

Справочник
Использование радиочастотного спектра
в метеорологии:
прогнозирование и мониторинг погоды, климата
и качества воды
Издание 2017 г.



СПРАВОЧНИК

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

Издание 2017 г.

Бюро радиосвязи



ПРИМЕЧАНИЕ

Обозначения, употребляемые в публикациях МСЭ и ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны МСЭ и ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Заключения, мнения и выводы, представленные в публикациях МСЭ и ВМО с указанием авторов, принадлежат этим авторам и не обязательно отражают точку зрения МСЭ и ВМО. Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы МСЭ и ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации следует направлять по адресу:

Chairperson, Publications Board
World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix
P.O. Box 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03
Факс: +41 (0) 22 730 81 17
E-mail: publications@wmo.int

МСЭ

978-92-61-24871-0 (версия на бумажном носителе)
978-92-61-24881-9 (электронная версия)

ВМО

ВМО-№ 1197
978-92-63-41197-6 (электронная версия)

© WMO-ITU 2017

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за МСЭ и ВМО. Ни одна из частей настоящей публикации не может быть воспроизведена какими бы то ни было средствами без предварительного письменного разрешения МСЭ и ВМО.

ПРЕДИСЛОВИЕ

"Изменение климата создает непосредственную угрозу само по себе и усугубляет множество других угроз, таких как нищета, перемещение населения, конфликты".

Антониу Гутерриш, Генеральный секретарь ООН

Всемирный метеорологический конгресс ВМО (Женева, 2015 г.), в Резолюции 29 (Кг-17):

"учитывая:

1) чрезвычайно важное значение специальных услуг радиосвязи для метеорологической и связанной с ней деятельности в области окружающей среды, необходимой для обнаружения опасных явлений и заблаговременного предупреждения о них, а также для целей предотвращения опасности стихийных и техногенных (антропогенных) бедствий и смягчения их последствий, обеспечения безопасности жизни и имущества людей, охраны окружающей среды, изучения изменения климата и проведения научных исследований;

...

подчеркивая, что некоторые полосы радиочастот являются уникальным естественным ресурсом ввиду их особых характеристик и естественных излучений, позволяющих проводить пассивное зондирование атмосферы и поверхности Земли, и поэтому заслуживают адекватного выделения для услуг спутников (пассивных) для изучения Земли и абсолютной защиты от помех,

...

настоятельно призывает все страны-члены сделать все от них зависящее для обеспечения наличия и защиты подходящих полос радиочастот...

...

предлагает Международному союзу электросвязи и администрациям его государств-членов:

1) что некоторые полосы радиочастот являются уникальным естественным ресурсом ввиду их особых характеристик и естественных излучений, позволяющих проводить пассивное зондирование атмосферы и поверхности Земли, и поэтому заслуживают адекватного выделения для услуг спутников (пассивных) для изучения Земли и абсолютной защиты от помех;

2) должным образом рассматривать потребности ВМО в выделении радиочастот и в положениях регулирующих документов для метеорологической и связанных с ней видов деятельности и научных исследований в области окружающей среды;

..."

Всемирная конференция радиосвязи МСЭ (Женева, 2012 г.), в Резолюции 673 (ВКР-12):

"учитывая,

...

b) 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 формирования политики;

...

e) что многие наблюдения осуществляются во всем мире, что требует рассмотрения вопросов, связанных со спектром, на всемирной основе;

...

h) что наблюдения Земли проводятся на благо всего международного сообщества и их результаты, как правило, предоставляются бесплатно,

...

решает

1 по-прежнему признавать, что использование спектра применениями наблюдения Земли имеет существенную социально-экономическую значимость;

2 настоятельно призвать администрации принимать во внимание потребности в радиочастотном спектре для наблюдения Земли и, в частности, защиту систем наблюдения Земли в соответствующих полосах частот;

3 настоятельно рекомендовать администрациям учитывать важность использования и наличия спектра для применений наблюдения Земли до принятия решений, которые могли бы оказать негативное влияние на работу этих применений".

Свыше 12 000 стихийных бедствий, зарегистрированных в мире за период с 1970 по 2015 год, унесли жизни более 3,5 миллионов человек и нанесли ущерб, оценивающийся на уровне, превышающем 2,7 триллиона долларов США. Девяносто процентов этих стихийных бедствий, более 60% смертей от несчастных случаев и 70% экономического ущерба приходится на такие погодные, климатические и связанные с водной стихией факторы, как засухи, наводнения, ураганы и тропические циклоны, а также на эпидемии заболеваний и нашествия насекомых, непосредственно связанные с метеорологическими и гидрологическими условиями. С изменением климата названные экстремальные явления учащаются, превращаясь в "определяющий вызов нашего времени", и эта тенденция сохранится, если оставить ее без внимания. Существует большое количество достоверных научных доказательств того, что изменение климата будет угрожать не только экономическому росту, долгосрочному процветанию и социальному благополучию практически всех стран, но и самому выживанию наиболее уязвимых групп населения.

Критически важную роль в понимании и решении проблемы изменения климата и его последствий играют технологии и инфраструктура наблюдений и мониторинга. В настоящее время прикладные системы, основанные на использовании радиотехнологий, такие как аппаратура дистанционного зондирования, установленная на борту спутников и на поверхности земли (например, метеорологические радары), служат 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.

К областям, которые рассматриваются в данном контексте, относятся: непрерывные наблюдения и долгосрочный мониторинг солнечной активности с целью углубления наших знаний и понимания воздействия электромагнитного излучения солнца на земную среду, включая климат; непрерывные наблюдения, направленные на оценку изменений, затрагивающих атмосферу, океаны, земную поверхность и криосферу, и использование полученной информации для моделирования изменений климата; и постоянные наблюдения за изменениями озонового слоя и их воздействием на окружающую среду и здоровье людей. Оценка изменений наземного покрова и понимание его динамики признаны в качестве существенных условий для устойчивого управления природными ресурсами, охраны окружающей среды, обеспечения продовольственной безопасности, осуществления программ, связанных с проблемами изменения климата, и гуманитарных программ. Наземные и спутниковые системы радиосвязи играют важную роль в мониторинге углеродосодержащих выбросов, изменений запасов льда в полярных шапках и ледниках и изменений температуры.

Вот уже более 140 лет, начиная с конца XIX века, когда были созданы Международный телеграфный союз и Международная метеорологическая организация, ставшие в 50-х годах XX века соответственно Международным союзом электросвязи (МСЭ) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО), всемирное метеорологическое и телекоммуникационное агентство поддерживают плодотворное сотрудничество и партнерство. В то время, как усилия ВМО сосредоточены на удовлетворении потребностей в информации об окружающей среде и ресурсах радиочастотного спектра, необходимых для стандартных погодных, климатических и гидрологических применений, МСЭ как международный управляющий радиочастотным 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 различных средств наблюдения за атмосферными явлениями и другими факторами окружающей среды, такими как радиозонды, метеорологические радары и радары для профилирования ветра, а также орбитальные инфракрасные и микроволновые зонды.

Настоящая новая версия справочника "Использование радиочастотного спектра в метеорологии: прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды" представляет собой результат совместных усилий экспертов Рабочей группы 7С МСЭ-R под руководством г-на М. Дреиса (ЕВМЕТСАТ), 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 Эрика Алле (Франция).

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 радары, радары для профилирования ветра, а также приборы спутникового дистанционного зондирования. Он предназначен для метеорологического сообщества (т. е. погода, вода и климат) и сообщества электросвязи, включая государственные учреждения, отрасль и широкую общественность.



Г-н Петтери Таалас
Генеральный секретарь
Всемирной метеорологической организации



Г-н Хоулинь Чжао
Генеральный секретарь
Международного союза электросвязи

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	ix
ВВЕДЕНИЕ.....	xi
ГЛАВА 1 – ОБЩАЯ СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	1
ГЛАВА 2 – МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СПУТНИКОВАЯ СЛУЖБА (MetSat).....	9
ГЛАВА 3 – ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГИИ	21
ГЛАВА 4 – МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РАДАРЫ.....	37
ГЛАВА 5 – ПАССИВНОЕ И АКТИВНОЕ БОРТОВОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	75
ГЛАВА 6 – ДРУГИЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – Акронимы и сокращения, обычно используемые в метеорологии.....	115

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

Седьмая 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, входит в компетенцию 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 радары и радары для профилирования 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 и деятельностью. Сегодня передачи, содержащие прогнозы погоды, относятся к числу наиболее популярных передач на телевидении и радио. Прогнозы погоды не только ежедневно влияют на то, как мы одеваемся, и что собираемся делать, но и во многих смыслах определяют безопасность населения. От прогнозов погоды в значительной степени зависит работа общественного транспорта. Способность точно предсказывать погоду критически важна для предоставления обществу услуг высокого уровня, включая, в частности, услуги, связанные с обеспечением безопасности жизни и сохранности имущества во многих сферах, таких как транспорт и, особенно, авиационный транспорт. 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 максимально возможной 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, и в определенных случаях сделает невозможным достижение требуемого уровня достоверности и точности прогнозов.

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. Более того, выдающаяся работа была проделана Докладчиками по различным частям справочника. Особую благодарность следует выразить г-ну Дэвиду Фрэнку (США), г-ну Жилю Фурнье (Канада), г-ну Эрику Алле (Франция), г-ну Дэвиду Томасу (ВМО), г-ну Филиппу Тристану (ЕВМЕТНЕТ) и г-ну Маркусу Дреису (ЕВМЕТСАТ) за их руководство данным проектом.

Особую признательность выражаем также г-ну Вадиму Ноздрину из Бюро радиосвязи, сыгравшему важную роль в опубликовании настоящего справочника.

Джон Зузек
Председатель 7-й Исследовательской комиссии

ВВЕДЕНИЕ

Своевременное предупреждение о природных и экологических бедствиях, точное предсказание климатических явлений и глубокое понимание, сохранение и эффективное использование дефицитных ресурсов, таких как биомасса, биосфера, ископаемые минеральные ресурсы, вода и энергия, представляют собой существенные условия для устойчивого экономического развития. Информация о климате и его изменении, погоде, криосфере, осадках, загрязнении окружающей среды и катастрофах критически важна для повседневной жизни мирового сообщества. Мониторинговые мероприятия обеспечивают получение такой информации, которая необходима для ежедневного прогнозирования и предсказания погоды, исследования проблем изменения климата, охраны окружающей среды, поддержания экономического развития (транспорт, энергетика, сельское хозяйство, строительство зданий, градостроение, коммунальное обслуживание, безопасность) и обеспечения безопасности жизни и сохранности имущества. Наблюдение за поверхностью Земли также помогает получать соответствующие данные о природных ресурсах, что особенно актуально для развивающихся стран. Важно не забывать, что эта информация либо основана на результатах измерений, осуществляемых с помощью систем радиосвязи, либо собирается, предоставляется и распространяется посредством таких систем. Радиосистемы играют основополагающую роль в мониторинге климата и помогают странам смягчать последствия изменения климата, адаптироваться к ним и решать связанные с ними серьезные проблемы. Любая система, функционирование которой основано на использовании радиочастотного спектра, пользуется ограниченным, дефицитным ресурсом. Доступность диапазонов радиочастот, свободных от вредоносных помех, является необходимым условием для развития всех систем наблюдения за поверхностью Земли.

Системы, которые используются для получения и распространения информации, требуют надежного доступа к радиочастотам в диапазоне от нескольких кГц до нескольких сотен ГГц и основаны на применении различных радиотехнологий, таких как радиосвязь (например для радиозондов и спутников), погодная радиолокация (РЛС для наблюдения за осадками и профилем ветра, активные датчики, применяемые в космосе), а также радиотехническое обнаружение средствами космического и наземного базирования (например, пассивное спутниковое дистанционное зондирование или обнаружение молний).

Следует понимать, что все 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 с расширенными возможностями оказывает все возрастающее давление на полосы частот, используемые для метеорологических целей. Это представляет потенциальный риск ограничения метеорологических применений в будущем. Особому риску подвергается спутниковое пассивное дистанционное 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 29 (Кг-17) 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 и критически важны для деятельности и научных исследований, касающихся погоды, водных проблем и климата;
- 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 связи с этим на последних Всемирных конференциях радиосвязи (ВКР) был принят ряд важных решений, касающихся обеспечения метеорологической и связанной с ней экологической деятельности. В частности, на ВКР-15 было решено выделить дополнительный спектр для будущего развития средств активного дистанционного зондирования из космоса и организации высокоскоростных каналов телеуправления спутниками, исследующими земную поверхность, а также для защиты полос радиочастот, используемых при пассивных наблюдениях, на которых может негативно сказаться новое распределение. Принимая во внимание растущий спрос на радиочастотный спектр со стороны коммерческих служб, ВКР-19 и ВКР-23 очень важны для метеорологического сообщества с точки зрения защиты используемого им спектра и будущего развития во всем мире современных систем наблюдения.

В стремлении построить эти исследования с точки зрения перспективы Рабочая группа 7С по радиосвязи "Системы дистанционного зондирования" 7-й Исследовательской комиссии и Руководящая группа по координации радиочастот (РГ-КРЧ) ВМО подготовили настоящий пересмотренный 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.

Настоящий справочник содержит обзорную информацию об использовании систем радиосвязи в целях мониторинга различных проявлений и последствий изменения климата, а также о применениях ИКТ и радиосвязи для решения задачи снижения глобального энергопотребления.

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 радары наземного базирования, включая метеорологические радары и радары для профилирования 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**

1.1	Метеорологические системы Всемирной службы погоды	2
1.1.1	Глобальная система наблюдений	3
1.1.1.1	Приземное наблюдение	3
1.1.1.2	Аэрологическое наблюдение	4
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.....	7
1.2.2	Глобальная система наблюдений за климатом	7
1.2.3	Программа по гидрологии и водным ресурсам.....	7
1.3	Интегрированная глобальная система наблюдений ВМО (ИГСНВ)	7

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 191 Членом (государства и территории), 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. ГСН представляет собой основной элемент Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (ИГСНВ), которая коротко описана ниже.
- **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. ГСТ представляет собой основной элемент Информационной системы ВМО (ИСВ), которая функционирует на базе выделенных наземных и космических сетей и использует технологии радиосвязи и широковещательного распространения видеосигнала. Кроме того, ИСВ активно использует ресурсы Интернета.
- **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



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 жизней 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/sat/satellitestatus.php>.

РИСУНОК 1-2

Глобальная система наблюдений (ГСН) ВМО



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, приземной сети Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК), также используется ГСНК в целях мониторинга климата.

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 приблизительно 20 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 радары и радары для профилирования ветра оказываются весьма ценными при предоставлении данных с высоким разрешением как в пространстве, так и во времени, особенно в нижних слоях атмосферы. Метеорологические радары широко используются как часть национальных и, все чаще, региональных сетей, главным образом, для краткосрочного прогнозирования суровых погодных явлений. Метеорологические радары особенно полезны для оценки количества атмосферных осадков и, когда позволяет доплеровский радиолокатор, измерений ветра. Радары для профилирования 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 4000 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 700 000 сообщений ежедневно, что соответствует приблизительно 90 000 профилям данных АМДАР в 550 аэропортах по всему миру. 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 наблюдения, функционирующих на геостационарной и негеостационарной (преимущественно полярной и низкорасположенной орбите). Общие сведения о функционирующих в настоящее время метеорологических спутниках (по состоянию на июнь 2016 г.), представлены на Рисунке 1-3.

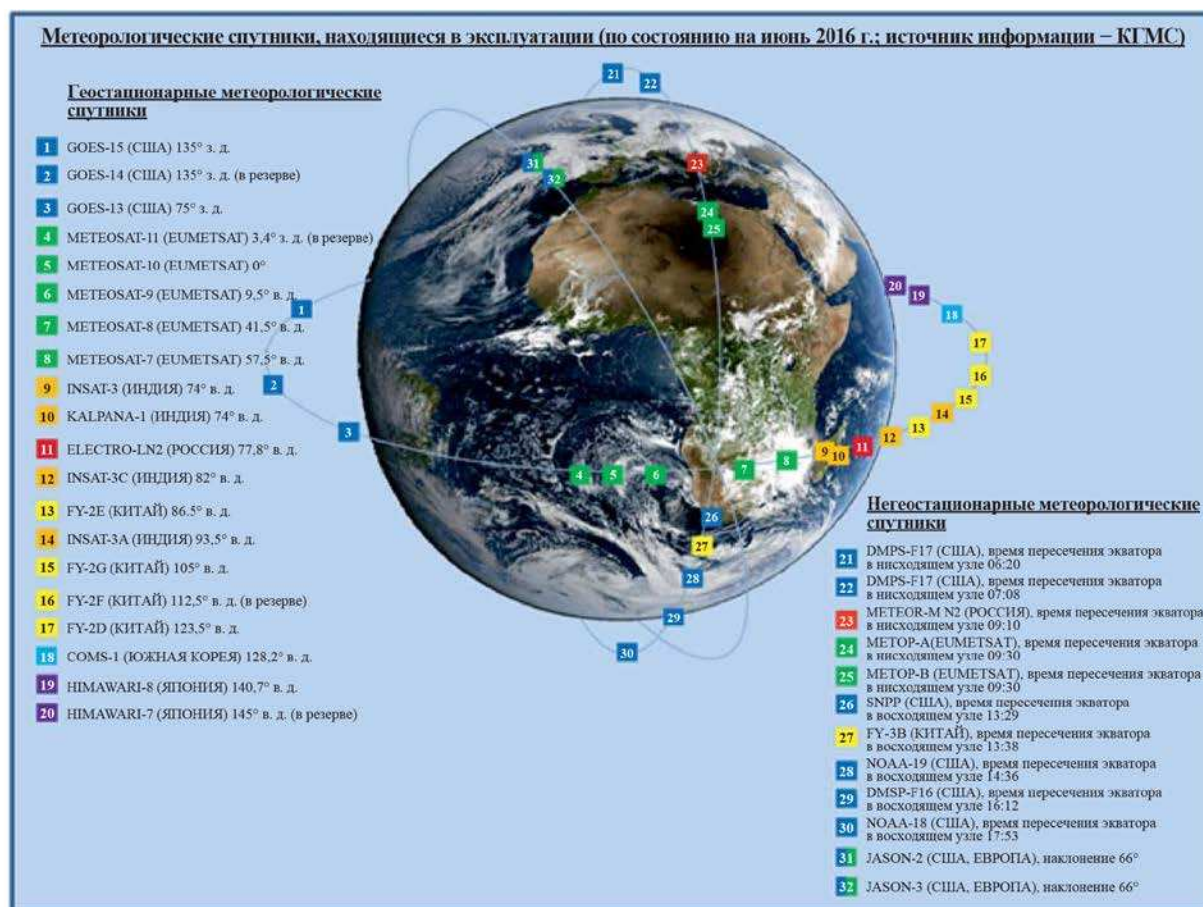
Спутники на полярной орбите и геостационарные спутники обычно оснащены формирователями изображения в видимой и инфракрасной областях спектра, а также зондами с которых можно получить многие метеорологические параметры. Некоторые из спутников на полярной орбите оснащены приборами микроволнового зондирования, 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.

РИСУНОК 1-3

Группировка метеорологических спутников Глобальной системы наблюдений ВМО (по состоянию на июнь 2016 г.)



Meteo-01-03

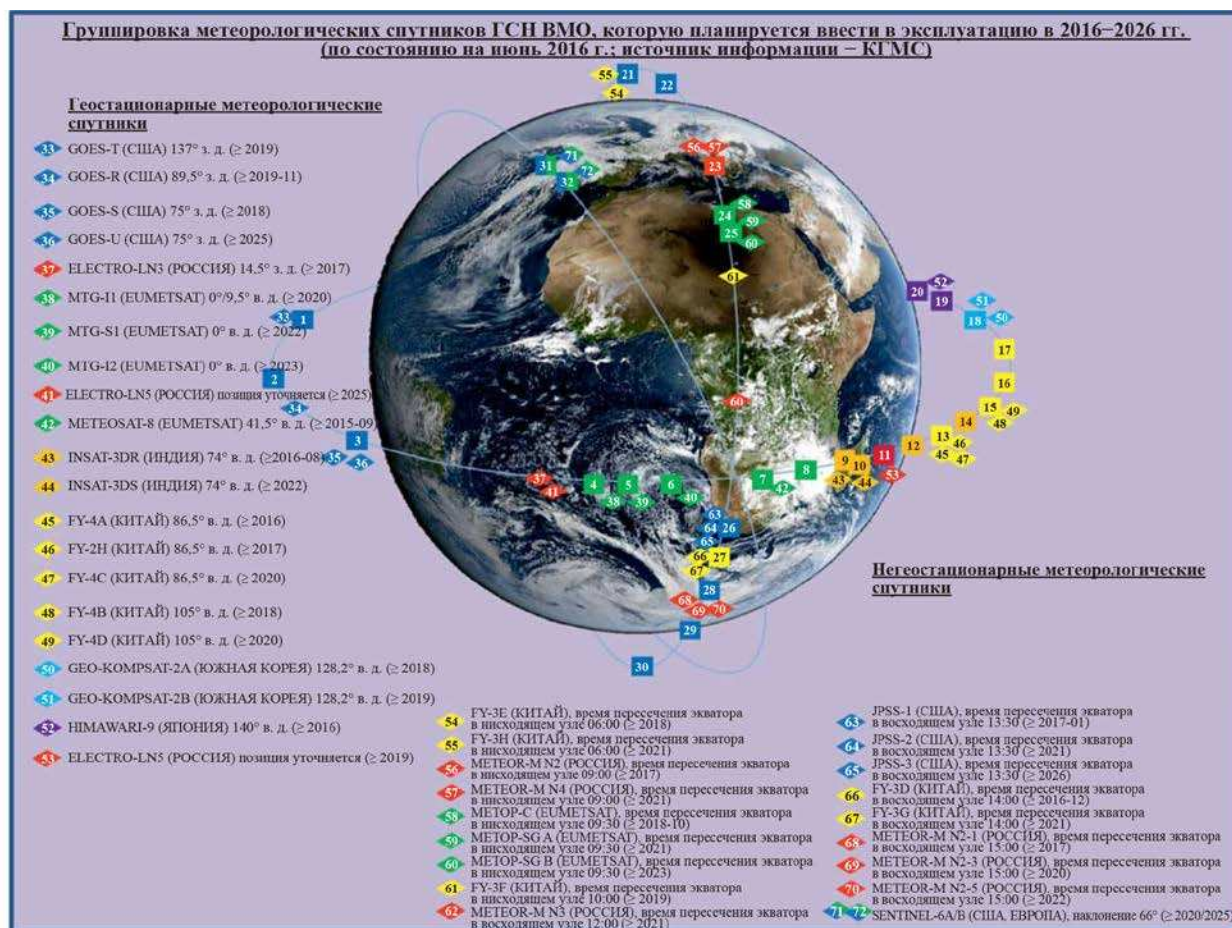
С перечнем метеорологических спутников, находящихся в эксплуатации в настоящее время, а также с информацией об их параметрах можно ознакомиться, воспользовавшись следующей ссылкой: <http://www.wmo.int/pages/prog/sat/satellitestatus.php>.

Чтобы обеспечить непрерывность метеорологических наблюдений из космоса, спутники, находящиеся в настоящее время в эксплуатации, будут заменены новыми метеорологическими спутниками существующих серий своего поколения или первыми метеорологическими спутниками нового поколения, которые будут обладать расширенными возможностями наблюдения и большей разрешающей способностью приборов, что позволит пользователям из числа представителей метеорологического сообщества получать доступ к значительно большему объему данных.

На Рисунке 1-4 представлены общие сведения о метеорологических спутниках, которые планируется запустить и ввести в эксплуатацию в период с 2016 по 2026 год и которые дополняют существующую в настоящее время спутниковую группировку. Вновь запущенные спутники будут эксплуатироваться параллельно со спутниками с истекающим сроком службы до тех пор, пока последние не будут постепенно выведены из эксплуатации.

РИСУНОК 1-4

Группировка метеорологических спутников ГСН ВМО, которую планируется ввести в эксплуатацию в 2016–2026 гг. (по состоянию на июнь 2016 г.)



Meteo-01-04

Помимо этого, существует ряд научно-исследовательских спутников, несущих в качестве полезной нагрузки специальную метеорологическую и климатологическую аппаратуру, которая также задействована в работе ГСН. С перечнем эксплуатируемых в настоящее время научно-исследовательских спутников и их параметрами можно ознакомиться, воспользовавшись следующей ссылкой: <http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSresearch.html>.

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.

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 фонового 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 Интегрированная глобальная система наблюдений ВМО (ИГСНВ)

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)

2.1	Определение метеорологической спутниковой службы (МетСат) и ее распределения частот	10
2.1.1	Общее представление о спутниковых системах МетСат	11
2.2	Системы МетСат, использующие геостационарные (ГСО) спутники	12
2.2.1	Передача необработанных данных датчика изображения ГСО МетСат	13
2.2.2	Распространение данных ГСО МетСат.....	13
2.2.3	Платформы сбора данных ГСО МетСат (ПСД)	15
2.3	Системы МетСат, использующие НГСО спутники	16
2.3.1	Передача необработанных данных измерительных приборов НГСО МетСат	17
2.3.2	Распространение данных НГСО МетСат.....	17
2.3.3	Системы сбора данных (DCS) на НГСО спутниках МетСат	18
2.4	Альтернативные механизмы распространения данных	19

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 космическими станциями, для чего могут быть организованы каналы между космическими станциями, и использует каналы для предоставления:

- информации о характеристиках Земли и ее природных явлениях, поступающей от активных или пассивных датчиков, расположенных на спутниках Земли, включая данные, относящиеся к состоянию окружающей среды;
- информации, получаемой с воздушных или наземных платформ;
- информации, распределяемой земными станциями
- фидерных линий, необходимых для работы спутников и применений МетСат.

Настоящая глава, применений службы МетСат, включает следующие передачи информации с использованием радиосвязи:

- передача данных наблюдения со спутников МетСат на главные приемные станции;
- ретрансляция предварительно обработанных данных на станции пользователей из метеорологической отрасли через спутники МетСат;
- прямая широкополосная передача данных на станции пользователей из метеорологической отрасли со спутников МетСат;
- альтернативное распространение данных среди пользователей (GEONETCast) через другие, отличные от МетСат спутниковые системы;
- передача данных с платформ сбора данных на спутники МетСат.

В Таблице 2-1 представлены полосы частот, которые на основании Регламента радиосвязи МСЭ распределены Метеорологической спутниковой службе (МетСат) и Спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ). Кроме того, системы МетСат имеют право использовать для передачи данных полосы частот, распределенные ССИЗ (см. Примечание 1).

ТАБЛИЦА 2-1

Полосы частот, распределенные Регламентом радиосвязи МСЭ службе МетСат и ССИЗ для передачи данных метеорологическими спутниками

Распределения, доступные службе МетСат для передачи данных	
Направление космос-Земля	Направление Земля-космос
137–138 МГц (МетСат на первичной основе)	401–403 МГц (ССИЗ и МетСат на первичной основе)
400,15–401 МГц (МетСат на первичной основе)	2 025–2 110 МГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1) (включая направление космос-космос)
460–470 МГц (ССИЗ и МетСат на вторичной основе ¹)	8 175–8 215 МГц (МетСат на первичной основе)
1 670–1 710 МГц (МетСат на первичной основе)	28,5–30,0 ГГц (ССИЗ на вторичной основе) (Примечание 1)
2 200–2 290 МГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1) (включая направление космос-космос)	40,0–40,5 ГГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1)
7 450–7 550 МГц (МетСат на первичной основе, только для геостационарных спутников)	

¹ Согласно примечанию 5.290 РР, в некоторых странах данный диапазон выделяется службе МетСат на первичной основе.

ТАБЛИЦА 2-1 (окончание)

Диапазоны частот, доступные службе МетСат для передачи данных	
7 750–7 900 МГц (МетСат на первичной основе, только для негеостационарных спутников)	
8 025–8 400 МГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1)	
18,0–18,3 ГГц (МетСат на первичной основе для направления космос-Земля в Районе 2, только для геостационарных спутников)	
18,1–18,4 ГГц (МетСат на первичной основе для направления космос-Земля в Районах 1 и 3, только для геостационарных спутников)	
25,5–27,0 ГГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1) (включая направления космос-космос в диапазоне 25,25–27,5 ГГц)	
37,5–40,0 ГГц (ССИЗ на вторичной основе) (Примечание 1)	
65,0–66,0 ГГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1)	

ПРИМЕЧАНИЕ 1 – Поскольку МетСат представляет собой подкласс Спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ), данные распределения (например: 8 025–8 400 МГц и 25 500–27 000 МГц) могут также использоваться для работы спутников и 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 геостационарных метеорологических спутников, постоянно передаются на основную станцию наземного базирования соответствующей эксплуатационной организации, обрабатываются и распространяются среди различных национальных метеорологических центров, официальных архивов и других пользователей. Необработанные данные, например, включают изображения Земли, сделанные на нескольких длинах волны, для того чтобы предоставить различные данные измерений. Обработанные данные обычно или 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.

