначенные для приема и измерения естественных излучений, которые образуются на поверхности Земли и в ее атмосфере. Частота и интенсивность этих естественных излучений определяют тип и состояние ряда важных геофизических параметров атмосферы и поверхности (суши, моря и ледяного покрова), которые описывают состояние системы Земля-атмосфера-океаны, а также ее устройство:

- параметры поверхности Земли, например влажность почвы, температура поверхности моря, давление океанского ветра, распространение и возраст льда, снежный покров, дождевые осадки на суше и т. д.; и
- трехмерные атмосферные параметры (в нижней, средней и верхней атмосфере), например профили температуры, содержание водяного пара и профили распределения концентрации газовых примесей, обладающих высокой излучающей способностью и химической активностью (например, озон, закись азота, хлор).

Методы микроволнового зондирования позволяют осуществлять наблюдение поверхности и атмосферы Земли с околоземной орбиты даже при наличии облаков, которые, в основном, прозрачны на частотах ниже 100 ГГц. Такая возможность наблюдения при любой погоде представляет значительный интерес для наблюдения Земли, в связи с тем что более 60% поверхности Земли обычно покрыта облаками. Помимо данной возможности наблюдения при любой погоде, пассивные микроволновые измерения также могут осуществляться в любое время дня, поскольку они не зависят от дневного света. Пассивное микроволновое зондирование является эффективным средством, широко используемым для метеорологического, климатологического и экологического мониторинга и обследования (эксплуатационные и научные применения), для которых чрезвычайно важно иметь надежное повторяющееся глобальное покрытие.

5.1.1 Требования к спектру

На эти естественные излучения, которые могут наблюдаться на заданных частотах, влияет в разной степени ряд геофизических параметров. Следовательно, для выделения и нахождения каждой отдельной составляющей, измерения должны проводиться одновременно на нескольких частотах в микроволновом диапазоне. Характеристики атмосферного поглощения, изображенные на Рисунке 5-1, характеризуются пиками поглощения, которое вызвано молекулярным резонансом атмосферных газов, а также континуумом водяного пара. Эти пики существенно увеличиваются с увеличением частоты.



Выбор наиболее подходящих частот для пассивного микроволнового зондирования сильно зависит от характеристик атмосферы:

- частоты для наблюдения параметров поверхности выбираются ниже 100 ГГц, где атмосферное поглощение минимально. В среднем, необходима одна частота на октаву; и
- частоты для наблюдения параметров чрезвычайно тщательно выбираются, главным образом, выше 50 ГГц в пределах пиков поглощения в атмосферных газах.

Требуемые частоты ниже 1000 ГГц и представляющая интерес ширина полос перечислены в Таблице 5-1. Большинство распределенных полос частот выше 100 ГГц содержит линии поглощения основных химических соединений, содержащихся в газовых примесях атмосферы.

ТАБЛИЦА 5-1

Полосы частот и ширина полосы частот, представляющие научный интерес для спутникового пассивного зондирования ниже 1000 ГГц*

Полоса частот (ГГц)	Желательная ширина полосы (МГц) ⁽³⁾	Основные измерения
1,4–1,427	100 (27)	Влажность почвы, засоленность почвы, температура поверхности океана, растительный покров
2,69–2,7	60 (10)	Засоленность почвы, влажность почвы
4,2–4,4	200	Температура поверхности океана
6,7–7,1	400	Температура поверхности океана (нет распределения)
10,6–10,7	100	Дождь, снег, лед, волнение на море, океанский ветер, температура поверхности океана, влажность почвы
15,35–15,4	200 (50)	Водяной пар, дождь
18,6–18,8	200	Дождь, волнение на море, океанический лед, водяной пар, снег
21,2–21,4	200	Водяной пар, водность облаков
22,21–22,5	300 (290)	Водяной пар, водность облаков
23,6–24	400	Водяной пар, водность облаков
31,3–31,8	500	Канал-окно для измерения температуры
36–37	1 000	Дождь, снег, океанический лед, водяной пар, водность облаков, океанский ветер, влажность почвы
50,2–50,4	200	O ₂ (профилирование температуры)
52,6–59,3	6 700 ⁽¹⁾	O ₂ (профилирование температуры)
86–92	6 000	Облачность, лед, снег, дождь
100–102	2 000	N ₂ O
109,5–111,8	2 300	O ₃
114,25–122,25	8 000 ⁽¹⁾	O ₂ (профилирование температуры), CO
148,5–151,5	3 000	Канал-окно
155,5–158,5	3 000	Канал-окно (распределение перестанет действовать с 1 января 2018 года в соответствии с п. 5.562F PP)
164–167	3 000	Канал-окно
174,8–191,8	17 000 ⁽¹⁾	H ₂ O (профилирование влажности), облака, лед, снег, N ₂ O, O ₃
200–209	9 000 ⁽²⁾	H ₂ O, O ₃ , N ₂ O
226–232	6 000 ⁽²⁾ (5 500)	Облака, CO
235–238	3 000 ⁽²⁾	O ₃
250–252	2 000 ⁽²⁾	N ₂ O
275–277	2 000 ⁽²⁾	N ₂ O
294–306	12 000 ⁽²⁾	N ₂ O, O ₃ , O ₂ , HNO ₃ , HOCl
316–334	10 000 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара, O ₃ , HOCl, H ₂ O, лед в облаках
342–349	7 000 ⁽²⁾	CO, HNO ₃ , CH ₃ Cl, O ₃ , O ₂ , HOCl, H ₂ O, канал-окно, лед в облаках и перистые облака
363–365	2 000 ⁽²⁾	O ₃
371–389	18 000 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара
416–434	18 000 ⁽²⁾	Профилирование температуры
442–444	2 000 ⁽²⁾	Водяной пар, лед в облаках и перистые облака
496–506	9 000 ⁽²⁾	O ₃ , CH ₃ Cl, N ₂ O, BrO, ClO
546–568	22 000 ⁽²⁾	Профилирование температуры

ТАБЛИЦА 5-1 (окончание)

Полоса частот (ГГц)	Желательная ширина полосы (МГц) ⁽³⁾	Основные измерения
624–629	5 000 ⁽²⁾	Окись титана, O ₃ , HCl, SO ₂ , H ₂ O ₂ , HOCl, HNO ₃
634–654	20 000 ⁽²⁾	CH ₃ Cl, HOCl, ClO, H ₂ O, N ₂ O, BrO, O ₃ , HO ₂ , HNO ₃
659–661	2 000 ⁽²⁾	BrO
684–692	8 000 ⁽²⁾	ClO, CO, CH ₃ Cl
730–732	2 000 ⁽²⁾	O ₂ , HNO ₃
851–853	2 000 ⁽²⁾	NO
951–956	5 000 ⁽²⁾	O ₂ , NO, H ₂ O

* ПРИМЕЧАНИЕ. – Для получения актуальной информации о распределениях частот для пассивных датчиков читателю следует обращаться к Таблице распределения частот, содержащейся в Статье 5 РР. Для получения дополнительной информации о предпочтительных частотах для пассивного зондирования следует обращаться к последней версии Рекомендации МСЭ-R RS.515.

- (1) Данная полоса частот занята множественными каналами.
- (2) Данная полоса частот занята множественными датчиками.
- (3) В некоторых случаях желательная ширина полосы превышает распределение. В таких случаях в скобках приводится существующая распределенная ширина полосы.

5.1.2 Наблюдение характеристик поверхности Земли

Для измерения параметров поверхности (например, водяного пара, температуры поверхности моря, скорости ветра, интенсивности дождя и т. д.) должны выбираться так называемые радиометрические "каналы-окна" таким образом, чтобы обеспечить регулярный отбор проб в микроволновом диапазоне от 1 ГГц до 90 ГГц (в среднем, одна частота на октаву). Однако, в целом, высокая точность установки частот не требуется, поскольку параметры естественных излучений поверхности не имеют сильной зависимости от частоты. В целом, на эти естественные излучения, которые могут наблюдаться на какой-либо заданной частоте, в разной степени влияет несколько геофизических параметров. Это показано на Рисунках 5-2 и 5-3, на которых изображена чувствительность естественных излучений в микроволновом диапазоне к различным геофизическим параметрам в зависимости от частоты. Яркостная температура является мерой интенсивности радиации, излучаемой каким-либо объектом под воздействием температуры и задаваемой в единицах температуры в связи с наличием взаимосвязи между интенсивностью излучаемой радиации и физической температурой излучающего объекта.

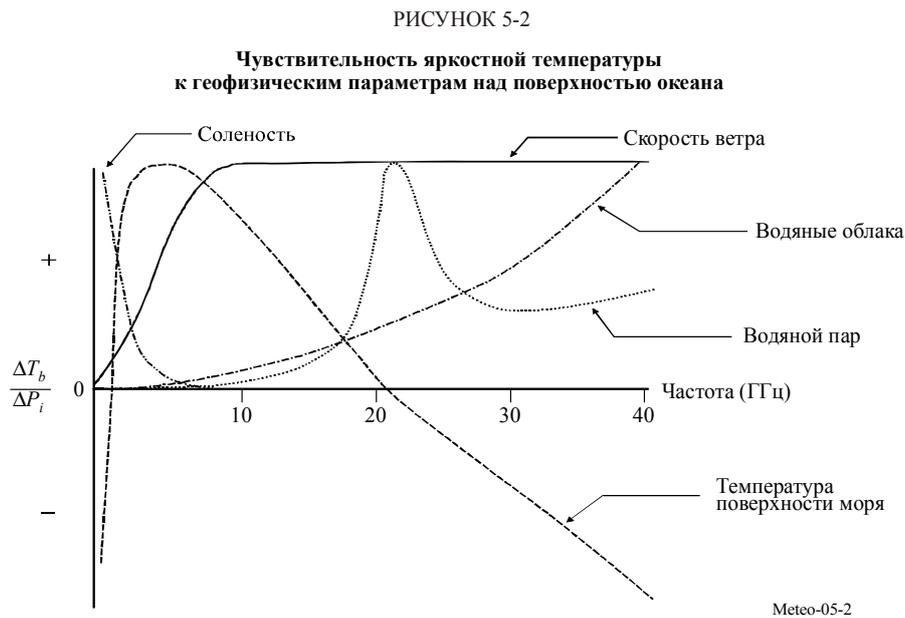
5.1.2.1 Наблюдение за поверхностью океанов

Дистанционное зондирование поверхности океанов используется для измерения многих из тех же самых параметров, которые измеряются на суше (например, водяного пара, интенсивности дождя, скорости ветра), а также параметров, которые обеспечивают информацию о состоянии самого океана (например, температуры поверхности океана, солёности океанской воды, толщины морского льда и т. д.).

На Рисунке 5-2 изображена чувствительность яркостной температуры к геофизическим параметрам над поверхностью океана, при этом:

- измерения на низкой частоте, как правило, около 1,4 ГГц, обеспечивают данные о солёности океанской воды;
- измерения на частотах около 6 ГГц обеспечивают наилучшую чувствительность к температуре поверхности моря, однако в них прослеживается незначительное влияние солёности и скорости ветра, которое можно устранить с помощью измерений на частотах около 1,4 ГГц и около 10 ГГц;
- район 17–19 ГГц, в котором влияние температуры поверхности моря и атмосферного водяного пара наименее заметно, является оптимальным для измерения излучающей способности поверхности океана. Эта характеристика непосредственно связана со скоростью ветра около поверхности, либо с наличием морского льда. Температура поверхности океана также чувствительна в некоторой степени к общему содержанию водяного пара, а также к водяным облакам;
- общее содержание водяного пара лучше всего можно измерить на частотах около 24 ГГц, в то время как измерения водяных облаков можно проводить на частотах около 36 ГГц; и

- для определения основных параметров требуется пять частот (около 6 ГГц, 10 ГГц, 18 ГГц, 24 ГГц и 36 ГГц).



5.1.2.2 Наблюдение за поверхностью суши

Дистанционное зондирование поверхности суши является несколько более сложным процессом. Это вызвано высокой временной и пространственной изменчивостью характеристик поверхности (от районов, покрытых снегом/льдом, до пустынь и влажных тропических лесов). Более того, сигнал, принимаемый пассивным датчиком, распространяется через несколько различных сред: в основном, через почву, возможно, через снег и/или лед, слой растительности, атмосферу, облака и иногда через дождь или снег. Вторым фактором, который следует учитывать, является то, что в каждой среде на испускаемое излучение могут оказывать влияние несколько параметров. Например, яркостная температура почвы будет отличаться в зависимости фактической температуры почвы, содержания влаги в почве, твердости поверхности и состава почвы. Аналогичным образом, вклад растительности связан с температурой и структурой листового полога через непрозрачность и альбедо однократного рассеяния (т. е. отношение отраженного света к падающему). Воздействие этих факторов на сигнал имеет частотно-зависимый характер. На Рисунке 5-3 изображена нормированная чувствительность как функция от частоты для нескольких ключевых параметров.

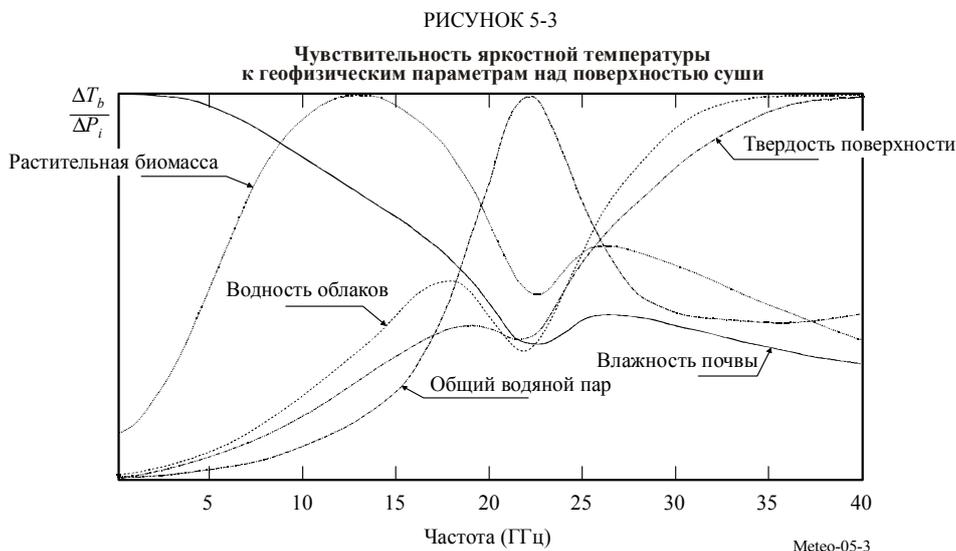
На Рисунке 5-3 показано, что над сушей и в средней зоне умеренного климата для наблюдений необходимо следующее:

- низкая частота для измерения влажности почвы (около 1 ГГц);
- измерения на частотах приблизительно от 5 ГГц до 10 ГГц для оценки растительной биомассы, после того как будет известно влияние влажности почвы;
- две частоты в районе пика поглощения водяного пара (как правило, 18–19 ГГц и 23–24 ГГц) для оценки влияния атмосферы;
- частота около 37 ГГц для оценки водности облаков (с использованием частоты 18 ГГц) и/или структуры растительности (с использованием частоты 10 ГГц) и твердости почвы (с использованием частот 1 ГГц и 5 ГГц или 10 ГГц).

Частота около 85 ГГц или 90 ГГц полезна для мониторинга ливней, однако только тогда, когда можно оценить все остальные влияющие факторы с использованием более низких частот.

В процессе исследований с использованием сканирующего многоканального микроволнового радиометра (SMMR) и устройства для получения изображений с помощью специального микроволнового датчика (ССМИ) было показано, что можно найти несколько других переменных. К ним относятся температура поверхности (с меньшей точностью, нежели при микроволновых измерениях, одно с возможностью проведения измерения в любых погодных условиях), определяемая с использованием канала около 19 ГГц, когда можно оценить влияние поверхности и атмосферы.

Важно осуществлять мониторинг районов, покрытых снегом, при этом обеспечение нескольких необходимых частот вновь имеет решающее значение. Фактически, должно проводиться различие между сном и льдом, а также между степенями свежести снега. Соответствующие сигналы связаны со структурой слоев снега и размерами кристаллов. Показано, что для нахождения этой информации требуется несколько частот: обычно 19 ГГц, 37 ГГц и 85–90 ГГц.



5.1.2.3 Вспомогательные параметры для других приборов дистанционного зондирования

В настоящее время бортовые радиолокационные высотомеры работают на глобальной основе над поверхностью океана и суши и имеют при этом важное применение в океанографии и климатологии (см. п. 5.2.3). Для устранения влияния рефракции в атмосфере требуется, чтобы при использовании данных высотометрии высокой точности дополнительно проводился набор вспомогательных пассивных измерений на частотах порядка 18,7 ГГц, 24 ГГц и 36 ГГц.

Для того чтобы можно было различить различное влияние на сигналы, измеренные со спутника, важно иметь одновременный доступ к измерениям, сделанным минимум на пяти различных частотах.

5.1.3 Параметры качества

Отличительной чертой пассивных датчиков является их радиометрическая чувствительность и геометрическое разрешение.

5.1.3.1 Радиометрическая чувствительность

Этот параметр, в основном, выражается через наименьшую разницу температур, ΔT_e , которую способен обнаружить датчик. ΔT_e задается уравнением:

$$\Delta T_e = \frac{\alpha T_s}{\sqrt{B\tau}} \quad \text{К}, \quad (5-1)$$

где:

- B : полоса пропускания приемника (Гц)
- τ : время интегрирования (с)
- α : постоянная приемной системы (зависит от конфигурации)
- T_s : шумовая температура приемной системы (К).

5.1.3.2 Порог радиометра ΔP

Это наименьшее изменение энергии, которое способен обнаружить пассивный датчик. ΔP задается уравнением:

$$\Delta P = k\Delta T_e B \quad \text{Вт}, \quad (5-2)$$

где:

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ (Дж/К): постоянная Больцмана.}$$

Приведенная выше величина ΔP рассчитывается с использованием значения ΔT_e . В будущем, T_s уменьшится, так же как и ΔT_e (см. уравнение (5-1)). Следовательно, ΔP должна вычисляться с использованием обоснованно прогнозируемого значения ΔT_e , а не значения ΔT_e , характерного для существующей технологии. Аналогичным образом, по мере дальнейшего развития технологии дистанционного зондирования, время интегрирования, τ , вероятно, будет увеличиваться (например, так называемый принцип постоянного сканирования). Следовательно, время интегрирования должно также выбираться на основе разумных ожиданий в будущем.

5.1.3.3 Геометрическое разрешение

В случае двумерных измерений параметров поверхности считается, в основном, что апертура антенны по уровню -3 дБ определяет поперечное разрешение. В случае трехмерных измерений параметров атмосферы также должны учитываться продольное разрешение вдоль оси антенны. Это продольное разрешение является сложной функцией от частотно-зависимых характеристик атмосферы, а также шума и полосы пропускания, связанных с качеством работы приемника.

5.1.3.4 Время интегрирования

Радиометрические приемники зондируют шумоподобные тепловые излучения, собираемые антенной, а также тепловой шум приемника. Интегрируя принимаемый сигнал, можно снизить случайные флуктуации шума, а также можно выполнить точные оценки суммы шума приемника и внешней мощности шума теплового излучения. Время интегрирования – это, попросту говоря, количество времени, которое занимает накопление принимаемого сигнала в приемнике. Время интегрирования также является важным параметром для пассивного дистанционного зондирования, который представляет собой результат сложного компромисса, учитывающего, в частности, желаемое геометрическое разрешение, конфигурацию сканирования датчика, а также его скорость по отношению к наблюдаемой местности.