В отличие от геостационарных спутников МетСат, которые постоянно находятся в зоне видимости своих наземных станций, необработанные данные, собираемые с помощью приборов негеостационарных метеорологических спутников, должны храниться на борту спутника до тех пор, пока спутник не будет пролетать над первичной наземной станцией соответствующей эксплуатирующей организации и не появится возможность передать их на эту станцию. Затем эти необработанные данные обрабатываются эксплуатирующей организацией и предоставляются пользователям посредством различных механизмов распространения. Для уменьшения задержки поднабор данных, полученных с помощью бортовой аппаратуры, передается непосредственно со спутника в "широковещательном" режиме и может быть принят станциями пользователей во время нахождения спутника в зоне их видимости. При этом станции могут находиться в любых точках. Данный сервис называется "непосредственное считывание".

Кроме того, метеорологические спутники, как геостационарные, так и негеостационарные, имеют на борту системы сбора данных (ССД), в частности, платформы сбора данных (ПСД) на геостационарных (ГСО) спутниках, а также такие системы, как Argos, на негеостационарных (НГСО) спутниках.

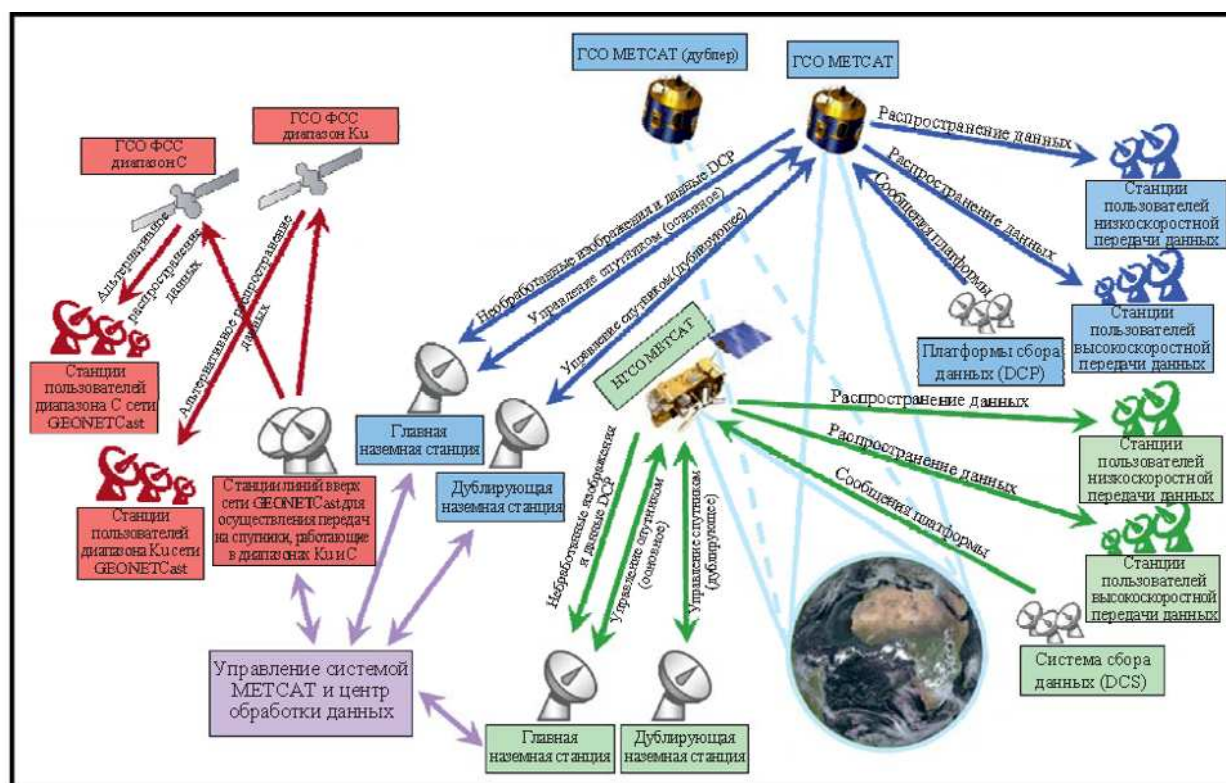
ПСД, обычно располагающиеся на земле, воздушных судах, морских судах и плавающих буях, передают данные на геостационарные метеорологические спутники. Эти ПСД собирают данные по таким параметрам, как температура поверхности, скорость ветра, количество атмосферных осадков, высота потока, наличие газов в атмосфере и, в случае плавающих буев, загрязнители океана. Они могут также передавать информацию о своем местонахождении, что позволяет определять их движение. Помимо эксплуатации региональных каналов ПСД, операторы МетСат также вносят вклад в международную систему сбора данных (МССД) путем эксплуатации международных каналов. В качестве дополнительного 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 МетСат. В тех случаях, когда они установлены на буях, 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 МетСат.

РИСУНОК 2-1

Общая архитектура системы МетСат



Meteo-02-01

2.2 Системы МетСат, 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 (см. Рисунок 1-4), заменяющих или дополняющих существующие спутниковые системы.

2.2.1 Передача необработанных данных датчика изображения ГСО МетСат

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.

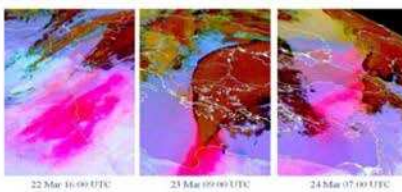
На Рисунке 2-2 представлены примеры изображений обработанных данных, полученных с прибора формирования изображений, находящегося на борту метеорологического спутника ГСО.

РИСУНОК 2-2

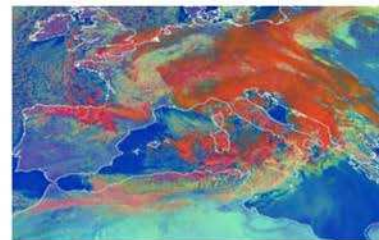
Изображение обработанных данных, полученных с метеорологического ГСО спутника



Штормовой циклон над Северной Атлантикой (Meteosat-9 Airmass RGB, 19/05/08 12:00 BCB)



Выброс пыли из северной части Африки в направлении Греции, Турции, России и Казахстана (Meteosat-9, Dust RGB, 22/03/08–24/03/08)



Сильный мистраль и Генуэзский циклон с сильными осадками над южными Альпами (Meteosat-8 RGB: VIS0.8, IR3.9 μ , IR10.8, 20/03/07 09:00 BCB)

Meteo-02-02

В мире существует ограниченное число станций подобного типа – от одной до трех площадок на спутниковую систему с одной антенной в расчете на каждый спутник действующей группировки, что в сумме дает от 50 до 60 первичных станций, находящихся в ведении организаций, эксплуатирующих ГСО МетСат. Они оборудованы антеннами диаметром приблизительно 10–18 метров и функционируют, как правило, с минимальным углом возвышения 3 градуса. Показатель качества (G/T) таких станций составляет порядка 23 дБ/К. Типичные значения ширины полосы передач нынешнего поколения сетей ГСО МетСат 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 МетСат, 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 МетСат.

Для систем ГСО МетСат следующего поколения, которые в настоящее время находятся в разработке и будут введены в эксплуатацию в 2016–2026 гг. (см. Рисунок 1-4), скорости передачи данных и соответствующие потребности в ширине полосы пропускания для передачи на Землю данных приборов этих систем ГСО МетСат значительно увеличатся (до 800 Мбит/с). В связи с этим необходимо будет использовать частотные диапазоны выше диапазона 1670–1698 МГц, такие как 7450–7550 МГц (передача необработанных данных спутников серий "Электро-Л" и FY-4), 8025–8400 МГц (GOES-R), 18,0–18,3 ГГц (Район 2), 18,1–18,4 ГГц (Районы 1 и 3) (спутники Himawari и FY-4) и, особенно, диапазон 25,5–27 ГГц (главная система сбора данных MDA (Main Data Acquisition) спутников серии MTG (Meteosat Third Generation).

2.2.2 Распространение данных ГСО МетСат

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

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

Сервис S-VISSR работает на спутниках серии Feng-Yun-2 (FY-2) китайской системы ГСО МетСат.

Данные, полученные датчиками VISSR, передаются на главные рабочие станции наземного базирования данной китайской системы ГСО MetSat. На земле данные подвергаются предварительной обработке в режиме, близком к режиму реального времени, 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 с частотой, несущей 1687,5 МГц. Скорость передачи данных в каналах с полосой пропускания 2 МГц составляет 660 кбит/с. Показатель качества станций приема составляет 12 дБ/К при размере антенны около 3 м, а минимальный угол места антенн – 5 градусов.

2.2.2.2 Система с изменяемым форматом (GVAR) геостационарного оперативного спутника по исследованиям окружающей среды (GOES)

Геостационарные оперативные спутники по исследованиям окружающей среды GOES-13, -14 и -15 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.

С появлением нового поколения спутников GOES, начиная с серии GOES-R и, в частности, GOES ReBroadcast (GRB), который работает на частоте 1686,6 МГц и пришел на смену сервису GOES Variable (GVAR), возникла потребность в полосе большей ширины, способной пропускать значительно возросшие объемы данных со скоростью порядка 30 Мбит/с, в отличие от систем GVAR, которые передавали данные по каналам с пропускной способностью около 2 Мбит/с. В настоящее время система GVAR работает на частоте 1685,7 МГц и требует полосы пропускания 4,22 МГц. Спутникам GRB для передачи обработанных данных потребуется полоса пропускания 9,7 или 10,9 МГц, и они будут работать на частоте 1686,6 МГц.

2.2.2.3 Факсимильная передача метеоданных (ВЕФАКС)

Аналоговые услуги факсимильной передачи метеоданных ВЕФАКС, которые пока еще продолжают использоваться на некоторых спутниках ГСО MetSat, находятся в процессе замены 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.

На спутниках GOES-13, -14 и -15, использующих частоту 1691 МГц (586 кГц), сервис факсимильной передачи метеоданных (ВЕФАКС) будет соединен с сервисом низкоскоростной передачи информации (LRIT) и Сетью метеорологической информации для управляющих в чрезвычайных ситуациях (EMWIN), в настоящее время работающими на частоте 1692,7 МГц (27 кГц), в одном нисходящем канале, известном как HRIT/EMWIN, где сервис HRIT заменит сервис LRIT. Новый комбинированный сервис будет работать на частоте 1694,1 МГц и потребует полосы пропускания 1,21 МГц. Действующий нисходящий канал передачи данных от датчиков, работающий в настоящее время на частоте 1676 МГц, будет перенесен на частоту 8220 МГц в пределах X-диапазона ССИЗ (8025–8400 МГц), чтобы обеспечивать поддержку значительно возросших скоростей передачи данных от новейших датчиков, установленных на борту спутников GOES-R.

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.

Передача услуг ВЕФАКС осуществляется в подполосе 1. Остающиеся в эксплуатации услуги 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 градусов 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.

2.2.2.4 Низкоскоростная передача информации (LRIT)

Услуга LRIT была внедрена в 2003 году на геостационарных метеорологических спутниках ГОЕС для осуществления передач на недорогие станции пользователей. Эта услуга была призвана заменить услугу ВЕФАКС на других спутниках ГСО MetSat, обслуживая аналогичную категорию пользователей.

Передачи LRIT осуществляются в подполосе 1690–1698 МГц с центральными частотами около 1691 МГц. Ширина полосы составляет до 660 кГц. Антенны станций пользователей имеют диаметры в пределах от 1,0 м до 1,8 м и работают с минимальным углом подъема в 3 градуса. Показатель качества для LRUS составляет 3–6 дБ/К в зависимости от места расположения станции пользователя. Услуга LRIT действует на многих системах MetSat, в частности, на спутниках Meteosat второго поколения, спутнике COMS-1 (и в дальнейшем – спутнике GEO-KOMPSAT-2A), спутниках Himawari, спутниках "Электро-Л" и спутниках серии FY-2, начиная с FY-2E/F/G. В дальнейшем она будет реализована на спутниках серии FY-4 в сочетании с услугой широковещательной рассылки информации о погодных явлениях, угрожающих чрезвычайными ситуациями (EWAIB).

2.2.2.5 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 и теперь действует на многих системах MetSat, в частности, на спутниках Himawari, спутнике COMS-1 (и в дальнейшем – спутнике GEO-KOMPSAT-2A), спутниках "Электро-Л" и будущих спутниках серии FY-4. Кроме того, на спутниках серии GOES, начиная с GOES-R, будет действовать услуга HRIT/EMWIN.

Услуги HRIT обеспечиваются в подполосах 1675–1687 МГц, 1684–1690 МГц или 1690–1698 МГц. Размер антенны для высокоскоростных станций пользователей (HRUS) и MDUS составляет 4 м или менее, а минимальный угол подъема – 3°. Показатель качества для станций пользователя составляет 12–14 дБ/К в зависимости от места расположения станции пользователя.

В 2013 году КГМС опубликовала новую "Глобальную спецификацию прямого вещания" (GEO HRIT/LRIT). Данные спецификации прямого вещания распространяются на все действующие и планируемые системы ГЕО, но не содержат характеристик пользовательских станций. КГМС продолжает работу по оценке потребности в дальнейшем обновлении глобальных спецификаций ГЕО в свете появления и внедрения новых стандартов в области средств связи и файловых форматов.

2.2.3 Платформы сбора данных ГСО MetSat (ПСД)

Системы сбора данных используются на метеорологических спутниках для сбора метеорологических и других данных об окружающей среде с удаленных ПСД. Передачи с каждой ПСД на метеорологический спутник осуществляются в полосе частот 401–403 МГц. ПСД эксплуатируются в режиме временной последовательности. Интервалы времени прохождения сигнала обычно составляют 1 мин. Скорость передачи – 100 бит/с. ПСД 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 ПСД составляет 0,7510 кГц или 2,2510 кГц, соответственно, для 300 и 1200 бит/с.

Существуют различные типы передатчиков ПСД, 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.

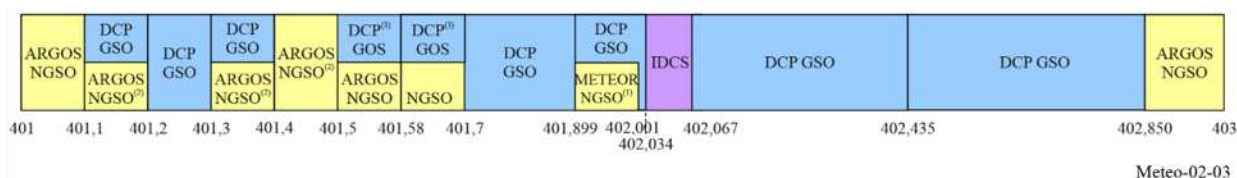
ПСД, направляющие свои данные на геостационарные спутники MetSat, используют частоты в диапазоне 401,1–402,85 МГц, при этом частота в 402,001–402,067 МГц предназначена для международного использования (22 канала с шириной полосы в 3 кГц). Используя узкие полосы (в 0,75 кГц) и сокращая время передачи информации, обычно до 10 с, можно получить данные от большого количества платформ. Так, например, в случае спутников GOES-13, -14 и -15, в 2016 году в эксплуатации находилось около 27 000 высокоскоростных ПСД GOES, которые ежедневно посылали до 400 000 сообщений и передавали в ГСН более 6 миллионов наблюдений. Ожидается, что эти цифры продолжат увеличиваться.

2.2.3.1 Базовые общие условия разделения и совместного использования полосы 401–403 МГц

Ввиду роста потребности в радиочастотном спектре со стороны ССД, как на геостационарной, так и на негеостационарной орбите, все операторы систем MetSat и ССИЗ должны выполнять базовые общие условия разделения диапазона частот 401–403 МГц, выделенного для использования действующими и будущими ССД (см. Рисунок 2-3), а также условия совместного использования этого диапазона, предусмотренные Рекомендацией МСЭ-R SA.2045.

РИСУНОК 2-3

Базовые общие условия разделения полосы 401–403 МГц для будущего долгосрочного согласованного использования ССД геостационарных и негеостационарных систем MetSat и ССИЗ



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 (см. Рисунки 1-3 и 1-4).

На Рисунке 2-4 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 2-4

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



Meteo-02-04

2.3.1 Передача необработанных данных измерительных приборов НГСО MetСat

Необработанные данные с действующих негеостационарных метеорологических спутников, в основном эксплуатируемых на полярной орбите, передаются в полосе частот 7750–7900 МГц или 8025–8400 МГц, в зависимости от требуемой полосы пропускания, на главные станции, расположенные в высоких широтах. Передача осуществляется в пакетном режиме при прохождении спутников над своими главными станциями. Остальное время передатчики остаются выключенными.

2.3.1.1 Передача необработанных данных с приборов НГСО спутников MetСat с использованием полосы 25,5–27 ГГц

Некоторым будущим системам НГСО MetСat (например, Полярной системе EVMETCAT второго поколения (EPS-SG) и ее спутникам Metop-SG, а также спутникам Объединенной полярной спутниковой системы (JPSS)), чтобы передавать данные на свои основные наземные станции со значительно более высокой скоростью – до 800 Мбит/с, потребуются более высокие полосы частот, нежели те, что используются действующими спутниками (т. е. 25,5–27 ГГц). Эта линия связи получила название нисходящая линия передачи сохраненных данных миссии (SMD). Другие системы будут использовать полосу частот 8025–8400 МГц (например, действующие системы FY-3, METEOR и Suomi-NPP).

2.3.2 Распространение данных НГСО MetСat

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

2.3.2.1 Распространение данных НГСО MetСat с использованием полосы 1698–1710 МГц

2.3.2.1.1 Автоматическая передача изображений (АРТ)

Автоматическая передача изображений (АРТ) была внедрена на некоторых космических летательных аппаратах еще в 1960-х годах и стала самой успешной системой прямого распространения данных среди систем пользователей в метеорологическом сообществе. В мире продолжают функционировать тысячи таких 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.

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. Функция АРТ работает на спутниках НУОА и на спутниках серии METEOR-M N2.

2.3.2.1.2 Передача изображений с низким разрешением (LRPT)

Сервис LRPT был призван заменить собой сервис АРТ на большинстве систем НГСО MetСat. Однако единственными спутниками, на которых сервис LRPT был реализован и введен в действие, стали спутники серии METEOR-M N2. 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.

2.3.2.1.3 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 для решения других задач.

При реализации функции ХРПТ, так же как на спутниках НУОА (1698/1702,5/1707 МГц), передачи 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 градусов, 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.

На некоторых новых метеорологических спутниках, введенных в эксплуатацию в последнее время, таких как спутники серии METEOR-M N2 (1700/1705 МГц), Metop (1701,3/1707 МГц) и FY-3 (1701,3 МГц, 1704,5 МГц и 1706,7 МГц), внедрено усовершенствованное приложение ХРПТ (АХРПТ), призванное заменить собой сервис ХРПТ. Передачи АХРПТ будут осуществляться в той же полосе частот, которая используется другими системами ХРПТ. Ширина полосы находится в пределах между 4,5 и 6,8 МГц. Станции приема АХРПТ осуществляют прием с минимальным углом места 5 градусов. Антенны являются параболическими, обычно диаметром от 2,4 м до 3 м. G/T станций АХРПТ составляет приблизительно 6,5 дБ/К.

В 2014 году Координационная группа по метеорологическим спутникам (КГМС) в рамках своей деятельности опубликовала "Глобальную спецификацию прямого вещания" (Прямое считывание НОС (ХРПТ/АХРПТ)). Настоящая спецификация прямой ширококвещательной передачи распространяется на действующие и планируемые системы НОС, но не содержит характеристик пользовательских станций. КГМС продолжает работу по оценке потребности в дальнейшем обновлении Глобальной спецификации НОС ввиду появления и внедрения новых стандартов для средств связи и файловых форматов.

2.3.2.2 Распространение данных систем НГСО MetSat с использованием полосы 7750–7900 МГц

Тенденция перехода к передаче данных в больших объемах и с более высоким разрешением требует, чтобы для распространения поступающих от аппаратуры данных между пользовательскими станциями использовались более высокие полосы частот, так как полоса 1698–1710 МГц не обеспечивает полосу пропускания, необходимую для передачи данных в таком высоком разрешении. Таким образом, должна использоваться следующая, более высокая полоса частот, распределенная системе MetSat в направлении космос-Земля, то есть полоса 7750–7900 МГц. В этой полосе могут быть выполнены требования систем НГСО MetSat нового поколения по полосе пропускания, которые варьируются от 30 до 150 МГц для разных нисходящих линий: передача изображений со средним разрешением (MPT) (FY-3), передача данных с высоким разрешением (HRD) (Suomi-NPP и JPSS) и прямая передача данных в ширококвещательном режиме (DDB) (Metop-SG).

Сервис передачи изображений в среднем разрешении (MPT) обеспечивает доставку полного набора данных, собираемых бортовой измерительной аппаратурой MERSI спутников серии FY-3. В настоящее время данные со спутников FY-3 передаются со скоростью 18,7 Мбит/с по каналу с полосой пропускания 45 МГц и центральной частотой 7775 МГц либо со скоростью 45 Мбит/с по каналу с полосой пропускания 60 МГц и центральной частотой 7780 или 7820 МГц. Помимо этого, на спутниках серии FY-3 действует сервис передачи изображения с задержкой (DPT), который предназначен для передачи данных дампа на частоте 8145,95 МГц по каналу с полосой пропускания 149 МГц и скоростью 93 Мбит/с или на частоте 8175 МГц и 8125 МГц по каналу с полосой пропускания 300 МГц со скоростью 225 Мбит/с. Сервис передачи данных с высоким разрешением (HRD) представляет собой ширококвещательную рассылку полного набора данных в высоком разрешении спутником Suomi-NPP и спутниками серии JPSS со скоростью до 15 Мбит/с по каналу с полосой пропускания 30 МГц и центральной частотой 7812 МГц. Сервис прямой передачи данных в ширококвещательном режиме (DDB) на спутниках серии Metop Second Generation (Metop-SG) будет реализован на частоте 7825 МГц посредством канала с полосой пропускания 150 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. Однако их использование коммерческими организациями ограничено. Оно включает, например, мониторинг состояния нефтепроводов, для того чтобы защитить окружающую среду или обеспечить безопасность

на море. Некоторые передатчики развернуты также, чтобы сообщать о чрезвычайных обстоятельствах и предоставлять такие данные, как подтверждение угрозы/бедствия. К примерам систем сбора данных, работающих на базе негеостационарных метеорологических спутников, относятся Argos и бразильская DCS. Третье поколение Argos (Argos-3), уже используется на спутниках серии Metop, а также спутниках NOAA-19 и SARAL.

Спутники NOAA, Metop и SARAL действуют на полярной орбите, на высоте 850 км: с каждым витком они проходят над Северным и Южным полюсом. Плоскости орбиты вращаются вокруг полярной оси с той же скоростью, с которой Земля вращается вокруг Солнца. Каждый спутник в каждый отдельно взятый момент времени видит одновременно все радиомаяки в пределах окружности с диаметром приблизительно 5000 км. При движении спутника след этой окружности на поверхности имеет форму полосы шириной 5000 км, которая опоясывает Землю, проходя через Северный и Южный полюс.

В настоящее время системы Argos функционируют в полосе частот 401,579–401,690 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. 22 000 платформ находятся в эксплуатации. Каждой платформе присвоен уникальный идентификационный номер, который определяется составом передающей электроники.

Время передачи каждого сообщения составляет менее одной секунды. В поколении систем Argos-3 реализованы новые сервисы сбора данных, высокие скорости передачи данных (4800 бит/с) и функционал опроса платформ. В зависимости от скорости передачи, значения выходной мощности сигнала платформы варьируются от –3 дБВт до 7 дБВт.

Платформа, известная как РМТ (приемопередатчик сообщений платформы) опрашивается спутниками с использованием диапазона частот 460–470 МГц – в настоящее время на частоте 465,9 МГц.

Ожидается, что для четвертого поколения системы Argos (Argos-4) пропускная способность системы и ширина полосы должны быть значительно увеличены с использованием других полос частот (см. Рисунок 2-3). Помимо этого, в новой системе Argos-4 будет организована нисходящая линия в диапазоне частот 464,98775–466,98775 МГц и применена технология множественного доступа с использованием сигналов с расширенным спектром, что позволит избежать создания помех для пользователей на земле.

Бразильская DCS базируется на SCD (орбита с наклоном 25°) и спутниках CBERS, использующих полосу 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.

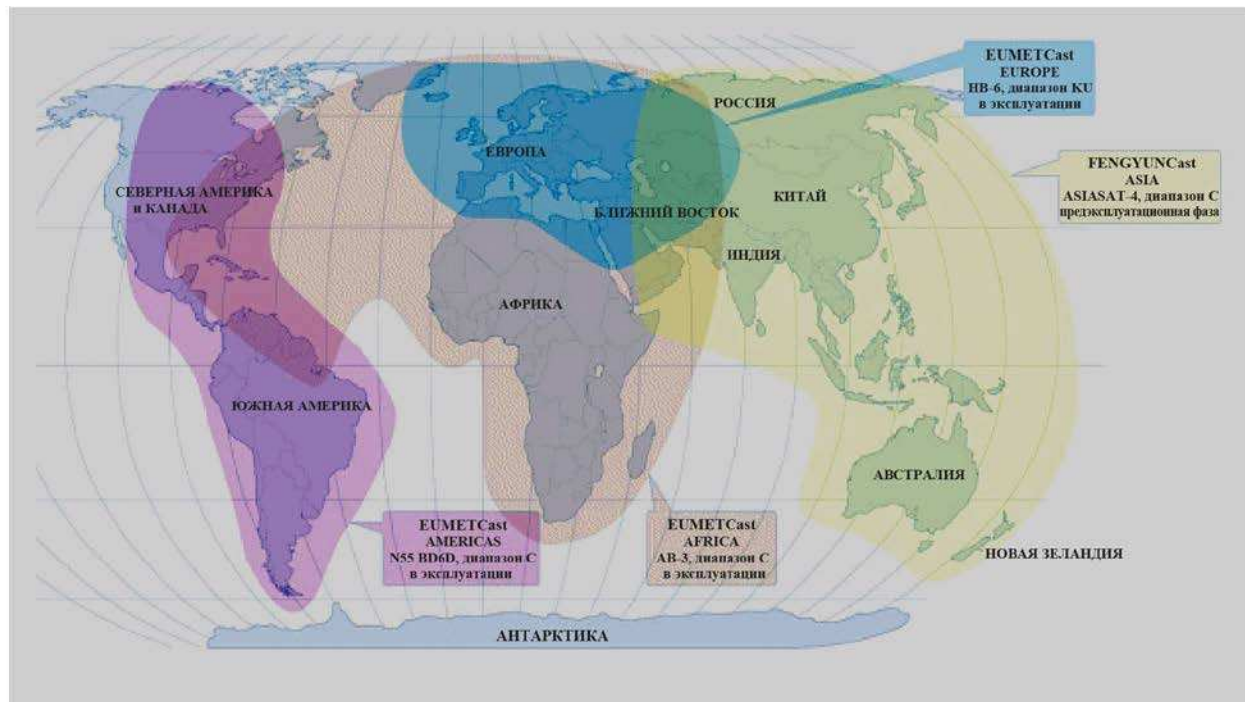
2.4 Альтернативные механизмы распространения данных

Помимо традиционных механизмов распространения данных систем ГСО и НГСО MetCat, в настоящее время создается новая система распространения данных под названием GEONETCast (см. Рисунок 2-5), 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. Для решения этой задачи несколько региональных центров принимают на себя обязанности по созданию и обслуживанию региональной спутниковой системы распространения данных на базе технологии широковещательной передачи цифровой видеоинформации (DVB) и предоставлению дополнительных услуг единому пользовательскому сообществу. В настоящее время партнерами выступают Китайское метеорологическое управление (КМУ), Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) США, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и EUMETSAT, а также многие перспективные партнеры из числа поставщиков данных.

Глобальный охват достигается путем интеграции системы SMACast, покрывающей Азиатско-тихоокеанский регион, компонента GEONETCast Америки, обеспечивающего покрытие территории Северной и Южной Америки, и EUMETCast, которая покрывает Европу, Африку, Северную и Южную Америку.