5.1.4 Типовые условия работы пассивных датчиков

Пассивные бортовые датчики развертываются, в основном, на двух взаимодополняющих типах спутниковых систем: спутников на низкой околоземной орбите и спутников на геостационарной орбите.

5.1.4.1 Спутники на низкой околоземной орбите

Системы, которые базируются на спутниках, имеющих низкую, гелиосинхронную (т. е. орбиту, при которой спутники пересекают любую заданную точку на поверхности Земли в один и тот же момент местного солнечного времени) и полярную орбиты, используются для получения на глобальной основе данных об окружающей среде с высоким разрешением. Характер таких орбит ограничивает частоту повторения измерений. Ежедневно с помощью одного спутника можно обеспечить максимум два глобальных покрытия через 12-часовые интервалы. В настоящее время пассивные радиометры, действующие на частотах ниже 100 ГГц, устанавливаются только на спутниках на низкой околоземной орбите. Это связано в основном с трудностью получения подходящего геометрического разрешения на относительно низких частотах при более высоких орбитах и может измениться в будущем.

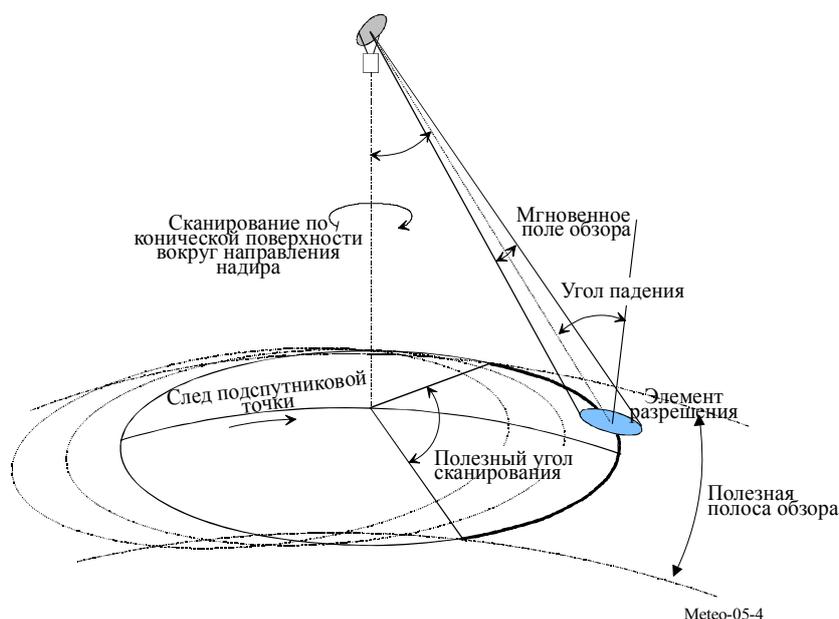
5.1.4.2 Спутники на геостационарной орбите

Системы, состоящие из спутников на геостационарной орбите, используются для получения на региональной основе данных с низким и средним разрешением. Частота повторения измерений ограничивается только технологией аппаратных средств. Как правило, сбор данных от одного региона осуществляется в течение приблизительно 30 мин.

5.1.5 Основные технические характеристики

В большинстве пассивных микроволновых датчиков, предназначенных для формирования изображения характеристик поверхности Земли, используется коническая сканирующая конфигурация (см. Рисунок 5-4), центральная ось которой совпадает с направлением в нади́р (т. е. точку, расположенную непосредственно под спутником). Это связано с важностью обеспечения постоянного угла падения на Землю вдоль всех линий сканирования для толкования результатов измерений поверхности. Геометрические параметры конических сканирующих приборов изображены на Рисунке 5-4.

РИСУНОК 5-4

Типовые геометрические параметры
пассивных микроволновых радиометров для конического сканирования

Meteo-05-4

Типовыми являются следующие геометрические характеристики (для высоты 803 км):

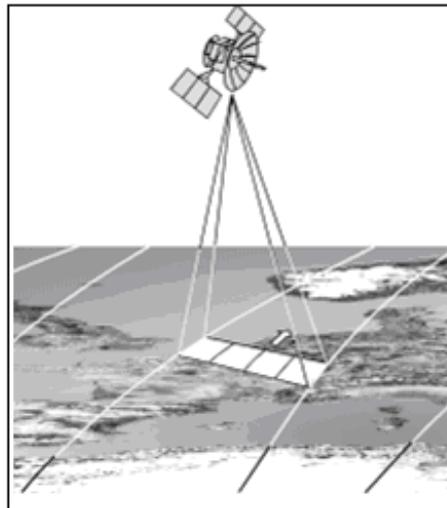
- угол падения луча на землю – порядка 55° ;
- половина угла раствора конуса – $46,7^\circ$ относительно направления на надир;
- ширина полосы обзора: 1600 км (ограничивается конфигурацией сканирования). Это дает возможность ежедневно обеспечивать с помощью одного прибора два полных покрытия на средних и высоких широтах;
- размер элемента разрешения меняется в зависимости от частоты и размера антенны, как правило, от 50 км на частоте 6,9 ГГц до 5 км на частоте 89 ГГц (исходя из эффективного диаметра антенны 2 м); и
- период сканирования и схема питания антенны выбираются таким образом, чтобы обеспечить полное покрытие и оптимальное время интегрирования (и, следовательно, радиометрического разрешения) на всех измеряемых частотах за счет усложнения аппаратного обеспечения.

Не предназначенные для сканирования приборы, нацеленные на надир, также могут использоваться для предоставления вспомогательных данных для конкретных применений, например устранения влияния атмосферы из измерений радаров-альтиметров. Для упрощения возможности их размещения на борту спутников разрабатываются интерферометрические методы, в особенности, для улучшения пространственного разрешения на низких частотах. В таких датчиках будут использоваться фиксированные решетки из небольших антенн вместо крупных сканирующих антенн.

Датчик с постоянным сканированием (со сканированием вдоль направления движения) представляет собой тип сенсорной системы, которая состоит из линии датчиков, расположенных перпендикулярно направлению полета космического корабля, как показано на Рисунке 5-5. По мере того, как космический корабль летит вперед, производится измерение различных областей поверхности. Радиометр с постоянным сканированием является исключительно статичным прибором, не имеющим движущихся частей. Основным свойством радиометров с постоянным сканированием является то, что все элементы разрешения в линии сканирования формируются одновременно, а не последовательно, как в случае датчиков с механическим сканированием. Это позволяет данному типу датчиков существенно увеличить достижимое радиометрическое разрешение. Датчики с постоянным разрешением могут использоваться во многих применениях, включая измерения профилей температуры атмосферы, влажности почвы и солености океана.

РИСУНОК 5-5

**Типовые геометрические параметры
пассивных микроволновых радиометров для постоянного сканирования**



Meteo-05-5

5.1.6 Показатели работы и критерии помех

Показатели работы и критерии помех бортовых пассивных датчиков, работающих в ССИЗ, содержатся в Рекомендациях МСЭ-R RS.1028 и МСЭ-R RS.1029, соответственно.

5.1.7 Трехмерные измерения параметров атмосферы

В электромагнитном спектре содержится много полос частот, на которых вследствие молекулярных резонансов наблюдается закономерность в виде поглощения определенными атмосферными газами (см. Рисунок 5-1). Частоты, на которых происходят такие явления, служат отличительными признаками конкретного газа (например, O_2 , O_3 , H_2O , ClO , и т. д.). Коэффициенты поглощения зависят от характера газа, его концентрации и температуры. Для нахождения профилей температуры и/или концентрации поглощающего газа со спутниковых платформ могут выполняться комбинированные пассивные измерения в районе этих частот. Особую важность для пассивных дистанционных датчиков, работающих на частотах ниже 200 ГГц, представляют резонансные частоты кислорода, расположенные между 50 ГГц и 70 ГГц, на частоте 118,75 ГГц, а также резонансная частота водяного пара на частоте 183,31 ГГц.

Поглощающий газ с длиной волны λ излучает энергию (на той же самой частоте) с уровнем, пропорциональным его температуре T и коэффициенту поглощения $\alpha = f(\lambda)$. Эта зависимость определяется соотношением, которое задается уравнением (5-3):

$$I = \alpha \cdot L, \quad (5-3)$$

где:

I : спектральная яркость газа при температуре T

$L = 2 \cdot k \cdot T/\lambda^2$: спектральная яркость абсолютно черного тела при температуре T (Вт/(м² · ср · Гц))

$k = 1.38 \times 10^{-23}$: постоянная Больцмана (Дж/К)

α : параметр, характеризующий газ (O_2 , CO_2 , H_2O , O_3 , и т. д.).

Основную роль в пассивном зондировании для целей метеорологии играют два атмосферных газа – CO_2 и O_2 . Это связано с тем, что их концентрация и давление в атмосфере (два параметра, которые определяют коэффициент поглощения α) являются наиболее постоянными и известными во всем мире. Следовательно, имеется возможность нахождения профилей температуры атмосферы из данных радиометрических измерений на различных частотах в соответствующих полосах поглощения (как правило, в инфракрасной области около 15 мкм для CO_2 , и в микроволновой области около 60 ГГц и 118,75 ГГц для O_2).

Также осуществляется сбор данных радиометрических измерений в конкретных полосах поглощения других важных атмосферных газов переменной и неизвестной концентрации, обладающих высокой излучающей способностью и химической активностью (H_2O , O_3 , CH_4 , ClO , и т. д.). Однако в таком случае, знание профилей атмосферной температуры является обязательным для нахождения неизвестных профилей вертикальной концентрации этих газов.

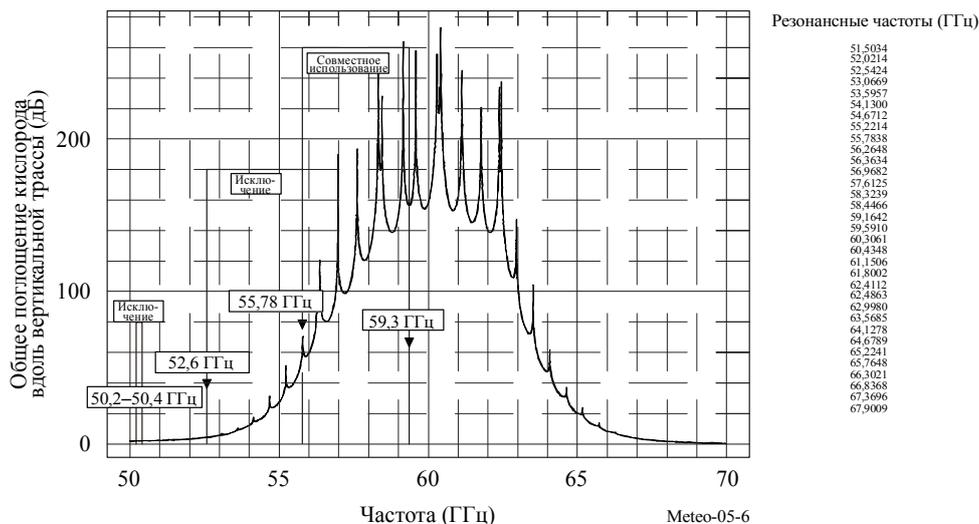
5.1.7.1 Пассивные микроволновые приборы для вертикального зондирования атмосферы

Зондирование атмосферы – это измерение вертикального распределения физических свойств атмосферного столба, таких как давление, температура, скорость и направление ветра, водность облаков, концентрация озона, загрязненность и другие свойства. Приборы для вертикального атмосферного зондирования (т. е. приборы, которые осуществляют измерение путем зондирования атмосферы) являются датчиками, ориентированными в надир, которые используются главным образом для нахождения вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы. В них используются частотные каналы, тщательно отобранные в рамках спектра поглощения атмосферных газов O_2 и H_2O . Подробная информация о спектре поглощения вблизи от их основных резонансных частот ниже 200 ГГц показана на Рисунке 5-6–5-8. Следует отметить чрезвычайно важные колебания спектра поглощения водяного пара около частоты 183 ГГц в зависимости от климатической зоны и от местных погодных условий.

РИСУНОК 5-6

Спектр поглощения O_2 вдоль вертикальной трассы на частоте около 60 ГГц (много линий поглощения)

Требования к пассивным датчикам в спектре поглощения O_2 на частоте около 60 ГГц
(Стандартная атмосфера США – модель поглощения: Либе, 1993 г.)



ПРИМЕЧАНИЕ. – На Рисунке 5-6 также изображено положение и распределения частот ССИЗ между 50 и 60 ГГц, а также и их статус (50,2–50,4 ГГц (включая), 52,6–55,78 ГГц (исключая) и 55,78–59,3 ГГц (совместное использование частот)).

РИСУНОК 5-7

Спектр поглощения O_2 вдоль вертикальной трассы на частоте около 118,75 ГГц

(одна единственная линия поглощения)

Стандартная атмосфера 1976 г., США, Либе, 1993 г.

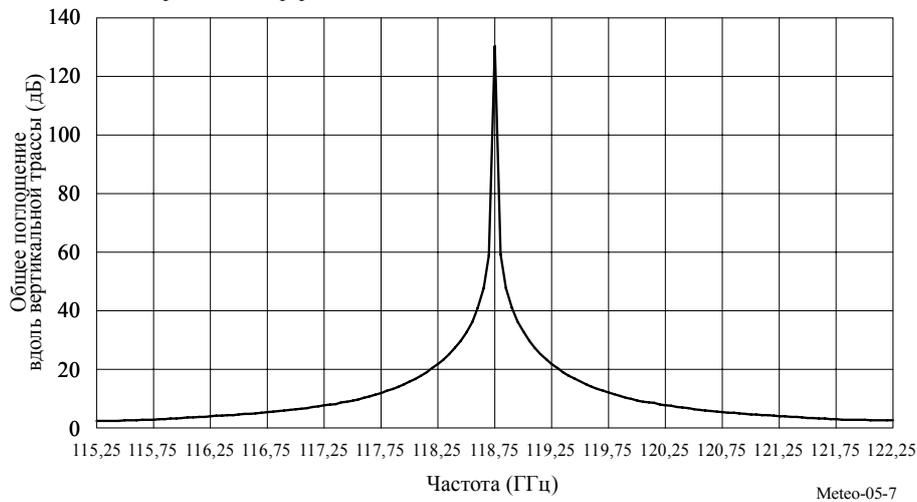
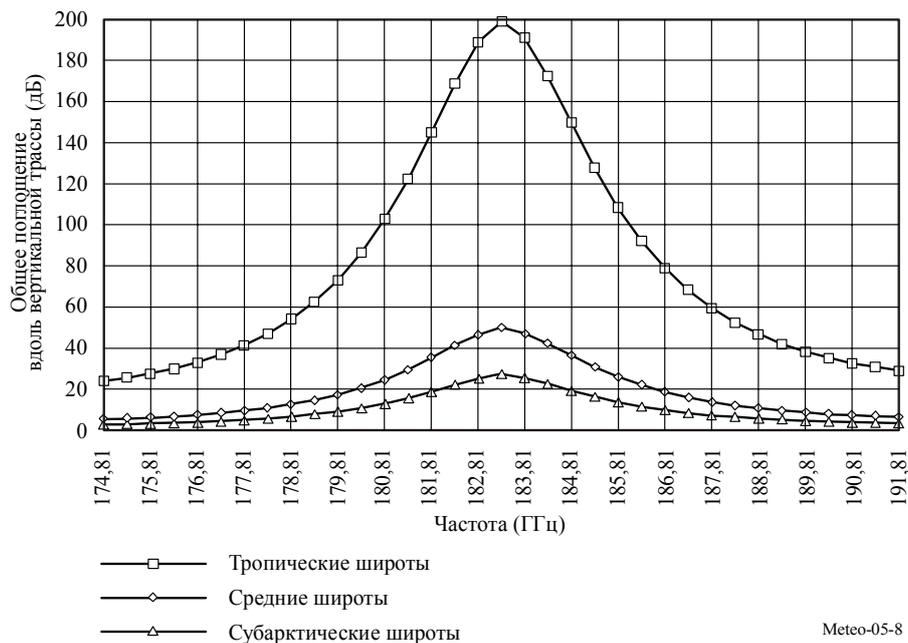


РИСУНОК 5-8

**Спектр поглощения водяного пара
вдоль вертикальной трассы на частоте 183,31 ГГц****5.1.7.2 Механизм вертикального атмосферного зондирования**

В случае вертикального атмосферного зондирования из космоса радиометр измеряет общее влияние атмосферы от поверхности до вершины на различных частотах (инфракрасного (ИК) или микроволнового диапазонов).

Каждый слой (характеризующийся высотой) излучает энергию, пропорционально своей местной температуре и коэффициенту поглощения. Энергия, поднимающаяся вверх (по направлению к радиометру), частично поглощается верхними слоями, и, в свою очередь, этот слой частично поглощает восходящие излучения от более низких слоев.

Этот механизм описывается интегральным уравнением переноса излучения вдоль направления от поверхности земли к спутнику. Решением этого уравнения является весовая функция, которая

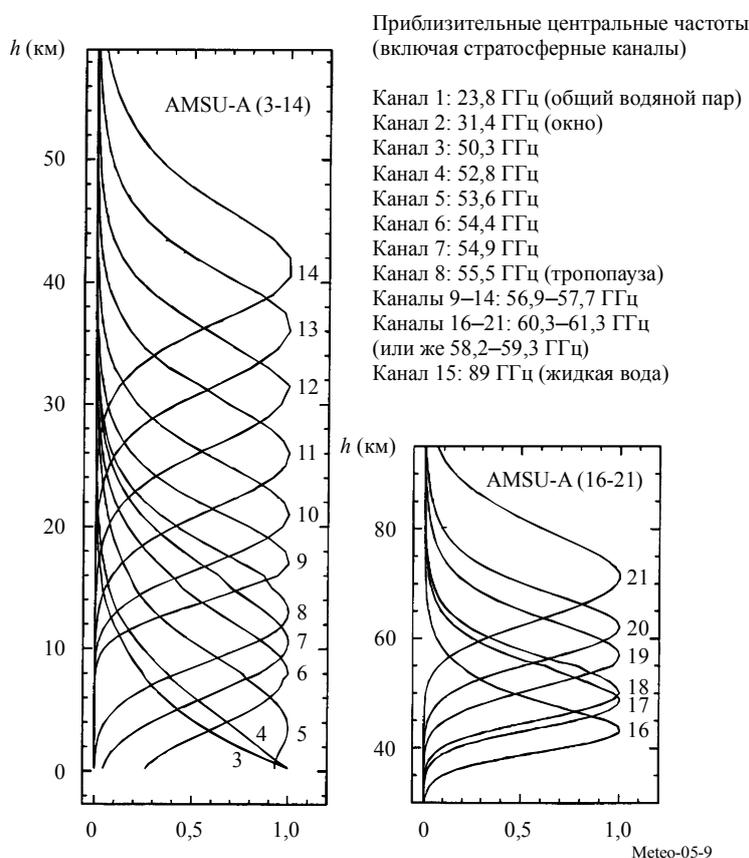
описывает относительное влияние каждого слоя атмосферы в зависимости от его высоты, и которая представляет также продольное (вертикальное) разрешение датчика.

На любой высоте наблюдается пик этой весовой функции, который зависит от коэффициента поглощения на рассматриваемой частоте. На частоте, где наблюдается низкое поглощение, пик находится около поверхности Земли. На частоте с высоким поглощением пик приходится на верхнюю часть атмосферы. Прибор для зондирования использует несколько частотных каналов (пример см. на Рисунке 5-9). Эти каналы весьма тщательно отбираются в рамках полосы поглощения и охватывают широкий диапазон слоев поглощения, с тем чтобы получить наилучшие образцы атмосферы, начиная от поверхности и заканчивая стратосферными высотами.