РИСУНОК 2-5

Охват глобальной сетью GEONETCast



ГЛАВА 3

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГИИ

3.1	Введение	22
3.1.1	Распределенные радиочастотные полосы.....	22
3.1.2	Метеорологические функции службы ВСМ.....	23
3.2	Примеры систем зондирования ВСМ	25
3.2.1	Радиозонды	25
3.2.2	Сбрасываемые парашютные зонды.....	26
3.2.3	Метеорологические ракеты.....	27
3.3	Факторы, влияющие на характеристики систем ВСМ	28
3.3.1	Система приемной антенны наземного базирования	28
3.3.2	Система обработки данных наземного базирования	29
3.3.3	Блоки зондирования одноразового применения	29
3.4	Характеристики метеорологических наблюдений, требуемые от службы ВСМ.....	30
3.5	Основания для национальных различий в операциях службы ВСМ	34
3.5.1	Разница в имеющейся технологии	34
3.5.2	Различия в климатологии высотного ветра	34
3.5.3	Различия в плотности сети	35
3.5.4	Использование полосы 401–406 МГц	35
3.5.5	Использование полосы 1688,4–1700 МГц	35
3.5.6	Потребности в сохранении обеих полос	35
3.6	Будущие тенденции	36

3.1 Введение

Вспомогательная служба метеорологии (ВСМ) определена в п. 1.50 Регламента радиосвязи (РР), как служба радиосвязи, используемая для метеорологических, включая гидрологические, наблюдений и исследований. В настоящей главе рассматриваются только наблюдения *in-situ* за состоянием верхних слоев атмосферы. Другие области применения ВСМ описаны в Главе 6 настоящего Справочника.

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. Подавляющее большинство таких систем зондирования *in-situ* представлено радиозондами, большая часть которых запускается на регулярной основе с фиксированных площадок и небольшого числа коммерческих судов, образующих глобальную сеть наблюдения за состоянием верхних слоев атмосферы ГСН ВМО, в соответствии с фиксированным общемировым графиком (00, 06, 12 и 18 ВСВ), установленным ВМО.

3.1.1 Распределенные радиочастотные полосы

Радиочастотные полосы, используемые службой ВСМ (за исключением тех, которые регулируются национальными примечаниями), указаны в Таблице 3-1².

ТАБЛИЦА 3-1

Радиочастотные полосы, используемые для систем/применений ВСМ

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

Этими полосами пользуются и другие первичные службы, которые 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 (ВМО-№ 9, том А, который в настоящее время находится в стадии замены хранилищем метаданных системы ИГСНВ ОСКАР/Поверхность), так что метеорологи, пользующиеся этими датчиками, могут определить тип радиозонда, используемого на каждой станции. Этот каталог включает отчет об используемых полосах частот.

² С существующим распределением частот в этих полосах читатель может ознакомиться в Статье 5 РР.

Пользователями услуг службы ВСМ также являются:

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

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.

Коммерческие системы радиозондирования работают 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.

3.1.2 Метеорологические функции службы ВСМ

Точные измерения изменений температуры окружающей среды, атмосферного давления, 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. Кроме того, они используются в целях мониторинга климата. 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. Кроме того, эти измерения *in-situ* необходимы для калибровки средств удаленного зондирования космического базирования, особенно пассивных. ВСМ передает измерения *in-situ* 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 шара-зонда на высоту до 36 км от поверхности, выше которой шар разрывается. Высота, до которой требуется проведение регулярных наблюдений, колеблется, в известной степени, в зависимости от применения и географического местоположения, и во многих странах ограничивается стоимостью шаров-зондов и аэростатного газа. 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 с высоким разрешением 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. Считается, что данные, собираемые во время спуска, также могут обладать ценным потенциалом. 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.

Помимо обеспечения работы ГСН и решения оборонных и исследовательских задач, ВСМ используется для проведения метеоразведки в целях минимизации последствий природных и техногенных катастроф.

Текущие затраты на проведение радиозондовых измерений ограничивают оптимальное расстояние функционирования сети радиозондов 250 километрами в горизонтальном направлении. Это расстояние, учитывающее снос шара-зонда, используется в качестве стандарта для сетевых исследований в отношении радиочастотного 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 измерений *in-situ* в целевых районах над океаном. В следующем десятилетии можно ожидать значительного увеличения в использовании новых типов систем ВСМ в целях удовлетворения этих возрастающих потребностей.

3.2 Примеры систем зондирования ВСМ

3.2.1 Радиозонды

Во всем мире ежегодно совершается свыше 800 000 полетов радиозондов (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

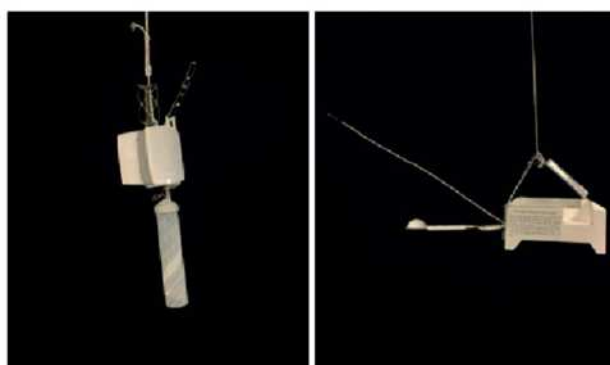
Шнур для крепления радиозонда



Meteo-03-01

РИСУНОК 3-2

Радиозонды



Meteo-03-02

Типичный радиозонд содержит несколько основных компонентов: передатчик, аккумуляторную батарею, блок датчиков, а также, как правило, приемник навигационного средства (НАВАИД/ГНСС (например, GPS), см. Рисунок 3-3. Передатчик передает данные на приемную станцию. Радиозонды обычно питаются от литиевых или щелочных аккумуляторных батарей, способных выдерживать температуры 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 измеряют параметры ветра, отслеживая движение своих шаров-зондов в атмосфере. Системы активного слежения используют функционал слежения на основе первичной (с помощью радиолокационного отражателя, подвешенного под шаром-зондом) или вторичной (с помощью транспондера, встроенного в радиозонд) радиолокации. Системы пассивного слежения используют приемники НАВАИД/ГНСС либо, в некоторых прибрежных районах, ретрансляторы в составе полезной нагрузки системы LORAN-C, и передают данные на наземную станцию, либо отслеживают сигналы радиозондов с помощью радиотеодолитов.

РИСУНОК 3-3

Электроника современного радиозонда**3.2.2 Сбрасываемые парашютные зонды**

Сбрасываемые парашютные зонды содержат компоненты, аналогичные компонентам радиозондов, но сконструированы таким образом, чтобы их можно было сбрасывать с воздушного летательного аппарата и тем самым зондировать 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 НАВАИД/ГНСС 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 16 таких радиозондов. Высокая плотность разворачивания требует использования узкополосных передатчиков, обладающих высокой устойчивостью, наподобие тех, которые используются в более плотных частях сети радиозондирования. Кроме того, сбрасываемые парашютные зонды применяются для определения параметров погодных явлений и базового состояния атмосферы в удаленных океанических районах и иногда над земной поверхностью.

РИСУНОК 3-4

Сбрасываемый парашютный зонд

Meteo-03-04

3.2.3 Метеорологические ракеты

Метеорологические ракеты являются более специализированной системой ВСМ. Так же, как и сбрасываемые парашютные зонды, они выпускаются с ракет по достижении большой высоты и 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 НАВАИД/ГНСС 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 3-5

Метеорологическая ракета

Meteo-03-05

3.3 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.

3.3.1 Система приемной антенны наземного базирования

Радиозонды, сбрасываемые парашютные зонды и метеорологические ракеты используют 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 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 400,15–406 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 400,15–406 МГц, колеблется в пределах от 0 дБи до 10 дБи.

РИСУНОК 3-6

Ненаправленная антенна и направленные системы (401–406 МГц)



Meico-03-06

Измерение ветра обычно осуществляется посредством RDF или радиолокационного слежения в полосе частот 1668,4–1700 МГц. Некоторые страны по-прежнему предпочитают отслеживать радиозонды с помощью RDF и определять параметры ветра, используя встроенный приемник НАВАИД/ГНСС: это дает возможность использовать в качестве альтернативы радиозонды без встроенных приемников НАВАИД/ГНСС, получая информацию о параметрах ветра от системы RDF. 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-03-07

3.3.2 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. Некоторые системы ВСМ не передают фактические значения метеорологических параметров (давление, температура, влажность, озон, ветер и т. д.) приемной станции, а, вместо этого, передают электронные характеристики датчиков, данные НАВАИД/ГНСС, чтобы свести к минимуму стоимость обработки данных в системе ВСМ. Наземная 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. Другие системы ВСМ могут выполнять основной объем обработки сигналов внутри самой системы ВСМ, после чего они осуществляют непосредственную передачу реальных значений метеорологических переменных и параметров ветра. В этом случае наземная обрабатывающая система выполняет лишь определенный поднабор функций обработки данных.

3.3.3 Блоки зондирования одноразового применения

Характер функционирования службы ВСМ накладывает ограничения на то, как они проектируются. Большинство проектных ограничений влияют на радиочастотные характеристики расходующихся 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. В результате радиозонды большинства ведущих производителей по своей конструкции соответствуют довольно строгим стандартам ETSI в части ширины полосы излучения и излучения боковой полосы частот. 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, т. к. подходящие устройства способны функционировать в условиях предельных колебаний температур.

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. 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 часто 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 (без шара-зонда). 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, сублимации 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 вырабатывание 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 энергетический потенциал линии связи только на предельной дальности имеет энергетический 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.

3.4 Характеристики метеорологических наблюдений, требуемые от службы ВСМ

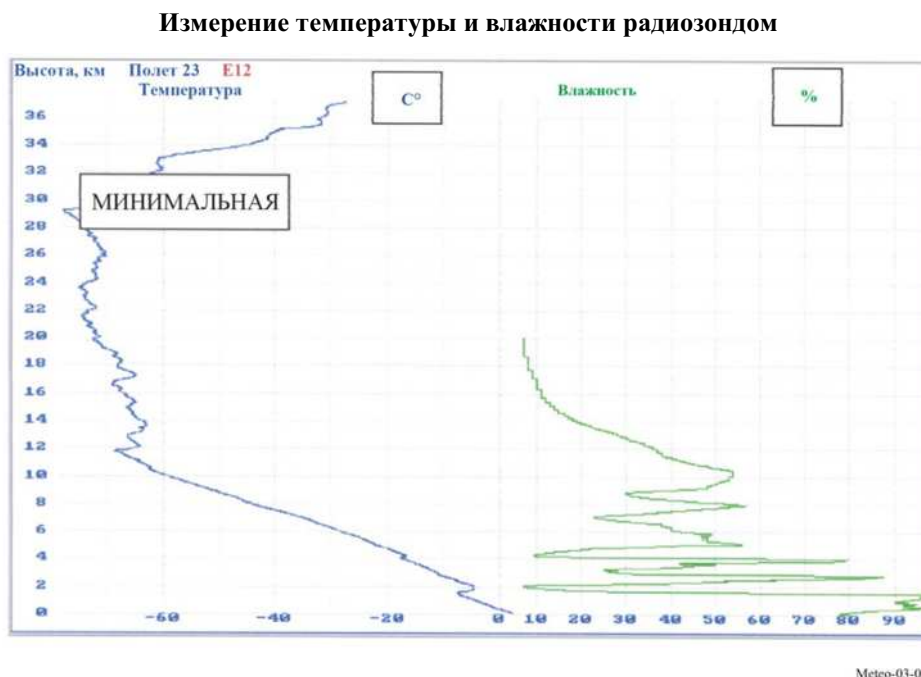
Характеристики наблюдений, требуемые от операций службы ВСМ, проиллюстрированы в настоящем разделе на нескольких примерах измерений с использованием радиозонда.

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 называли 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 рабочих параметров 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 возле поверхности, 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 значения относительной влажности от 5% до 90% были получены на участке между поверхностью земли и уровнем, на котором температура опускается ниже -40° С. К тому времени, как на высоте 10 км температура опускалась ниже -60° С, датчик относительной влажности 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° С до -40° С. Датчик относительной влажности, самое сложное, с точки зрения производства, изделие, что является одним из основных препятствий проектированию и изготовлению радиозонда без объемных долгосрочных инвестиций в проектирование и средства производства.

РИСУНОК 3-8



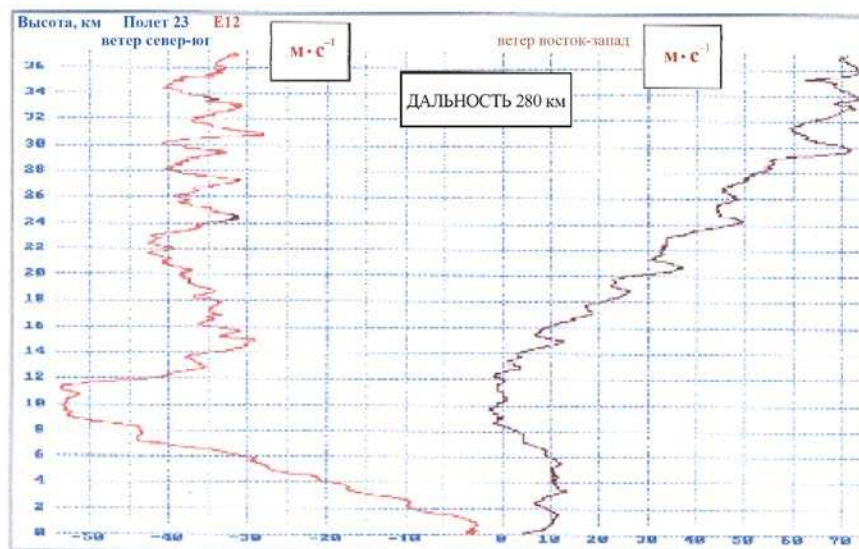
В связи с недостатками в технологии датчиков, измерения влажности прекращаются на высоте 20 км. Минимальная температура на Рисунке 3-8 достигается на высоте около 29 км³. Резкое повышение температуры на высоте более 29 км может объясняться существенным нагреванием, которое происходит в результате циркуляции 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 ветра 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.

³ В этой точке температура упала близко к условиям, которые требуются для начала действия химических механизмов, разрушающих озон в зимнее время в северном полушарии.

РИСУНОК 3-9

Измерения ветра радиозондом

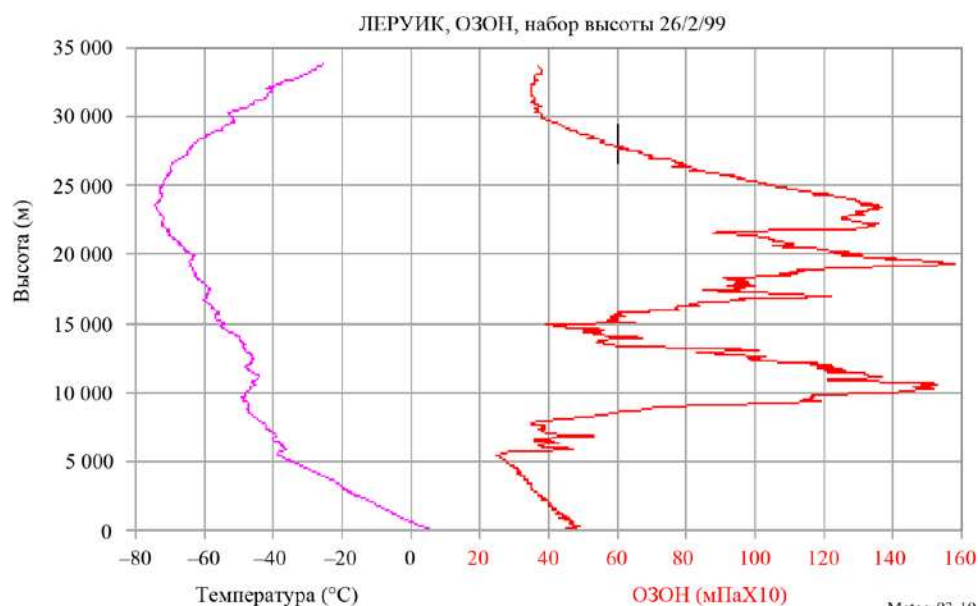


Meteo-03-09

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 обнаружены на высоте 10 км и 20 км, но в данном случае 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.

РИСУНОК 3-10

Измерение распределения озона по вертикали с использованием озонового зонда



Meteo-03-10

3.5 Основания для национальных различий в операциях службы ВСМ

3.5.1 Разница в имеющейся технологии

Хотя большинство радиозондовых систем приобретаются у ограниченного количества международных коммерческих поставщиков, в соответствии с экономическими и политическими 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.

3.5.2 Различия в климатологии высотного ветра

Как видно из Рисунка 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 ГНСС. 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 (например, тропических) радиозонд всегда будет оставаться на высоком угле места и небольшой дальности, тогда как в других странах радиозонд необходимо отслеживать на углах места ниже 5 градусов над горизонтом на дальности свыше 200 км.

Если углы места шара-зонда остаются высокими (особенно если углы места менее 15 градусов бывают редко), затраты на измерение радиозондами можно снизить, используя менее дорогие радиозонды, которым нет необходимости принимать и обрабатывать сигналы НАВАИД/ГНСС. 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.

Радиозонды, предназначенные для применения в сочетании с вторичными радиолокационными системами, работающими на частоте 1680 МГц, могут быть очень дешевыми, так как они не оснащаются ни приемником НАВАИД/ГНСС, ни датчиком давления, и, следовательно, для некоторых стран им нет альтернативы.

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 НАВАИД/ГНСС, работающие в полосе 400,15–406 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 400,15 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.

3.5.3 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.

3.5.4 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 400,15–406 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 400,15–406 МГц, и также признала, что стандартные операции радиозондов в полосе 400,15–401 МГц могут оказаться невозможными в будущем, поскольку совместное использование частот в совмещенном канале со спутниковыми службами практически неосуществимо.

3.5.5 Использование полосы 1668,4–1700 МГц

Ситуация в полосе 1668,4–1700 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 МетСат. Полоса 1680 МГц используется в мире по-разному, но в некоторых частях мира (Северная Америка, Европа 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 доступна 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.

3.5.6 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 (ГНСС), 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. В этой полосе частот 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 НАВАИД/ГНСС как таковых, такие системы могут иметься не всегда.

3.6 Будущие тенденции

Хотя конструктивные решения ВСМ, как правило, просты и в них используются недорогие компоненты, произошли и продолжают происходить эволюционные 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, произошли улучшения в РЧ характеристиках.

Кроме того, внедрение ГНСС на радиозондах в целях измерения ветров уже привело к существенному повышению эффективности использования спектра радиозондов НАВАИД/ГНСС. В большинстве стран это также дает возможность существенного повышения точности измерений высотного ветра и высоты. Благодаря ставшим доступными компактным и недорогим приемникам ГНСС, бортовые средства ВСМ могут теперь осуществлять полную обработку сигнала ГНСС, а передается только информация о параметрах ветра и местоположении. Для многих применений больше нет необходимости в передаче "дифференцированных" данных ГНСС с целью восполнения качества этих данных; таким образом уменьшается общий объем данных, подлежащих передаче.

ГЛАВА 4

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РАДАРЫ

4.1	Введение	38
4.1.1	Типы метеорологических радаров.....	38
4.1.2	Уравнение дальности действия радара	39
4.2	Погодные радары	40
4.2.1	Требования пользователей	40
4.2.2	Сети погодных радаров	41
4.2.3	Эксплуатационные аспекты отражательной способности	42
4.2.4	Схемы излучения погодных радаров, стратегии сканирования и рабочие режимы.....	44
4.2.5	Доплеровские радары	49
4.2.6	Радары с двойной поляризацией	49
4.2.7	Традиционные продукты базовых данных метеорологических радаров.....	50
4.2.8	Диаграмма направленности антенны и динамика антенны	54
4.2.9	Настоящие и будущие потребности в спектре	54
4.2.10	Уязвимые места погодных радаров.....	58
4.2.11	Восприимчивость систем, совместно использующих спектр с погодными радаром, к помехам	66
4.2.12	Будущие тенденции	66
4.3	Радары для профилирования ветра (WPR)	67
4.3.1	Требования пользователя	68
4.3.2	Эксплуатационные и частотные аспекты	70
4.3.3	Существующие и перспективные потребности в спектре	71
4.3.4	Аспекты совместного использования частот устройствами для профилирования ветра	72

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. Большинство метеорологических радаров эксплуатируется круглосуточно без перерывов. Эти радары 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 радарными объемами 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 грозных разрядов. Метеорологические радары представляют также большой интерес для авиационной метеорологической службы. В частности, они помогают выявлять условия, при которых может происходить обледенение воздушных судов, и избегать опасных для полетов погодных явлений.

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

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 диапазоны частот погодных радаров

Полоса частот (МГц)	Название диапазона, обычно используемое в метеорологическом сообществе
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 о скорости ветра из области, приблизительно конусообразной формы, расположенной непосредственно над радаром. При правильном оснащении (например, при наличии динамиков или радиоакустической звуковой системы (RASS)) WPR также может измерять виртуальную 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.

К четвертому типу радаров, применяемых в метеорологии, относятся радары облачности. Обычно эти радары работают на частотах порядка 35 ГГц и 94 ГГц, что обусловлено относительно низким

значением затухания в атмосфере. Радары облачности предназначены для изучения микрофизических свойств облаков и других частиц в пределах диапазона чувствительности радиолокационной системы.

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 – назад, к радару, и при прохождении сигнала в обоих направлениях происходит его затухание в атмосфере. В случае метеорологических радаров такой недостаток даже еще усиливается, поскольку метеорологические цели (будь то капли осадков (дождь, град, снег и т. д.) или даже, в случае доплеровского метода, пыль, насекомые или просто атмосферные помехи) не являются особо эффективными отражателями. 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 удовлетворяться в различной степени такими средствами, как, например, более высокая мощность передатчиков, более крупные антенны, которые обеспечивают ширину луча с большим усилением, сверхчувствительные приемники и длительное время 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.

$$\overline{P_r} = \frac{\pi^3 c}{1024 \cdot \ln 2} \cdot \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \theta^2 \cdot L}{\lambda^2} \cdot \left| K^2 \right| \frac{Z}{R^2} \quad (4-2)$$

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 Постоянные Связанные с радаром Связанные с целью
 величины параметры параметры

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 релеевского 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 Znic, 1984] приводится в уравнении (4-3):

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

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 C .

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

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 это также означает, что они более чувствительны к помехам, чем типовые радиолокационные системы управления воздушным движением.

4.2 Погодные радары

4.2.1 Требования пользователей

Метеорологи используют погодные радары для обнаружения, определения местонахождения и измерения объема осадков, которые находятся в облаках или выпадают из них, и для определения скорости и направления 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 скорость⁴.

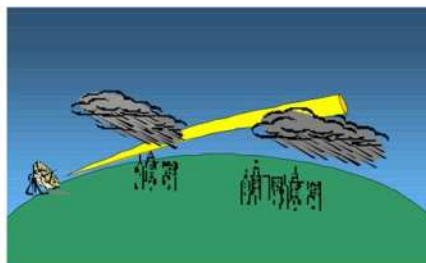
4.2.2 Сети погодных радаров

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 поднимается выше над поверхностью земли (это связано с кривизной земной поверхности и углом места луча) и становится шире. (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 ограничивает дальность действия радара в количественном выражении.

РИСУНОК 4-1

Моделированное изображение увеличения высоты луча радара с расстоянием

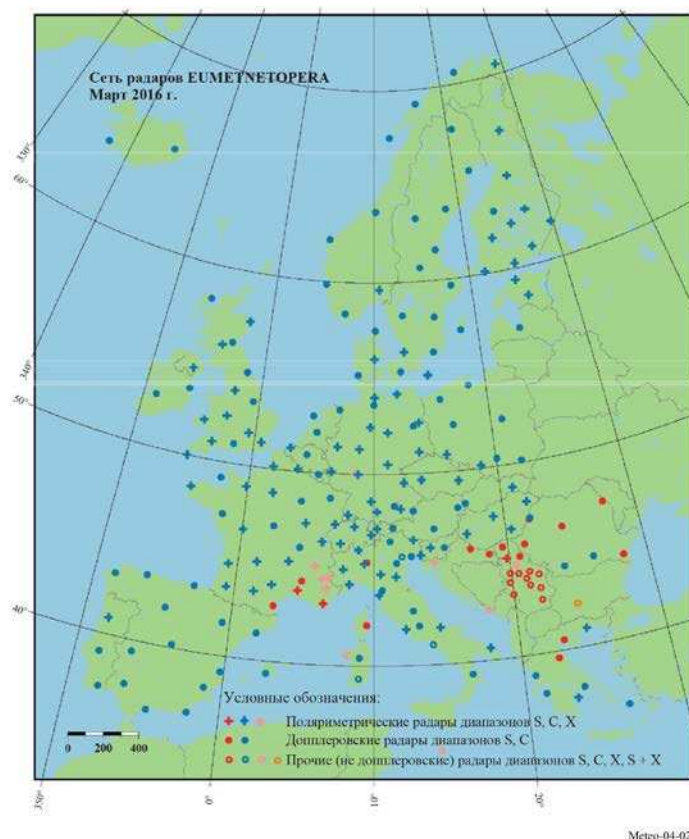


Meteo-04-01

Чтобы преодолеть это ограничение, 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 S-диапазона, C-диапазона и X-диапазона, и развернута в Западной Европе, приводится на Рисунке 4-2.

⁴ 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.

РИСУНОК 4-2

Пример сети погодных радаров
(обновлено в марте 2016 г.)**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 , а 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 $dBZ = 10 \log Z$ ($\text{мм}^6/\text{м}^3$), 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, стратегии сканирования и рабочие режимы

4.2.4.1 Схемы излучения

Для обеспечения обработки результатов сканирования области, в рамках так называемых "стратегий сканирования" (как правило, в пределах 5–15 мин.), в метеорологических радаров используются самые различные схемы излучения при разных углах места с применением наборов различной ширины импульса, ЧПИ и скоростей вращения. При этом не существует каких-либо "типовых" схем – схемы варьируются с учетом ряда факторов, таких как функциональные возможности радара и среда, в которой работает радар, и требуемые метеорологические продукты. Следовательно, схема строится так, чтобы наилучшим образом удовлетворять этим требованиям.

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

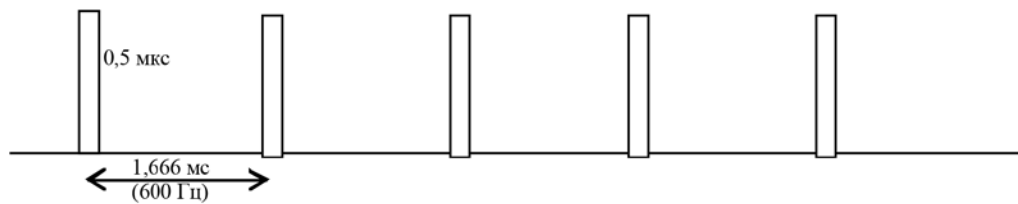
- операционный угол места – от 0° до 90° ;
- ширина импульса – от 0,5 до 2,5 мкс (для действующих радаров) для несжатых импульсов, с учетом того, что некоторые радары используют сжатие импульсов при ширине импульса от 30 до 350 мкс (следует учитывать, что при сжатии импульсов требуется более широкая полоса пропускания (3–6 МГц));
- частота повторения импульса (ЧПИ) – от 250 до 2400 Гц (для действующих радаров). Некоторые действующие радары способны работать с частотой повторения импульсов до 20 000 Гц;
- скорость вращения – от 1 до 10 об./мин.;
- использование конкретных радаров с различными схемами излучения, в которых сочетаются различная ширина импульсов и ЧПИ, и, в частности, использование постоянных, расположенных в шахматном порядке или чередующихся ЧПИ (т. е. различных ЧПИ в рамках отдельной схемы).

Пример различных схем излучения приводится на Рисунке 4-3.

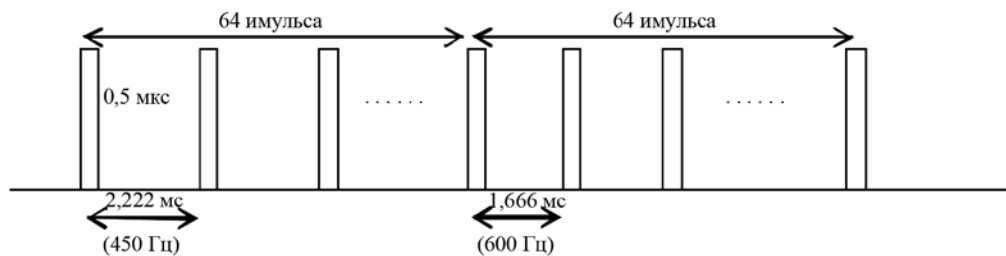
РИСУНОК 4-3

Некоторые типы схем излучения погодных радаров

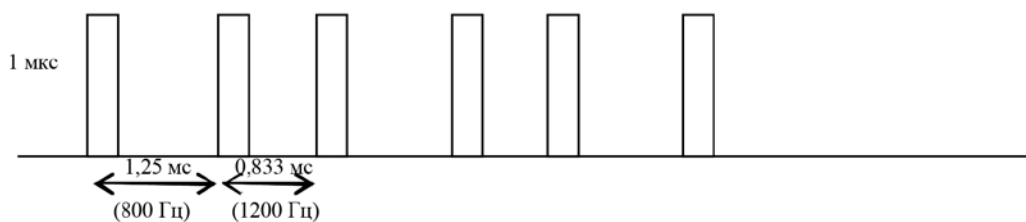
Постоянная ЧПИ



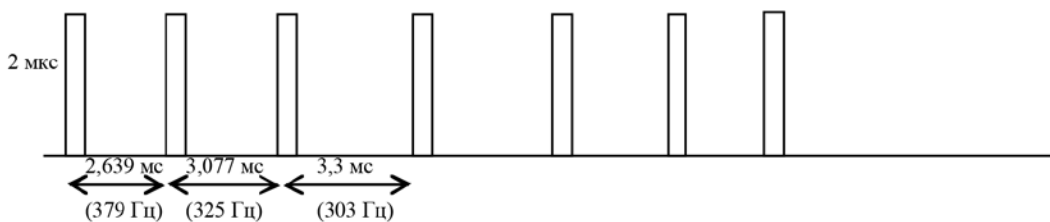
Расположенная в шахматном порядке ЧПИ



Двойная чередующаяся ЧПИ (двойная PRT)



Тройная чередующаяся ЧПИ (тройная PRT)



Meteo-04-03

Такие различающиеся схемы излучения предусмотрены стратегиями сканирования ряда радаров. При этом в рамках каждой стратегии на разных углах места и скоростях вращения используется одна схема излучения.