На Рисунке 5-9 изображены типовые весовые функции для микроволновых приборов для зондирования температуры, работающих в диапазоне 60 ГГц.

РИСУНОК 5-9

**Типовые весовые функции для микроволновых температурных зондов,
работающих на частоте около 60 ГГц**



Следует отметить особую важность каналов 1 (23,8 ГГц), 2 (31,5 ГГц) и 15 (90 ГГц). Эти вспомогательные каналы играют основную роль, связанную с процессом нахождения, в измерениях, которые выполняются в спектре поглощения O_2 . В связи с этим они должны иметь одинаковые геометрические и радиометрические показатели работы и должны получать одинаковую защиту от помех. Из Рисунка 5-9 следует, что:

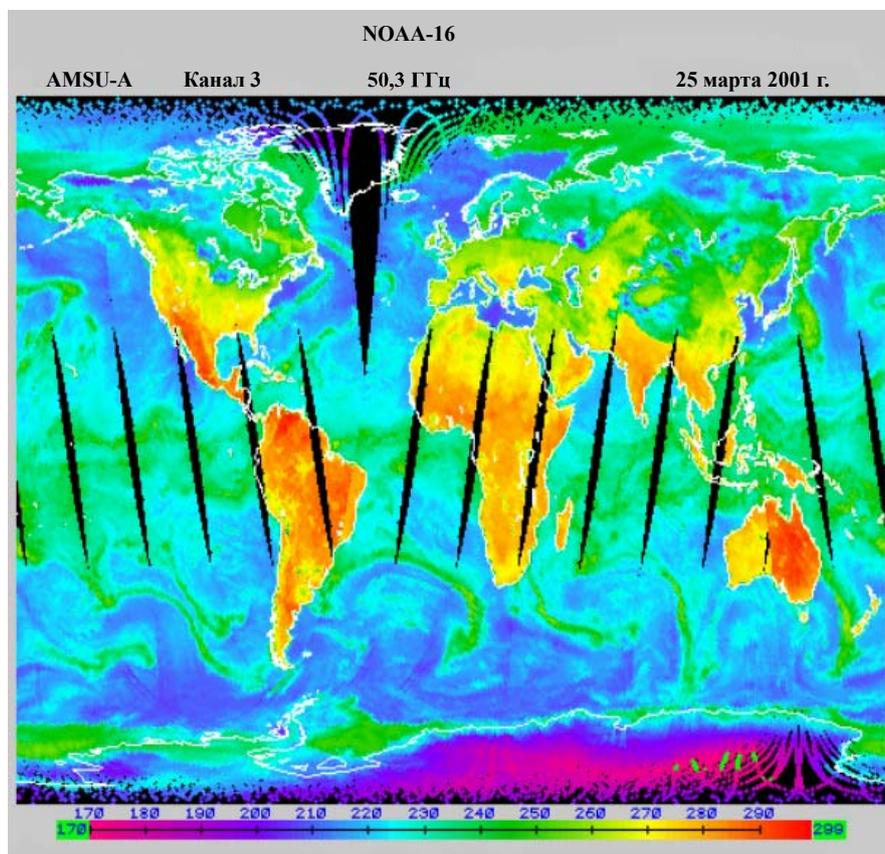
- канал 1 расположен вблизи пика поглощения H_2O . Он используется для нахождения общего содержания водяного пара вдоль прямой видимости, а также для определения поправок, которые необходимы для остальных каналов;
- канал 2 обладает минимальным кумулятивным эффектом, связанным с кислородом и парами воды. Этот канал является оптимальным каналом-окном для наблюдения за поверхностью Земли, а также опорным каналом для других каналов;
- канал 15 позволяет обнаруживать жидкую воду в атмосфере. Он используется для устранения влияния осадков на результаты измерений, выполненных в других каналах.

5.1.7.3 Применение вертикального зондирования атмосферы

Вертикальные профили температуры и влажности используются, главным образом, в качестве входных данных в моделях численного прогноза погоды (ЧПП), для которых необходимо осуществлять инициализацию как минимум раз в 6 часов. Модели глобального (всемирного) ЧПП используются для создания прогноза погоды на срок от 5 до 10 дней с географическим разрешением в 50 км. Кроме того, растет число мелкомасштабных региональных/локальных моделей прогнозирования (10 км и менее), рассчитанных на короткий срок (от 6 до 48 часов). На Рисунке 5-10 изображены результаты глобальных обобщенных измерений температуры (К), которые получены с помощью пассивного микроволнового датчика AMSU-A. На Рисунке показаны измерения, полученные за период времени порядка 12 часов. Наблюдения включают излучение и отражение от поверхности, а также излучение кислорода, главным образом, на первых 5 км над поверхностью (см. Рисунок 5-9).

РИСУНОК 5-10

Глобальные обобщенные измерения температуры (К) с помощью AMSU-A



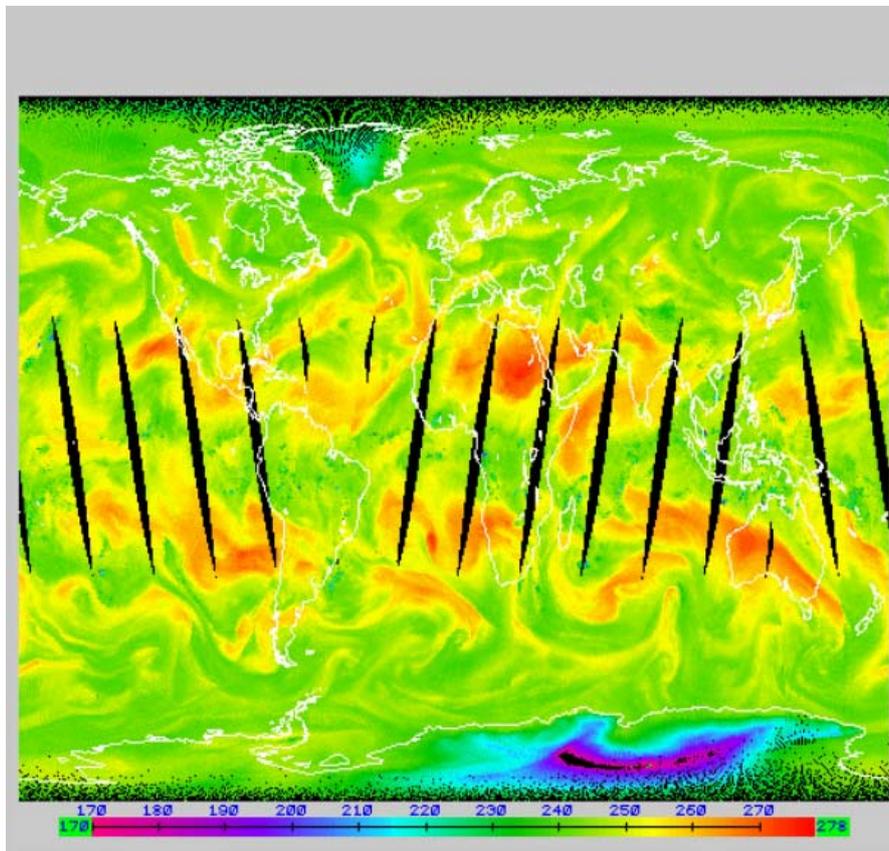
Meteo-05-10

На Рисунке 5-11 изображены результаты глобальных обобщенных измерений температуры (К), которые получены с помощью AMSU-B. На рисунке показаны измерения, полученные за период времени порядка 12 часов. AMSU-B – это радиометр, работающий совместно с датчиком AMSU-A, с целью улучшения зондирования водяного пара в тропосфере. На частоте 183 ГГц радиометр наблюдает высокую температуру (отмечена оранжевым/красным цветом) тропических и средних широт, когда верхние участки тропосферы являются сухими, а датчик осуществляет наблюдение ближе к поверхности, а также температуры низкой яркости (отмечено зеленым), когда имеет место высокая влажность, а излучение испускается более высокими слоями.

В моделях ЧПП используются частичные дифференциальные уравнения Навье-Стокса. В связи с тем, что эти уравнения моделируют атмосферные процессы, обладающие высокой нестабильностью, они чрезвычайно чувствительны к качеству исходных сформированных трехмерных профилей. Эти проблемы описаны Лоренцом, и в настоящее время имеется их четкое объяснение с позиций "теории хаоса". Для выполнения моделей ЧПП необходимы самые мощные суперкомпьютеры.

РИСУНОК 5-11

Глобальные обобщенные измерения температуры (К), полученные с помощью AMSU-B



Meteo-05-11

Для повышения эффективности моделей ЧПП, необходимо, чтобы для глобальных моделей ЧПП на всемирной основе с разрешением 50 км и для региональных/локальных моделей ЧПП с разрешением 10 км инициализация модели была улучшена и осуществлялась чаще: как минимум раз в 6 часов. В будущем потребуется получать информацию приблизительно каждые 3 часа.

5.1.7.4 Характеристики пассивных датчиков, ориентированных в надир, которые работают в диапазоне 60 ГГц

Большинство пассивных микроволновых датчиков, предназначенных для измерения параметров тропосферы/стратосферы, является приборами, ориентированными в надир. В них используется поперечная механическая схема сканирования (в настоящее время) или схема постоянного сканирования (в будущем) в плоскости, которая является нормалью к скорости спутника, содержащей направление в надир. При такой конфигурации обеспечивается оптимальная зона видимости (FOV) и оптимальное среднее качество данных. Типовые характеристики приборов для зондирования температуры, которые работают на частотах около 60 ГГц и размещаются на борту спутников на низкой околоземной орбите, приведены в Таблице 5-3.

ТАБЛИЦА 5-3

**Типовые характеристики приборов вертикального зондирования,
работающих в диапазоне частот 60 ГГц**

Характеристика	Механическое сканирование (в настоящее время)	Постоянное сканирование (в будущем)
Ширина полосы канала (МГц)	400	15
Время интегрирования (с)	0,2	2,45
Диаметр антенны (см)	15	45
МПО по уровню 3 дБ (градусы)	3,3	1,1
FOV при поперечном сканировании (градусы)	±50	±50
Усиление антенны (дБи)	36	45
Усиление дальнего бокового лепестка (дБи)	-10	-10
Эффективность луча (%)	> 95	> 95
Радиометрическое разрешение (К)	0,3	0,1
Ширина полосы обзора (км)	2 300	2 300
Размер элемента разрешения в надире (км)	49	16
Количество элементов разрешения/линий	30	90

5.1.7.5 Пассивный микроволновый краевой зонд

Микроволновые краевые зонды (MLS), предназначенные для наблюдения атмосферы в направлениях по касательной к ее слоям, используются для исследования атмосферы от ее нижних до верхних областей, в которых интенсивная фотохимическая деятельность может оказывать мощное влияние на климат Земли. Основные характеристики измерения тангенциальной составляющей краевого излучения являются следующими:

- используется наиболее длинная трасса, которая максимально увеличивает сигналы от второстепенных компонентов атмосферы, обладающих низкой концентрацией, а также обеспечивает возможность зондирования на больших высотах;
- разрешение по вертикали определяется переносом излучения через атмосферу, а также вертикальной зоной видимости антенны. Типовой пример показан на Рисунке 5-12;
- разрешение по горизонтали, нормальное к линии прямой видимости, в основном определяется горизонтальной зоной видимости антенны и размытием, вызванным движением спутника;
- разрешение по горизонтали, а также зона прямой видимости, в основном, определяется переносом излучения через атмосферу;
- космический фон является оптимальным для измерения излучения; и
- измерения краевого излучения в значительной степени подвержены влиянию помех, создаваемых межспутниковыми линиями.

Впервые микроволновые краевые зонды были запущены в 1991 году и выполняли следующие функции:

- вертикальное сканирование атмосферы в диапазоне высот 15–120 км, в двух боковых ортогональных направлениях бокового обзора;
- типовое разрешение по вертикали для измерения профиля (ширина функции взвешивания по половинному значению) составляет приблизительно от 3 до 6 км, как показано на Рисунке 5-12;
- типовое разрешение по горизонтали составляет 30 км поперек и 300 км вдоль направления наблюдения;
- получение полного профиля занимает менее 50 с; и
- наблюдение теплового краевого излучения осуществляется в пяти участках микроволнового спектра (см. Таблицу 5-4).

РИСУНОК 5-12

Вертикальные весовые функции для микроволнового краевого зондирования
(получены с использованием антенны диаметром 1,6 м на высоте 600 км)

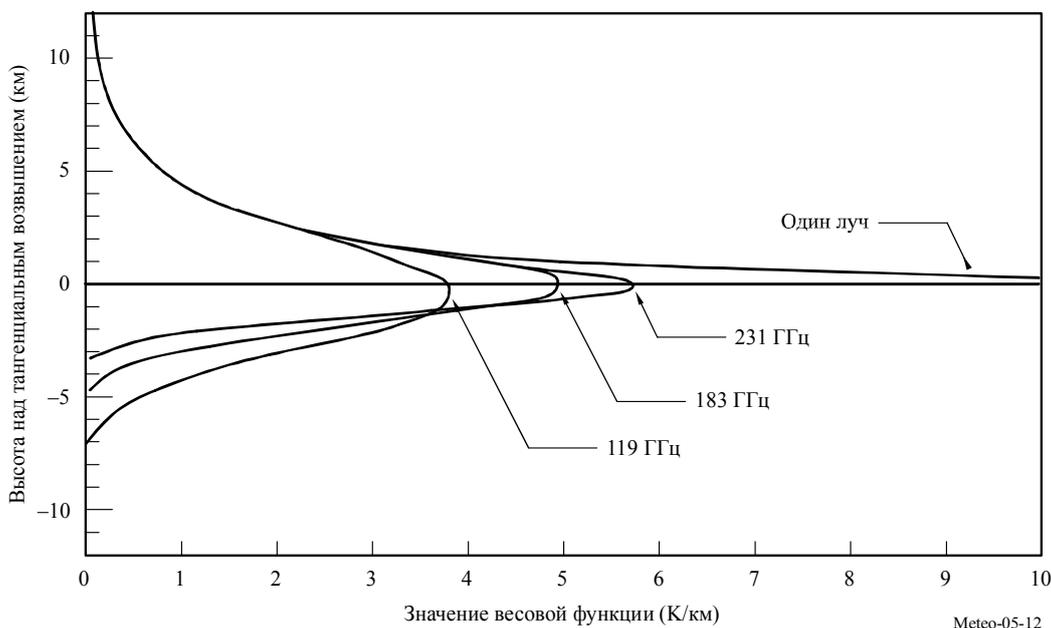


ТАБЛИЦА 5-4

Примерные показатели измерения, осуществляемого типовыми микроволновыми
краевыми зондами и участки спектра

Геофизический параметр	Участок спектра (ГГц)	Высота (км)	Среднеквадратическое значение уровня шума (интервальное время)
Атмосферное давление	50–60	30–70	1% (2 с)
Скорость ветра	119	70–110	2–10 м/с (10 с)
Температура		20–100	0,5–3 К (2 с)
O ₂		80–120	3×10^{-3} v/v (2 с)
Магнитное поле		80–110	0,3–1 мГаусс (10с)
H ₂ O	183	15–90	1×10^{-7} v/v (2 с)
ClO	205	20–40	2×10^{-10} v/v (10 с)
O ₃		15–90	1×10^{-8} v/v (2 с)
H ₂ O ₂		20–50	9×10^{-10} v/v (10 с)
O ₃	231	15–90	1×10^{-8} v/v (2 с)
CO		15–100	1×10^{-7} v/v (10 с)

Новое поколение микроволновых краевых зондов измеряет температуру нижней стратосферы и концентрацию газов (H₂O, O₃, ClO, BrO, HCl, OH, HO₂, HNO₃, HCN, и N₂O) на предмет их роли в разрушении озонового слоя, трансформации парниковых газов, радиационном воздействии на изменение климата, а также на предмет диагностики этих явлений. Микроволновые краевые зонды также проводят измерения H₂O, O₃, CO и HCN в тропосфере на предмет их роли в радиационном воздействии на изменение климата и диагностики обмена между тропосферой и стратосферой.

С помощью микроволновых краевых зондов проводится наблюдение за мельчайшими деталями химического состава озона путем измерения многих радикалов, резервуаров и исходных газов в химических циклах, приводящих к разрушению озонового слоя. Этот набор измерений предоставит строгие критерии для достижения понимания химического состава глобальной стратосферы, поможет объяснить наблюдаемые тенденции в озоновом слое и сможет обеспечить раннее предупреждение о любых изменениях химического состава в данном районе.

Изначально микроволновые краевые зонды обладали возможностью измерения профилей водяного пара в верхних слоях тропосферы. Эти знания имеют большое значение для понимания изменчивости климата и глобального потепления, в отношении которого ранее было чрезвычайно трудно обеспечить надежное наблюдение в мировом масштабе.

В будущем с помощью микроволновых краевых зондов можно будет наблюдать дополнительные химические компоненты и образцы на других частотах.

5.1.7.6 Восприимчивость пассивных микроволновых зондов к помехам

В пассивных датчиках происходит накопление всех естественных (желательных) и антропогенных (нежелательных) излучений. В целом они не могут отличать эти два типа сигналов, потому что атмосфера является крайне нестабильной средой с характеристиками, которые быстро меняются как в пространстве, так и во времени. Конкретная проблема пассивных датчиков заключается в присутствии большого числа излучателей малой мощности в области измерения датчика. К таким излучателям малой мощности относятся сверхширокополосные (СШП) устройства, промышленные, научные и медицинские (ПНМ) применения и устройства малого радиуса действия (SRD). По мере увеличения плотности таких наземных активных устройств и случаев серьезных помех, о которых уже сообщалось, ситуация становится все более и более критической.

Таким образом, пассивные датчики являются чрезвычайно восприимчивыми к помехам, даже при весьма низких уровнях мощности, и это может иметь весьма серьезные неблагоприятные последствия:

- показано, что всего лишь 0,1% испорченных данных, полученных со спутника, может быть достаточно для возникновения неприемлемых ошибок в прогнозах погоды, получаемых на основе численных методов прогнозирования, что тем самым подрывает доверие к этим уникальным пассивным методам измерения, рассчитанным на любую погоду;
- систематическое уничтожение данных, если имеется вероятность возникновения помехи (если ее можно обнаружить) может привести к невозможности распознавания новых развивающихся погодных условий, и имеющие важнейшее значение признаки быстрого развития потенциально опасных бурь могут быть не замечены;
- поврежденные данные, если они не были обнаружены, что является весьма вероятным, будут ошибочно приняты за достоверные данные, а выводы, полученные на основе результатов анализа этих искаженных данных, будут в значительной степени ошибочными;
- при проведении климатологических исследований, и в частности при мониторинге "глобального изменения", помехи могут привести к ошибочному толкованию климатических сигналов.

В Рекомендациях МСЭ-R RS.1028 и МСЭ-R RS.1029 содержатся требуемые показатели работы радиометрических приборов и допустимые уровни помех, соответственно.

5.2 Активные датчики

5.2.1 Введение

Цель настоящего раздела состоит в описании потребностей в частотах радиоспектра для космических активных датчиков, и в частности тех датчиков, которые используются при мониторинге метеорологических явлений. Цель состоит в представлении отдельных типов датчиков и их характеристик, которые определяют индивидуальные потребности датчиков в частотах; представлении критериев качества и помех, необходимых для исследований совместимости с другими службами в рассматриваемых полосах частот и представлении состояния проводимых в настоящее время исследований совместимости космических активных датчиков и других служб вместе с другими вопросами и соображениями.