Необходимо подчеркнуть, что от радара к радару частота повторения и ширина импульса, связанные со схемами в рассмотренных примерах, варьируются в указанных выше пределах. Кроме того, для каждой отдельно взятой схемы ширина импульса также может варьироваться от импульса к импульсу.

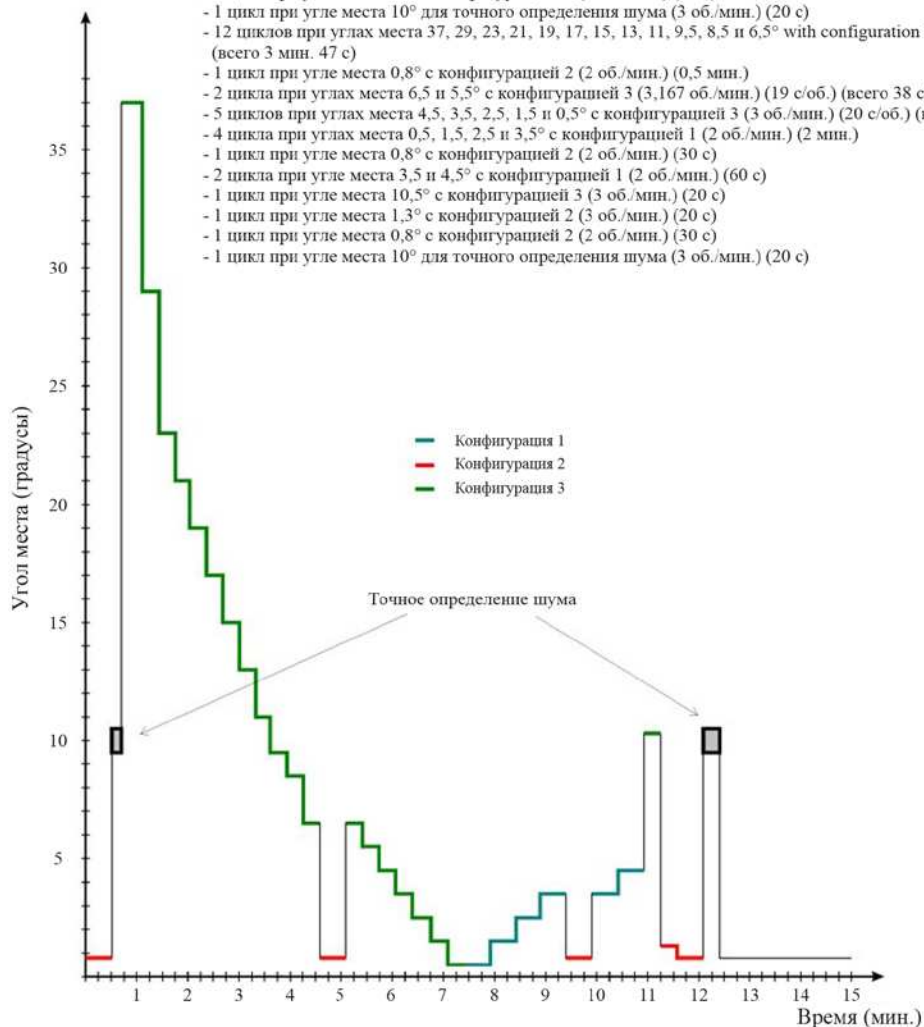
Ниже приведен пример стратегии сканирования:

РИСУНОК 4-4

Описание стратегии сканирования погодного радара

Типичная стратегия сканирования (общее время около 15 мин.)

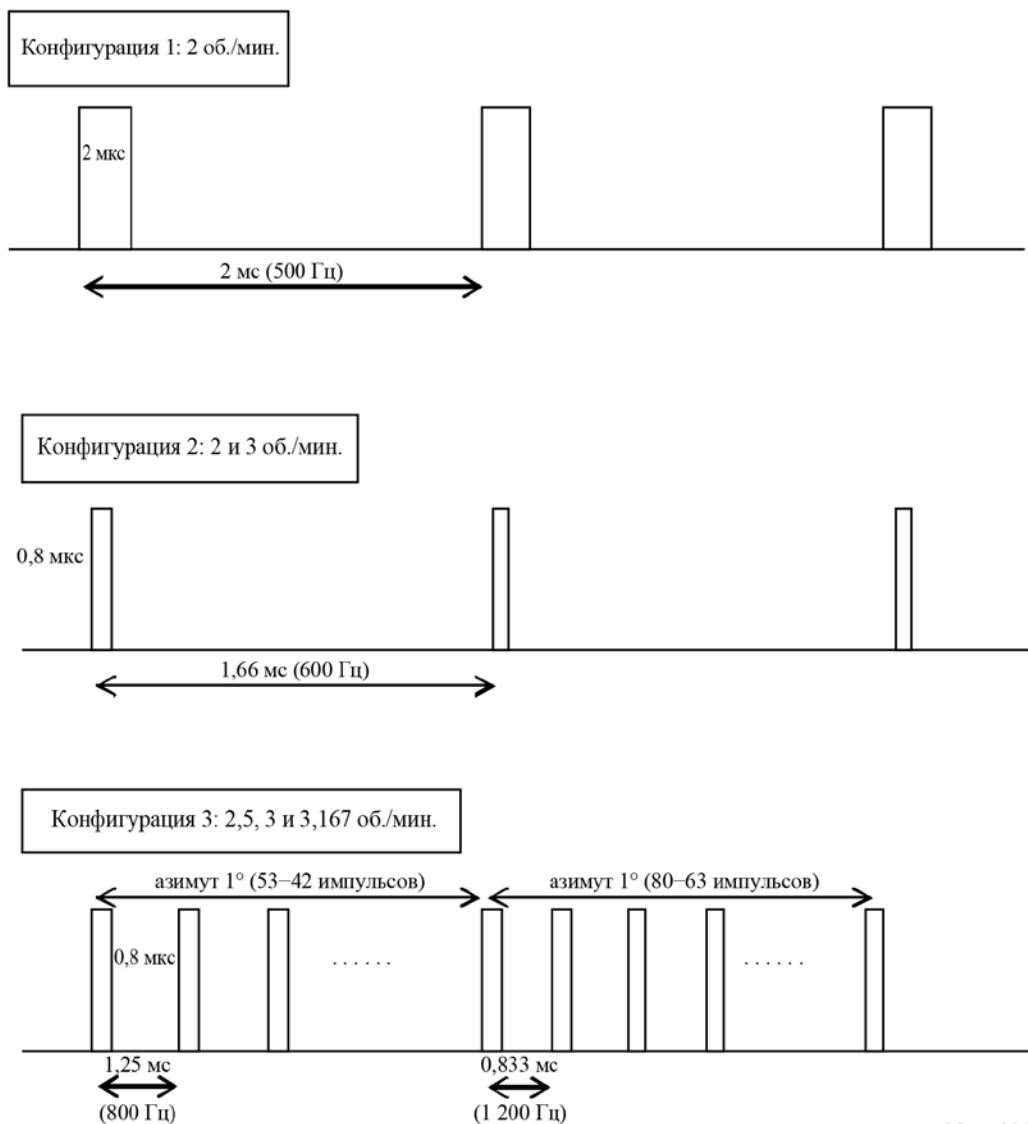
- 1 цикл при угле места $0,8^\circ$ с конфигурацией 2 (2 об./мин.) (30 с)
- 1 цикл при угле места 10° для точного определения шума (3 об./мин.) (20 с)
- 12 циклов при углах места $37, 29, 23, 21, 19, 17, 15, 13, 11, 9,5, 8,5$ и $6,5^\circ$ with configuration 3 (3,167 об./мин.) (19 с/об.) (всего 3 мин. 47 с)
- 1 цикл при угле места $0,8^\circ$ с конфигурацией 2 (2 об./мин.) (0,5 мин.)
- 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 при углах места $4,5, 3,5, 2,5, 1,5$ и $0,5^\circ$ с конфигурацией 3 (3 об./мин.) (20 с/об.) (всего 40 с)
- 4 цикла при углах места $0,5, 1,5, 2,5$ 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 угле 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-04-04

РИСУНОК 4-5

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



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 (dBZ) 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, называемое также "нуль-контроль", имеет важнейшее значение.

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), когда производятся замеры уровня шума.

Во многих случаях такое измерение шума осуществляется без какого-либо излучения радара (это, в частности, могло бы отразиться на конструкции некоторых радиосистем, предназначенных для обнаружения сигналов радара с целью уменьшения помех).

Во всех случаях помехи, наведенные во время калибровки системы с учетом уровня шума, будут искажать все собираемые данные вплоть до следующей калибровки в условиях отсутствия шума. Под воздействием этих помех передаваемая информация об интенсивности осадков будет занижена, по сравнению с реальной ситуацией, что повлечет за собой очевидные последствия для текущих рабочих процессов и точности оповещения о чрезвычайных ситуациях.

4.2.4.3 Рабочие режимы метеорологических радаров

В некоторых сетях, таких, как, например, американская NEXRAD, радары могут работать в двух задаваемых пользователем режимах: режиме ясного неба и режиме осадков. Режим ясного неба выбирается пользователем вручную. Режим осадков также может быть выбран вручную в любой момент времени и задается автоматически, когда погодный радар обнаруживает осадки (с учетом заранее заданных значений и площади, на которой сохраняется отражательная способность).

В целом метеорологические радары эксплуатируются в обоих режимах.

4.2.4.3.1 Режим ясного неба

Режим ясного неба позволяет метеорологическим радарам выявлять первые признаки надвигающихся осадков на раннем этапе.

Существуют определенные переменные скорости движения низкоуровневых воздушных масс и плотности воздуха, которые позволяют выявлять вероятные осадки. Радар работает с низкой скоростью сканирования и низкой частотой повторения импульсов, чтобы задействовать высокую чувствительность. Высокая чувствительность идеальна для обнаружения едва заметных изменений в состоянии атмосферы на больших расстояниях. Режим ясного неба особенно эффективен, когда конвективная деятельность в радиусе действия передатчика радара незначительна или отсутствует, и идеально подходит для выявления признаков развивающейся грозовой активности и других неблагоприятных погодных явлений.

Высокая чувствительность метеорологического радара обусловлена схемой объемного сканирования, которая предусмотрена для режима ясного неба. Когда выбрана схема сканирования в режиме ясного неба, антенна радара обретает способность задерживаться на продолжительное время на любом отдельно взятом пространственном участке и получать несколько ответных сигналов, работая при этом с более низким соотношением сигнал-шум. Сочетание большой ширины импульса и низкой частоты повторения импульса обеспечивает мощность отраженного сигнала приблизительно 8 дБ для данного значения отражающей способности (в dBZ).

4.2.4.3.2 Режим осадков

Режим осадков имеет назначение, совершенно отличное от назначения режима ясного неба. Скорость сканирования в режиме осадков представляет собой функцию от угла возвышения. Данная зависимость позволяет использовать максимальное число возможных углов возвышения при получении образцов сканируемого радаром объема пространства. Режим осадков позволяет реализовывать стратегию сканирования VCP по нескольким схемам с разными углами возвышения (см. пример в п. 4.2). Погодные явления, мониторинг которых обычно осуществляется в режиме осадков, связаны с развитием осадков, сопровождающихся конвективными штормами (проливной дождь, град, сильная гроза, торнадо и т. д.), и крупномасштабными синоптическими системами.

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 (например, 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 радарх 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 (на сегодня это самое передовое решение), лампы бегущей волны (ЛБВ) или твердотельные передатчики. Чистота спектральной фазы традиционных радаров ограничивалась магнетронной технологией предыдущего поколения, однако в современных магнетронах чистота фазы достаточна для действенного подавления мешающего отражения. В то же время действующие магнетроны способны экономично передавать высокую среднюю мощность для увеличения отношения сигнал-шум.

4.2.6 Радары с двойной поляризацией

Поляриметрические радары или радары с двойной поляризацией излучают импульсы как горизонтальной (h), так и вертикальной (v) поляризации. Данная технология позволяет определять рассеивающие объекты путем дистанционного зондирования их формы и однородности. По сравнению с неполяриметрическими системами, эти радары дают возможность значительно точнее оценивать дождевую активность, классифицировать осадки и выявлять опасные погодные явления, а также позволяют получать данные более высокого качества.

При оценке характера осадков теперь учитывается тот факт, что падающие дождевые капли имеют тенденцию к расплющиванию (сплюснутые сфероиды), и чем больше размер капли, тем она более плоская в горизонтальном направлении. Сочетание измерения отражательной способности и двух поляризационных полей позволяет более точно оценивать коэффициенты A и b в отношении $Z-R$ (4-10). Другие алгоритмы, в основе которых лежит дифференциальная фаза $\phi_h - \phi_v$ и дифференциальное затухание, считаются очень перспективными, с точки зрения дальнейшего повышения точности оценки параметров 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 затухания.

4.2.7 Традиционные продукты базовых данных метеорологических радаров

Доплеровские 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.

ТАБЛИЦА 4-2

Типичные требования к точности базовых данных метеорологических радаров

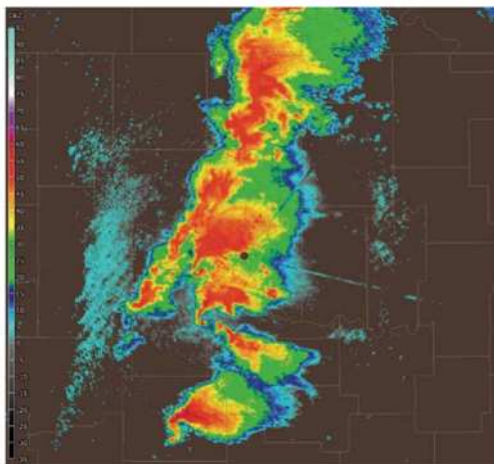
Продукт базовых данных	Проектное требование к точности
Базовая отражательная способность	< 1 дБ
Средняя радиальная скорость	< 1 м/с
Ширина спектра	< 1 м/с

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

Отражательная способность цели радара KOUN в 22:34 ВСВ 24.05.2011 во время серии торнадо



Metco-04-06

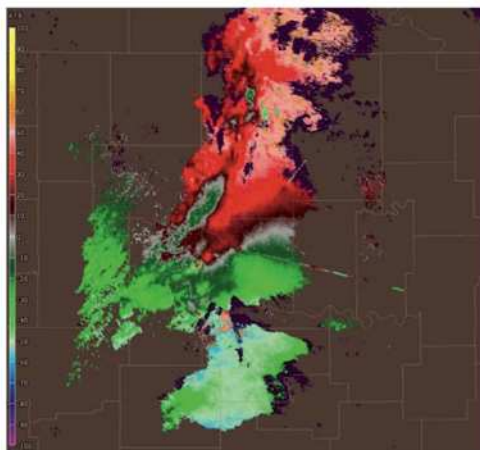
4.2.7.2 Средняя радиальная скорость

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 статическому моменту спектральной плотности; радиальная скорость – к базовым данным. 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

Радиальная скорость, полученная радаром KOUN в 22:34 ВCB 24.05.2011 во время серии торнадо

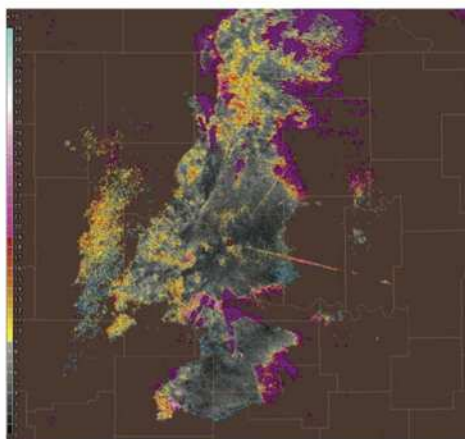


4.2.7.3 Ширина спектра

В метеорологических радиолокационных системах 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 Zrnic 1984].

РИСУНОК 4-8

Ширина спектра радара KOUN в 22:34 ВCB 24.05.2011 во время серии торнадо



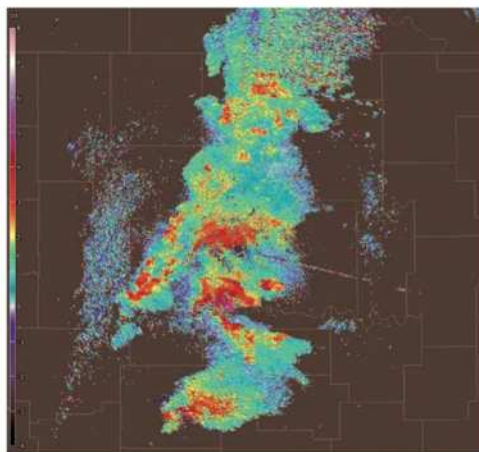
4.2.7.4 Продукты метеорологических радаров с двойной поляризацией

4.2.7.4.1 Дифференциальная отражательная способность

Дифференциальная отражательная способность – это продукт, который относится к поляризметрическим метеорологическим радарам и представляет собой отношение мощностей

отраженных сигналов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Помимо прочего, это приемлемый показатель формы частиц. В свою очередь, форма частицы представляет собой приемлемую оценку ее среднего размера.

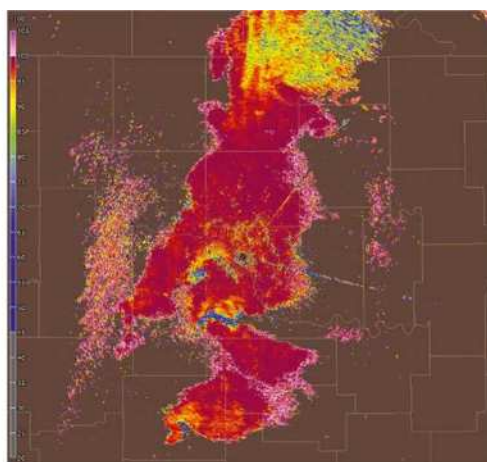
РИСУНОК 4-9
**Дифференциальная отражательная способность, зафиксированная радаром KOUN
в 22:34 ВСВ 24.05.2011 во время серии торнадо**



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.

РИСУНОК 4-10
**Коэффициент корреляции, зафиксированный радаром KOUN
в 22:34 ВСВ 24.05.2011 во время серии торнадо**



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 передаваемого горизонтального импульса или мощности отраженного сигнала в горизонтальной

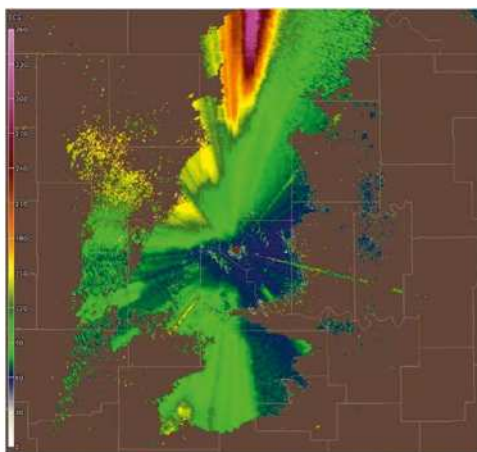
плоскости от вертикального импульса (не показано). Подобно коэффициенту корреляции, это также приемлемый показатель для районов, где сочетаются различные типы осадков.

4.2.7.4.4 Дифференциальная фаза

Дифференциальная фаза – это продукт сравнения разницы отраженных фаз между горизонтальным и вертикальным импульсами. Такая разница фаз вызвана различием в количестве фаз волн (или в длинах волн) по всему пути распространения 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 зависят от отраженной мощности, дифференциальная фаза представляет собой "эффект распространения радиоволн". Это также очень хороший показатель интенсивности дождя и затухания, вызванного дождем. Удельная дифференциальная фаза (не показана), получаемая из дифференциальной фазы, характеризует значение, при котором происходит фазовый сдвиг. Этот показатель особенно действенен при определении районов с сильными ливневыми дождями.

РИСУНОК 4-11

Дифференцированная фаза, зафиксированный радаром KOUN
в 22:34 BCB 24.05.2011, во время серии торнадо



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 количество таких продуктов довольно велико. Для обеспечения точности продуктов производных данных, продукты базовых данных необходимо тщательно поддерживать.

4.2.8 Диаграмма направленности и динамика антенны

4.2.8.1 Диаграммы направленности антенны

Метеорологические радары обычно оснащены антеннами с параболическим отражателем, который характеризуется игольчатой диаграммой направленности. Считается, что динамика такой антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях обеспечивает объемное сканирование. Примеры такой динамики описаны выше, в пункте 4.2.4.1.

В настоящее время при проектировании антенн метеорологических радаров используются три математические модели, предусмотренные Рекомендациями МСЭ-R F.699 (максимальный уровень боковых лепестков), МСЭ-R F.1245 (средний уровень боковых лепестков) и МСЭ-R M.1652. Хотя эти рекомендации содержат исчерпывающую информацию, касающуюся параболических антенн, в них

прослеживается некоторая переоценка полосы пропускания антенн с игольчатой диаграммой направленности.

Примечательно, что в настоящее время у МСЭ-R отсутствуют сформулированные уравнения диаграмм направленности радиолокационных антенн для антенн с диаграммой направленности игольчатого типа.

4.2.8.2 Движение антенны объемного сканирования

Горизонтальное и вертикальное покрытие, необходимое для получения горизонтального среза в режиме объемного сканирования, достигается вращением антенны в горизонтальной плоскости с постоянным углом возвышения. Угол возвышения увеличивается на заданное значение после получения каждого горизонтального среза. Наименьшее значение угла возвышения обычно находится в пределах от -2° до 1° , а наибольшее – от 20° до 30° , хотя при решении некоторых задач могут использоваться углы возвышения до 60° . Скорость вращения антенны варьируется, в зависимости от погодных условий и того, какой продукт необходим в данный момент времени. Скорость вращения антенны, так же как диапазон углов возвышения, шаг изменения угла возвышения и частота повторения импульсов, регулируется таким образом, чтобы рабочие параметры системы были оптимальными. Медленное вращение антенны обеспечивает длительное время перррадиального сканирования цели в условиях, когда требуется максимальная чувствительность.

Высокая скорость вращения антенны позволяет оператору осуществлять объемное сканирование в короткие периоды времени, когда требуется, чтобы весь объем пространства был просканирован максимально быстро. Варьируя шаг изменения угла возвышения и скорость вращения, можно менять время сканирования в диапазоне от одной до 15 минут. Более длительное, по сравнению с другими радаром, антенны которых вращаются с постоянным углом возвышения, время выполнения полного объемного сканирования обусловлено необходимостью получать в качестве результата статистически значимую выборку.

4.2.8.3 Другие стратегии движения антенны

Для решения особых задач и проведения исследований в метеорологических радаром применяются и другие стратегии движения антенн. Секторное сканирование предназначено для получения части угломестного среза. Секторно-объемное сканирование представляет собой объемное сканирование в части окружности 360° , в пределах которой антенна выполняет несколько срезов с разными углами возвышения. Третий режим предполагает удержание антенны с постоянными значениями азимута и угла возвышения для мониторинга определенной точки атмосферы. Все три стратегии позволяют оператору радара сконцентрироваться на конкретном участке атмосферы.

4.2.9 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, а также точностью метеорологических переменных и стоимостью. Затухание в условиях осадков, которое уменьшается с возрастанием λ и становится ничтожным при длинах волны дециметрового диапазона, выступает доминирующим фактором. 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.

4.2.9.1 Частотные диапазоны метеорологических радаром

Три частотных диапазона, в которых работает основная часть метеорологических радаром, это S-диапазон (номинальная частота 2700–3000 МГц), C-диапазон (номинальная частота 5250–5725 МГц) и X-диапазон (номинальная частота 9300–9500 МГц). Точные значения частот выделенных диапазонов можно найти в принятых стандартах (IEEE 2002).

S-диапазон (2700–3000 МГц, номинальная длина волны 10,7 см) является лучшим, с точки зрения обеспечиваемой количественной точности и дальности действия. Это обусловлено низкими значениями затухания, применительно как к газовому поглощению, так и к затуханию в осадках

(Fabry, 2015; Doviak, 1993). Большая длина волны также помогает компенсировать уменьшение радиуса действия – проблемы доплеровской неопределенности (Doviak, 1978 and 1979). Однако, при выборе S-диапазона важным фактором становится стоимость, поскольку для работы с большими длинами волны требуются более крупные аппаратные компоненты и антенна, способные обеспечить выполнение заданных требований по ширине диаграммы направленности и коэффициенту усиления.

C-диапазон (5250–5725 МГц, длина волны 5,4 см) обычно используется в умеренном климате и в странах, где требуется покрытие относительно небольших географических территорий. Он способен обеспечить приемлемый компромисс между указанными выше параметрами, давая возможность обнаружения дождя на большой дальности (до 200 км), хотя его количественная оценка фактически будет ограничена при дальности 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, работающими 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 50 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. В связи с их небольшим размером, погодные радары X-диапазона часто используются как мобильные переносимые установки. Кроме того, эти радары применяются для выявления изменения ветра, в частности, в авиации (сдвиги ветра, вихри...).

4.2.9.2 Затухание

Затухание электромагнитных волн при их распространении в атмосфере происходит под воздействием водяного пара, газового поглощения, облаков и осадков (Fabry, 2015). Самое значительное затухание бывает вызвано осадками, особенно, ливневым дождем. Физика распространения сигнала такова, что коэффициент затухания (в дБ на единицу длины) в C-диапазоне (5,0 см) приблизительно в 6–8 раз больше, чем в S-диапазоне (10,0 см), в зависимости от интенсивности осадков (Bean and Dutton, 1966, Burrows and Attwood, 1949). В X-диапазоне затухание представляет собой намного более серьезную проблему. В этом диапазоне при интенсивности осадков 6 мм/час коэффициент затухания более чем в 100 раз превышает коэффициент затухания в S-диапазоне и более чем в 15 раз – коэффициент затухания в C-диапазоне.

Значительное негативное воздействие затухания на коротких длинах волны хорошо описано в литературе. В 80-х годах XX века Национальная лаборатория исследования сильных штормов провела прямое сравнение радаров, работающих на длинах волны 5 и 10 см. Результаты этих сравнительных испытаний показали, что при использовании длины волны 5 см в условиях ливневых осадков может серьезно страдать точность прогнозирования штормов и работа по оповещению (Allen, 1981).

Использование поправки на затухание при работе на коротких длинах волны проблематично, так как требует очень высокой точности измерения мощности (Hitschfeld, 1954). Требования точности калибровки с учетом отражательной способности, которые должны быть выполнены, чтобы в C- и X-диапазонах поддерживались алгоритмы поправки на затухание, превышают ныне действующие требования американской программы внедрения радаров нового поколения (NEXRAD) и их трудно выполнить на практике. Применение в погодных радарх поляриметрии в значительной степени изменило ситуацию, так как дифференциальная фаза позволяет оценивать затухание независимо от точности калибровки с учетом отражательной способности.

Проблемы, связанные с затуханием, диктуют необходимость использования в метеорологических радарх линейной поляризации. На начальном этапе развертывания радаров S-диапазона Weather Surveillance Radar – 1988 Doppler (WSR-88D) американской программы NEXRAD в этой системе применялась эллиптическая поляризация. Это было необходимо для того, чтобы сделать эффективной и экономичной конструкцию аппаратуры, предназначенной для передачи и приема радиосигнала. Однако вскоре лица, отвечающие за работу системы, обнаружили, что на ней очень негативно сказывается деполяризация в условиях ливневого дождя, и радар был модифицирован путем внедрения линейной горизонтальной поляризации (Sirmans, 1993). Поскольку поляризация –

важный фактор при рассмотрении восприимчивости к помехам, нынешняя способность использовать линейную поляризацию (горизонтальную и/или вертикальную) должна быть сохранена.

4.2.9.3 Максимальный диапазон однозначного определения дальности и скорости

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 дальности⁵ 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 (ЧПИ) определяет максимальную однозначную дальность и скорость, которую может измерить радар (Doviak, 1979). 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 радарах, в частности С-диапазона, часто используются различные схемы излучения, сочетающие различные ЧПИ (см. п. 4.2.4).

Значения приводятся для разных технологий: магнетронов и клистронов и 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.

Даже используя большие длины волны S-диапазона, бывает трудно добиться приемлемых рабочих характеристик радара на больших расстояниях и диапазонах скоростей. Например, в американской программе NEXRAD применяются многочисленные методы компенсации негативных явлений, такие как многократное сканирование с одним углом места и разной частотой повторения импульса или систематическое фазовое кодирование. Эти проблемы усугубляются еще сильнее на малых длинах волны.

⁵ 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.

4.2.9.4 Когерентное эхо

Пределы однозначной скорости (частота Найквиста) определяются отношением ЧПИ к длине волны. Коинтервал Найквиста (диапазон однозначных скоростей) прямо пропорционален длине волны. Соответствующее уравнение выглядит следующим образом:

$$V_a = \frac{\lambda \cdot PRF}{4}$$

Таким образом, для данного значения ЧПИ длина волны определяет коинтервал Найквиста, который, в свою очередь, ограничивает точность доплеровских расчетов, с точки зрения ширины спектра. Когда ширина спектра становится большой по отношению к коинтервалу Найквиста, радарные выборки между импульсами становятся некогерентными, и точность оценок падает. Ширина спектра может увеличиться (уширение спектра) и превратиться в большой участок спектра под воздействием нескольких факторов, включая турбулентность, сдвиг ветра и скорости падения (Fabry, 2015, Section 5.2). Если ширина спектра превосходит коинтервал Найквиста более чем на $(2\pi)^{-1}$, расхождение результатов доплеровской оценки начинает расти экспоненциально (Doviak, 1978).

Поскольку влияние турбулентности и сдвига ветра увеличивается по мере увеличения объема выборки радара, ширина спектра представляет собой функцию эффективной ширины диаграммы направленности антенны и радиуса действия радара. "Диапазон когерентности" можно определить, как максимальный радиус действия, при котором достигается приемлемое качество доплеровских оценок. Для каждой отдельно взятой ширины диаграммы направленности предпочтительно использовать максимальные длины волны (такие как 10 см в S-диапазоне).

4.2.9.5 Резонансные эффекты – количественное измерение интенсивности

Эффективная площадь обратного рассеяния сферических частиц в значительной степени зависит от длины падающей волны сигнала, а также от диаметра сферы (Rheinstein, 1968). Для точной оценки отражательной способности, которая выступает мерой эффективной площади обратного рассеяния, отраженная мощность должна быть линейной функцией размера капли. Для этого необходимо, чтобы обратное рассеяние радиолокационных сигналов происходило в области релеевского рассеяния и Ми-диапазоне, что очень нелинейно и чего следует избегать применительно к дождевым каплям нормальных, ожидаемых диаметров (Fabry, 2015). Резонансные эффекты, как и затухание, способны отрицательно влиять на оценку поляриметрических переменных (Zrníc, 2000). Как описывает Зернич, при длине волны 5 см резонанс происходит в случаях, когда размер капли превышает 5 мм, а поляриметрическая переменная характеризуется нелинейным (немонотонным) поведением, что делает точные количественные оценки невозможными. Последствия этого для коэффициента корреляции довольно очевидны, особенно, в С-диапазоне для значений отражательной способности более 30 dBZ (Ryzhkov, 2005).

Неопределенная взаимозависимость между диаметром капли и эффективной площадью обратного рассеяния в Ми-диапазоне может препятствовать получению приемлемых оценок отражательной способности для меньших длин волны. При длинах волны, на которых происходит затухание, небольшие ошибки в калибровочных постоянных вызывают значительные ошибки в оценке интенсивности дождя (Hitschfeld, 1954).

4.2.9.6 Выводы

Выбор частотного диапазона для метеорологических радаров определяется требуемой дальностью действия. Когда необходим большой радиус действия и при работе в географических районах, для которых характерны ливневые дожди, целесообразно использовать S-диапазон, так как он обеспечивает более высокое качество оценки параметров, основанных на интенсивности, и доплеровских измерений. В других географических районах и при меньшей требуемой дальности действия лучше подойдут радары, работающие в С- и Х-диапазонах соответственно. Другим важным обстоятельством, которое необходимо учитывать, выступает невозможность в достаточной степени компенсировать погрешности в оценке расстояния и скорости, вызванные более короткими первичными зондирующими импульсами, что, в свою очередь, обусловлено значениями ЧПИ, которые достаточно высоки и не позволяют обрабатывать результаты точных доплеровских

измерений. Другие факторы, негативно сказывающиеся на точности данных, связаны с резонансными эффектами (рассеяние Ми и релеевское рассеяние), которые влекут за собой нелинейные отношения между мощностью отраженного сигнала (сигнала обратного рассеяния) и распределением размеров капель при осадках. Это препятствует точной оценке интенсивности осадков и серьезно снижает эффективность алгоритмов идентификации частиц.

4.2.10 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 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 повторить, 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 к шуму и помехам.

4.2.10.1 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, осуществлять адекватную количественную оценку интенсивности и накопления осадков, 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 Рекомендации МСЭ-R М.1849-1 содержатся уровни защитных критериев радаров для метеорологических радаров и, в частности, максимальное значение $I/N = -10$ дБ для постоянных помех.

4.2.10.2 Воздействие постоянных помех

4.2.10.2.1 Географическое покрытие

Постоянные помехи могут уменьшать дальность действия радара, приводя к ограничению географической зоны покрытия ввиду соответствующего увеличения шума.

Защитный критерий $I/N = -10$ дБ соответствует увеличению шума или энергии на 0,5 дБ.

Исходя из того, что радары калибруются с целью обеспечить их соответствие уровню помех на приеме (т. е. около -113 дБм) при условии, что на расстоянии 100 км уровень отражательной способности составляет 0 dBZ, усиление помех меняет штатные условия работы радара, сокращая дальность его действия.

Покрывание современных типовых метеорологических радаров, работающих в С-диапазоне, достигает приблизительно 200 км. В Таблице 4-3 в кратком виде приводятся потери в дальности и покрытии по мере увеличения помех и 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%

4.2.10.2.2 Интенсивность дождя

Постоянные помехи способны 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).

В соответствии с описанием, приведенным в п. 4.1.2, интенсивность осадков, соответствующая определенной отражательной способности (дБ), может быть выражена следующим образом:

$$z = AR^B$$

где:

- z : отражательная способность
- A : постоянное значение рассеяния
- B : множитель частоты

и

$$z = 10 \log z \text{ (dBZ)}$$

где:

dBZ: отражательная способность (дБ).

Перегруппировка членов и решение для R дают следующее уравнение:

$$R_{(mm/h)} = \left(\frac{10^{\left(\frac{dBZ}{10} \right)} \left(\frac{1}{1,6} \right)}{200} \right)^{\left(\frac{1}{1,6} \right)}$$

Допуская, что увеличение энергии представляет собой постоянную величину, C , получаем следующее значение интенсивности дождя:

$$R_{(mm/h)} = \left(\frac{10^{\left(\frac{dBZ + C}{10} \right)} \left(\frac{1}{1,6} \right)}{200} \right)^{\left(\frac{1}{1,6} \right)}$$

В этом случае увеличение интенсивности дождя в процентах представляет собой постоянную величину, которая может быть выражена следующим образом:

$$p(R_{(mm/h)}) = 100 \times \left(10^{\left(\frac{C}{16} \right)} - 1 \right)$$

В Таблице 4-4 приведены стандартные постоянные значения рассеяния и множители частоты для нескольких типов осадков⁶.

ТАБЛИЦА 4-4

Постоянные значения рассеяния и множители частоты для различных видов осадков

Переменные	Дождевые осадки из слоистообразных облаков	Конвективные дождевые осадки	Снег	Град
Постоянная рассеяния (A)	200	500	2 000	2 000
Множитель частоты (B)	1,6	1,5	2	1,29

В Таблице 4-5 в обобщенном виде представлены выраженные в процентах показатели увеличения интенсивности для нескольких типов осадков.

ТАБЛИЦА 4-5

Увеличение интенсивности осадков

Увеличение шума (дБ)	Соответствующее отношение I/N (дБ)	Увеличение интенсивности дождевых осадков из слоистообразных облаков (%)	Увеличение интенсивности конвективных дождевых 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

⁶ Постоянные значения рассеяния и множители частоты для дождевых осадков из слоистообразных облаков, конвективных дождевых осадков, снега и града рассчитаны на основе результатов измерений.

Эти расчеты показывают, что, независимо от интенсивности и типа осадков, выраженное в процентах завышение оценки для данного постоянного значения возрастания энергии также представляет собой постоянную величину и, следовательно, им нельзя пренебрегать.

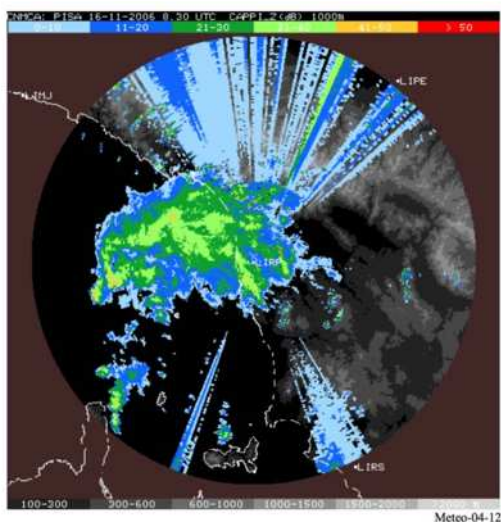
Учитывая также, что при расчете отражательной способности для каждого отдельно взятого пиксела используются средние значения (dBZ), общие оценки и связанное с ними среднеквадратическое отклонение, следует отметить, что увеличение помех не привело бы к изменению способности радаров обнаруживать дождевые 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 4-12. 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 4-12

Пример помех для режима работы погодного радара в условиях осадков



4.2.10.2.3 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.

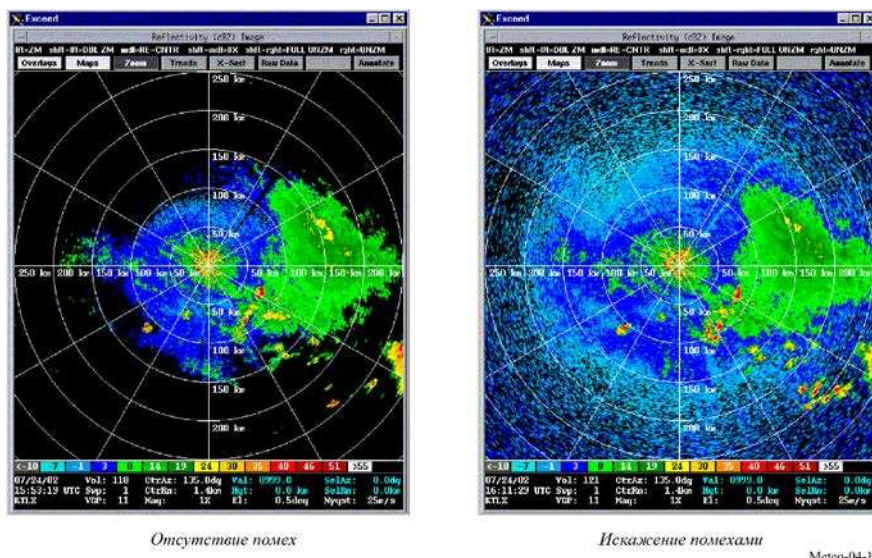
Кроме того, можно также предположить, что, когда уровень помех значительно ниже уровня полезного сигнала, фаза этого последнего сигнала не изменяется, тогда как, наоборот, если мешающий сигнал существенно выше, то обнаруженная радаром фаза будет фазой мешающего сигнала. При последней ситуации обсужденных 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.

4.2.10.3 Воздействие импульсных помех

Импульсные помехи могут оказывать существенное воздействие на данные по отражательной способности и могут приводить к тому, что возвращаемые данные будут давать надежное изображение целей в атмосфере. Пример этого приведен на Рисунке 4-13.

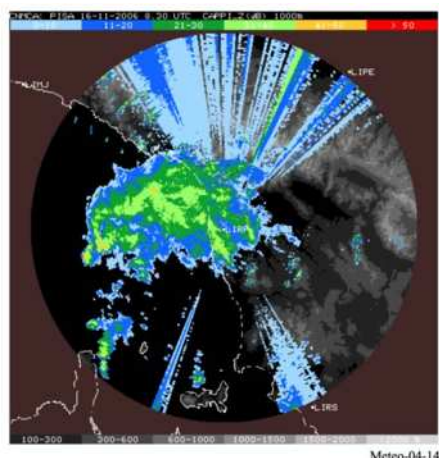
РИСУНОК 4-13

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



На Рисунке 4-14 приведен дополнительный пример помех, наводимых на метеорологический радар маломощным передатчиком, установленным внутри помещения.

РИСУНОК 4-14

Воздействие помех на метеорологический радар (режим осадков)**4.2.10.4 Помехи от парков ветряных турбин**

В последние годы создаются ветряные турбины все больших размеров, и число типовых генерирующих объектов (или парков, насчитывающих большое количество ветряных турбин) стремительно увеличивается. Ветряные турбины и парки, 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, способны блокировать прямое распространение радиолокационных сигналов, вызывать отражение и эхо под воздействием турбулентного шлейфа. Под влиянием названных механизмов создания помех радары могут выдавать ложные оценки накопления осадков, неправильные сигнатуры торнадо и мезоциклонов, ошибочно определять характеристики грозы и идентифицировать грозовые очаги. Кроме того, механизмы создания помех способны ухудшать рабочие характеристики радаров и негативно сказываться на деятельности по прогнозированию и оповещению. Существуют три механизма, которые могут привести к ухудшению показателей работы: маскирование, мешающее отражение и обратное рассеяние.

4.2.10.4.1 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 (высота, угол установки лопастей, скорость вращения и положение турбины относительно радара).

4.2.10.4.2 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 градусов 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.

4.2.10.4.3 Энергия обратного рассеяния, возникающего в результате турбулентных вихрей

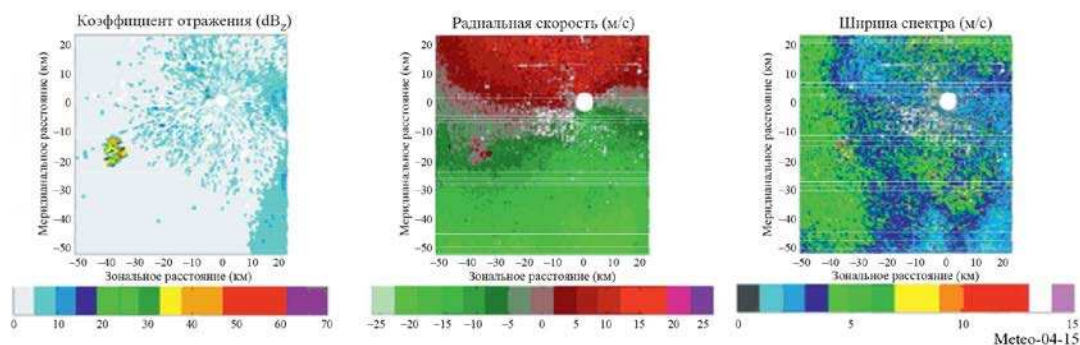
Помимо сигналов вследствие мешающих отражений от турбин, создаваемых за счет отражений от реальных ветряных турбин, может появляться энергия обратного рассеяния, которая возникает в результате турбулентных вихрей, являющихся следствием работы ветряных ферм. Представляется, что эти эхо-сигналы обладают 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.

4.2.10.4.4 Примеры мешающих отражений от ветряных турбин

На Рисунке 4-15 [Palmer and Isom, 2006] представлены два различных примера помех, создаваемых ветряными парками⁷. Ожидается, что коэффициент отражения будет большим, и его значение составит порядка 45 dBZ, 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 4-15

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

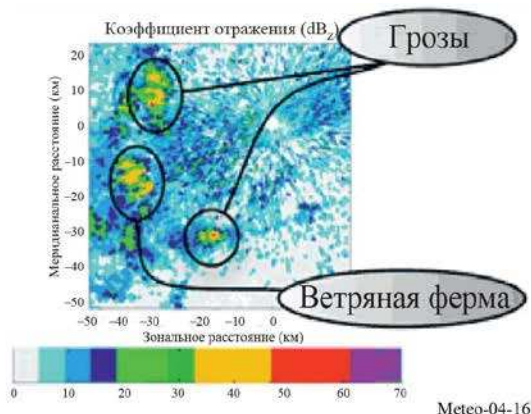


⁷ Ветряные парки – это объединенные в группы ветряные турбины, которые используются для выработки электроэнергии.

На Рисунке 4-16 изображен тот же ветряной парк во время бури.

РИСУНОК 4-16

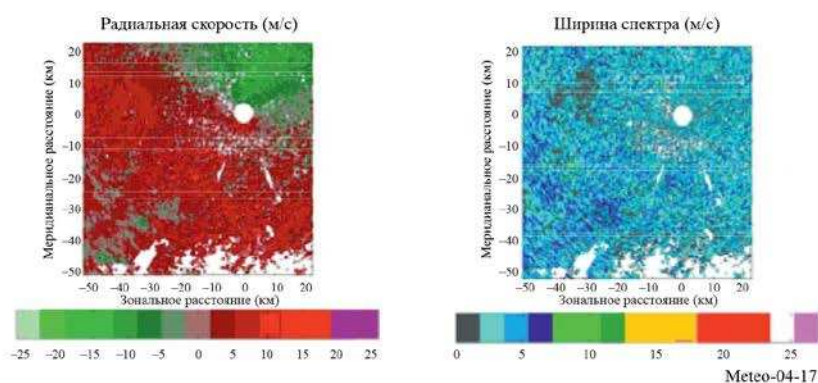
Пример помех, создаваемой ветряной фермой, и ее влияние на коэффициент отражения во время одиночной бури



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 4-17, большая ширина спектра, безусловно, снижает точность оценок доплеровской скорости за счет небольших отклонений от нуля.

РИСУНОК 4-17

Примеры оценок данных о доплеровской скорости во время бури



4.2.10.4.5 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 погоды радаром отраженных сигналов нельзя пренебрегать.

В частности, из результатов анализа следует, что воздействие одной одиночной ветряной турбины на работу погоды 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 на каждом азимуте, 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, потребуются 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.

4.2.11 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 (типовое значение пиковой э.и.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.

4.2.12 Будущие тенденции

В настоящее время ведется крупномасштабная модернизация метеорологических радиолокационных систем, находящихся в ведении разных администраций. Текущие проекты модернизации включают внедрение поляризметрических радаров, в которых в дополнение к используемым сегодня горизонтальным радиолокационным волнам будет применяться вертикальная поляризация. По состоянию на 2016 год все радары американской программы NEXRAD и приблизительно половина радаров европейской программы OPERA поддерживают двойную поляризацию.

В целях дальнейшего совершенствования характеристик метеорологических радаров внедряются и другие технические решения. Наиболее важными из них являются различные алгоритмы устранения неоднозначности при определении расстояния и скорости, а также способы повышения скорости сбора данных, снижения влияния артефактов, уменьшения мешающих отражений и эффективной обработки сигналов в целях получения максимально точных метеорологических оценок. Еще одним направлением приложения усилий выступает комбинированное использование метеорологических и профилирующих

радаров. Умеренные усилия направлены на изучение молний и создаваемых ими угроз. Это делается с целью определить, можно ли предсказывать наступление и окончание этого явления.

Исследователи адаптировали технологию фазированных антенных решеток для применения в целях наблюдения за погодой. Благодаря появлению этой технологии, на смену параболическим антеннам с механическим управлением придут антенны с фазированными решетками, управляемые электроникой. Это позволит более гибко выстраивать стратегии сканирования и быстрее обновлять информацию о меняющихся погодных условиях. Первые испытания радиолокационных систем, оснащенных фазированными антенными решетками, подтвердили их перспективность. Технология фазированных антенных решеток будет способствовать лучшему пониманию принципов развития штормов, что, в свою очередь, позволит создавать более совершенные компьютерные модели, точнее осуществлять прогнозирование и раньше производить оповещение. Более того, данная технология обладает потенциалом для удлинения срока предупреждения о надвигающихся торнадо – он может быть значительно увеличен, по сравнению с нынешним средним значением в 13 минут. Расширение возможностей систем осуществляется более экономично посредством усовершенствования подсистем приема и обработки сигналов. Существует вероятность, что в системах, которые будут модернизированы путем внедрения фазированных антенных решеток (если это произойдет), не сохранятся действующие передатчики – им на смену придут распределенные приемопередающие модули, входящие в состав фазированных решеток. Возможность внедрения метеорологических радиолокационных систем с фазированными антенными решетками уже обсуждается в некоторых регионах.

Существует вероятность, что рассчитанные на X-диапазон метеорологические радиолокационные системы CASA (Центр адаптивного зондирования атмосферы в режиме взаимодействия) получат полосу радиочастотного спектра 8000–12 000 МГц. В сентябре 2003 года Национальный научный фонд учредил новый центр инженерных исследований в области адаптивного зондирования атмосферы в режиме взаимодействия (CASA) с целью разработки компактных, недорогих радаров, предназначенных для зондирования с высоким разрешением нижних слоев атмосферы. Данные о метеорологических условиях в нижних слоях тропосферы характеризуются значительной недостаточностью выборки, что препятствует прогнозированию и инициализации моделей в районах, где формируются шторма. Системы радиолокации с высокой пространственной плотностью от CASA смогут обнаруживать развивающиеся модели погоды в нижних слоях атмосферы, которые зачастую располагаются ниже области покрытия действующих доплеровских радаров (т. е. в нижнем трехкилометровом слое). Радары CASA будут монтироваться на вышках сетей сотовой связи или других объектах существующей инфраструктуры с большими возможностями передачи данных. В отличие от существующих предварительно программируемых радарных сетей, взаимодействующие радары CASA будут поддерживать связь один с другим и адаптировать свои стратегии зондирования с учетом изменения метеорологических условий и меняющихся нужд конечных пользователей. Данные этих радаров можно будет включать в числовые модели предсказания погоды в целях более полной инициализации данных.

Наконец, следует упомянуть американский проект SENSР, в рамках которого метеорологические радары и радиолокационные системы управления воздушным движением (первичные и вторичные) будут объединены на одной аппаратной платформе (универсальный подход).

Все эти тенденции необходимо будет отслеживать, поскольку по мере развития технологий они станут влиять на выработку будущих стратегий подавления помех и определение защитных критериев.

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 4-18 приводится фотография типовой установки радара для профилирования ветра.

РИСУНОК 4-18

Фотография установленного радара для профилирования ветра

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 параметров в поле вертикальной скорости (гравитационных волн и восходящих конвекционных потоков) и оценки интенсивности турбулентности и устойчивости атмосферы. Эти приборы также могут предоставлять подробную информацию о вертикальном профиле виртуальной температуры атмосферы за счет добавления системы радиоакустического зондирования (РАСС)⁸.

4.3.1 Требования пользователя

Подходящим способом для изучения воздействия требований пользователя к эксплуатационным параметрам и конструкции устройств для профилирования ветра является рассмотрение следующего упрощенного уравнения, основанного на [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).

Это уравнение применимо только к инерционному интервалу турбулентности атмосферы. Безусловно, структура атмосферной турбулентности физически ограничивает полезный диапазон длин волны радара профилирования ветра значениями порядка 10–0,2 м (30–1500 МГц). Ниже

⁸ 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 (условие Брэгга). РАСС измеряет скорость акустического колебания, которая зависит от температуры. Таким способом РАСС осуществляет дистанционное измерение виртуальной температуры атмосферы.

нижнего предела данного инерционного интервала турбулентность быстро рассеивается под воздействием теплоты внутреннего трения. Следовательно, меньшие длины волны не могут использоваться для профилирования ветра по причине отсутствия измеримых колебаний коэффициента рефракции при таких мелких значениях.

Структурный параметр коэффициента рефракции не зависит от частоты в пределах соответствующего брэговского диапазона длин волны, который ограничен пределами инерционного интервала, но в значительной степени зависит от высоты. В остальном частотная зависимость практически полностью выражается через длину волны, а в шумовую температуру системы для длин волны более приблизительно 1 м значительный вклад вносит космический шум.

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;
- 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.

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:

- 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
- продолжительного 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 оси струйных течений 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;
- 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 – довольно дорогостоящий способ улучшения показателей работы.

Однако в том, что касается апертуры антенны, имеется еще один фактор, который следует учитывать, и который определяет минимальный размер. Работа радара для профилирования основана на том, что для получения данных главный луч последовательно нацеливает основной луч на три разных направления. В действующих системах для сбора данных обычно используется два или четыре ортогональных азимута при углах места, составляющих порядка 75° и, зачастую, до вертикального положения. Антенны более современной конструкции обеспечивают гораздо большую гибкость в нацеливании луча. Луч антенны должен быть достаточно узким, чтобы можно было очертить несколько 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.

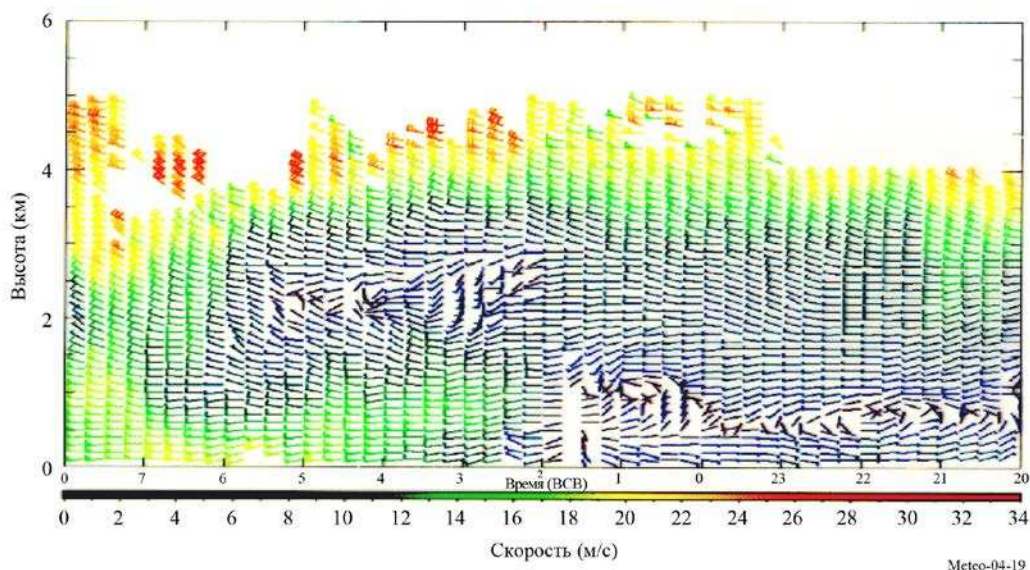
Устройства для профилирования, работающие в диапазоне 400–500 МГц предназначены для:

- измерения профилей ветра на расстояниях порядка 0,5–16 км над радаром с разрешением по вертикали, составляющим 150–250 м на малых высотах, и 1000 м – на больших высотах, с использованием антенн с усилением около 32–34 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.

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 приблизительно 2,5 МГц.

Например, с помощью мобильной системы для профилирования, работающей на частоте 924 МГц, построено графическое изображение зависимости скорости ветра от высоты (см. Рисунок 4-19). Ориентация каждого оперения представляет собой направление ветра как функцию от высоты (вертикальная ось) и времени (горизонтальная ось), при этом цветом обозначена скорость ветра.

РИСУНОК 4-19

Зависимость скорости ветра от высоты**4.3.3 Существующие и перспективные потребности в спектре**

Радары 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 2,5 МГц, и можно предположить, что положения Резолюции 217 (ВКР-97) являются достаточными для выполнения этих требований:

"... настоятельно призвать администрации к внедрению 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 разноса, 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 Резолюция **217 (ВКР-97)** определяет спектр, который должен использоваться радаром для профилирования ветра, и устанавливает, 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.

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 для сжатия импульсов к импульсам применяется фазовое кодирование для различения двух или трех "чипов" в пределах каждого импульса. 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 градуса над горизонтом радара. (в связи с малым количеством таких спутников это не приводит 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.