Существует пять ключевых типов космических активных датчиков, рассматриваемых в настоящем Справочнике:

Тип 1: Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR) – датчики, ориентированные по одну сторону траектории от надира, которые собирают данные изменения по фазе и времени отраженного когерентного радиолокационного сигнала, на основе которого обычно может быть создан радиолокационный снимок поверхности Земли.

Тип 2: Высотометры – датчики, ориентированные на надир, которые измеряют точное время между событием передачи и событием приема для получения точных данных о высоте уровня мирового океана.

Тип 3: Рефлектометры – датчики, имеющие различную ориентацию относительно траектории от надира и измеряющие изменение мощности отраженного эхо-сигнала в зависимости от угла обзора с целью определения направления и скорости ветра на поверхности мирового океана.

Тип 4: Радары контроля осадков – датчики, сканирующие перпендикулярно траектории от надира и измеряющие эхо-сигнал радара от дождевых осадков для определения интенсивности дождя над поверхностью Земли и трехразмерной структуры дождя.

Тип 5: Радары профилирования облачности – датчики, ориентированные на надир и измеряющие отраженный эхо-сигнал радара от облаков для определения профиля отражательной способности облаков над поверхностью Земли.

Характеристики пяти ключевых типов активных космических датчиков сведены в Таблицу 5-5.

ТАБЛИЦА 5-5

Характеристики активных космических датчиков

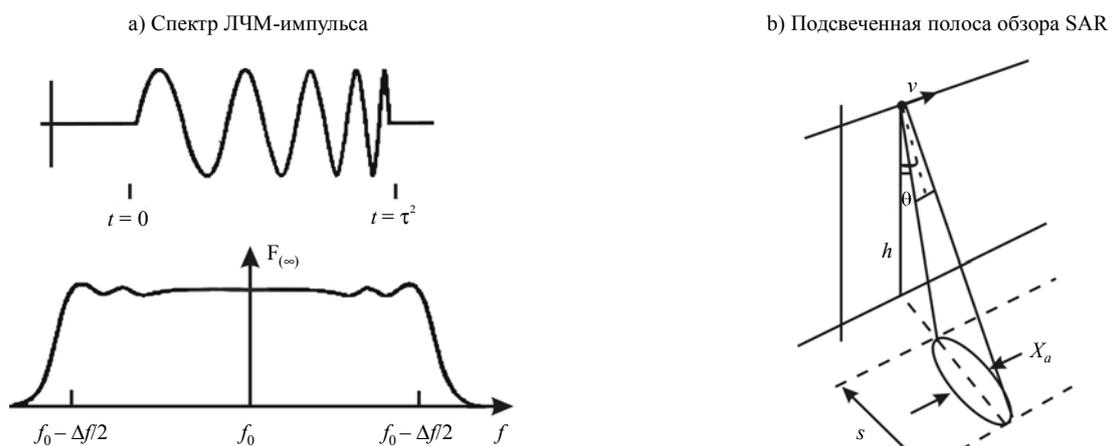
Характеристика	Типы датчиков				
	SAR	Высотометр	Рефлектометр	Радары контроля осадков	Радары профилирования облачности
Геометрия наблюдения	Ориентация в сторону от надира на 10° – 55°	Ориентация на надир	– Шесть веерных лучей по азимуту – Два конических сканирующих луча	Ориентация на надир	Ориентация на надир
Зона обслуживания/динамика	– Фиксированная относительно одной стороны – ScanSAR	Фиксирована на надире	– Фиксированная в пределах азимута – Сканирование	Сканирование поперек траектории от надира	Фиксирована на надире
Луч антенны	Веерный луч	Остронаправленный луч	– Веерные лучи – Остронаправленные лучи	Остронаправленный луч	Остронаправленный луч
Пиковая излучаемая мощность (Вт)	1 500–8 000	20	100–5 000	600	1 000–1 500
Форма волны	Линейные ЧМ импульсы	Линейные ЧМ импульсы	Прерывистая незатухающая волна или короткие импульсы	Короткие импульсы	Короткие импульсы
Ширина полосы	20–300 МГц	320 МГц	5–80 кГц	14 МГц	300 кГц
Скважность (%)	1–5	46	31	0,9	1–14
Зона обслуживания	Суша/прибрежные районы/океан	Океан/лед	Океан/лед/суша	Суша/океан	Океан/лед

5.2.2 Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR)

Радиолокаторы с синтезированной апертурой предоставляют радиолокационные снимки поверхности Земли. Выбор центральной радиочастоты зависит от взаимодействия поверхности Земли с электромагнитным полем. Ширина полосы радиочастот влияет на разрешающую способность, выражаемую в пикселах изображения. На Рисунке 5-13а) показан ЛЧМ-импульс, а соответствующая ширина полосы радиочастот представлена ниже. Разрешающая способность по дальности равна $c/2(BW \cdot \sin \theta)$, где c – скорость света, BW – ширина полосы радиочастот и θ – угол падения. Например для получения разрешающей способности по дальности 1 м при угле падения 30° ширина полосы радиочастот должна составлять 300 МГц. Многие SAR осуществляют подсветку полосы обзора в одну сторону от вектора скорости, как показано на Рисунке 5-13б). Любые источники помех в пределах подсвеченной области полосы обзора попадут в приемник SAR. Допустимое ухудшение качества изображения по пикселям определяет допустимый уровень помех. На Рисунке 5-14 показан снимок Мертвого моря, сделанный SAR в районе между Израилем и Иорданией.

РИСУНОК 5-13

Спектр ЛЧМ-импульса и подсвеченная полоса обзора SAR



Meteo-05-13

РИСУНОК 5-14

Снимок Мертвого моря, сделанный SAR, вдоль Западного берега между Израилем и Иорданией



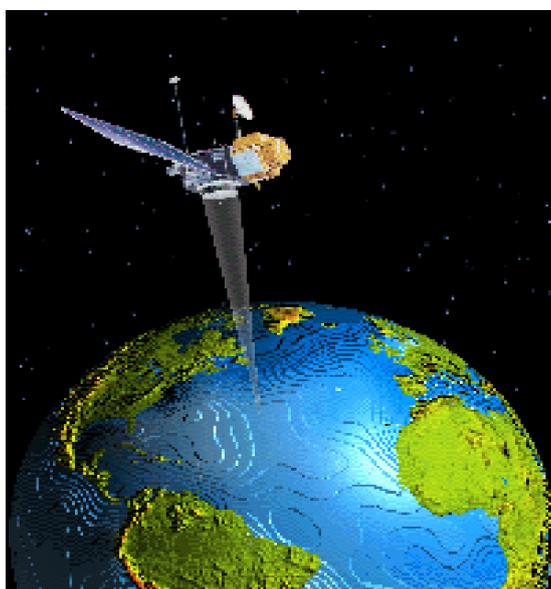
Meteo-05-14

5.2.3 Высотомеры

Высотомеры предоставляют данные о высоте уровня мирового океана. Рисунки 5-15, 5-16а) и 5-16б) иллюстрируют работу спутникового высотомера и его типовую точность. Выбор центральной радиочастоты зависит от взаимодействия поверхности океана с электромагнитным полем. Компенсация задержки в ионосфере обеспечивается работой на разнесенных частотах. Например, использование частот около 13,6 ГГц и 5,3 ГГц демонстрирует один возможный вариант размещения разнесенных частот. Ширина полосы радиочастот влияет на точность измерения высоты. Точность значения разности времен Δt обратно пропорциональна BW , где BW – ширина полосы радиочастот. Допустимое ухудшение точности измерения высоты определяет допустимый уровень помех. С помощью некоторых спутниковых высотомеров было осуществлено измерение топографии океана с точностью до 4,2 см.

РИСУНОК 5-15

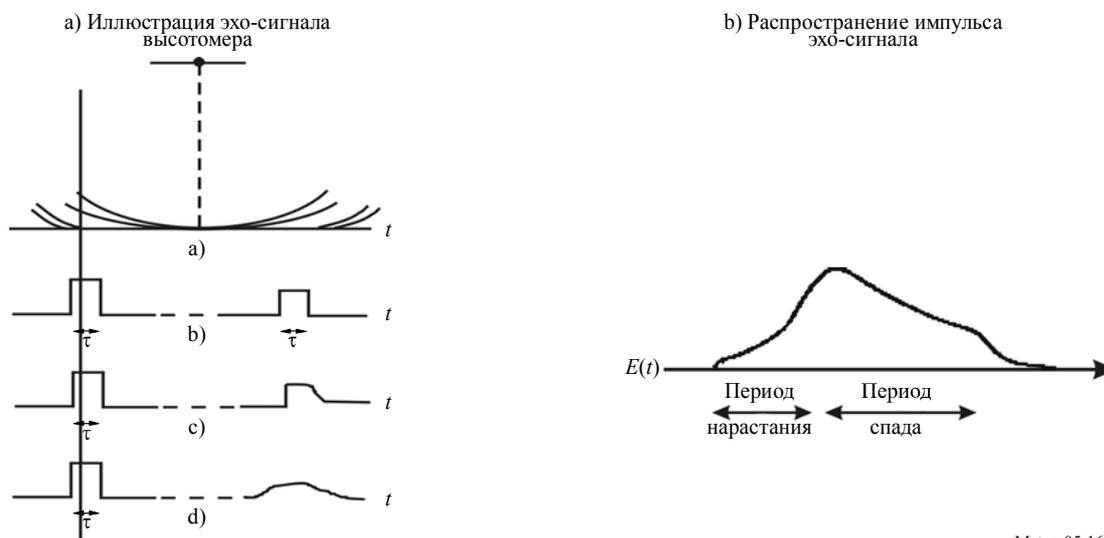
Микроволновый спутниковый высотомер



Meteo-05-15

РИСУНОК 5-16

Иллюстрация эхо-сигнала высотомера и распространение импульса эхо-сигнала



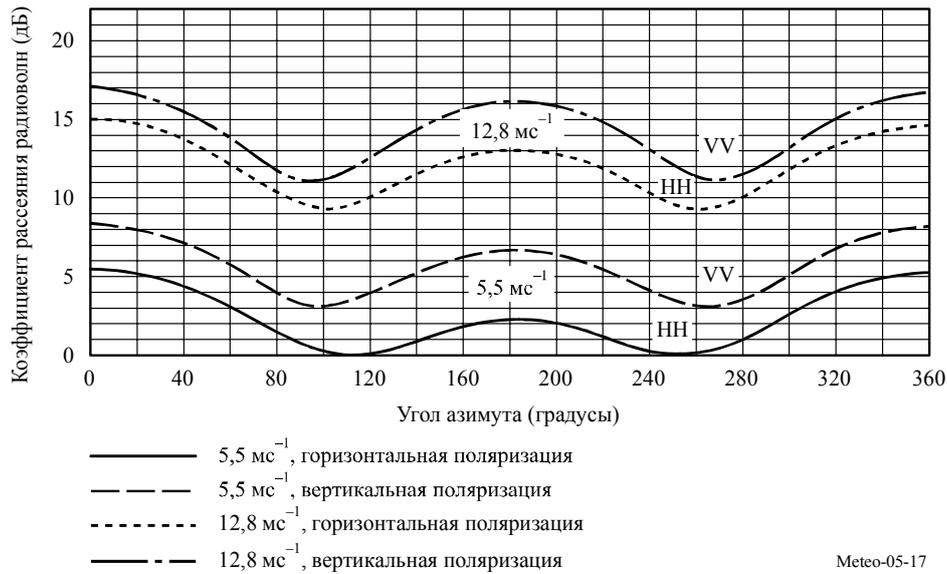
Meteo-05-16

5.2.4 Рефлектометры

Рефлектометры обеспечивают измерение направления и скорости ветра над поверхностью мирового океана. Выбор центральной радиочастоты зависит от взаимодействия поверхности океана с электромагнитным полем и его изменения в зависимости от угла обзора. На Рисунке 5-17 представлена зависимость уровня обратного рассеяния от угла обзора относительно направления вектора скорости ветра.

РИСУНОК 5-17

Изменение обратного рассеяния в зависимости от угла обзора



Meteo-05-17

Как показано на Рисунке 5-18, типовой рефлектометр осуществляет подсветку поверхности Земли при нескольких различных фиксированных углах обзора. На Рисунке 5-19 остронаправленный сканирующий луч рефлектометра подсвечивает области сканирования при двух различных углах обзора от надира и осуществляет сканирование по азимуту на 360° вокруг надира. Узкая ширина радиочастотной полосы обеспечивает необходимый элемент разрешения для проведения измерения.

РИСУНОК 5-18
 Фиксированная зона обслуживания рефлектометра
 Траектория полета

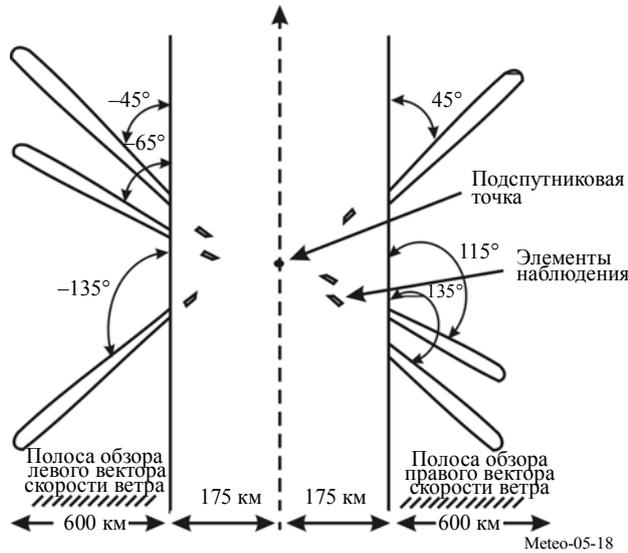
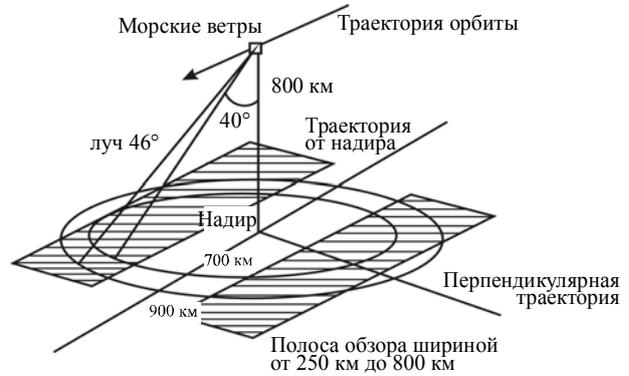


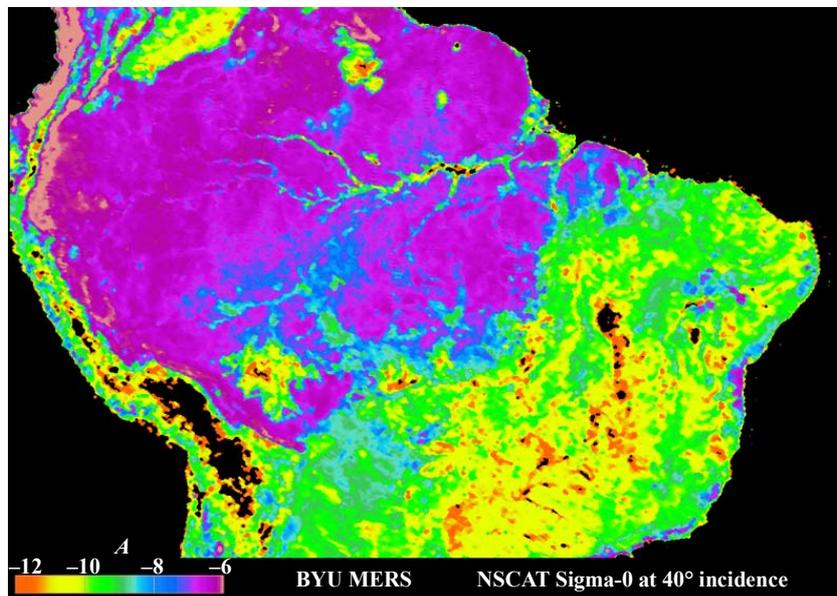
РИСУНОК 5-19
 Область сканирования остронаправленного луча рефлектометра



На Рисунке 5-20 показан пример радиолокационного снимка тропических лесов Амазонки в Южной Америке, сделанного рефлектометром.

РИСУНОК 5-20

Радиолокационный снимок тропических лесов Амазонки в Южной Америке, сделанный рефлектометром NSCAT



5.2.5 Радары контроля осадков

Радары контроля осадков обеспечивают данные об интенсивности осадков над поверхностью Земли – обычно, концентрацию дождевых осадков в тропиках.

Выбор центральной радиочастоты зависит от взаимодействия с осадками с электромагнитным полем. Поперечное сечение обратного рассеяния сферического гидрометеора:

$$\sigma_b = \pi^5 |K_w|^2 D^6 / \lambda^4 = \pi^5 |K_w|^2 Z / \lambda^4, \tag{5-4}$$

где:

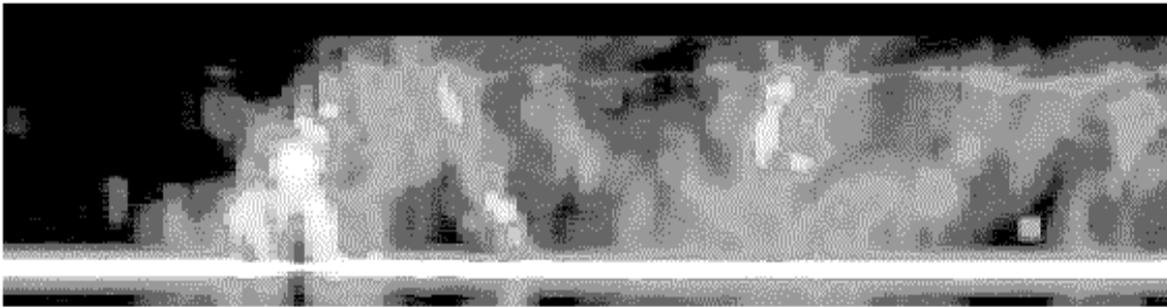
- $|K_W|^2$: относится к коэффициенту преломления водяной капли
 D : диаметр капли (м)
 λ : длина волны радара (м)
 Z : коэффициент отражения радара.

Обратное рассеяние растет пропорционально четвертой степени радиочастоты.

На Рисунке 5-21 показан пример вертикального поперечного сечения, относящегося к коэффициенту отражения радара. Длительность импульсов узкополосного радиочастотного сигнала обеспечивает необходимую разрешающую способность измерения по дальности. В одном из радаров контроля осадков используется длительность импульса, составляющая 1,6 мкс, хотя это значение может быть иным в других системах. Допустимое ухудшение минимальной отражательной способности определяет допустимый уровень помех.

РИСУНОК 5-21

Синтезированная отражательная способность,
полученная на основе измерений отражательной способности



Metco-05-21

5.2.6 Радары профилирования облачности

Радары профилирования облачности предоставляют трехмерный профиль отражательной способности облачности над поверхностью Земли. На Рисунке 5-22 представлена типичная отражательная способность, относящаяся к обратному рассеянию, в зависимости от высоты.

Выбор центральной радиочастоты зависит от взаимодействия поверхности океана с электромагнитным полем и его изменения в зависимости от угла обзора.