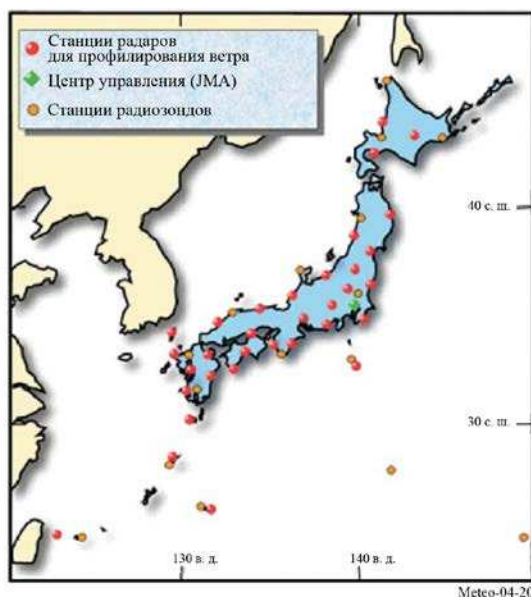
Еще одним примером совместного использования частот с радаром для профилирования ветра является распределение на ВКР-2000 радионавигационной спутниковой службе полосы 1215–1300 МГц. После этого был проведен ряд технических исследований по оценке совместимости между этими системами РНСС и радаром для 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 радарам. 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 радаров 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 трех устройств для профилирования ветра, работающих 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 4-20).

РИСУНОК 4-20

Пример сети радаров для профилирования ветра



В дальнейшем эти данные распространяются по всему миру через Глобальную систему электросвязи и их можно найти на вебсайте JMA (<http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>). Более того, эти данные объединяются с данными, поступающими от доплеровских радаров и коммерческих воздушных судов, и обеспечивают всесторонний "анализ ветра в верхней атмосфере".

ГЛАВА 5

ПАССИВНОЕ И АКТИВНОЕ БОРТОВОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1	Введение	76
5.2	Пассивное микроволновое радиометрическое зондирование	78
5.2.1	Требования к спектру	78
5.2.2	Наблюдение характеристик поверхности Земли	81
5.2.3	Параметры качества	84
5.2.4	Типовые условия работы пассивных датчиков	85
5.2.5	Основные технические характеристики	85
5.2.6	Показатели работы и критерии помех	87
5.2.7	Трехмерные измерения параметров атмосферы	87
5.3	Активные датчики.....	95
5.3.1	Введение	95
5.3.2	Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR)	97
5.3.3	Высотомеры.....	98
5.3.4	Рефлектометры.....	99
5.3.5	Радары контроля осадков	101
5.3.6	Радары профилирования облачности.....	102
5.3.7	Критерии помех и качества, касающиеся датчиков.....	103
5.3.8	Уровни плотности потока мощности (п.п.м.).....	103

5.1 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. В наши дни люди привыкли просматривать совмещенные с картой изображения с расширенной цветовой гаммой, показывающие облачный покров, температуру поверхности, снежный покров и другие погодные явления, реже – 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. Однако многие из этих продуктов и другие продукты создаются на основе разнообразных частот микроволнового диапазона либо самостоятельно, либо в сочетании с измерениями на других частотах.

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.

Внушительный 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 получения данных наблюдений из космоса и включения этих данных в цифровые модели.

Недавние исследования, проведенные в Европе, подтвердили, что спутники МЕТОП, оснащенные несколькими датчиками дистанционного зондирования (пассивного и активного), вносят большой вклад в работу системы числового прогнозирования погоды (ЧПП), на 25% сокращая количество ошибок в круглосуточных прогнозах, поскольку результаты всех наблюдений включаются в модели в реальном масштабе времени. Благодаря такому большому вкладу спутников МЕТОП в снижение ошибочности прогнозов, на их счет может быть отнесена значительная часть (4,9 миллиардов евро в год) от большой социально-экономической выгоды, которую обеспечивает прогнозирование погоды – для Европейского Союза она оценивается в 61,4 миллиардов евро в год.

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

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, работающих в полосах частот, которые определяются фиксированными физическими свойствами (молекулярный резонанс излучения или поглощение) исследуемого вещества, физические свойства которого не могут проявляться в других частотных 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, однако, это так не всегда. Спектр использования активного зондирования включает измерение характеристик поверхности моря, например, морских волн и ветров, и определение густоты произрастания деревьев во влажном лесу, но не ограничивается только ими.

Вопрос совместимости для обоих классов дистанционного зондирования предусматривает такие же проблемы, как и с другими космическими службами: взаимные помехи между приемниками спутников 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 выборку измерений с большой площади, обусловлена тем, что на каждое измерение может влиять суммарное излучение от множества излучателей, расположенных на земле, включая внутрисполосные и внеполосные излучатели. Следовательно, в то время как одиночный наземный излучатель может не излучать мощность, достаточную для того, чтобы вызывать ошибки в результатах пассивного зондирования, наличие большого числа таких излучателей уже способно причинить вред измерениям, которые проводятся путем накопления мешающих сигналов. Такое накопление мешающих сигналов от нескольких излучателей служит основанием для беспокойства 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. Потенциальная проблема заключается в пространственной плотности таких излучателей в области проведения измерений в сочетании с их индивидуальными характеристиками. Ситуация усугубляется по мере увеличения плотности таких наземных излучателей, и уже сообщалось о случаях серьезных вредоносных помех.

Несколько геофизических параметров в разной степени влияют на естественные излучения конкретных объектов наблюдения на заданной частоте. 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 негативно повлиять на любой из ряда "пассивных" полос частот, могут тем самым оказать негативное воздействие на общие результаты измерения заданного компонента атмосферы, полученные на всем предусмотренном наборе частот.

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 измеряемой 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 ошибки в данных нельзя ни обнаружить, ни исправить. Таким образом, представляется, что в настоящее время обеспечение целостности данных зависит исключительно от предотвращения помех, и единственным решением является применение на всемирной основе строгих ограничений на помехи и максимальную излучаемую мощность. Можно отметить, что в ряде положений Регламента радиосвязи такие ограничения мощности применяются к передатчикам активной службы в целях защиты пассивных датчиков от внутрисполосных 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 36 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.

5.2 Пассивное микроволновое радиометрическое зондирование

Пассивная микроволновая радиометрия является средством, имеющим исключительно важное значение для наблюдения за Землей. В составе 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.; а также
- трехмерные атмосферные параметры (в нижней, средней и верхней атмосфере), например, профили температуры, содержание водяного пара и профили распределения концентрации газовых примесей, обладающих высокой радиоактивностью и химической активностью (например, озон, закись азота, хлор).

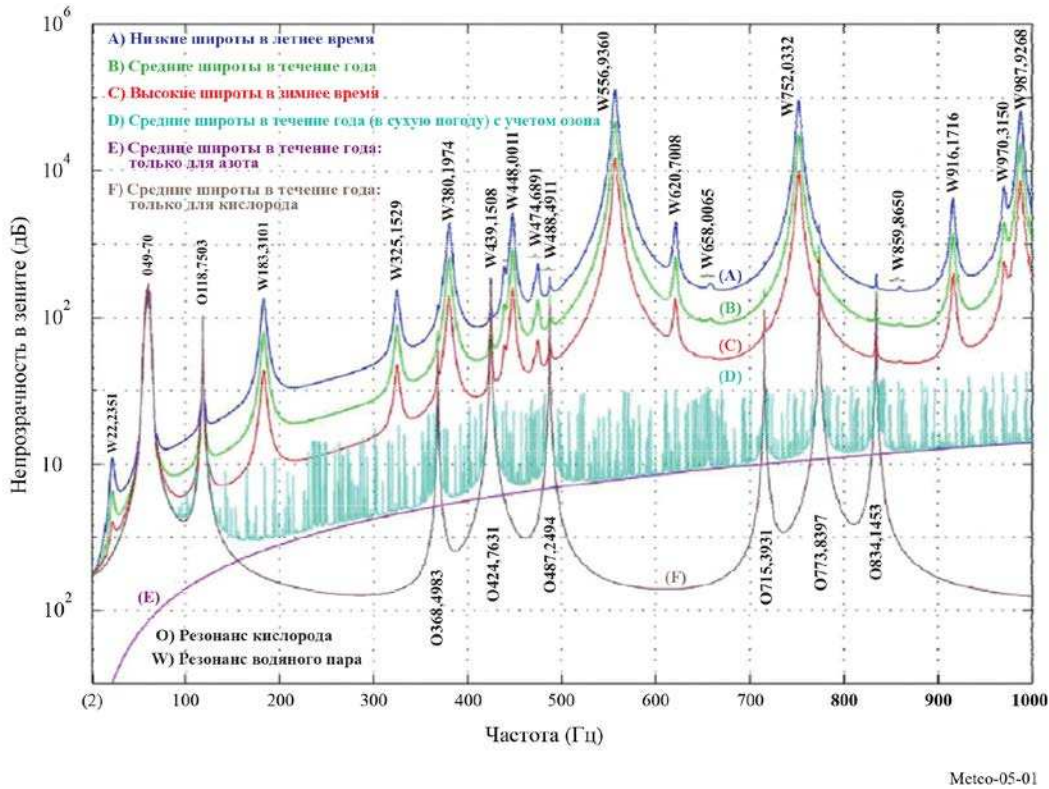
Методы микроволнового зондирования позволяют осуществлять наблюдение поверхности и атмосферы Земли с околоземной орбиты даже при наличии облаков, которые, в основном, прозрачны на частотах ниже 100 ГГц. Такая возможность наблюдения при любой погоде представляет значительный интерес для наблюдения Земли, 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.

5.2.1 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.

РИСУНОК 5-1

Непрозрачность атмосферы в зените, обусловленная водяным паром и сухими компонентами



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*

Распределенная полоса частот (ГГц)	Распределенная и желательная ширина полосы (МГц)	Основные измерения
1,37–1,427	57	Влажность почвы, засоленность почвы, температура поверхности океана, индекс растительности
2,64–2,7	60	Соленость океана, влажность почвы, индекс растительности
4,2–4,4	200	Температура поверхности океана
6,425–7,25 (5,458 PP)	350	Температура поверхности океана (нет распределения)
10,6–10,7	100	Интенсивность дождя, содержание талой воды, морфология льда, состояние моря, скорость океанского ветра

ТАБЛИЦА 5-1 (продолжение)

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

Выделенная полоса частот (ГГц)	Выделенная и желательная полоса пропускания (МГц)	Основные измерения
15,2–15,4	200	Водяной пар, интенсивность дождя
18,6–18,8	200	Дождь, состояние моря, океанический лед, водяной пар, снег, скорость океанского ветра, излучательная способность и влажность почвы
21,2–21,4	200	Водяной пар, водность облаков
22,21–22,5	290	Водяной пар, водность облаков
23,6–24	400	Водяной пар, водность облаков, смежный канал для зондирования атмосферы
31,3–31,8	500	Морской лед, водяной пар, разливы нефти, облака, жидкая вода, температура поверхности, эталонное окно для полосы 50–60 ГГц
36–37	1 000	Интенсивность дождя, снег, океанический лед, облака
50,2–50,4	200	Эталонное окно для температурного профилирования атмосферы (температуры поверхности)
52,6–59,3	6 700 ⁽¹⁾	Температурное профилирование атмосферы (линии поглощения O ₂)
86–92	6 000	Облачность, разливы нефти, лед, снег, дождь, эталонное окно для температурного зондирования около 118 ГГц
100–102	2 000	N ₂ O, NO
109,5–111,8	2 300	O ₃
114,25–116	1750 ⁽¹⁾	CO
115,25–122,25	7 000 ⁽¹⁾	Температурное профилирование атмосферы (линия поглощения O ₂)
148,5–151,5	3 000	N ₂ O, температура поверхности Земли, параметры облачности, эталонное окно для температурного зондирования
155,5–158,5	3 000	Параметры среды и облачности
164–167	3 000	N ₂ O, облачная вода и лед, CO, ClO
174,8–191,8	17 000 ⁽¹⁾	N ₂ O, водяной пар, профилирование, O ₃
200–209	9 000 ⁽²⁾	N ₂ O, ClO, водяной пар, O ₃ ,
226–231,5	5 500	Облака, влажность, N ₂ O, (226,09 ГГц), CO (230,54 ГГц), O ₃ (231,28 ГГц), эталонное окно
235–238	3 000 ⁽²⁾	O ₃
250–252	2 000 ⁽²⁾	N ₂ O
275–285,4	10 400 ⁽²⁾	N ₂ O, ClO
296–306	10 000 ⁽²⁾	Канал крыла для температурного зондирования, кислород, HNO ₃ , HOCl, N ₂ O, O ₃ , O ₁₇ O
313–355,6	42 100 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара, облачность, Канал крыла для температурного зондирования HDO, ClO, HNO ₃ , H ₂ O, O ₃ , HOCl, CH ₃ Cl, O ¹⁸ O, CO, BrO, CH ₃ CN, N ₂ O, HCN
361,2–365	3 800 ⁽²⁾	O ₃
369,2–391,2	22 000 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара, H ₂ O
397,2–399,2	2 000	Профилирование водяного пара
409–411	2 000	Температурное зондирование
416–433,46	17 460 ⁽²⁾	Кислород, температурное профилирование, O ₂
439,1–466,3	27 200	Профилирование водяного пара, облачность, HNO ₃ , H ₂ O, O ₃ , N ₂ O, CO

ТАБЛИЦА 5-1 (окончание)

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

Выделенная полоса частот (ГГц)	Выделенная и желательная полоса пропускания (МГц)	Основные измерения
477,75–496,75	19 000	Температурное профилирование кислорода, O ₂
497–502	5 000 ⁽²⁾	Канал крыла для профилирования водяного пара, O ₃ , N ₂ O, BrO
523–527	4 000 ⁽²⁾	Канал крыла для профилирования водяного пара
538–581	43 000 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара, ClO, H ₂ O, O ₃ , HNO ₃
611,7–629,7	18 000 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара, кислород, H ₂ O, ClO ₂ , SO ₂ , HNO ₃ , BrO, CH ₃ CN, (H ³⁷ Cl), H ₂ O ₂ , HOCl, O ₃ , HO ₂ , H ³⁵ Cl, CH ₃ Cl, O ¹⁸ O
634–654	20 000 ⁽²⁾	Канал крыла для профилирования водяного пара, HOCl, H ₂ ¹⁸ O, SO ₂ , ClO, HO ₂ , BrO, HNO ₃ , O ₃ , NO, N ₂ O
656,9–692 (5,565 PP)	35 100 ⁽²⁾	Профилирование водяного пара, облачность, H ₂ O, HO ₂ , ClO, CH ₃ Cl, CO
729–733	4 000 ⁽²⁾	HNO ₃ , O ¹⁸ O
750–754	4 000 ⁽²⁾	H ₂ O
771,8–775,8	4 000 ⁽²⁾	O ₂
823,15–845,15	22 000 ⁽²⁾	O ₂
850–854 (5,565 PP)	4 000 ⁽²⁾	NO
857,9–861,9	4 000 ⁽²⁾	H ₂ O
866–882	16 000 ⁽²⁾	Облачность, эталонное окно
905,17–927,17	22 000 ⁽²⁾	H ₂ O
951–956	5 000 ⁽²⁾	O ₂ , NO, H ₂ O
968,31–972,31	4 000 ⁽²⁾	H ₂ O
985,9–989,9	4 000 ⁽²⁾	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 PP. 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 каналами.

5.2.2 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.

5.2.2.1 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

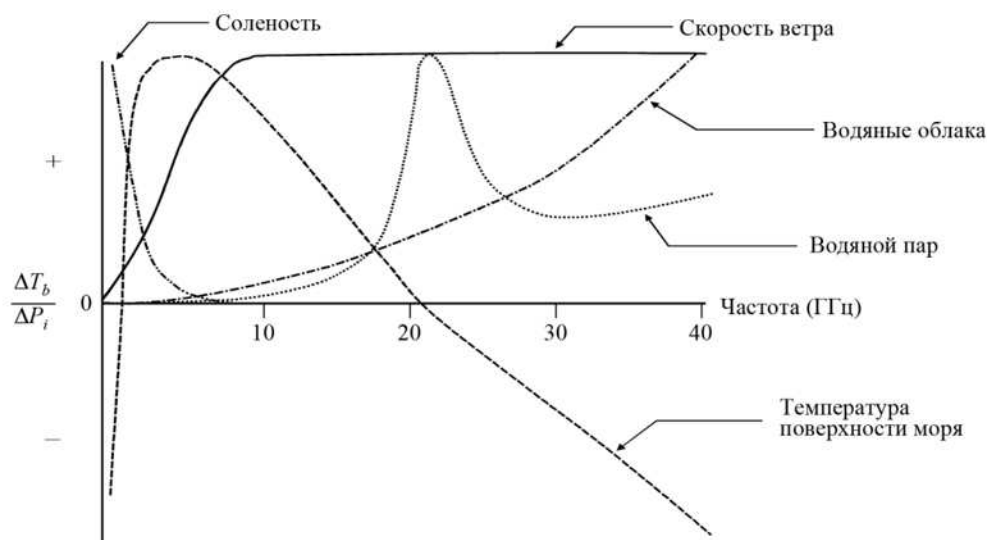
ветра), а также параметров, которые обеспечивают информацию о состоянии самого океана (например, температуры поверхности океана, солености океанской воды, толщины морского льда и т. д.).

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 солености океанской воды;
- измерения на частотах около 6 ГГц обеспечивают наилучшую чувствительность к температуре поверхности моря, однако в них прослеживается незначительное влияние солености 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).

РИСУНОК 5-2

Чувствительность яркостной температуры к геофизическим параметрам над поверхностью океана



Meteo-05-02

5.2.2.2 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).

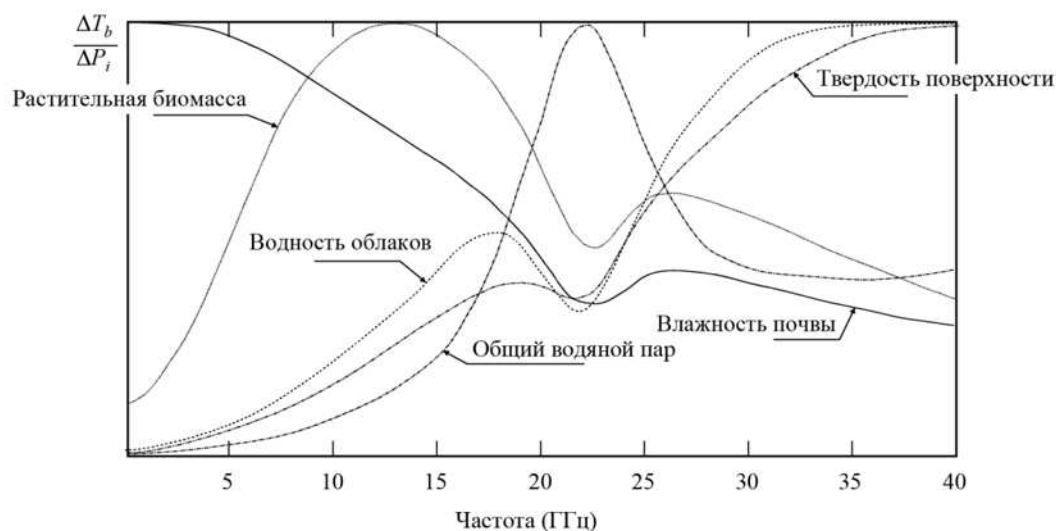
Частота около 85 ГГц или 90 ГГц полезна для мониторинга ливней, однако только тогда, когда можно оценить все остальные влияющие факторы с использованием более низких частот.

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 измерение на нескольких частотах 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.

РИСУНОК 5-3

Чувствительность яркостной температуры к геофизическим параметрам над поверхностью суши



5.2.2.3 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, полученных на частоте около 13,5 ГГц, 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.

5.2.3 Параметры качества

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

5.2.3.1 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).

5.2.3.2 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 помощью значения ΔT_e и используется для определения максимально допустимого уровня помех, при котором датчик может работать, не снижая качества измерений. В будущем, T_s уменьшится, так же, как и ΔT_e (см. уравнение (5-1)). Следовательно, в будущем для сохранения качества работы пассивных датчиков 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.

5.2.3.3 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.

5.2.3.4 Время интегрирования

Радиометрический 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.

5.2.4 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.

5.2.4.1 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, однако, ситуация может измениться в будущем.

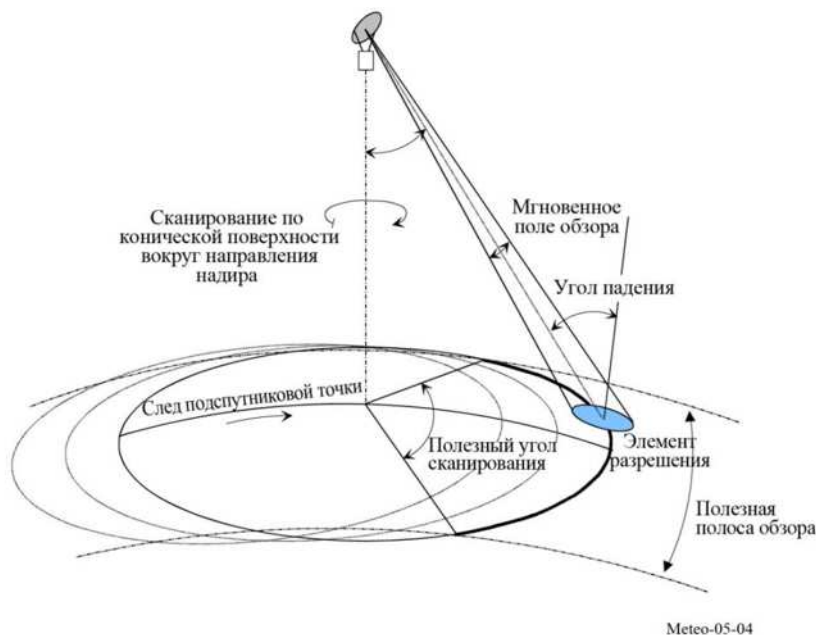
5.2.4.2 Спутники на геостационарной орбите

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.

5.2.5 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 надир (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-05-04

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);
- 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.

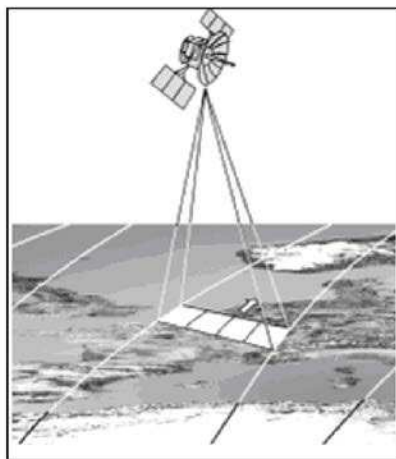
Не предназначенные для сканирования приборы, нацеленные на надир, также могут использоваться для предоставления вспомогательных данных для конкретных применений, например, устранения влияния атмосферы из измерений радаров-альтиметров. Для упрощения возможности их размещения на борту спутников разрабатываются 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-05-05

5.2.6 Показатели работы и критерии помех

Показатели работы и критерии помех бортовых пассивных датчиков, работающих в ССИЗ, содержатся в Рекомендациях МСЭ-R RS.2017.

5.2.7 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 радиоактивностью 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.

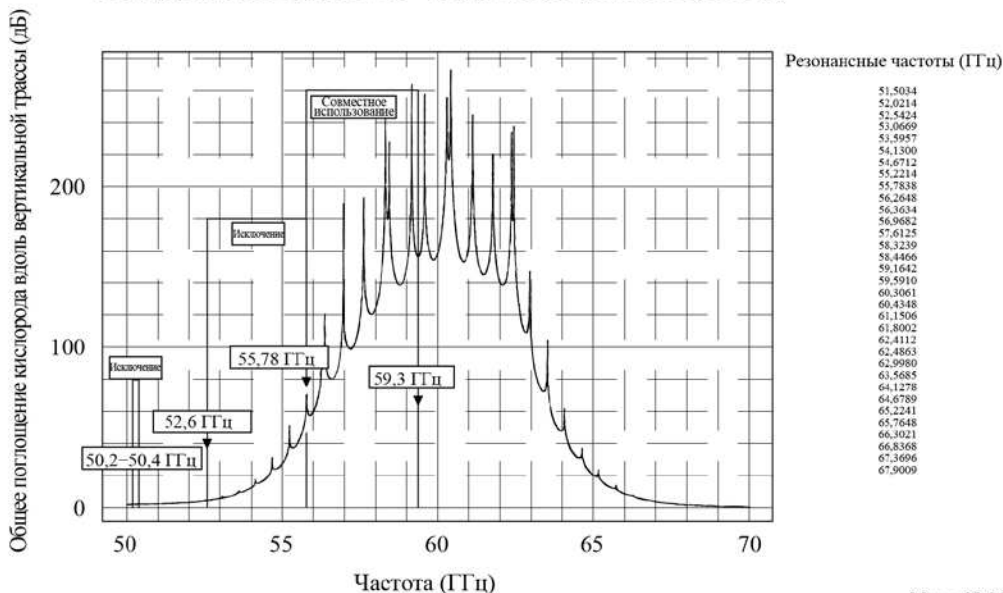
5.2.7.1 Пассивные микроволновые приборы для вертикального зондирования атмосферы

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 Рисунках 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: Либс, 1993 г.)



Meteo-05-06

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)

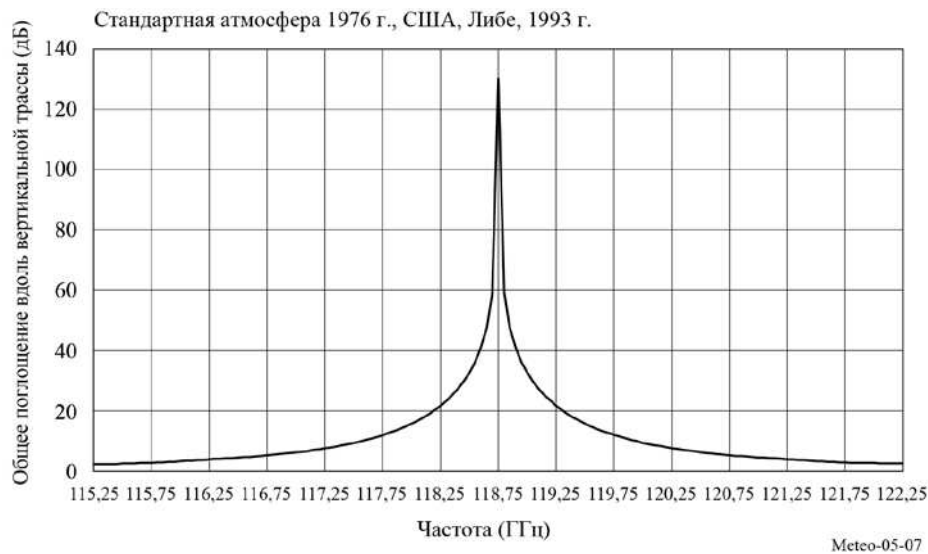
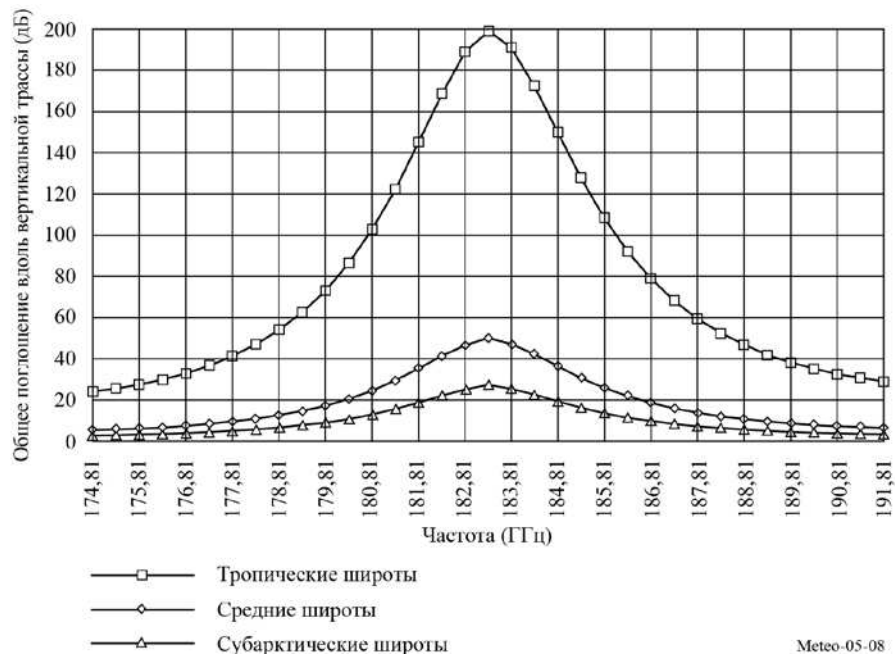


РИСУНОК 5-8

Спектр поглощения водяного пара вдоль вертикальной трассы на частоте 183,31 ГГц



5.2.7.2 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.

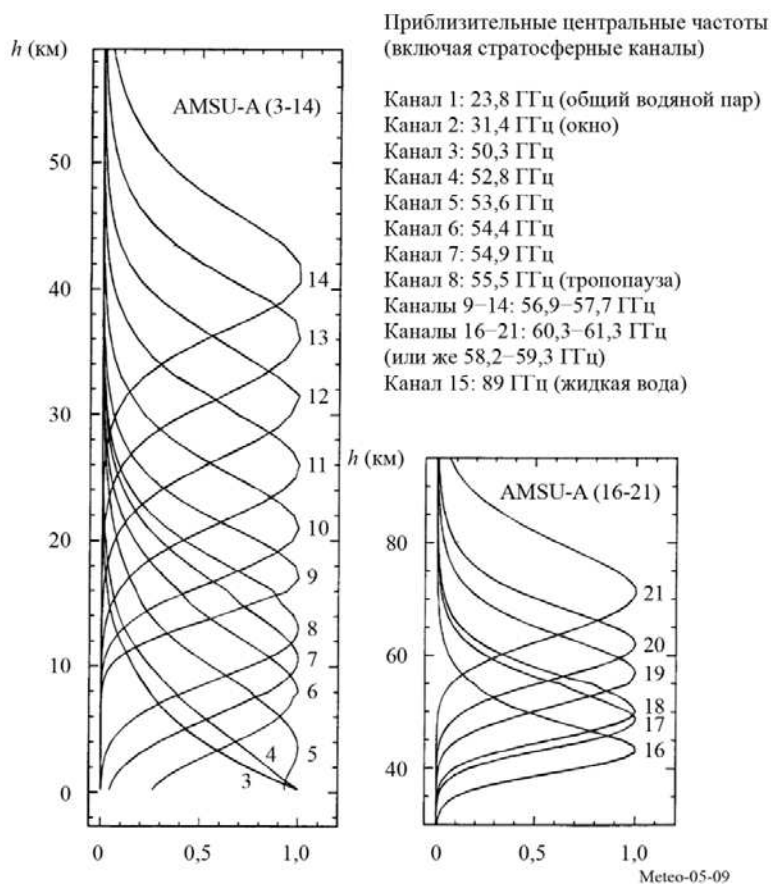
Этот механизм описывается интегральным уравнением переноса излучения вдоль направления от поверхности земли к спутнику. Решением этого уравнения является весовая функция, которая описывает относительное влияние каждого слоя атмосферы в зависимости от его высоты, и которая представляет также продольное (вертикальное) разрешение датчика.

На любой высоте может наблюдаться 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) (не показаны на приведенном выше Рисунке 5-9). 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.

- 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;

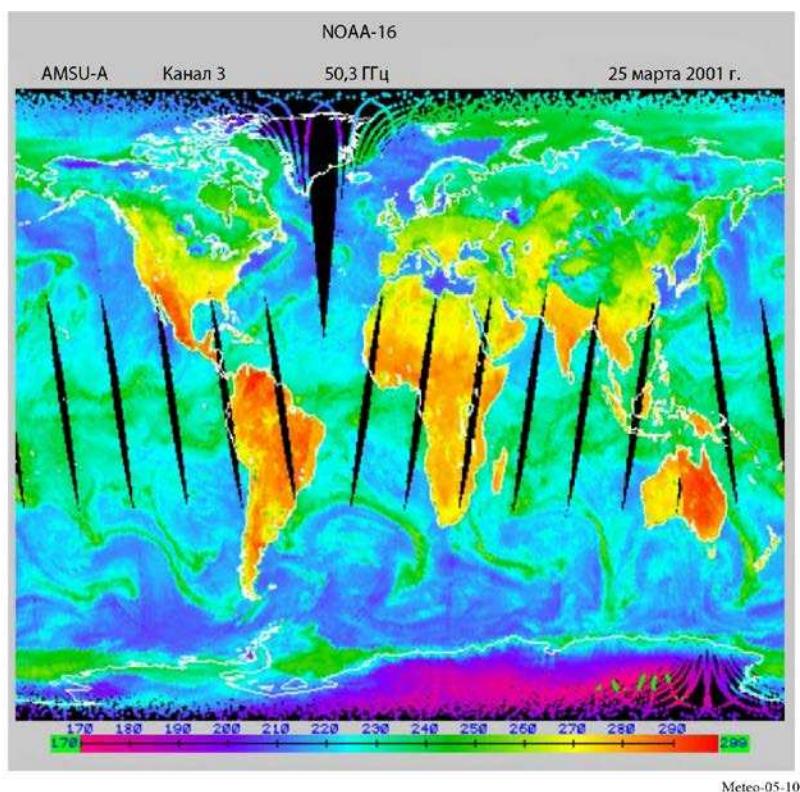
- канал 2 обладает минимальным кумулятивным эффектом, связанным с кислородом и парами воды. Этот канал является оптимальным каналом-окном для наблюдения за поверхностью Земли, а также опорным каналом для других каналов;
- канал 15 позволяет обнаруживать жидкую воду в атмосфере. Он используется для устранения влияния осадков на результаты измерений, выполненных в других каналах.

5.2.7.3 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 около 10 км. Кроме того, растет число мелкомасштабных региональных/локальных моделей прогнозирования (небольшая дальность в километрах), 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

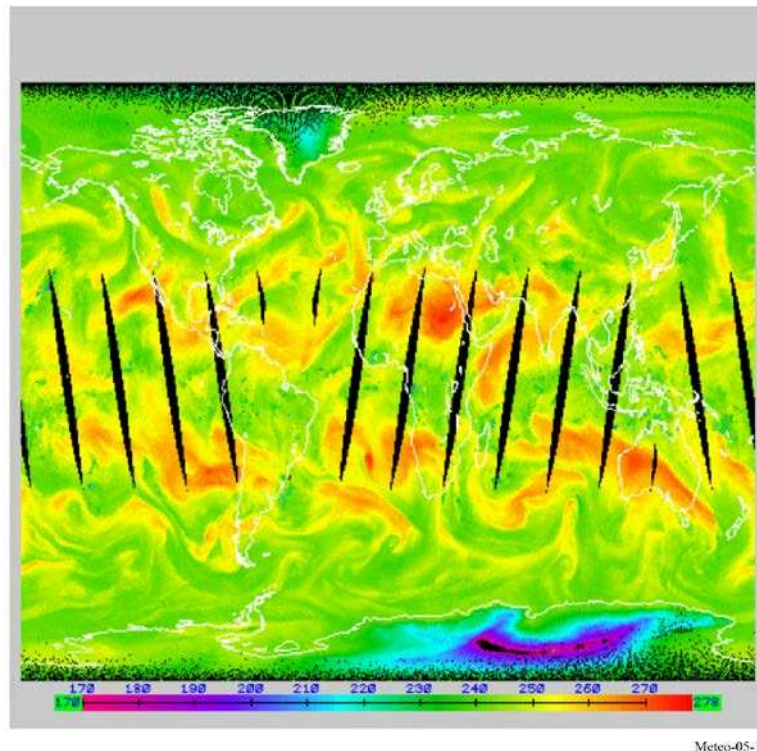


На Рисунке 5-11 изображены результаты глобальных обобщенных измерений температуры (К), которые получены с помощью AMSU-B. На рисунке показаны измерения, полученные за период времени порядка 12 часов. AMSU-B – это радиометр, работающий совместно с датчиком AMSU-A, с целью улучшения зондирования водяного 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 KAMSU-B



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, необходимую для инициализации моделей ЧПП, приблизительно каждые три часа.

5.2.7.4 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 5-2.

ТАБЛИЦА 5-2

**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

5.2.7.5 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 калибровки 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 5-3).

РИСУНОК 5-12

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

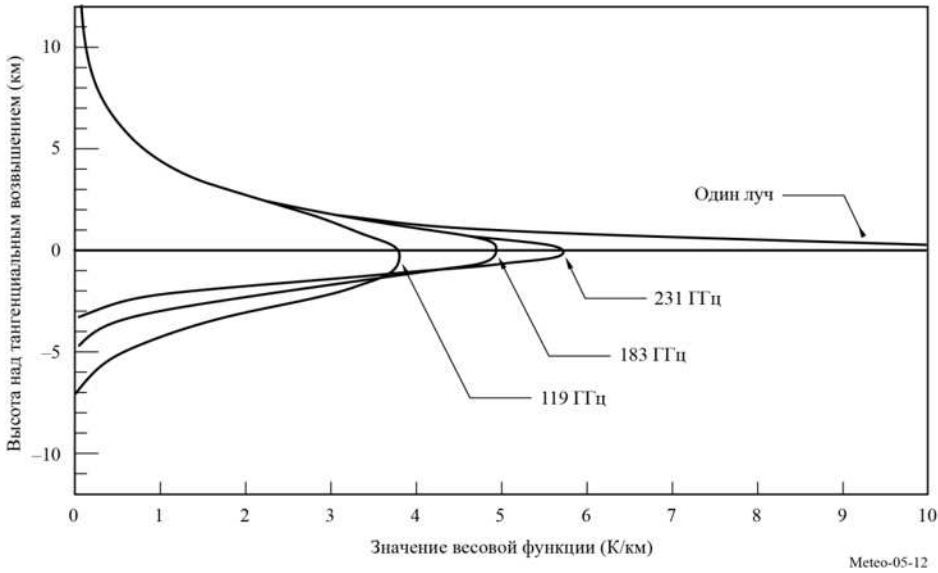


ТАБЛИЦА 5-3

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.

5.2.7.6 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 вредоносных помех, о которых уже сообщалось, ситуация становится все более и более критической.

Таким образом, результаты измерений с помощью пассивных датчиков чрезвычайно восприимчивы к помехам, даже при весьма низких уровнях мощности, и это может иметь весьма серьезные неблагоприятные последствия:

- показано, что всего лишь 0,1% испорченных образцов 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 упущению критически важных явлений, указывающих на быстрое развитие потенциально опасных штормов, и сделать невозможным распознавание факта формирования новых погодных систем;
- если помеха имеет место при низком уровне мощности, когда ее нельзя обнаружить, что наиболее вероятно, поврежденные данные 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 Рекомендации МСЭ-R RS.2017 содержатся требуемые значения параметров радиометрических приборов и допустимые уровни помех, при которых эти значения могут быть достигнуты.

5.3 Активные датчики

5.3.1 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: Высотомеры – датчики, ориентированные на надир, которые измеряют точное время между событием передачи и событием приема для получения точных данных о высоте уровня мирового океана, включая прибрежные и внутренние воды.

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, включая прибрежные и внутренние воды. Обратное рассеяние применяется также для наблюдения за всей поверхностью суши и позволяет получать информацию о состояниях земной поверхности, таких как влажность почвы и дождевые осадки над сушей.

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 5-4.

ТАБЛИЦА 5-4

Характеристики активных космических датчиков

Характеристика	Типы датчиков				
	SAR	Высотомер	Рефлектометр	Радары контроля осадков	Радары профилирования облачности
Геометрия наблюдения	Ориентация в сторону от надира на 10°–55°	Ориентация на надир Наблюдение с несколькими углами падения	–Три/шесть веерных лучей по азимуту –Один или несколько конических сканирующих лучей	Сканирование в поперечном направлении вокруг надира	Ориентация на надир
Зона обслуживания/динамика	–Фиксирована относительно одной стороны –ScanSAR –Прожекторный режим	Фиксирована на надире Наблюдение с несколькими углами падения	–Фиксирована в пределах азимута –Несколько конических сканирующих лучей	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)	1500–8000	20	100–5000	600	1000–1500
Форма волны	Линейные ЧМ импульсы	Линейные ЧМ импульсы	Прерывистая незатухающая волна или короткие импульсы (океан) или линейные импульсы с частотной модуляцией (суша)	Короткие импульсы	Короткие импульсы

ТАБЛИЦА 5-4 (окончание)

Характеристики активных космических датчиков

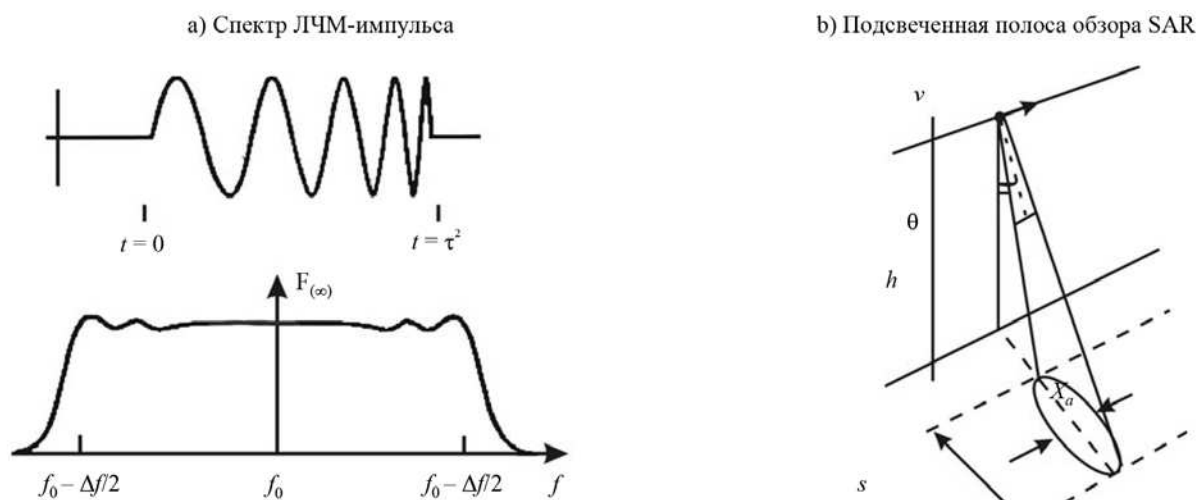
Характеристика	Типы датчиков	320/500 МГц	5–80 кГц (океан) или 1–4 МГц (суша)	14 МГц	300 кГц
	SAR	Высотомер	Рефлектометр	Радары контроля осадков	Радары профилирования облачности
Зона обслуживания	Суша/ прибрежные районы/океан	Океан/лед/ прибрежные/ внутренние воды	Океан/лед/суша/ прибрежные районы	Суша/океан	Океан/лед
Типовые частотные диапазоны	1,3 ГГц, 5 ГГц, 9 ГГц и 36 ГГц	5 ГГц, 13 ГГц и 36 ГГц	1,3 ГГц, 5 ГГц и 13 ГГц	36 ГГц и 78 ГГц	94 ГГц, 138 ГГц и 238 ГГц

5.3.2 Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR)

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR) 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 пикселях 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 и приведут к ухудшению качества изображения по пикселям. 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



Метео-05-13

РИСУНОК 5-14

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



Meteo-05-14

5.3.3 Высотомеры

Высотомеры предоставляют результаты измерения высоты уровня мирового океана. Рисунки 5-15, 5-16 а) и 5-16 б) иллюстрируют работу спутникового высотомера и его типовую точность измерений. 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. Допустимое ухудшение параметров, предусмотренное Рекомендацией МСЭ-R RS.1166-4, составляет 4%.

РИСУНОК 5-15

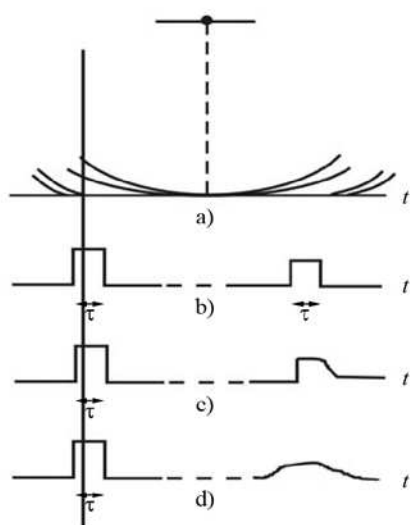
Микроволновый спутниковый высотомер

Meteo-05-15

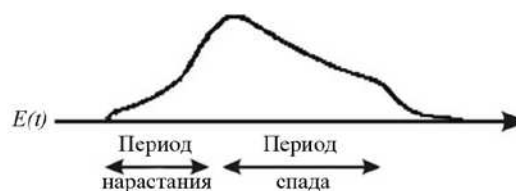
РИСУНОК 5-16

Иллюстрация эхо-сигнала высотомера и распространение импульса эхо-сигнала

а) Иллюстрация эхо-сигнала высотомера



б) Распространение импульса эхо-сигнала



Meteo-05-16

5.3.4 Рефлектометры

Рефлектометры предназначены, главным образом, для измерения направления и скорости ветра над поверхностью мирового океана, а также протяженности и характеристик морского льда. 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



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 градусов вокруг надира. Узкая ширина радиочастотной проведение полосы обеспечивает необходимый элемент разрешения для проведения измерения.

РИСУНОК 5-18

Фиксированная зона обслуживания рефлектомера

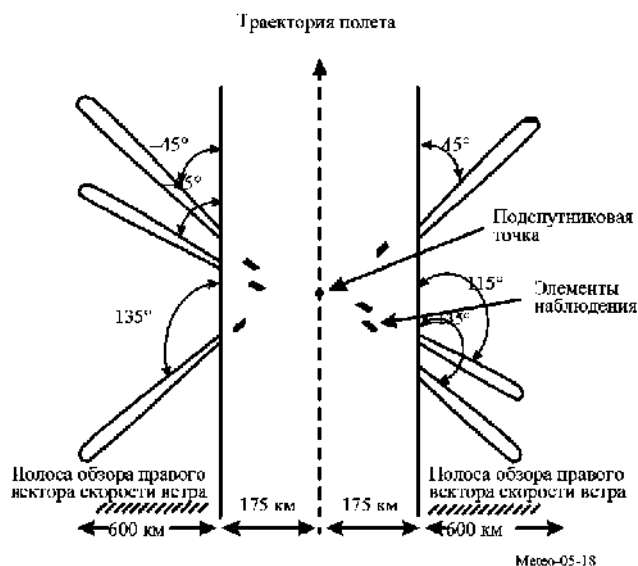
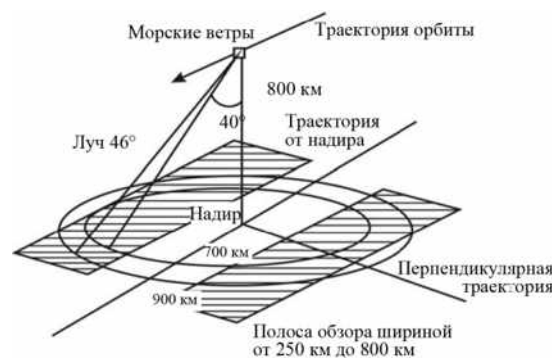


РИСУНОК 5-19

Область сканирования остронаправленного луча рефлектомера

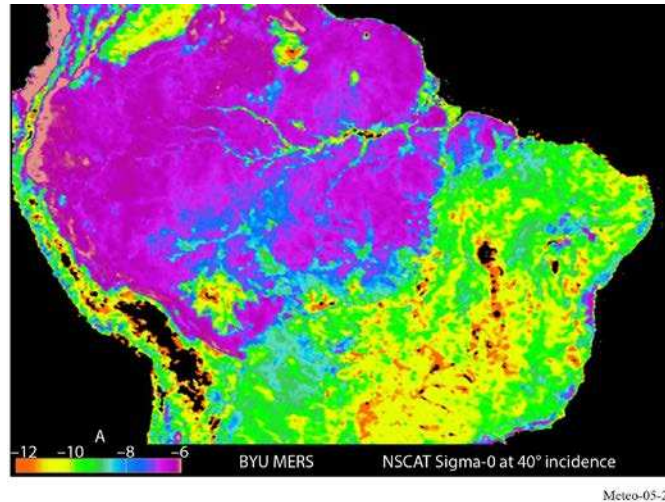


Основное назначение рефлектометра – изучение ветров над океанами, но ученые разработали способ его применения для наблюдения за любыми участками суши и получения информации о характеристиках состояния земной поверхности, таких как влажность почвы и дождевые осадки над сушей, путем анализа изменений в параметрах обратного рассеяния радара рефлектометра.

На Рисунке 5-20 показан пример радиолокационного снимка тропических лесов Амазонки в Южной Америке, сделанного рефлектметром. Радар рефлектметра был чувствителен к характеристикам состояния земной поверхности, таким как тип и плотность растительного покрова.

РИСУНОК 5-20

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



5.3.5 Радары контроля осадков

Радары контроля осадков предназначены для измерения 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:

$$\sigma_b = \pi^5 |K_w|^2 D^6 / \lambda^4 = \pi^5 |K_w|^2 Z / \lambda^4 \quad (5-4)$$

где:

$|K_w|^2$: относится к коэффициенту преломления водяной капли

D : диаметр капли (м)

λ : длина волны радара (м)

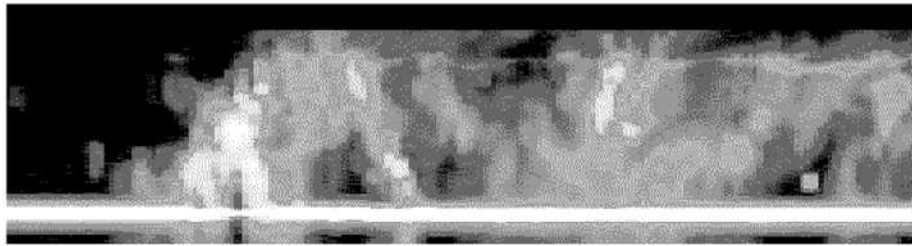
Z : коэффициент отражения радара.

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**



Meteo-05-21

5.3.6 Радары профилирования облачности

Радары профилирования облачности предоставляют трехразмерный 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.

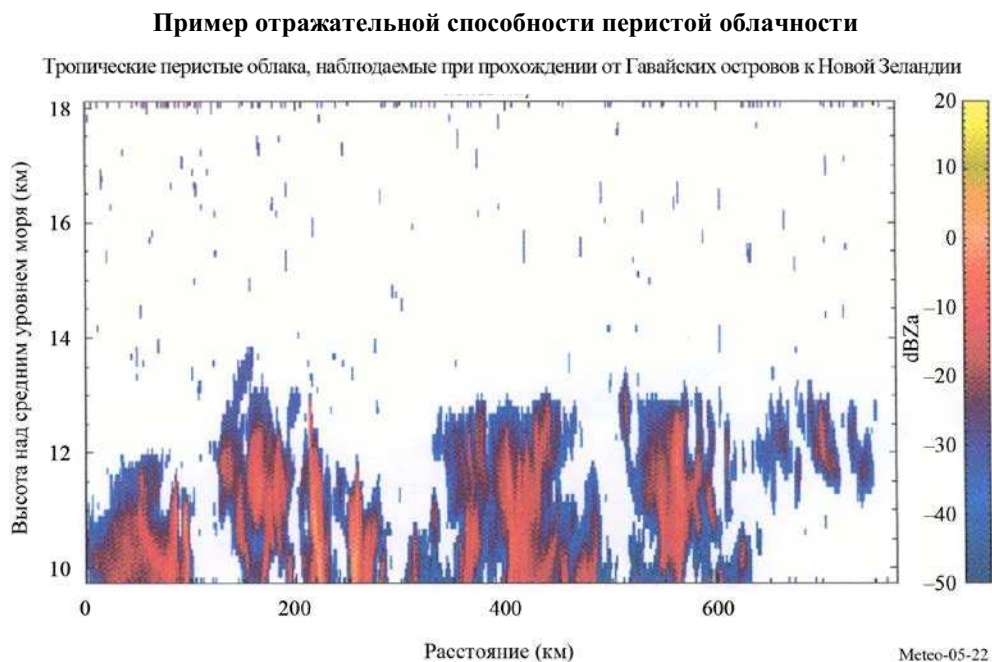
$$\tilde{P} = \frac{\pi^5 10^{-17} P_r G^2 t \theta_r^2 |K_w|^2 Z_r}{6,75 \times 2^{14} (\ln 2) r_0^2 \lambda^2 l^2 l_r} \quad \text{мВт} \quad (5-5)$$

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 (мм⁶/м³)
- r_0 : дальность (км)
- λ : длина волны радара (см)
- l : потери сигнала из-за поглощения в атмосфере
- l_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



5.3.7 Критерии помех и качества, касающиеся датчиков

Критерии качества и допустимые уровни помех в отношении космических датчиков различных типов содержатся в Рекомендации МСЭ-R RS.1166. Данная рекомендация периодически редактируется и приводится в соответствие с изменениями в регламентах, такими как новое распределение для ССИЗ (активных), а также изменениями, связанными с появлением более современных датчиков, которые могут сказываться на существующих критериях качества работы и допустимых уровнях помех.

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

Характеристики активных космических датчиков различных типов, представленные в Таблице 5-4, указывают, что пиковая мощность передачи и, следовательно, мощности сигналов, принимаемых на поверхности Земли, будут значительно отличаться по уровню. В Таблице 5-5 представлены уровни плотности потока мощности активных датчиков, создаваемые на поверхности Земли, для некоторых типовых схем датчиков.

ТАБЛИЦА 5-5

Типовые уровни плотности потока мощности на поверхности Земли

Параметр	Тип датчика				
	SAR	Высотомер	Рефлектометр	Радары контроля осадков	Радары профилирования облачности
Излучаемая мощность (Вт)	1500	20	100	578	630
Усиление антенны (дБ)	36,4	43,3	34	47,7	63,4
Дальность (км)	695	1344	1145	350	400
п.п.м. (дБ(Вт/м ²))	-59,67	-77,25	-78,17	-46,55	-31,64

ГЛАВА 6

ДРУГИЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1	Введение	106
6.2	Системы распространения информации	106
6.3	Гидрологические системы.....	106
6.4	Радиосвязь для удаленных метеорологических систем и систем контроля окружающей среды	107
6.5	Метеорологические использования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).....	108
6.6	Системы обнаружения молний	109
6.7	Наземное дистанционное зондирование	111
6.8	Беспилотные авиационные системы (БАС).....	112

6.1 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, вспомогательной службы метеорологии, радиолокационной службы и ССИЗ, 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. Кроме того, метеорологические службы предназначены для обеспечения морских операций и авиаперевозок во всем мире. Для этого в системах ширококвотательной передачи и распространения информации для метеорологических продуктов также используется широкий диапазон служб радиосвязи.

6.2 Системы распространения информации

Распространение прогнозов имеет то же значение, что и сбор, и архивирование данных о погоде. Общедоступность этих прогнозов – обязательное условие для спасения жизней, для того, чтобы люди могли принять меры, необходимые, чтобы защитить себя и свое имущество.

В течение нескольких лет был разработан ряд специализированных радиосистем, с помощью которых осуществляется распространение прогнозов и других метеорологических данных. Среди простейших из этих систем – ширококвотательная 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, означающего 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 в настоящее время 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.

6.3 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. Заблаговременно полученная информация позволяет эвакуировать уязвимые группы населения, построить дамбы и плотины и переместить то ценное и незащищенное имущество, которое может быть вывезено.

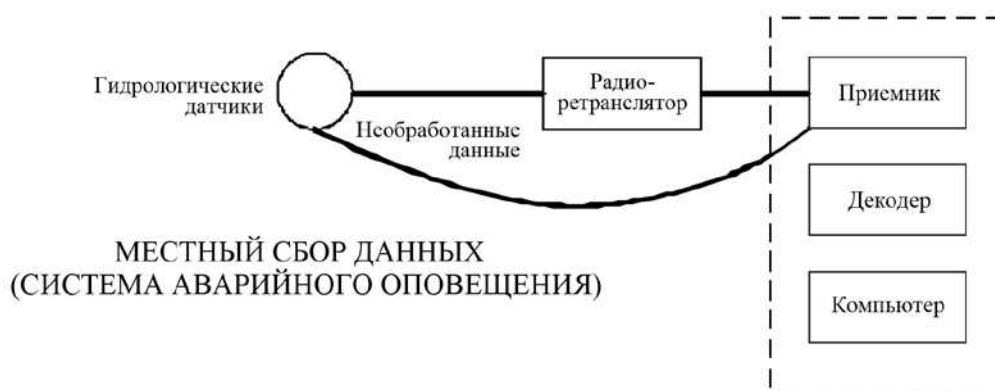
В дополнение к сетям метеорологических радаров (см. Главу 4), которые сегодня играют роль важного инструмента в гидрологическом процессе, специализированные гидрологические системы используются обычно для измерения таких показателей, как количество осадков, высота потока и глубина снежного покрова, которые 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 событии, 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-06-01

6.4 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.

6.5 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.

6.6 Системы обнаружения молний

Дистанционное зондирование молниевой активности в настоящее время представляет собой важный инструмент для удовлетворения потребностей оперативных метеорологов. Требования клиентов расширяются вместе с ростом использования метеорологических радаров 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.