Уравнение (5-5) задает выражение для расчета уровня мощности сигнала, отраженного от облачности.

$$\tilde{P} = \frac{\pi^5 10^{-17} P_r G^2 t \theta_r^2 |K_W|^2 Z_r}{6.75 \times 2^{14} (\ln 2) r_0^2 \lambda^2 l^2 l_r} \quad \text{мВт}, \quad (5-5)$$

где:

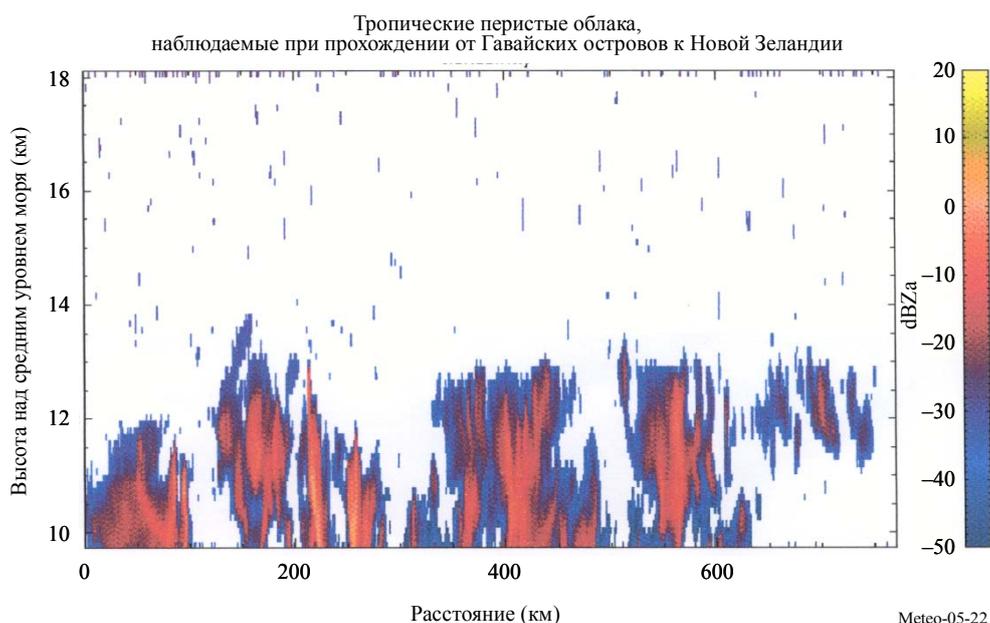
- \tilde{P} : уровень мощности сигнала, отраженного от облачности (мВт)
 P_r : мощность передачи радара (Вт)
 G : усиление антенны (численное значение)
 t : длительность импульса (мкс)
 θ_r : ширина луча антенны по уровню 3 дБ (градусы)
 K_W : диэлектрическая проницаемость воды, содержащейся в облачности
 Z_r : коэффициент отражения облачности ($\text{мм}^6/\text{м}^3$)
 r_0 : дальность (км)
 λ : длина волны радара (см)
 l : потери сигнала из-за поглощения в атмосфере

I_r : потери в радиолокационной системе.

Как показывает данное уравнение, мощность отраженного сигнала уменьшается пропорционально квадрату длины волны. Поскольку частота обратно пропорциональна длине волны, мощность отраженного сигнала растет пропорционально квадрату радиочастоты. В случае малых частиц (релеевский режим) мощность отраженного сигнала увеличивается пропорционально частоте в четвертой степени, так как соотношение зависит от размера частиц по отношению к длине волны. Антенны радаров профилирования облачности имеют очень небольшие боковые лепестки, с тем чтобы разделить сигнал, отраженный от облачности, от сигнала, отраженного от более высокой поверхности, подсвеченной боковыми лепестками.

РИСУНОК 5-22

Пример отражательной способности перистой облачности



5.2.7 Критерии помех и качества, касающиеся датчиков

Критерии качества и помех в отношении космических датчиков различных типов содержатся в Рекомендации МСЭ-R RS.1166.

5.2.8 Уровни плотности потока мощности (п.п.м.)

Характеристики активных космических датчиков различных типов, представленные в Таблице 5-5, указывают, что пиковая мощность передачи и, следовательно, мощности сигналов, принимаемых на поверхности Земли, будут значительно отличаться по уровню. В Таблице 5-6 представлены уровни плотности потока мощности активных датчиков, создаваемые на поверхности Земли, для некоторых типовых схем датчиков.

ТАБЛИЦА 5-6

Типовые уровни плотности потока мощности на поверхности Земли

Параметр	Тип датчика				
	SAR	Высотомер	Рефлектометр	Радары контроля осадков	Радары профилирования облачности
Излучаемая мощность (Вт)	1 500	20	100	578	630
Усиление антенны (дБ)	36,4	43,3	34	47,7	63,4
Дальность (км)	695	1344	1 145	350	400
п.п.м. (дБ(Вт/м ²))	-59,67	-77,25	-78,17	-46,55	-31,64

Библиография

BROOKNER, E. (Ed.) [1988] *Aspects of Modern Radar*. Artech House, Boston, United States of America.

ELACHI, DR. C. *Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques*. IEEE Press, New York, United States of America.

Тексты МСЭ-Р

Recommendation ITU-R RS.515 – Frequency bands and bandwidths used for satellite passive sensing

Рекомендация МСЭ-Р RS.577 – Полосы частот и требуемые значения ширины полосы, используемые для космических активных датчиков, функционирующих в спутниковой службе исследования Земли (активной) и в службе космических исследований (активной)

Recommendation ITU-R RS.1028 – Performance criteria for satellite passive remote sensing

Recommendation ITU-R RS.1029 – Interference criteria for satellite passive remote sensing

Рекомендация МСЭ-Р RS.1166 – Критерии качества и помех для активных бортовых датчиков

ГЛАВА 6**ДРУГИЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ
ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

	<i>Стр.</i>
6 Введение	90
6.1 Системы распространения информации	90
6.2 Гидрологические системы.....	90
6.3 Радиосвязь для удаленных метеорологических систем и систем контроля окружающей среды	91
6.4 Метеорологические использования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).....	92
6.5 Системы обнаружения молний	92
6.6 Наземное дистанционное зондирование.....	95
6.7 Беспилотные авиационные системы (БАС).....	95

6 Введение

Как обсуждалось в Главе 1, метеорологическим службам необходимо осуществлять сбор данных наблюдений из многочисленных отдаленных мест как на суше, так и над морем. Таким образом, метеорологическая система наблюдений зависит от многих других служб радиосвязи, помимо метеорологической спутниковой службы и вспомогательной службы метеорологии, описанных в главах выше.

Важно также, чтобы метеорологи распространяли информацию и предупреждения потребителям с минимальной задержкой, будь то в густонаселенных районах или в отдаленных малонаселенных районах. Метеорологические службы предназначены для обеспечения морских операций и авиаперевозок во всем мире. В системах ширококвещательной передачи и распространения информации для метеорологических продуктов также используется широкий диапазон служб радиосвязи.

6.1 Системы распространения информации

Распространение прогнозов является столь же важным, как сбор и архивирование метеорологических данных, и составление этих прогнозов. Спасение жизней возможно исключительно путем предоставления этих предсказаний населению, поскольку люди могут принять необходимые меры для защиты своих жизней и имущества, только зная о том, что происходит.

В течение нескольких лет был разработан ряд специализированных радиосистем, с помощью которых осуществляется распространение прогнозов и других метеорологических данных. Среди простейших из этих систем – ширококвещательная передача голосовых сообщений. Для использования таких систем, в которых применяется ОВЧ радио, населению необходим минимальный объем оборудования. Эти системы служат для предупреждения населения об угрозе штормов, наводнениях, экстремальных температурах и других опасностях естественного и искусственного происхождения. Могут быть предоставлены усовершенствованные системы, такие как передачи коротких данных, доступные для лиц с пониженным слухом, которые пользуются специальным оборудованием. Такие системы могут быть также предназначены для того, чтобы обеспечивать распределение непрерывных данных или оставаться в режиме молчания до срабатывания от звукового сигнала тревоги, обозначающего определенное событие, такое как штормовая погода или другая угрожающая опасность. Системы распространения информации можно найти в фиксированной службе и подвижной службе, включая морскую подвижную службу. Другие системы распространения информации работают с использованием радио- и телевизионных передач (наземных и спутниковых) и линий вниз метеорологической спутниковой службы.

На протяжении ряда лет многие администрации использовали высокочастотное радио для предоставления информации о погоде и предупреждений морским судам в море и воздушным судам. Эти системы обычно обеспечивают голосовые передачи и погодную факсимильную передачу (WEFAX). Однако ненадежность передачи на ВЧ обусловила переход многих таких систем на спутниковую передачу.

Наконец, следует также отметить, что для распространения информации о погоде, воде и климате, включая предупреждения о бедствиях, метеорологическим агентствам и сообществам пользователей повсеместно применяются системы фиксированной спутниковой службы, использующие коммерческие полезные нагрузки в диапазоне С (3400–4200 МГц) и в диапазоне Ku (10 700–11 700 МГц). Использование **спутников, работающих в диапазоне С**, особенно важно в тех областях, где условия распространения (например, интенсивные дожди в тропических и экваториальных зонах) делают применение любых других средств электросвязи практически невозможным.

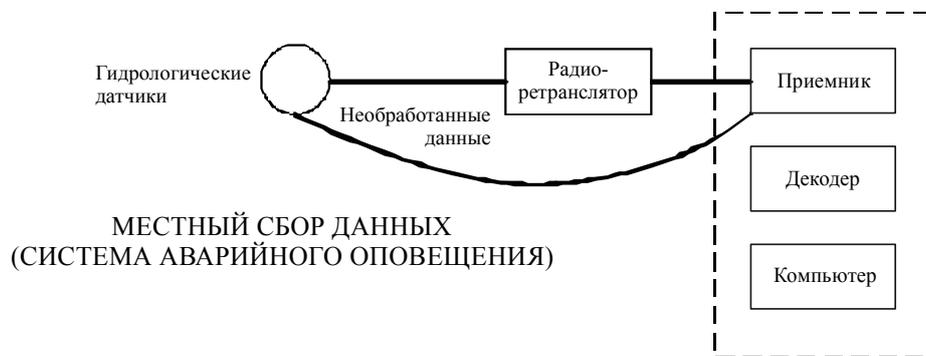
6.2 Гидрологические системы

Наводнения – это естественная и неизбежная часть жизни в значительной части мира, и системы, которые могут помочь в прогнозировании их появления, местоположения и размаха, спасли многие жизни и существенное количество имущества. Предварительная информация позволяет эвакуировать уязвимые группы населения, построить дамбы и плотины и переместить то ценное и незащищенное имущество, которое может быть вывезено. Обычно гидрологические системы используются для измерения таких показателей, как количество осадков, высота потока и глубина снежного покрова, которые требуются при прогнозировании и раннем предупреждении о наводнениях. Они также являются полезными при оценке наличия водных ресурсов.

В настоящее время только в Соединенных Штатах Америки ежегодный ущерб от наводнений в среднем приближается к 4 миллиардам долларов США. Общины, где существуют постоянные проблемы, связанные с наводнениями, и общины, которые не защищены от больших потерь при возникновении паводков, постоянно ищут способы сведения к минимуму этих потерь. Автоматизированные гидрологические системы являются привлекательным решением ввиду низкой стоимости их эксплуатации, и поскольку они могут улучшить работу других методов смягчения последствий наводнений, таких как относящихся к работе водостоков в водоемах, страхованию от наводнений или районированию зон риска затопления.

Автоматизированная гидрологическая система включает метеорологические и гидрологические датчики, сообщающие о событиях, оборудование радиосвязи, компьютерное программное и аппаратное обеспечение. В простейшей системе кодированные сигналы передаются через оборудование радиосвязи (обычно с использованием полос ОВЧ и УВЧ в рамках фиксированной службы или подвижной службы) на базовую станцию, часто – через ретрансляторы (см. Рисунок 6-1). На базовой станции осуществляется сбор этих кодированных сигналов и их обработка для получения значащей гидрометеорологической информации, которая может отображаться или быть связанной с системой тревожной сигнализации и может служить для уведомления лиц, управляющих операциями в условиях чрезвычайных ситуаций, в случае превышения предустановленных критериев.

РИСУНОК 6-1
Схема гидрологической системы



Данные, полученные датчиком, обрабатываются компьютером на месте.
Специальных средств связи между другими станциями компьютерной обработки нет.
Зона покрытия ограничена равнодальностью действия датчиков и ретрансляторов.

Meteo-6-1

6.3 Радиосвязь для удаленных метеорологических систем и систем контроля окружающей среды

Технические характеристики этих систем, включая рабочие частоты, изменяются в широком диапазоне, и могут использоваться почти все метеорологические полосы радиочастот. Выбор часто осуществляется на основе необходимой ширины полосы, которая в свою очередь определяется типом и количеством переносимой информации. Удаленные фиксированные системы в метеорологии служат в различных целях и работают в ряде РЧ полос. Как можно предположить из их названия, они работают в распределениях фиксированной службе. Типичными применениями являются:

Передача речевых ключей или фидерные линии, используемые для переноса сигналов управления или сигналов данных в места расположения передатчиков, служащих для распространения информации, которые часто располагают на удалении (например, на вершинах гор) с целью максимального расширения их зон покрытия.

Дистанционная связь с радаром, используемая для переноса отраженных радиолокационных сигналов от самого радара (часто располагаемого на удалении) в офис, где осуществляется обработка данных. Операторы используют также радиосвязь для дистанционного управления оборудованием, находящегося в месте расположения радара.

Сбор данных, используемый для переноса данных, собранных гидрологическими или метеорологическими датчиками, применяемыми для измерения скорости ветра, интенсивности дождя, температуры, глубины снежного покрова, силы толчков землетрясения (для обнаружения или предсказания землетрясений) или показателей, связанных с любыми другими природными явлениями, из расположенных на удалении мест сбора информации в центральное хранилище или центр обработки.

6.4 Метеорологические использования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)

В настоящее время сигналы GPS, передаваемые на частоте 1575,42 МГц (обозначаемой как L1) и 1227,6 МГц (обозначаемой как L2), (и сигналы ГЛОНАСС) используются метеорологами в следующих целях:

- *Определение местоположения платформ метеорологического наблюдения:* например, радиозондов, переносимых на метеорологических зондах, сбрасываемых парашютных зондов, беспилотных воздушных судов, переносящих метеорологические датчики (см. Главу 3) или морских метеорологических систем, таких как океанографические буи.
- *Очень точная синхронизация времени:* между отдаленными местами наблюдений, как требуется, например для систем обнаружения молний (см. п. 6.5).
- *Измерение общего количества водяного пара в атмосфере:* получают исходя из значения фазовой задержки сигналов GPS, принимаемых наземными приемниками. Вычисление общего количества водяного пара требует проведения чрезвычайно точных расчетов позиции различных спутников GPS и временной синхронизации тактовых сигналов спутников. Положение наземного приемника должно быть также известно с высокой точностью. Приемники GPS обычно устанавливают на неподвижном основании, подходящем для точного отслеживания положения на поверхности Земли, а также предоставления метеорологической информации. Таким образом, измерения могут быть осуществлены в качестве побочного продукта геодезических/сейсмологических наблюдений или с помощью датчиков, специально развернутых метеорологами. Фазовые задержки, вносимые при передаче сигналов через ионосферу, определяются исходя из разностей фаз между двумя частотами GPS (L1 и L2). Если давление и температура на поверхности известны, то можно оценить "сухую" гидростатическую фазовую задержку, вносимую атмосферой, и тогда оставшаяся фазовая задержка будет пропорциональной общему количеству водяных паров вдоль траектории к спутнику. За короткий период времени датчик GPS на поверхности принимает сигналы GPS с многих направлений. Следовательно, можно оценить общее количество водяных паров в вертикальном направлении, а также градиенты в общем количестве водяных паров в горизонтальном направлении вокруг датчика. Данный метод имеет отношение к исследованиям распространения в атмосфере, поскольку он позволяет проводить прямое измерение содержания водяного пара вдоль наклонной траектории от наземного приемника к спутнику. См. также [Coster *et al.*, 1997].
- *Измерение температуры и относительной влажности как функции высоты, получаемой исходя из космических измерений затенения сигналов GPS:* в данном приложении приемник независимого спутника принимает сигналы от группировки GPS, проходящие через атмосферу под малым углом к поверхности Земли. Отражение сигналов GPS измеряется на ряде высот над поверхностью Земли. Это позволяет получить показатель преломления воздуха как функцию высоты. На верхних уровнях нейтральной атмосферы относительная влажность очень мала, и можно предположить, что показатель преломления воздуха прямо зависит от температуры. На уровнях, расположенных ближе к поверхности, ниже границы тропосферы, на показатель преломления оказывают влияние температура и парциальное давление водяного пара. Парциальное давление водяного пара можно оценить, если температура уже известна из другого источника. Измерение метеорологических переменных, осуществляемое данным методом, отличается лучшим разрешением по вертикали, по сравнению с измерением при использовании радиометров пассивного зондирования, ориентированных на надир (см. Главу 5), однако будет средним по горизонтали при относительно больших расстояниях. Как и при измерении общего количества водяного пара, для данного метода требуется очень точная временная синхронизация и знание позиции обоих спутников. Приемники ГНСС планируются для последующего поколения метеорологических спутников на полярной орбите.

6.5 Системы обнаружения молний

Потребность работающих метеорологов в дистанционном зондировании молниевой активности быстро возрастает. Требования клиентов расширяются вместе с ростом использования метеорологических радиолокаторов и метеорологических спутниковых продуктов, и во многих развитых странах имеют высокий приоритет с учетом необходимости автоматизации наблюдений метеоусловий на поверхности. Надежная работа таких систем четко увязана с вопросами общественной безопасности на суше, море и в воздухе. Обеспечение действенной службы прогнозов влияет на эффективность коммерческой и оборонной деятельности. Примерами, относящимися к деятельности, для которой полезны эффективные прогнозы молний, являются безопасность

инженеров, которые работают на линиях электропередач, и персонал, обращающийся с взрывными устройствами.

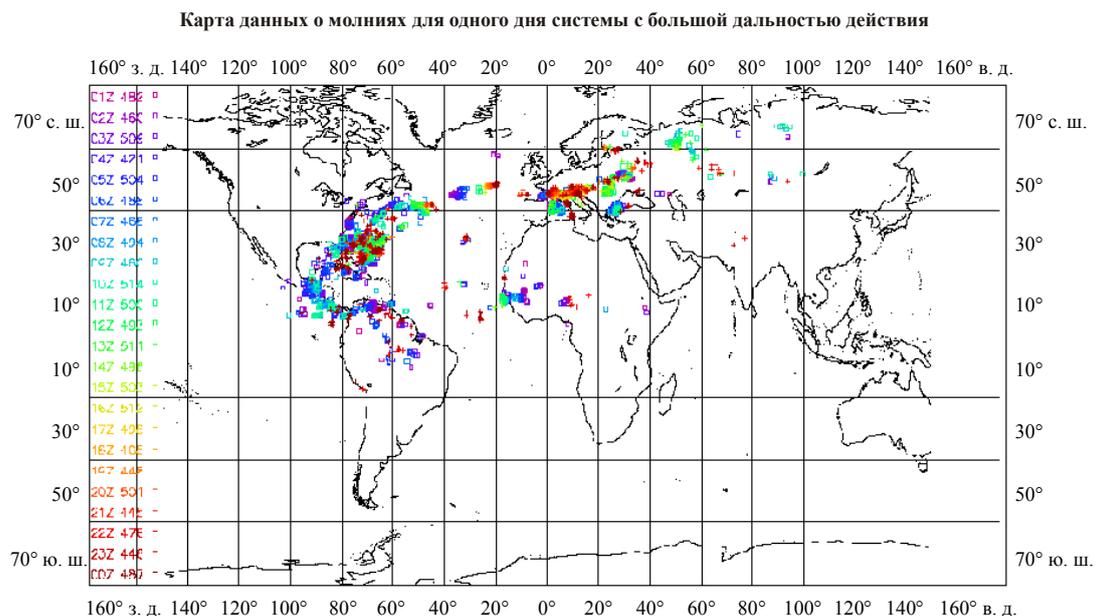
Обнаружение молний – это пассивная деятельность, связанная с использованием радиоприемников для обнаружения фронтов волны, возникающих в результате молниевых разрядов. Данные, получаемые от отдельных станций обнаружения, могут распространяться любыми обычными средствами, включая линии фиксированной связи, телефон, интернет и пр.