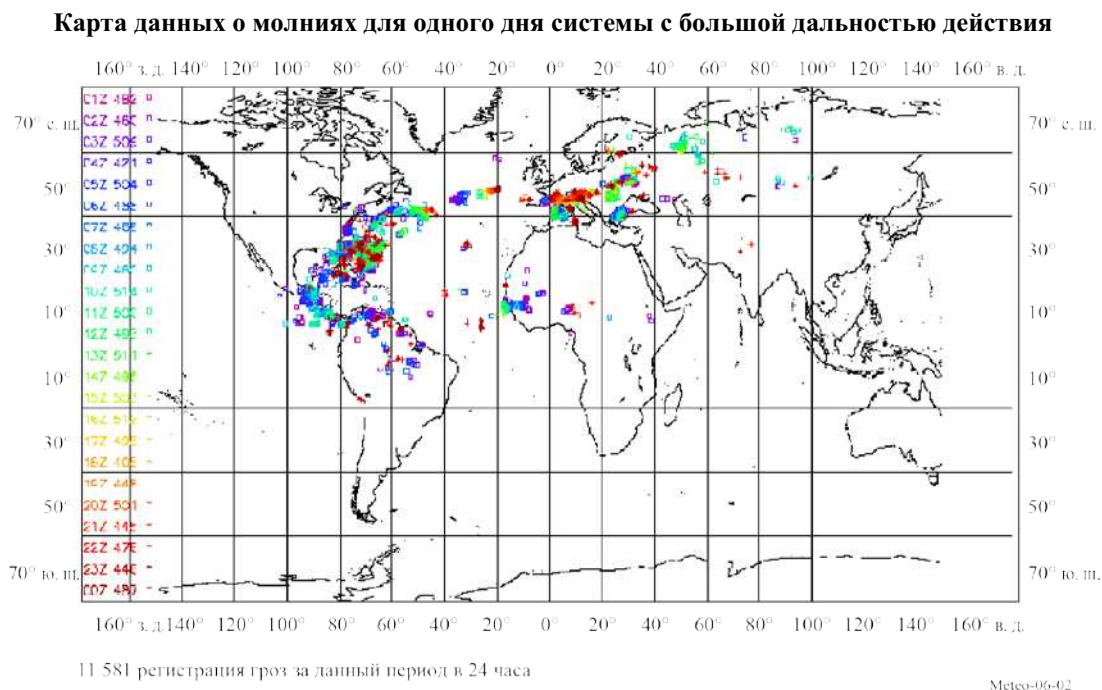
В действующих оперативных системах положение вспышки молнии определяется путем измерения направления прихода соответствующей сферической (атмосферной) волны или с помощью измерения времени прихода сферической волны или путем сочетания обоих методов.

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), как в случае с системой ATDNET, которую эксплуатирует метеорологическая служба Великобритании Met Office. В этой системе сферические волны принимаются удаленными станциями, расположенными по всему миру с разномом 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.

Принимая во внимание важность такой сети обнаружения молний с большим радиусом действия и необходимость ее признания во всем мире, ВКР-12 выделила вспомогательной службе метеорологии специальную полосу частот 8,13–11,3 кГц, использование которой ограничено пассивными датчиками.

РИСУНОК 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.

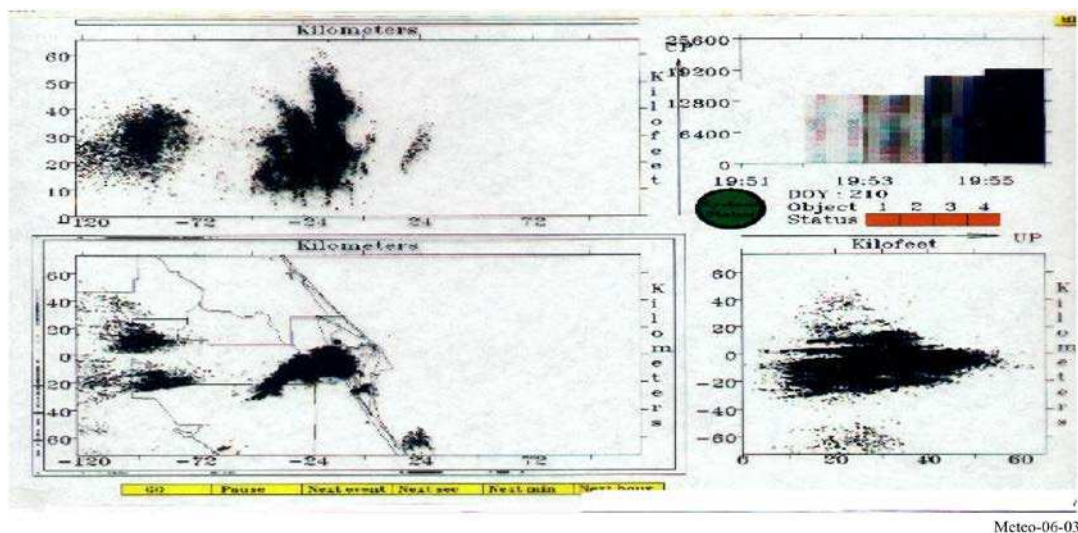
Кроме того, в некоторых зонах необходимо осуществлять наблюдения всех электрических разрядов (разрядов между облачностью и землей и между облаками), связанных с грозовой активностью. Это обеспечивается путем проведения наблюдений на гораздо более высоких частотах (в системе локации молний (LDAR) используются 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 градусов). На гистограмме (сверху справа) отражены данные на пяти одноминутных интервалах.

РИСУНОК 6-3

Устройство отображения в реальном времени системы LDAR



6.7 Наземное дистанционное зондирование

В п. 5.1 было подробно описано 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 таких радиометрах 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. Измерение параметров водяного пара также облегчается дополнительными наблюдениями в нижних крыльях полосы поглощения водяного пара на частоте 183 ГГц.

Хотя каналы, предназначенные для дистанционного зондирования температуры и влажности наземными средствами, расположены примерно в той же части спектра, что и каналы, предназначенные для пассивного дистанционного зондирования со спутников, они в целом занимают более широкие полосы частот и захватывают часть спектра, используемого и другими службами. В некоторых полосах частот, в частности, в тех, что предусмотрены п. 5.340 РР, наземные радиометры имеют ту же защиту, что и спутниковые системы дистанционного зондирования, но в других диапазонах наземным радиометрам соответствующая защита необходима. Число наземных радиометров, находящихся в эксплуатации, пока еще относительно невелико, но ожидается, что в ближайшее время оно увеличится. Возможно, потребуется, чтобы были разработаны прагматичные способы совместного использования частот, при которых можно будет осмысленно размещать радиометры таким образом, чтобы избежать 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).

6.8 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 (например, ураганы и циклоны). 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, аэрокогносцировку 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

- ALLEN, R. H, BURESS, D. W. and DONALDSON, R. J. [1981] *Attenuation Problems Associated with a 5 cm Radar*, Bulletin of the American Meteorological Society, 62, No. 6, June 1981.
- BEAN, B. R. and DUTTON, E. J. [1966] *Radio Meteorology*, National Bureau of Standards Monograph 92, US Government Printing Office, Washington DC, United States.
- BURROWS, C. R. and ATWOOD, S. S. [1949] *Radio Wave Propagation, Consolidated Summary Technical Report of the Committee on Propagation of the National Defense Research Committee*, Academic Press, New York, United States.
- 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.
- DOVIK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1984] *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.
- DOVIK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1993] *Doppler radar and weather observations*, 2nd Ed. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.
- DOVIK, R. J., ZRNIC, D. and SIRMANS, D. [November 1979] *Doppler Weather Radar*. Proc. IEEE, Vol. 67, 11.
- DOVIK, R. J., SIRMANS, D., ZRNIC, D., AND WALKER, G. B. [1978] *Considerations for Pulse-Doppler Radar Observations of Severe Thunderstorms*, Journal of Applied Meteorology, 17 No. 2, February 1978, American Meteorological Society.
- FABRY, F. [2015] *Radar Meteorology – Principles and Practice*, Cambridge University Press, University Printing House, Cambridge United Kingdom.
- GOSSARD, E. E. and STRAUCH, R. G. [1983] *Radar Observation of Clear Air and Clouds*. Elsevier, New York, United States of America, 280 pages.
- HITSCHFELD, W. and BORDAN, J. [1954] *Errors Inherent in the Radar Measurement of Rainfall at Attenuating Wavelengths*, Journal of Meteorology, 11, February 1954, American Meteorological Society.

- 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.
- IEEE [2002] *IEEE Standard Letter Designations for Radar Frequency Bands*, IEEE New York, United States.
- 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.
- RHEINSTEIN, J. [1968] *Backscatter from Spheres: A Short Pulse View*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **AP16**, No. 1, January 1968.
- SIRMANS, D. *WSR-88D Antenna Polarization Change*, Titan Corporation, report to the WSR-88D Operational Support Facility, January 15, 1993, available from the WSR-88D Radar Operations Center.
- RYZHKOVA, A. and ZRNIC, D. [2005], *Radar Polarimetry at S, C, and X Bands Comparative Analysis and Operational Implications*, 32nd Conference on Radar Meteorology, American Meteorological Society.
- SKOLNIK, M., [1990] Radar Handbook, Ch. 6, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, United States.
- ZRNIC, D. S., KENNAN, T., CAREY, L. D and MAY, P. [2000] *Sensitivity Analysis of Polarimetric Variables at a 5-cm Wavelength in Rain*, Journal of Applied Meteorology, **39**, September 2000.

Тексты МСЭ-R

- Рекомендация МСЭ-R F.699-7 – Эталонные диаграммы направленности антенн фиксированных беспроводных систем для использования при изучении вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 100 МГц до примерно 70 ГГц
- Рекомендация МСЭ-R F.1245-2 – Математическая модель усредненных и родственных диаграмм направленности излучения антенн систем фиксированной беспроводной связи прямой видимости для связи пункта с пунктом, предназначенная для использования при изучении определенных вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 1 ГГц примерно до 70 ГГц
- Рекомендация МСЭ-R M.1652-1 – Динамическая частотная селекция в системах беспроводного доступа, включая локальные радиосети в целях защиты службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц
- Рекомендация МСЭ-R M.1849-1 – Технические и эксплуатационные аспекты наземных метеорологических радаров
- Рекомендация МСЭ-R RS.515 – Полосы частот и ширина полос частот, используемые для спутникового пассивного дистанционного зондирования
- Рекомендация МСЭ-R 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)
- Рекомендация МСЭ-R RS.1166-4 – Критерии качества и помех для активных бортовых датчиков
- Рекомендация МСЭ-R RS.2017 – Критерии качества и критерии помех для спутникового пассивного дистанционного зондирования

Библиография

- Всемирная метеорологическая организация: *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), Женева.
- BROOKNER, E. (Ed.) [1988] *Aspects of Modern Radar*. Artech House, Boston, United States of America.
- 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.
- ECC Report 90 – Compatibility of wind profiler radars in the Radiolocation Service (RLS) with the Radionavigation Satellite Service (RNSS) in the band 1 270-1 295 MHz.

- ELACHI, DR. C. *Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques*. IEEE Press, New York, United States of America.
- Elena SALTIKOFF, John Y. N. CHO, Philippe TRISTANT, Asko HUUSKONEN, Lynn ALLMON, Russell COOK, Erik BECKER, and Paul JOE "The threat to weather radars by wireless technology" Bulletin of the American Meteorological Society, July 2016.
- HOBAN, N. P., CUNNINGHAM, J. G. and Zittel, D. W. [2014] *Estimating Systematic WSR-88D Differential Reflectivity (ZDR) Biases Using Bragg Scattering*, 30th Conference on Environmental Information Processing Technology, American Meteorological Society.
- Intercomparison of Techniques to Correct for Attenuation of C-Band Weather Radar Signals. J. Applied Meteorology: Vol. 37, 8, p. 845-853.
- 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.
- LAW, D. et al. [March 1994] Measurements of Wind Profiler EMC Characteristics, NTIA Report 93-301, 63 pages. National Telecommunications and Information Administration.
- 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.
- 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.
- PROBERT-JONES, J. R. [1962] *The Radar Equation in Meteorology*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 88.
- 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.

Приложение 1

Акронимы и сокращения, обычно используемые в метеорологии

А

A/D	Аналогово-цифровой	ALC (Automatic Level Control)	Автоматическая регулировка уровня
AAAS (American Association for the Advancement of Science)	Американская ассоциация содействия развитию науки	AM (Amplitude Modulation)	Амплитудная модуляция
AARS (Automated Aircraft Reporting System)	Система автоматической передачи самолетных сводок	AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay)	АМДАР (система передачи метеорологических данных с самолета)
ABSN (Antarctic Basic Synoptic Network)	АОКС (Антарктическая опорная синоптическая сеть)	AMI (American Meteorological Society)	Американское метеорологическое общество
ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System)	Система связи воздушных судов для адресации и передачи сообщений	AMSR (Advanced Meteorological Temperature Sounder)	АМСП (современный радиометр микроволнового сканирования)
ACCAD (Advisory Committee on Climate Applications and Data)	АККАД (Консультативный комитет по климатическим применениям и данным)	ANSI (American National Standards Institute)	Американский национальный институт стандартов
ACMAD (African Centre of Meteorological Applications for Development)	АКМАД (Африканский центр по применению метеорологии для целей развития)	AOPC (Atmospheric Observation Panel for Climate)	ГЭАНК (Группа экспертов по атмосферным наблюдениям в интересах изучения климата)
ADAS (Airborne Data Acquisition System)	Бортовая система сбора данных	AOS (Acquisition of Signal)	Обнаружение сигнала
ADC (Analogue-to-Digital Converter)	Аналогово-цифровой преобразователь	APT (Automatic Picture Transmission)	Автоматическая передача изображения
ADEOS (Advanced Earth Observation Satellite (Japan))	Усовершенствованный спутник для наблюдений за Землей (Япония)	ARGOS (Data collection and location system on NOAA series satellites)	Система сбора данных и обнаружения местоположения на спутниках серии НУОА
ADP (Automatic Data Processing)	Автоматическая обработка данных	ASCII (American Standard Code for Information Interchange)	Американский стандартный код для обмена информацией
ADPE (Automatic Data Processing Equipment)	Оборудование для автоматической обработки данных	ASIC (Application Specific Integrated Circuit)	Специализированная интегральная схема
AFC (Automatic Frequency Control)	Автоматическая подстройка частоты	ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder)	Микроволновый прибор для зондирования на основе усовершенствованной технологии (NPOESS/НАСА)
AFOS (Automatic Forecasting and Observing System)	Автоматическая система прогнозирования и наблюдения	ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder)	АТОВС (усовершенствованный прибор ТАЙРОС для оперативного вертикального зондирования)
AGC (Automatic Gain Control)	Автоматическая регулировка усиления	ATSR (Along-Track Scanning Radiometer)	АТСП (радиометр, сканирующий вдоль трассы полета)
AGRHYMET (Regional Training Centre for Agrometeorology and Operational Hydrology and its Applications)	Региональный центр профессиональной подготовки по агрометеорологии, инженерной гидрометрии и их применениям	AVCS (Advanced Video Camera System)	Усовершенствованная система видеокамер
AIRS (Advanced Infrared Sounder)	АИРС (усовершенствованный прибор для зондирования в ИК-диапазоне) (прибор НАСА)	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	Усовершенствованный радиометр с очень большим разрешением
		AWIPS (Advanced Weather Information Processing System)	Усовершенствованная система обработки информации о погоде

В

BCD (Binary Coded Decimal)	Двоично-десятичное число
BER (Bit Error Rate)	КОБ (коэффициент ошибок по битам)
BPS (bits per second)	биты в секунду
BPSK (Binary Phase Shift Keying)	ДФМН (двухпозиционная фазовая манипуляция)
BR (ITU Radio-communication Bureau)	БР (Бюро радиосвязи МСЭ)
BW (Bandwidth)	Ширина полосы

С

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)
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 информации 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)
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

С (продолжение)

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 or 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)
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 широкопередаточная 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

D (продолжение)

DS (Dwell Sounding)	Продолжительное зондирование или зондирование (рабочий узел прибора VAS GOES-4/7)
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/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
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 картографирования
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)

F (продолжение)

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)
GCIIP (GEWEX Continental-scale International Project)	МПК (Международный проект ГЭКЭВ континентального масштаба)
GCM (General Circulation Model)	Модель общей циркуляции
GCOS (Global Climate Observing System)	ГЧНК (Глобальная система наблюдений за климатом)
GDТА (Groupement pour le Développement de la Télédétection 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
GNSS (Global Navigation Satellites Systems)	ГНСС (Глобальный навигационные спутниковые системы)
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)	ГЧНО (глобальная система наблюдений за океаном)
GOS (Global Observing System)	ГЧН (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)	ГСОМ (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 (ГЧНК)
GSTDN (Ground Spaceflight Tracking and Data Network)	Наземная сеть слежения за космическим полетом и передачи данных
G/T	Отношение усиления антенны к шумовой температуре системы (дБ/К)

G (продолжение)

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 (ГЧНК))
GVAR (GOES VARiable)	Система с изменяемым форматом спутника GOES
GWC (Global Weather Center)	Глобальный центр прогнозов погоды

H

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) formerly cycles per second	Гц (Герц), ранее – циклов в секунду

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)
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)	МГП (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)

I (продолжение)

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
ISO (International Organization for Standardization)	ИСО (Международная организация по стандартизации)
ITOS (Improved TIROS Operational System)	Усовершенствованная операционная система TIROS
ITPR (Inferred Temperature Profile Radiometer)	ИК радиометр для определения температурных характеристик
ITU (International Telecommunication Union)	МСЭ (Международный союз электросвязи)
ITU-R (ITU Radio-communication Sector)	Сектор радиосвязи МСЭ (бывший МККР и МКЧР)

J

JDIMP (Joint GCOS/GOOS/GTOS Data Management and Information Panel)	Группа экспертов по вопросам информации и управления данными ГСНК/ГСНО/ГСНПС
JERS (Japanese Earth Resources Satellite)	Японский спутник для исследования ресурсов Земли
JIC (Joint Ice Center)	Объединенный центр по изучению льда
JMA (Japan Meteorological Agency)	ЯМА (Японское метеорологическое агентство)
JPL (Jet Propulsion Laboratory)	Лаборатория реактивных двигателей
JSC (Joint Scientific Committee Johnson Space Center)	Объединённый научный комитет Космического центра имени Джонсона
JSTC (Joint Scientific and Technical Committee)	Объединенный научно-технический комитет

K

K (Kelvin)	Кельвин
kbit (kilobit(s))	кбит (килобит (килобиты))

kB (kilobyte(s))	кБ (килобайт (килобайты))
kbit/s (kilobits per second)	кбит/с (килобиты в секунду)
keV (Thousand Electron Volts)	кэВ (тысяча электронвольт)
kHz (kilohertz)	кГц (килогерц)
KSC (Kennedy Space Center)	Космический центр имени Кеннеди
KSPS (kilo samples per second)	тысяча опросов в секунду

L

LANDSAT (U.S. earth remote sensing satellite)	ЛАНДСАТ (американский спутник дистанционного зондирования Земли)
LANDSAT-TM (Landsat Thematic Mapper instrument)	Прибор целенаправленного картирования спутника ЛАНДСАТ
LaRC (Langley Research Center)	Исследовательский центр Ленгли
LAT/LON (Latitude/Longitude)	Широта/долгота
LE (Landmark Extraction)	Выбор ориентиров на местности
LEO (Low Earth Orbit)	Низкая околоземная орбита
LEOP (Launch and Early Orbit Phase)	Фаза запуска и начальной орбиты
LeRC	см. GRC
LGSOWG (LANDSAT Ground Station Operations Working Group)	Рабочая группа по вопросам функционирования станции наземного базирования LANDSAT
LHCP (Left-Hand Circular Polarisation)	Левосторонняя круговая поляризация
LIDAR (Light Detection and Ranging)	ЛИДАР (лазерный дальномер)
LMT (Local Mean Time)	Местное среднее время
LOS (Loss of Signal)	Потеря сигнала
LPA (Low Power Amplifier)	Маломощный усилитель
lpi (lines per inch)	Линии на дюйм
lpm (lines per minute)	Линии в минуту
LRIT (Low Rate Information Transmission)	Низкоскоростная передача информации
LRPT (Low Resolution Picture Transmission)	Передача изображений с низким разрешением
LUT (Look-up Table или Local User Terminal)	Справочная таблица или оконечное устройство местного пользователя
LW (Long Wave)	ДВ (длинноволновый)
LWIR (Long Wave Infra-Red)	Длинные волны инфракрасной области спектра

М

mb (Millibars)	мбар (миллибары)	MPERSS (Marine Pollution Emergency Response Support System)	МПЕРСС (Система поддержки операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды)
Mbit/s (Megabits per second)	Мбит/с (мегабиты в секунду)	mr (Milliradians)	мрад (миллирадианы)
MB/s (Megabytes per second)	МБ/с (мегабайты в секунду)	MSFC (Marshall Space Flight Center)	Центр космических полетов имени Маршалла
MCC (Mission Control Center)	ЦУП (Центр управления полетами)	MSI (Multi-spectral Imaging)	Многоспектральное формирование изображений
MCDW (Monthly Climatic Data for the World)	Ежемесячные климатические данные для мира	MSS (Mobile-Satellite Service)	ПСС (подвижная спутниковая служба)
MCS (Moisture Channel Support)	Поддержка в отношении направлений влагопереноса	MSS (Multi-spectral Scanner)	Многоспектральный сканер
MDHS (Meteorological Data Handling System)	Система обработки метеорологических данных	MSU (Microwave Sounding Unit)	Оборудование микроволнового зондирования
MDUS (Medium-scale Data Utilisation Stations)	Станции среднемасштабного использования данных	MTBF (Mean Time Between Failures)	Среднее время между отказами
MEO (Medium Earth Orbit)	Средневысотная околоземная орбита	MTF (Modulation Transfer Function)	Функция передачи модуляции
MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector)	Детектор электронов и протонов средней энергии	MUX (Multiplexer)	Мультиплексер
MetAids (Meteorological Aids)	Вспомогательная служба метеорологии	MW (Momentum Wheel, Medium wave, Microwave Megawatt)	Маховик, СВ (средневолновый), МВт (мегаватт) в диапазоне СВЧ
METEOSAT (European Geostationary Meteorological Satellite)	METEOSAT (Европейский геостационарный метеорологический спутник)	N	
METOP (European Polar-orbiting Meteorological Satellite)	МЕТОП (Европейский метеорологический спутник на полярной орбите)	N/S (North/South)	Север/юг
MetSat (Meteorological Satellite)	METCAT (метеорологический спутник)	NASA (National Aeronautics and Space Administration)	НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства)
MeV (Million Electron Volts)	МэВ (мегаэлектронвольты)	NASCOM (NASA Communications Network)	Сеть связи НАСА
MeV/n (Million Electron Volts Per Nucleon)	МэВ/н (мегаэлектронвольты на нуклеон)	NASDA (National Space Development Agency)	Национальное агентство космического развития
MHS (Microwave Humidity Sounder)	Микроволновый зонд влажности	NCDC (National Climatic Data Center)	НЦКД (Национальный центр климатических данных)
MHz (Megahertz)	МГц (Мегагерц)	NE-delta-N (Noise Equivalent Change in Radiance)	Изменение шумовой эквивалентной схемы при излучении
MLS (Microwave Limb Sounder)	Микроволновый краевой зонд	NE-delta-T (Noise Equivalent Change in Temperature)	Изменение шумовой эквивалентной схемы при изменении температуры
MODEM (Modulator/Demodulator)	Модем (модулятор/демодулятор)	NERC (National Environmental Research Council)	Национальный совет по изучению окружающей среды
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Спектрорадиометр для получения изображений среднего разрешения (прибор НАСА)	NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service)	НЕСДИС (Национальная служба по информации, данным и спутникам для исследования окружающей среды)
MOPITT (Measurement of Pollution in the Troposphere)	Измерение загрязнения в тропосфере (НАСА)	NF (Noise Figure)	Коэффициент шума
MOS Marine Observation Satellite	Спутник для наблюдения за состоянием морской среды (Япония)	NHC (National Hurricane Center)	Национальный центр ураганов
		NHS (National Hydrological Service)	НГС (Национальная гидрологическая служба)

N (продолжение)

NIR (Night Infrared or 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)
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
OHP (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
PA (Power Amplifier)	Усилитель мощности
PAM (Pulse Amplitude Modulation)	АИМ (амплитудно-импульсная модуляция)
PCM (Pulse Code Modulation)	ИКМ (импульсно-кодовая модуляция)
PDL (Processor Data Load)	Загрузка данных в процессор
PDR (Processed Data Relay)	Ретрансляция обработанных данных (РЧ линия GVAR)
PE (Primitive Equation)	Полное уравнение
PEP (Peak Envelope Power)	Пиковая мощность огибающей
PEP (Polynomial Error Protection)	Полиномиальная защита от ошибок (НАСА)
PFD (Power Flux-Density)	п.п.м. (плотность потока мощности)
Pixels (Picture Elements)	Пиксели (элементы изображения)
PKM (Perigee Kick Motor)	Двигатель повышения перигея
PLL (Phase Locked Loop)	ФАПЧ (фазовая автоподстройка частоты)
PM (Phase Modulation)	ФМ (фазовая модуляция)
PN (Pseudonoise)	Псевдошум
POES (Polar-orbiting Operational Environmental Satellite)	ПОЕС (полярно-орбитальный спутник для исследования окружающей среды)
PPM (Parts per million)	Количество частей на миллион
PPS (Pulses per second)	Импульсы в секунду
PR (Precipitation Radar)	Радар осадков
PRF (Pulse Repetition Frequency)	Частота повторения импульсов

P (продолжение)

PROFS (Program for Regional Ob-serving and Fore-casting Service)	Программа регионального наблюдения и службы прогнозов
PROMET (Working Group on the Provision of Meteorological Information)	ПРОМЕТ (Рабочая группа по предоставлению метеорологической информации)
PSK (Phase Shift Keying)	ФМН (фазовая манипуляция)
PWM (Pulse-width Modulation)	ШИМ (широотно-импульсная модуляция)

Q

QC (Quality Control)	Контроль качества
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
RMDCN (Regional Meteorological Data Communication Network)	РСПМД (региональная сеть передачи метеорологических данных)
RMS (Root Mean Square)	Среднеквадратичный
RPM (Revolutions Per Minute)	Об./мин. (количество оборотов в минуту)
RSS (Root Sum of the Squares)	Корень квадратный из суммы квадратов (модуль вектора)
RSU (Remote Sensing Unit)	Группа по дистанционному зондированию
RT (Real Time)	Реальное время
RW (Reaction Wheel)	Маховик
RWA (Reaction Wheel Assembly)	Сборка маховиков

S

S/C (Spacecraft)	Космический корабль
S/N (Signal-to-noise ratio)	Отношение сигнал/шум
S/N ₀ (Signal-to-noise density ratio)	Отношение сигнала к плотности шума
S-VAS (Stretched Visible Infrared Spin Scan Radiometer Atmospheric Sounder)	Атмосферный зонд с радиометром вращательного сканирования в расширенных видимом и инфракрасном диапазонах
S-VISSR (Stretched Visible Infrared Spin Scan Radiometer)	Радиометр вращательного сканирования в видимом и инфракрасном диапазонах (пониженная скорость)
SAD (Sounder/ Auxiliary Data)	Данные зонда/вспомогательные данные
SAGE (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment)	СЕЙДЖ (Эксперимент по стратосферному аэрозолю и газам)
SAR (Synthetic Aperture Radar or Search and Rescue)	Радиолокатор с синтезированной апертурой или Поиск и спасание
SARSAT (Search And Rescue Satellite-Aided Tracking)	CAPCAT (космическая система поиска терпящих бедствие судов и самолётов) см. COSPAS
SATCOM (Satellite Communications)	Спутниковая связь
SBUV (Solar Backscatter Ultraviolet)	Солнечное ультрафиолетовое излучение обратного рассеяния
SC/N ₀ (Subcarrier-to-noise density ratio)	Отношение поднесущей к плотности шума
SC/OMS (Subcommittee on Operational Meteorological Satellites)	Подкомитет по оперативным метеорологическим спутникам
SC/OES (Subcommittee on Operational Environmental Satellites)	Подкомитет по оперативным спутникам для экологического мониторинга
SCHOTI (Standing Conference of Heads of Training Institutions of National Meteorological Services)	ПДКРУЗ (Постоянно действующая конференция руководителей учебных заведений национальных метеорологических служб)
SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography)	Сканирующий абсорбционный спектрометр с формированием изображения для составления атмосферных карт
SCO (Subcarrier Oscillator)	Генератор поднесущей
SCSMEX (South China Sea Monsoon Experiment)	СКСМЕКС (муссонный эксперимент в Южно-Китайском море)

S (продолжение)

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 поддержку систем Всемирной службы погоды (ВСП)
SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)	ССМИ (устройство для получения изображений с помощью специального микроволнового датчика)
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 Topex/Poseidon
T/V (Thermal Vacuum)	Термовакuumный
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

Т (продолжение)

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 картирование
TMI (TRMM Microwave Imager)	Микроволновый датчик изображений для проекта TRMM
TMR (Topex Microwave Radiometer)	Микроволновый радиометр спутника Тореx
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 картирования общего количества озона)
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)	ВСВ (всемирное 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)

W (продолжение)

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

International
Telecommunication
Union
Place des Nations
1211 Geneva 20
Switzerland

ISBN 978-92-61-24881-9 SAP id
4 1 4 2 2

9 789261 248819

Отпечатано в Швейцарии
Женева, 2017 г.
Фото: Shutterstock