В действующих оперативных системах положение вспышки молнии определяется путем измерения направления прихода соответствующей сферической (атмосферной) волны или с помощью измерения времени прихода сферической волны или путем сочетания обоих методов.

Измерения требуется провести более чем в трех разнесенных на большое расстояние местах зондирования. Количество используемых на практике мест обычно больше минимального с целью повышения надежности данных о сообщаемых местоположениях. В случае проведения наблюдений при дальностях свыше нескольких сотен километров системы, в которых используется время прихода, обычно предоставляют более точные данные о местонахождениях, чем системы радиопеленгации. Это обусловлено тем, что направление приема ионосферных волн, зондируемых на месте, обычно немного отличается от реального направления разряда и будет изменяться в зависимости от состояния поверхностных слоев вблизи места проведения зондирования. В системах, использующих время прихода, обычно широко применяются радионавигационные сигналы GPS для обеспечения необходимой синхронизации по времени в различных местах проведения зондирования. Все системы основываются на эффективной по стоимости, надежной связи между удаленными станциями и центральным процессором. Используемая для определения местоположения молниевой активности радиочастота изменяется в зависимости от требуемой зоны мониторинга и конкретного предназначения системы.

Определение местоположений на очень больших расстояниях при дальностях в несколько тысяч километров оперативно обеспечивается путем наблюдения сигналов на частотах, концентрируемых около 10 кГц (2–15 кГц) (см. Рисунок 6-2). В этой системе сферические волны принимаются удаленными станциями, расположенными вокруг Европы с разносом между ними до 2000 км. Сферические волны анализируются методом Фурье и маркируются временной меткой в местах расположения датчиков. Временные выборки немедленно передаются на центральную станцию управления, где осуществляется вычисление местоположений молниевых разрядов на основании разностей времен прихода на станциях. Противодействие помехам низких уровней иногда может осуществляться путем использования регулируемого режекторного фильтра на станциях, где находятся затронутые датчики, но обширные помехи высоких уровней являются крайне вредными для работы системы.

РИСУНОК 6-2



11 581 регистрация гроз за данный период в 24 часа

Meteo-6-2

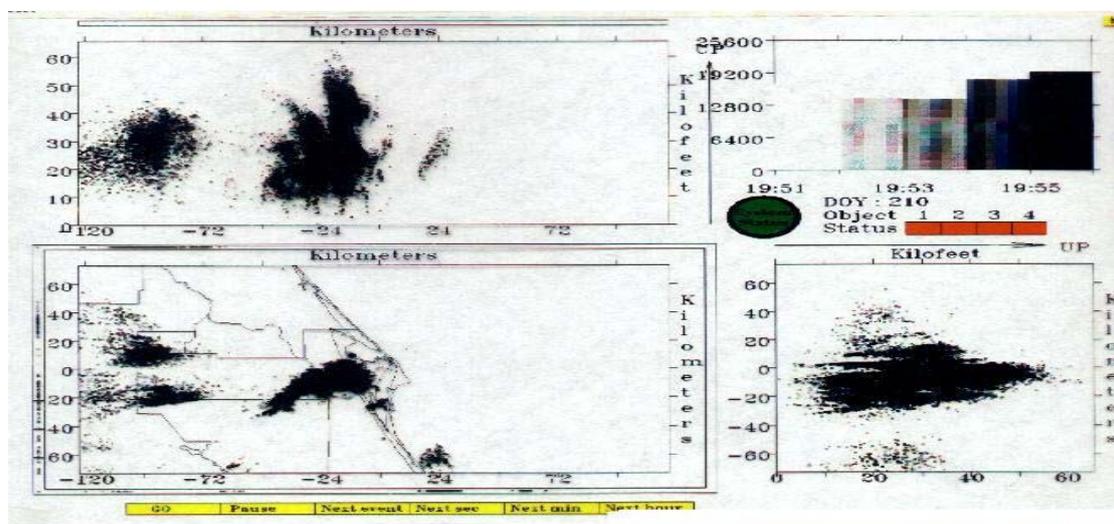
Наиболее широко используемые оперативные системы подробно охватывают более ограниченную зону. В этом случае сферические волны наблюдаются на более высоких частотах, сконцентрированных около 200 кГц (используемые широкополосные приемники имеют наибольшую чувствительность в средней части их диапазона 1–350 кГц), а станции проведения зондирования обычно разнесены на расстояние от 100 км до 400 км в зависимости от того, чему придается особое значение – вспышкам между облачностью и землей или между облаками. На этих высоких частотах разряд от облачности к земле может быть выявлен по выраженному увеличению амплитуды, определяющему передний фронт сферической волны. Время прихода переднего фронта может быть точно рассчитано. Значения времен, получаемые на станциях сети, передаются в центральный процессор и используются для вычисления положений разрядов. Во многих случаях разности времен прихода в сети используются вместе с магнитными системами радиопеленгации, установленными в прошлые годы. В [Holle and Lopez, 1993] рассматриваются различные системы обнаружения молний, а в [Diendorfer *et al.*, 1994] обсуждаются данные наблюдений, полученных с помощью их собственной сети в Австрии.

Кроме того, в некоторых зонах необходимо осуществлять наблюдения всех электрических разрядов (разрядов между облачностью и землей и между облаками), связанных с грозовой активностью. Это обеспечивается путем проведения наблюдений на гораздо более высоких частотах (в системе локации молний (LDAR) используются частоты 63 МГц и 225 МГц, тогда как в системе SAFIR (наблюдение и предупреждение о молниях с помощью радиоэлектрической интерферометрии) используются частоты от 110 до 118 МГц). На Рисунке 6-3 показано устройство отображения в реальном времени системы LDAR. Грозы должны оставаться в пределах прямой видимости, если необходимо вести наблюдения активности в целом. Это требует размещения наземных датчиков в соответствии с "короткой" базовой конфигурацией: для выполнения критериев радиолокационного горизонта необходимо, чтобы расстояние между датчиками составляло 30 км, а расстояние от земли – 50 м. Однако на практике некоторые действующие системы, осуществляющие наблюдение межоблачной активности, работают с наземными датчиками, разнесенными на большее расстояние, используя системы наблюдения активности между облачностью и землей, работающие на более низких частотах, для получения подробных данных о разрядах на более низких уровнях.

В нижнем слева окне на Рисунке 6-3 показаны данные LDAR на карте восточного побережья Флориды (представленной частично). Затем данные проецируются в окно Восток-Запад в зависимости от высоты (наверху слева) и окно Север-Юг в зависимости от высоты (внизу справа; отметим, что это окно повернуто боком на 90°). На гистограмме (сверху справа) отражены данные на пяти одноминутных интервалах.

РИСУНОК 6-3

Устройство отображения в реальном времени системы LDAR



6.6 Наземное дистанционное зондирование

В п. 5.1 было подробно рассмотрено вертикальное зондирование атмосферы с использованием пассивного дистанционного зондирования со спутников. Метеорологи, составляющие подробные местные прогнозы, или ученые, исследующие планетарную границу, предъявляют требования к зондированию атмосферы при большем вертикальном разрешении вблизи земли, чем разрешение, которое может быть обеспечено спутниковыми системами.

Одним из методов предоставления этой информации является использование направленного вверх пассивного дистанционного зондирования с применением установленного на поверхности Земли радиометра. В настоящее время радиометры для этой цели имеются на рынке. В них используется ряд каналов в полосе кислорода между 50 ГГц и 58 ГГц для осуществления измерения данных, касающихся структуры температуры. Каналы между 21 ГГц и 24 ГГц используются для предоставления информации об изменении водяного пара в вертикальном направлении, а наблюдение окна в районе 30 ГГц используется для выявления облачности. В будущем при проведении измерения, относящегося к водяному пару, будут использоваться данные дополнительных наблюдений в нижних крыльях полосы поглощения водяного пара на частоте 183 ГГц.

Несмотря на то что каналы для наземного дистанционного зондирования температуры и влажности расположены в аналогичном районе, что и каналы для спутникового дистанционного зондирования, они не являются идентичными каналам, которые применяются спутниками. На некоторых частотах спутниковое дистанционное зондирование может безопасно совместно использоваться с наземными службами, но наземные радиометры, возможно, потребуют защиты. Количество эксплуатируемых наземных радиометров все еще невелико, однако если осуществляемые в настоящее время разработки будут успешными, то в будущем количество развернутых радиометров может быть большим. В случае намеренного размещения радиометров может быть необходимо разработать метод совместного использования для недопущения помех со стороны других служб.

Значительное количество наземных радиометрических станций также выгодно для пассивного дистанционного зондирования других компонентов атмосферы, например озона (в частности, на частоте 142 ГГц).

6.7 Беспилотные авиационные системы (БАС)

Беспилотные авиационные системы (БАС) приобретают все большую важность для метеорологических операций и операций по наблюдению Земли. Системы БАС удовлетворяют требованиям в отношении наблюдений в случаях, когда традиционные системы не могут быть развернуты, когда полеты пилотируемых воздушных судов невозможны ввиду большой продолжительности полетов и когда существуют опасные условия. В ходе операций БАС (2008 г.) в метеорологических целях для осуществления управления воздушным судном и его контроля часто используется нелицензированный спектр, хотя в некоторых системах используются лицензированные частоты. Системы БАС используются для применений, которые включают обычный запуск парашютных зондов, сбрасываемых над теми областями океана, по которым ранее отсутствовали данные радиозондов, полеты в зоны ураганов и циклонов для сбора данных на месте, аэрорекогносцировку в областях, находящихся в суровых погодных условиях или в условиях засухи, и мониторинг таяния арктических льдов.

Использование БАС для метеорологических операций улучшает прогнозирование областей выхода ураганов на сушу, увеличивает время подготовки населения и позволяет нам лучше понимать наш климат. Помимо управления БАС и их контроля спектр необходим для передачи данных полезной нагрузки. Она может осуществляться в соответствующих полосах, распределенных для метеорологических целей (вспомогательная служба метеорологии) или – в зависимости от объема данных – в других полосах частот.

Справочные материалы

- COSTER, A. J., NIELL, A. E., BURKE, H. K. and CZERWINSKI, M. G. [17 December 1997] The Westford water vapor experiment: use of GPS to determine total precipitable water vapour. MIT/Lincoln Laboratories.
- DIENDORFER *et al.* [1994] Results of performance analysis of the Austrian lightning location network. ALDIS, 22nd International Conference on Lightning Protection, Budapest, Hungary.
- HOLLE, R. L. and LOPEZ, R. E. [1993] Overview of real-time lightning detection systems and their meteorological uses. NOAA Technical Memorandum ERL NSSL-102, National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma, United States of America, p. 68.

Библиография

- LEE, A. C. L. [1986] An experimental study of the remote location of lightning flashes using a VLF arrival time difference technique. *Quarterly J. R. Meteorological Society*.
- LENNON, C. and MAIER, L. [1991] Lightning mapping system. Proc. of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Cocoa Beach, FL., United States of America. NASA Conf. Pub. 3106, Vol. II, p. 89-1, 89-10.
- KAWASAKI, Z. I., YAMAMOTO, K., MATSURA, K., RICHARD, P., MATSUI, T., SONOI, Y. and SHIMOKURA, N. [1994] SAFIR operation and evaluation of its performance. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 21, **12**, p. 1133-1136.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

АКРОНИМЫ И СОКРАЩЕНИЯ, ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТЕОРОЛОГИИ

A		A (продолжение)	
A/D (Analog-to-digital)	Аналогово-цифровой	ANSI (American National Standards Institute)	Американский национальный институт стандартов
AAAS (American Association for the Advancement of Science)	Американская ассоциация содействия развитию науки	AOPC (Atmospheric Observation Panel for Climate)	ГЭАНК (Группа экспертов по атмосферным наблюдениям в интересах изучения климата)
AARS (Automated Aircraft Reporting System)	Система автоматической передачи самолетных сводок	AOS (Acquisition of Signal)	Обнаружение сигнала
ABSN (Antarctic Basic Synoptic Network)	АОКС (Антарктическая опорная синоптическая сеть)	APT (Automatic Picture Transmission)	Автоматическая передача изображения
ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System)	Система связи воздушных судов для адресации и передачи сообщений	ARGOS (Data collection and location system on NOAA series satellites)	Система сбора данных и обнаружения местоположения на спутниках серии NOAA
ACCAD (Advisory Committee on Climate Applications and Data)	АККАД (Консультативный комитет по климатическим применениям и данным)	ASCII (American Standard Code for Information Interchange)	Американский стандартный код для обмена информацией
ACMAD (African Centre of Meteorological Applications for Development)	АКМАД (Африканский центр по применению метеорологии для целей развития)	ASIC (Application Specific Integrated Circuit)	Специализированная интегральная схема
ADAS (Airborne Data Acquisition System)	Бортовая система сбора данных	ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder)	Микроволновый прибор для зондирования на основе усовершенствованной технологии (NPOESS/NASA)
ADC (Analog-to-Digital Converter)	Аналогово-цифровой преобразователь	ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder)	АТОВС (усовершенствованный прибор ТАЙРОС для оперативного вертикального зондирования)
ADEOS (Advanced Earth Observation Satellite (Japan))	АДЕОС (усовершенствованный спутник для наблюдений за Землей) (Япония)	ATSR (Along-Track Scanning Radiometer)	АТСП (радиометр, сканирующий вдоль трассы полета)
ADP (Automatic Data Processing)	Автоматическая обработка данных	AVCS (Advanced Video Camera System)	Усовершенствованная система видеокамер
ADPE (Automatic Data Processing Equipment)	Оборудование для автоматической обработки данных	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	Усовершенствованный радиометр с очень большим разрешением
AFC (Automatic Frequency Control)	Автоматическая подстройка частоты	AWIPS (Advanced Weather Information Processing System)	Усовершенствованная система обработки информации о погоде
AFOS (Automatic Forecasting and Observing System)	Автоматическая система прогнозирования и наблюдения	B	
AGC (Automatic Gain Control)	Автоматическая регулировка усиления	BCD (Binary Coded Decimal)	Двоично-десятичное число
AGRHYMET (Regional Training Centre for Agrometeorology and Operational Hydrology and its Applications)	Региональный центр профессиональной подготовки по агрометеорологии, инженерной гидрометрии и их применениям	BER (Bit Error Rate)	КОБ (коэффициент ошибок по битам)
AIRS (Advanced Infrared Sounder)	АИРС (усовершенствованный прибор для зондирования в ИК-диапазоне) (прибор NASA)	BPS (bits per second)	биты в секунду
ALC (Automatic Level Control)	Автоматическая регулировка уровня	BPSK (Binary Phase Shift Keying)	ДФМН (двухпозиционная фазовая манипуляция)
AM (Amplitude Modulation)	Амплитудная модуляция	BR (ITU Radio-communication Bureau)	БР (Бюро радиосвязи МСЭ)
AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay)	АМДАР (система передачи метеорологических данных с самолета)	BW (Bandwidth)	Ширина полосы
AMI (American Meteorological Society)	Американское метеорологическое общество	C	
AMSR (Advanced Meteorological Temperature Sounder)	АМСР (современный радиометр микроволнового сканирования)	C/N ₀ (Carrier-to-noise density ratio)	Отношение несущей к плотности шума
		C&DH (Command and Data Handling)	Обработка команд и данных
		CaEM (Commission for Aeronautical Meteorology)	КАМ (Комиссия по авиационной метеорологии)
		CAgM (Commission for Agricultural Meteorology)	КСхМ (Комиссия по сельскохозяйственной метеорологии)

С (продолжение)

CAS (Commission for Atmospheric Sciences)	КАН (Комиссия по атмосферным наукам)
CBS (Commission for Basic Systems)	КОС (Комиссия по основным системам)
CCD (Charge Coupled Device)	Прибор с зарядовой связью
CCIR (International Radio Consultative Committee)	МККР (Международный консультативный комитет по радио) (см. МСЭ-R)
CCI (Commission for Climatology)	ККл (Комиссия по климатологии)
CCRS (Canada Centre for Remote Sensing)	Канадский центр дистанционного зондирования
CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems)	Консультативный комитет по системам космических данных
CDA (Command and Data Acquisition)	Управление и сбор данных
CDAS (Command and Data Acquisition Station)	Станция управления и сбора данных
CEOS (Commission on Earth Observation Satellites)	КЕОС (Комитет по спутниковым наблюдениям за Землей)
CERES (Cloud and Earth's Radiative Energy System)	Система изучения радиационного баланса облаков и Земли
CGMS (Coordination Group for Meteorological Satellites)	КГМС (Координационная группа по метеорологическим спутникам)
CHy (Commission for Hydrology)	КГи (Комиссия по гидрологии) (ВМО)
CIESIN (Consortium for International Earth Science Information Networks)	Консорциум для международных информационных сетей наук о Земле
CIMO (Commission for Instruments and Methods of Observation)	КПМН (Комиссия по приборам и методам наблюдений)
CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies)	КИМСС (Кооперативный институт по исследованиям в области метеорологических спутников)
CLICOM (Climate Computing)	КЛИКОМ (Применение ЭВМ в климатологии)
CLINO (Climatological Normals)	КЛИНО (Климатологические нормы)
CLIPS (Climate Information and Prediction Services)	КЛИПС (Обслуживание климатической информацией и прогнозами)
CLIVAR (Climate Variability and Predictability)	КЛИВАР (Изменчивость и предсказуемость климата)
CMA (China Meteorological Administration)	КМА (Китайская метеорологическая администрация)
CMD (Command)	Сигнал управления
CMIS (Conical-scanning Microwave Imager/Sounder)	Конический сканирующий микроволновый датчик изображений/прибор для зондирования (прибор NPOESS)
CMM (Commission for Marine Meteorology)	КММ (Комиссия по морской метеорологии)

С (продолжение)

CNES (Centre National D'Etudes Spatiales)	Национальный центр космических исследований
CNIE (Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales)	Национальный центр космических исследований
COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)	КОАДС (Всеобъемлющий комплект данных по океану и атмосфере)
CONUS (Continental United States)	Континентальные Соединенные Штаты
COP (Conference of the Parties)	КС (Конференция Сторон)
COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)	КИКПМЦ (Комитет по использованию космического пространства в мирных целях)
CORSSAC (Civil Operational Remote Sensing Satellite Advisory Committee)	Консультативный комитет по гражданским спутникам оперативного дистанционного зондирования
COSPAS	КОСПАС – российская спутниковая система поиска и спасания. См. SARSAT
CPCSA (Climate Program Coordination and Support Activities)	ДКПКП (Деятельность по координации и поддержке климатической программы)
CPR (Cloud Physics Radiometer или Cardiorespiratory Resuscitation)	Радиометр, применяемый в физике облаков, или сердечно-легочная реанимация
CPU (Central Processing Unit)	ЦП (центральный процессор)
CRC (Cyclic Redundancy Check/Cyclic Redundancy Code)	Контроль с использованием циклического избыточного кода/циклический избыточный код
CrIS (Cross-track Infrared Sounder)	Прибор для поперечного зондирования в ИК-диапазоне (прибор NPOESS)
CrMIS (Cross-track Microwave Imager-Sounder)	Микроволновый датчик изображений/прибор для поперечного зондирования (прибор NPOESS)
CRT (Cathode Ray Tube)	ЭЛТ (электронно-лучевая трубка)
CSA (Canadian Space Agency)	Канадское космическое агентство
CS&C (Communications Switching and control)	Коммутация и управление связи (часть CDA системы GMACS)
CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	КСИРО (Организация по научным и промышленным исследованиям для стран Содружества Наций)
CSIS (Centralised Storm Information System)	Централизованная система оповещения о штормах
CSM (Climate System Monitoring)	МКС (мониторинг климатической системы)
CSMA/CD (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Detection)	Многостанционный доступ с контролем несущей и обнаружением столкновений
CSTR (Council for Scientific and Technical Research)	Совет по научно-техническим исследованиям
CTCS (CDA Telemetry and Command System)	Система телеметрии и управления для управления и сбора данных (часть CDA системы GIMTACS)

C (продолжение)

CW (Continuous Wave)	Незатухающая волна
CZCS (Coastal Zone Color Scanner)	СППЗ (сканирующий радиометр для получения цветowych изображений прибрежных зон)
D	
D/A (Digital-to-analog)	Цифро-аналоговый
DAAC (Distributed Active Archive Center)	Распределенный активный архивный центр
DADS (Data Archive and Distribution System)	Система распределения и архивирования данных
DAPS (DCS Automated Processing System)	Система автоматической обработки системы сбора данных
DAS (Data Acquisition System)	Система сбора данных
DAS (Data Base Administration System)	Система административного управления базой данных
DAS (Direct Access System)	Система прямого доступа
dB (Decibel)	Децибел
DB (Direct Broadcast)	Прямая широкоэвещательная передача
DBMS (Database Management System)	Система управления базой данных
DCPLS (Data Collection Platform Location System)	ССДМП (система сбора данных и определения местоположения платформ)
DCP (Data Collection Platform)	ПСД (платформа сбора данных)
DCPI (Data Collection Platform Interrogation)	Запрос платформы сбора данных
DCPR (Data Collection Platform Reception)	Прием от платформы сбора данных
DCR (Differential Correlation Radiometer)	Дифференциальный корреляционный радиометр
DCS (Data Collection System)	Система сбора данных
DEMUX (De-Multiplexer)	Демультимплексер
DIFAX (Digital Facsimile)	Цифровая система факсимильной связи
DIR (Daytime Infrared)	Дневной инфракрасный
DLI (Down-Link Interface)	Интерфейс линии вниз (монитор устройства отображения/монитор продукта)
DLM (Down-Link Monitor)	Монитор линии вниз
DLR (German Space Agency) (Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt)	Германское космическое агентство
DMSP (Defense Meteorological Satellite Program)	ПМСМО (Программа метеорологических спутников Министерства обороны США)
DN (Descending Node)	Нисходящий узел
DOMSAT (Domestic Communications Satellite)	Спутник внутренней связи
DPT (Digital Picture Terminal)	Терминал цифровых изображений
DR (Direct Readout)	Прямое считывание
DRGS (Direct Readout Ground Stations)	Наземные станции прямого считывания
DS (Dwell Sounding)	Продолжительное зондирование или зондирование (рабочий узел прибора VAS GOES-4/7)

D (продолжение)

DSARS (DAMUS Satellite Archive and Retrieval System)	Спутниковая система поиска и архивирования данных DAMUS
DSB (Direct Sounder Beacon)	Радиомаяк прямого зонда
DSB (Direct Sounder Broadcasts)	Широковещательные передачи прямого зонда
DSN (Deep Space Network)	Сеть для дальнего космоса
DUS (Data Utilisation System)	Система использования данных
E	
EBR (Electron Beam Recorder)	Электронно-лучевое регистрирующее устройство
EC/AGE (Executive Council Advisory Group on the Exchange of Meteorological and Electronics Calibration)	Консультативная группа ИС по обмену метеорологическими данными и данными калибровки электронного оборудования
ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts)	ЕЦСПП (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды)
EDC (EROS Data Center)	Центр обработки данных EROS
EDIMS (Environmental Data & Information Management Systems)	Системы управления информации и данными об окружающей среде
EES (Earth Exploration Satellite)	Спутник исследования Земли
EESS (Earth Exploration-Satellite Service)	ССИЗ (Спутниковая служба исследования Земли)
EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power)	Э.и.и.м. (эквивалентная изотропно излучаемая мощность)
EIRPSD (Equivalent Isotropically Radiated Power Spectral Density)	Спектральная плотность э.и.и.м. (эквивалентной изотропно излучаемой мощности)
ELT (Emergency Locator Transmitter)	Аварийный приводной передатчик
ELV (Expendable Launch Vehicle)	Ракета-носитель одноразового использования
EMC (Electromagnetic Compatibility)	ЭМС (электромагнитная совместимость)
EMI (Electromagnetic Interference)	ЭМП (электромагнитные помехи)
ENSO (<i>El Niño</i> /Southern Oscillation)	Эль-Ниньо и Южное колебание
ENVISAT (Environmental Satellite)	ЭНВИСАТ (спутник для изучения окружающей среды)
EOS (Earth Observation Satellites)	Спутники наблюдения Земли
EPIRB (Emergency Position-Indicating Radio Beacon)	Радиомаяки-указатели места бедствия
EPOCS (Equatorial Pacific Ocean Climate Studies)	Исследования климата в экваториальных районах Тихого океана
EPS (Energetic Particle Sensor)	Датчик энергетических частиц
ERB (Earth Radiation Budget)	Радиационный баланс Земли
ERBE (Earth Radiation Budget Experiment)	Эксперимент по исследованию радиационного баланса Земли
ERL (Environmental Research Laboratory)	Лаборатория исследования окружающей среды

Е (продолжение)

EROS (Earth Resources Observing Satellite)	Спутник наблюдения за ресурсами Земли
ERS (ESA Remote Sensing Satellite)	Спутник дистанционного зондирования Европейского космического агентства
ESA (European Space Agency)	Европейское космическое агентство
ESD (Electrostatic Discharge)	Электростатический разряд
ESMR (Electronically Scanning Microwave Radiometer)	Микроволновый радиометр с электронным сканированием
ETA (Estimated Time of Arrival)	Ожидаемое время прихода
ETM (Engineering Test Model)	Модель для технических испытаний
ETM (Enhanced Thematic Mapper)	Усовершенствованная камера для целенаправленного картирования
ETS (Engineering Test Satellite)	Экспериментально-технологический спутник
EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites)	ЕВМЕТСАТ (Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников)
EUV (Extreme Ultraviolet)	Крайняя ультрафиолетовая область
F	
FAX (Facsimile)	Факсимильный аппарат
FC (False Color)	Псевдоцветной
FCC (False Color Composite)	Состав из псевдо-цветов
FCC (Federal Communications Commission)	ФСС (Федеральная комиссия связи)
FDM (Frequency Division Multiplexing)	Мультиплексирование с частотным разделением
FFT (Fast Fourier Transform)	Быстрое преобразование Фурье
FIFO (First-In-First-Out)	Обслуживание в порядке поступления
FM (Frequency Modulation)	ЧМ (частотная модуляция)
FOV (Field of view)	Зона видимости
fps (Frames Per Second)	Кадры в секунду
FSK (Frequency Shift Keying)	ЧМН (частотная манипуляция)
FSS (Fixed-Satellite Service)	ФСС (Фиксированная спутниковая служба)
FSS (Flight Scheduling Software System)	Система программного обеспечения для составления графика движения самолетов
G	
GAC (Global Area Coverage)	ОГЗ (охват глобальной зоны)
GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment)	АМЭКС (Азиатский муссонный эксперимент ГЭКЭВ)
GARP (Global Atmospheric Research Program)	ПИГАП (Программа исследований глобальных атмосферных процессов)
GARS (GOES Archive and Retrieval System)	Система поиска и архивирования данных GOES
GAW (Global Atmosphere Watch)	ГСА (Глобальная служба атмосферы)
GCIP (GEWEX Continental-scale International Project)	МППК (Международный проект ГЭКЭВ континентального масштаба)

G (продолжение)

GCM (General Circulation Model)	Модель общей циркуляции
GCOS (Global Climate Observing System)	ГСНК (Глобальная система наблюдений за климатом)
GDTA (Groupement pour le Développement de la Télédetection Aérospatiale)	Центр по изучению и развитию космической связи
GEO (Geostationary Earth Orbit)	ГО (геостационарная околоземная орбита)
GEWEX (Global Energy and Water Cycle Experiment)	Глобальный эксперимент по изучению энергетического и водного цикла
GHz (Gigahertz)	ГГц (Гигагерц)
GIMGSP (GOES I-M Ground System Project)	Проект наземной системы GOES I-M
GIMTACS (GOES I/M Telemetry and Command System)	Система телеметрии и управления GOES I/M
GIS (Geographical Information Systems)	ГИС (географические информационные системы)
GMACS (GOES Monitoring and Control system)	Система мониторинга и контроля GOES (нынешняя GIMTACS)
GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System)	ГМСББ (Глобальная морская система для случаев бедствия и обеспечения безопасности)
GMS (Geostationary Meteorological Satellite)	ГМС (геостационарный метеорологический спутник)
GMT (Greenwich Mean Time)	Среднее гринвичское время
GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)	ГОЕС (геостационарный оперативный спутник по исследованиям окружающей среды)
GOMS (Geostationary Operational Meteorological Satellite)	ГОМС (геостационарный оперативный метеорологический спутник)
GOOS (Global Ocean Observing System)	ГСНО (глобальная система наблюдений за океаном)
GOS (Global Observing System)	ГСН (Глобальная система наблюдений)
GOSSP (Global Observing Systems Space Panel)	ГОССП (Космическая группа по глобальным системам наблюдений)
GPCP (Global Precipitation Climatology Project)	ГПКО (Глобальный проект в области климатологии осадков)
GPS (Global Positioning System)	ГСКОМ (Глобальная система определения местоположения)
GPSOS (GPS Occultation Sensor)	Датчик радиозатмений глобальной системы определения местоположения
GRC (Glenn Research Center)	Исследовательский центр имени Гленна, бывший Исследовательский центр имени Льюиса (LeRC)
GRS (Ground Receiving Station)	Приемная станция наземного базирования
GRT (GOES Real-time)	Реальновременная база данных GOES
GSFC (Goddard Space Flight Center)	Центр космических полетов имени Годдара
GSN (GCOS Surface Network)	Приземная сеть глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК)

G (продолжение)

GSTDN (Ground Spaceflight Tracking and Data Network) <i>G/T</i>	Наземная сеть слежения за космическим полетом и передачи данных Отношение усиления антенны к шумовой температуре системы (дБ/К)
GTOS (Global Terrestrial Observing System)	ГСНПС (Глобальная система наблюдений за поверхностью суши)
GTS (Global Telecommunications System)	Глобальная система электросвязи
GUAN (GCOS Upper-air Network)	ГУАН (аэрологическая сеть глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК))
GVAR (GOES VARiable)	Система с изменяемым форматом спутника GOES
GWC (Global Weather Center)	Глобальный центр прогнозов погоды
Н	
H1/3	Значительная высота волн
HEPAD (High Energy Proton and Alpha Detector)	Детектор альфа-частиц и протонов высокой энергии
HiRID (High Resolution Imager Data)	Данные формирователя изображения с высоким разрешением
HIRS (High-resolution Infrared Sounder)	ХИРС (инфракрасный датчик с высокой разрешающей способностью) (прибор TIROS)
HOMS (Hydrological Operational Multipurpose System)	ГОМС (гидрологическая оперативная многоцелевая система)
HRD (Hurricane Research Day)	День исследований ураганов
HRD (10)	День исследований ураганов – спутник GOES-East сканирует каждые 10 минут в определенные моменты времени.
HRIS	Инфракрасный датчик с высоким разрешением или интерферометрический датчик с высоким разрешением
HRPT (High Resolution Picture Transmission)	ХРПТ (передача графической информации высокого разрешения)
HRSD (S)	День быстрого сканирования ураганов (стерео), спутники GOES-East и West сканируют каждые 7 1/2
Hz (Hertz)	Гц (Герц)
I	
I/O (Input/Output)	Вход/выход
I/S (Imager and Sounder)	датчик изображений/прибор для зондирования
IAHS (International Association of Hydrological Sciences)	МАГН (Международная ассоциация гидрологических наук)
IAMAS (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences)	МАМАН (Международная ассоциация метеорологии и атмосферных наук)
IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer)	ИАСИ (интерферометр зондирования атмосферы в инфракрасном диапазоне)
ICES (International Council for the Exploration of the Sea)	МСИМ (Международный совет по исследованию моря)

I (продолжение)

ICSAR (International Committee for Search and Rescue)	Международный комитет по поиску и спасанию
ICSU (International Council of Scientific Unions)	МСНС (Международный совет научных союзов)
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике
IF (Intermediate Frequency)	ПЧ (промежуточная частота)
IFOV (Instantaneous Field of View)	МПО (мгновенное поле обзора)
IFRB (International Frequency Registration Board)	МКРЧ (Международный комитет по регистрации частот) (см. БР)
IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme)	МПГБ (Международная программа геосфера-биосфера)
IGF (Image Generation Facility)	Средство формирования изображений
IGFOV (Instantaneous Geometric Field of View)	Мгновенный геометрический сектор обзора
IGOSS (Integrated Global Ocean Services System)	Комплексная глобальная система океанографических служб
IHP (International Hydrological Programme)	МПП (Международная гидрологическая программа)
INDOEX (Indian Ocean Experiment)	ИНДОЭКС (эксперимент по изучению Индийского океана)
INPE (Instituto de Pesquisas Espaciales)	Институт космических исследований
INR (Image Navigation and Registration)	Регистрация изображений и перемещение по ним
INR (Interference to Noise Ratio)	Отношение помеха/шум
INSAT (Indian Satellite)	ИНСАТ (индийский национальный спутник)
IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission)	МОК (Межправительственная океанографическая комиссия)
IODE (International Oceanographic Data and Information Exchange)	ИОДЕ (Международный обмен океанографическими данными и информацией)
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)	МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата)
IPD (IF Presence Detector)	Детектор наличия ПЧ (CDA)
IR (Infrared)	инфракрасный
IRIG (Inter-Range Instrumentation Group)	Межполигонная группа по измерительным средствам
IRIS (Infrared Interferometer Spectrometer)	Инфракрасный интерферометрический спектрометр
IRS (Indian Remote Sensing Satellite)	Индийский спутник дистанционного зондирования
IRU (Inertial Reference Unit)	опорный инерциальный блок
ISSETAP (Intergovernmental Science Engineering & Technology Advisory Panel)	Межправительственная консультативная группа экспертов по вопросам науки, проектирования и технологии

I (продолжение)		L (продолжение)	
ISO (International Organization for Standardization)	ИСО (Международная организация по стандартизации)	LIDAR (Light Detection and Ranging)	ЛИДАР (лазерный дальномер)
ITOS (Improved TIROS Operational System)	Усовершенствованная операционная система TIROS	LMT (Local Mean Time)	Местное среднее время
ITPR (Inferred Temperature Profile Radiometer)	ИК радиометр для определения температурных характеристик	LOS (Loss of Signal)	Потеря сигнала
ITU (International Telecommunication Union)	МСЭ (Международный союз электросвязи)	LPA (Low Power Amplifier)	Маломощный усилитель
ITU-R (ITU Radio-communication Sector)	Сектор радиосвязи МСЭ (бывший МККР и МКЧР)	lpi (lines per inch)	Линии на дюйм
J		lpm (lines per minute)	Линии в минуту
JDIMP (Joint GCOS/GOOS/GTOS Data Management and Information Panel)	Группа экспертов по вопросам информации и управления данными ГСНК/ГСНО/ГСНПС	LRIT (Low Rate Information Transmission)	Низкоскоростная передача информации
JERS (Japanese Earth Resources Satellite)	Японский спутник для исследования ресурсов Земли	LRPT (Low Resolution Picture Transmission)	Передача изображений с низким разрешением
JIC (Joint Ice Center)	Объединенный центр по изучению льда	LUT (Look-up Table или Local User Terminal)	Справочная таблица или оконечное устройство местного пользователя
JMA (Japan Meteorological Agency)	ЯМА (Японское метеорологическое агентство)	LW (Long Wave)	ДВ (длинноволновый)
JPL (Jet Propulsion Laboratory)	Лаборатория реактивных двигателей	LWIR (Long Wave Infra-Red)	Длинные волны инфракрасной области спектра
JSC (Joint Scientific Committee Johnson Space Center)	Объединенный научный комитет Космического центра имени Джонсона	M	
JSTC (Joint Scientific and Technical Committee)	Объединенный научно-технический комитет	mb (Millibars)	мбар (миллибары)
K		Mbit/s (Megabits per second)	Мбит/с (мегабиты в секунду)
K (Kelvin)	Кельвин	MB/s (Megabytes per second)	МБ/с (мегабайты в секунду)
kbit (kilobit(s))	кбит (килобит (килобиты))	MCC (Mission Control Center)	ЦУП (Центр управления полетами)
kB (kilobyte(s))	кБ (килобайт (килобайты))	MCDW (Monthly Climatic Data for the World)	Ежемесячные климатические данные для мира
KBPS или kbit/s (kilobits per second)	кбит/с (килобиты в секунду)	MCS (Moisture Channel Support)	Поддержка в отношении направлений влагопереноса
keV (Thousand Electron Volts)	кэВ (тысяча электронвольт)	MDHS (Meteorological Data Handling System)	Система обработки метеорологических данных
kHz (kilohertz)	кГц (килогерц)	MDUS (Medium-scale Data Utilisation Stations)	Станции среднemasштабного использования данных
KSC (Kennedy Space Center)	Космический центр имени Кеннеди	MEO (Medium Earth Orbit)	Средневысотная околоземная орбита
KSPS (kilo samples per second)	тысяча опросов в секунду	MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector)	Детектор электронов и протонов средней энергии
L		MetAids (Meteorological Aids)	Вспомогательная служба метеорологии
LANDSAT (U.S. earth remote sensing satellite)	ЛАНДСАТ (американский спутник дистанционного зондирования Земли)	МЕТЕОСАТ (European Geostationary Meteorological Satellite)	МЕТЕОСАТ (Европейский геостационарный метеорологический спутник)
LANDSAT-TM (Landsat Thematic Mapper instrument)	Прибор целенаправленного картирования спутника	METOP (European Polar-orbiting Meteorological Satellite)	МЕТОП (Европейский метеорологический спутник на полярной орбите)
LaRC (Langley Research Center)	Исследовательский центр Ленгли	MetSat (Meteorological Satellite)	МЕТСАТ (метеорологический спутник)
LAT/LON (Latitude/Longitude)	Широта/долгота	MeV (Million Electron Volts)	МэВ (мегаэлектронвольты)
LE (Landmark Extraction)	Выбор ориентиров на местности	MeV/n (Million Electron Volts Per Nucleon)	МэВ/н (мегаэлектронвольты на нуклеон)
LEO (Low Earth Orbit)	Низкая околоземная орбита	MHS (Microwave Humidity Sounder)	Микроволновый зонд влажности
LEOP (Launch and Early Orbit Phase)	Фаза запуска и начальной орбиты	MHz (Megahertz)	МГц (Мегагерц)
LeRC	см. GRC	MLS (Microwave Limb Sounder)	Микроволновый крайовой зонд
LGSWG (LANDSAT Ground Station Operations Working Group)	Рабочая группа по вопросам функционирования станции наземного базирования LANDSAT	MODEM (Modulator/Demodulator)	Модем (модулятор/демодулятор)
LHCP (Left-Hand Circular Polarisation)	Левосторонняя круговая поляризация	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Спектрорадиометр для получения изображений среднего разрешения (прибор НАСА)

М (продолжение)

MOPITT (Measurement of Pollution in the Troposphere)	Измерение загрязнения в тропосфере (НАСА)
MOS Marine Observation Satellite	Спутник для наблюдения за состоянием морской среды (Япония)
MPERSS (Marine Pollution Emergency Response Support System)	МПЕРСС (Система поддержки операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды)
mr (Milliradians)	мрад (миллирадианы)
MSFC (Marshall Space Flight Center)	Центр космических полетов имени Маршалла
MSI (Multi-spectral Imaging)	Многоспектральное формирование изображений
MSS (Mobile-Satellite Service)	ПСС (подвижная спутниковая служба)
MSS (Multi-spectral Scanner)	Многоспектральный сканер
MSU (Microwave Sounding Unit)	Оборудование микроволнового зондирования
MTBF (Mean Time Between Failures)	Среднее время между отказами
MTF (Modulation Transfer Function)	Функция передачи модуляции
MUX (Multiplexer)	Мультиплексер
MW (Momentum Wheel, Medium wave, Microwave Megawatt)	Маховик, СВ (средневолновый), МВт (мегаватт) в диапазоне СВЧ
N	
N/S (North/South)	Север/юг
NASA (National Aeronautics and Space Administration)	НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства)
NASCOM (NASA Communications Network)	Сеть связи НАСА
NASDA (National Space Development Agency)	Национальное агентство космического развития
NCDC (National Climatic Data Center)	НЦКД (Национальный центр климатических данных)
NE-delta-N (Noise Equivalent Change in Radiance)	Изменение шумовой эквивалентной схемы при излучении
NE-delta-T (Noise Equivalent Change in Temperature)	Изменение шумовой эквивалентной схемы при изменении температуры
NERC (National Environmental Research Council)	Национальный совет по изучению окружающей среды
NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service)	НЕСДИС (Национальная служба по информации, данным и спутникам для исследования окружающей среды)
NF (Noise Figure)	Коэффициент шума
NHC (National Hurricane Center)	Национальный центр ураганов
NHS (National Hydrological Service)	НГС (Национальная гидрологическая служба)
NIR (Night Infrared или Near Infrared)	Ночной инфракрасный или ближняя инфракрасная область
NMC (National Meteorological Center)	НМЦ (Национальный метеорологический центр)
NMS (National Meteorological or Hydrometeorological Service)	НМС (Национальная метеорологическая или гидрометеорологическая служба)

N (продолжение)

NNODS (NOAA/NOSS Ocean Data System)	Система океанографических данных Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА)/Военно-морской системы наблюдения за Мировым океаном
NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)	НУОА (Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы)
NOAA (Polar METSAT)	Полярная метеорологическая спутниковая служба
NOS (National Ocean Survey)	НОС (Национальная океанографическая служба)
NPOESS (National Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite System)	НПОЕСС (Национальная система оперативных полярно-орбитальных спутников для наблюдения за окружающей средой)
NRCT (National Research Council of Thailand)	Национальный совет по исследованиям Таиланда
NROSS (Navy Remote Ocean Sensing System)	Система для дистанционного зондирования океана ВМФ
NRSA (National Remote Sensing Agency)	Национальное агентство дистанционного зондирования
NRZ (Non-Return to Zero)	Без возврата к нулю
NRZ-L (Non-Return to Zero Level)	Без возврата к нулевому уровню
NSSFC (National Severe Storms Forecast Center)	Национальный центр прогнозирования интенсивных штормов
NSSL (National Severe Storms Laboratory)	Национальная лаборатория исследования сильных штормов
nT (Nano Tesla)	нТл (нанотесла)
NWP (Numerical Weather Prediction)	ЧПП (численный прогноз погоды)
NWS (National Weather Service)	НМС (Национальная метеорологическая служба)
O	
O&M (Operations and Maintenance)	Эксплуатация и техническое обслуживание
OAD (Orbit and Attitude Determination)	Определение пространственного положения и орбиты
OAR (Office of Oceanic and Atmospheric Research)	Бюро по исследованиям океана и атмосферы
OCTS (Ocean Color Temperature Sensor)	Датчик цветовой температуры океана
ONP (Operational Hydrology Programme)	ПОГ (Программа по оперативной гидрологии)
OMI (Ozone Measuring Instrument)	Озонометр
OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite)	Комплект приборов для картирования и определения профиля озона (НПОЕСС)
OOPC (Ocean Observations Panel for Climate)	ГРЧНО (Группа экспертов по развитию системы наблюдений за океаном)
OQPSK (Offset QPSK)	КФМН (квадратурная фазовая манипуляция) со сдвигом
P	
P/SEC (Pulses per second)	Импульсы в секунду
P-P (Peak to Peak)	размах

P (продолжение)		R (продолжение)	
PA (Power Amplifier)	Усилитель мощности	RMDCN (Regional Meteorological Data Communication Network)	РСПМД (региональная сеть передачи метеорологических данных)
PAM (Pulse Amplitude Modulation)	АИМ (амплитудно-импульсная модуляция)	RMS (Root Mean Square)	Среднеквадратичный
PCM (Pulse Code Modulation)	ИКМ (импульсно-кодовая модуляция)	RPM (Revolutions Per Minute)	Об./мин. (количество оборотов в минуту)
PDL (Processor Data Load)	Загрузка данных в процессор	RSS (Root Sum of the Squares)	Корень квадратный из суммы квадратов (модуль вектора)
PDR (Processed Data Relay)	Ретрансляция обработанных данных (РЧ линия GVAR)	RSU (Remote Sensing Unit)	Группа по дистанционному зондированию
PE (Primitive Equation)	Полное уравнение	RT (Real Time)	Реальное время
PEP (Peak Envelope Power)	Пиковая мощность огибающей	RW (Reaction Wheel)	Маховик
PEP (Polynomial Error Protection)	Полиномиальная защита от ошибок (НАСА)	RWA (Reaction Wheel Assembly)	Сборка маховиков
PFD (Power Flux-Density)	п.п.м. (плотность потока мощности)	S	
Pixels (Picture Elements)	Пикселы (элементы изображения)	S/C (Spacecraft)	Космический корабль
PKM (Perigee Kick Motor)	Двигатель повышения перигея	S/N (Signal-to-noise ratio)	Отношение сигнал/шум
PLL (Phase Locked Loop)	ФАПЧ (фазовая автоподстройка частоты)	S/N ₀ (Signal-to-noise density ratio)	Отношение сигнала к плотности шума
PM (Phase Modulation)	ФМ (фазовая модуляция)	S-VAS (Stretched Visible Infrared Spin Scan Radiometer Atmospheric Sounder)	Атмосферный зонд с радиометром вращательного сканирования в расширенных видимом и инфракрасном диапазонах
PN (Pseudonoise)	Псевдошум	S-VISSR (Stretched Visible Infrared Spin Scan Radiometer)	Радиометр вращательного сканирования в видимом и инфракрасном диапазонах (пониженная скорость)
POES (Polar-orbiting Operational Environmental Satellite)	ПОЕС (полярно-орбитальный спутник для исследования окружающей среды)	SAD (Sounder/Auxiliary Data)	Данные зонда/вспомогательные данные
PPM (Parts per million)	Количество частей на миллион	SAGE (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment)	СЕЙДЖ (Эксперимент по стратосферному аэрозолю и газам)
PPS (Pulses per second)	Импульсы в секунду	SAR (Synthetic Aperture Radar or Search and Rescue)	Радиолокатор с синтезированной апертурой или Поиск и спасание
PR (Precipitation Radar)	Радар осадков	SARSAT (Search And Rescue Satellite-Aided Tracking)	САРСАТ (космическая система поиска терпящих бедствие судов и самолётов) см. COSPAS
PRF (Pulse Repetition Frequency)	Частота повторения импульсов	SATCOM (Satellite Communications)	Спутниковая связь
PROFS (Program for Regional Observing and Forecasting Service)	Программа регионального наблюдения и службы прогнозов	SBUV (Solar Backscatter Ultraviolet)	Солнечное ультрафиолетовое излучение обратного рассеяния
PROMET (Working Group on the Provision of Meteorological Information)	ПРОМЕТ (Рабочая группа по предоставлению метеорологической информации)	SC/N ₀ (Subcarrier-to-noise density ratio)	Отношение поднесущей к плотности шума
PSK (Phase Shift Keying)	ФМН (фазовая манипуляция)	SC/OMS (Subcommittee on Operational Meteorological Satellites)	Подкомитет по оперативным метеорологическим спутникам
PWM (Pulse-width Modulation)	ШИМ (широотно-импульсная модуляция)	SC/OES (Subcommittee on Operational Environmental Satellites)	Подкомитет по оперативным спутникам для экологического мониторинга
Q		SCHOTI (Standing Conference of Heads of Training Institutions of National Meteorological Services)	ПДКРУЗ (Постоянно действующая конференция руководителей учебных заведений национальных метеорологических служб)
QC (Quality Control)	Контроль качества	SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography)	Сканирующий абсорбционный спектрометр с формированием изображения для составления атмосферных карт
QPSK (Quadrature PSK)	КФМН (квадратурная фазовая манипуляция)		
R			
R (Rayleigh)	Релей		
RA (Radar Altimeter)	Радиолокационный высотомер		
R/Y (Roll/Yaw)	Совершать движение тонгажа/поворачиваться относительно вертикальной оси		
R&D (Research and Development)	НИОКР (научные исследования и опытно-конструкторские разработки)		
RBSN (Regional Basic Synoptic Network)	РОСС (региональная опорная синоптическая сеть)		
RCS (Reaction Control System)	Реактивная система управления		
RF (Radio Frequency)	РЧ (радиочастота)		
RFI (Radio Frequency Interference)	Радиочастотная помеха		
RGB (Red/Green/Blue)	Красный/зеленый/синий		
RH (Relative Humidity)	Относительная влажность		
RHCP (Right-Hand Circular Polarisation)	Правосторонняя круговая поляризация		

S (продолжение)

SCO (Subcarrier Oscillator)	Генератор поднесущей
SCSMEX (South China Sea Monsoon Experiment)	СКСМЕКС (муссонный эксперимент в Южно-Китайском море)
SDUS (Small-scale Data Utilisation Station)	Станции ограниченного использования данных
SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)	Широкоугольный датчик для наблюдений моря
SEC (Second)	с (секунда)
SEM (Space Environment Monitor)	Прибор для наблюдения за космическим пространством
SEU (Single Event Upset)	Одиночный сбой
SGLS (Space Ground Link System)	Система связи космос-земля
SIGWX (Significant Weather)	Опасные метеоусловия
SIR (Shuttle Imaging Radar)	Радар с формированием изображения, установленный на МТКК "Шаттл"
SIRS (Satellite Infrared Spectrometer)	Спутниковый инфракрасный спектрометр
SIT (CEOS Strategic Implementation Team)	Группа по реализации стратегии Комитета по спутниковым наблюдениям за Землей (КЕОС)
SLAR (Side-looking Airborne Radar)	РЛБО (бортовой радиолокатор бокового обзора)
SN (Space Network)	Космическая сеть
SNR (Signal-to-Noise Ratio)	Отношение сигнал/шум
SOCC Spacecraft Operations Control Center	Центр управления полетами космических кораблей
SOES (Subcommittee on Operational Environmental Satellites)	Подкомитет по оперативным спутникам для экологического мониторинга
SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea)	СОЛАС (Международная конвенция по охране человеческой жизни на море)
SPM (Solar Proton Monitor)	Прибор для наблюдения за протонами солнечного происхождения
SPOT (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre)	Испытательный спутник наблюдения за Землей
SQPSK (Staggered QPSK)	Ступенчатая квадратурная фазовая манипуляция (КФМН)
SPREP (South Pacific Regional Environment Programme)	СПРЕП (Южнотихоокеанская региональная программа в области окружающей среды)
SR (Scanning Radiometer)	Сканирующий радиометр
sr (Steradian)	срад (стерадиан)
SR-IR (Scanning Radiometer-Infrared Channel)	Сканирующий радиометр – канал инфракрасного диапазона
SR-VIS (Scanning Radiometer-Visible Channel)	Сканирующий радиометр – канал видимого диапазона
SSA (WWW System Support Activities)	Деятельность в поддержке систем Всемирной службы погоды (ВСП)
SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)	ССМИ (устройство для получения изображений с помощью специального микроволнового датчика)

S (продолжение)

SST (Sea Surface Temperature)	ТПМ (температура поверхности моря)
SSU (Stratospheric Sounding Unit)	Блок датчиков для стратосферного зондирования
STA (Science and Technology Agency)	Агентство по науке и технике
STC (Scientific and Technical Committee)	Научно-технический комитет
Ster (Steradian)	срад (стерадиан)
STS (Space Transportation System)	Транспортная космическая система
SW (Short wave)	КВ (коротковолновый)
SW (Switch)	Переключатель
SWIR (Short Wave Infrared)	Коротковолновый инфракрасного диапазона
SXI (Solar X-ray Imager)	Датчик изображения в солнечном рентгеновском спектре
SXT (Solar X-ray Telescope)	Солнечный рентгеновский телескоп (космический полет Solar-A)
T	
T/P (Topex/Poseidon)	Спутник Торех/Poseidon
T/V (Thermal Vacuum)	Термовакуумный
T&C (Telemetry and Command)	Телеметрия и управление
TBUS (A 4-letter designator for Ephemeris data message)	Четырехбуквенное обозначение для сообщения эфемеридных данных
TDM (Time Division Multiplexing)	Мультиплексирование с временным разделением
TDRS (Tracking and Data Relay Satellite)	Спутник слежения и ретрансляции данных
TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System)	Спутниковая система слежения и ретрансляции данных
TED (Total Energy Detector или Turtle Excluder Device)	Детектор полной энергии или Приспособление по извлечению черепах
TEMS (Terrestrial Ecosystem Monitoring System)	Система мониторинга за наземной экосистемой
TES (Tropospheric Emission Spectrometer)	Тропосферный эмиссионный спектрометр
TIP (TIROS Information Processor)	Информационный процессор спутника ТАЙРОС
TIR (Thermal Infrared)	Тепловой инфракрасный
TIROS (Television Infra-Red Observational Satellite)	ТАЙРОС (спутник для наблюдений в видимом и ИК-диапазонах спектра)
TLM (Telemetry)	Телеметрия
TM (Thematic Mapper)	Целенаправленное картографирование
TMI (TRMM Microwave Imager)	Микроволновый датчик изображений для проекта TRMM
TMR (Topex Microwave Radiometer)	Микроволновый радиометр спутника Торех
TO (Transfer Orbit)	Промежуточная орбита
TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere)	ТОГА (Программа исследований глобальной атмосферы и тропической зоны океанов)
TOPC	ГЭНПСК (Группа экспертов по наблюдениям за поверхностью суши в интересах изучения климата)
TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)	ТОМС (спектрометр для картографирования общего количества озона)

T (продолжение)

TOS (TIROS Operational System)	Операционная система спутника ТАЙРОС
TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder)	ТОВС (прибор ТАЙРОС для оперативного вертикального зондирования)
TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission)	ТРММ (Проект по измерению осадков в тропиках)
TRUCE (Tropical Urban Climate Experiment)	ТРИУС (эксперимент по тропическому городскому климату)
TT&C (Tracking Telemetry)	Отслеживание телеметрических данных
TV (Thermal Vacuum or Television)	Термовакuumный или ТВ (телевидение)
TVM (Transparent VAS Mode)	Прозрачный режим VAS
U	
UHF (Ultra High Frequency)	УВЧ (ультравысокая частота)
UNEP (United Nations Environment Programme)	ЮНЕП (Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде)
μ rad (Microradian)	мкрад (микрорадиан)
μ s (Microsecond)	мкс (микросекунда)
UTC (Universal Time Coordinated)	МСВ (международное скоординированное время)
UV (Ultraviolet)	Ультрафиолетовый
V	
VAS (VISSR Atmospheric Sounder)	Атмосферный зонд с радиометром VISSR
VCP (Voluntary Cooperation Programme)	ПДС (Программа добровольного сотрудничества)
VDB (VISSR Data Base)	База данных радиометра VISSR
VDUC (VAS Data Utilisation Center)	Центр использования данных зонда VAS
VHF (Very High Frequency)	ОВЧ (очень высокая частота)
VIIRS (Visible Infrared Imager/Radiometer Suite)	Комплект приборов датчика изображений/радиометра видимого и инфракрасного диапазонов (прибор НПОЕСС)
VIP (VAS Image Processor)	Процессор изображения зонда VAS (действующая система обработки датчика с блоком процессора и распределения)
VIRGS (VISSR Image Registration and Gridding System)	Система пересчета и регистрации изображения радиометра VISSR
VISSR (Visible & Infrared Spin Scan Radiometer)	Радиометр вращательного сканирования в видимом и инфракрасном диапазонах
VOS (Voluntary Observing Ship)	СДН (судно, добровольно проводящее наблюдения)
VREC (Very High Resolution Radiometer Data Recorder)	Регистратор данных радиометра с очень большим разрешением
VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)	КСВН (коэффициент стоячей волны по напряжению)
VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer)	Радиометр вертикального температурного профиля

W

WAFC (World Area Forecast Centre)	ВЦЗП (Всемирный центр зональных прогнозов)
WCASP (World Climate Applications and Services Programme)	ВПКПО (Всемирная программа климатических применений и обслуживания)
WCDA (Wallops Command and Data Acquisition (Station))	Станция сбора данных и управления Уоллопс
WCDMP (World Climate Data and Monitoring Programme)	ВПКДМ (Всемирная программа климатических данных и мониторинга)
WCFP (World Climate Data Programme)	ВПКД (Всемирная программа климатических данных)
WCP (World Climate Programme)	ВКП (Всемирная климатическая программа)
WCRP (World Climate Research Programme)	ВПИК (Всемирная программа исследований климата)
WDC (World Data Centre)	МЦД (мировой центр данных)
WEFAX (Weather Facsimile)	Погодная факсимильная передача
WHYCOS (World Hydrological Cycle Observing System)	ВСНГЦ (Всемирная система наблюдений за гидрологическим циклом)
WMO (World Meteorological Organization)	ВМО (Всемирная метеорологическая организация)
WRC (World Radio-communication Conference)	ВКР (Всемирная конференция радиосвязи)
WSFO (Weather Service Forecast office)	Бюро предсказания службы погоды
WSFO-Tap (WSFO ground communications link relaying GOES data)	Наземная линия связи WSFO, ретранслирующая данные спутника GOES
WWRP (World Weather Research Programme)	ВПМИ (Всемирная программа метеорологических исследований)
WWW (World Weather Watch)	ВСП (Всемирная служба погоды)
WX (Weather)	Погода
X	
XBT (Expendable Bathythermograph)	Невозвращаемый батитермограф
XRI (X-Ray Imager)	Датчик рентгеновского изображения
XRS ((Solar) X-Ray Sensor)	Датчик солнечного (рентгеновского) излучения
Y	
yr (Year)	Год
Z	
Z	Общепринятая аббревиатура в отношении времени по гринвичскому меридиану или всемирного времени



* 3 3 7 3 4 *

Отпечатано в Швейцарии
Женева, 2009 г.
ISBN 92-61-12844-0

Фотографии представлены: МСЭ®, ВМО®