



This PDF is provided by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an officially produced electronic file.

Ce PDF a été élaboré par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'une publication officielle sous forme électronique.

Este documento PDF lo facilita el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un archivo electrónico producido oficialmente.

جرى إلكتروني ملف من مأخوذة وهي والمحفوظات، المكتبة قسم ، (ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد من مقدمة PDF بنسق النسخة هذه رسمياً إعداده.

本PDF版本由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案服务室提供。来源为正式出版的电子文件。

Настоящий файл в формате PDF предоставлен библиотечно-архивной службой Международного союза электросвязи (МСЭ) на основе официально созданного электронного файла.

Отслеживание изменений состояния нашей планеты

Спектр, имеющий важнейшее значение
для Земли Наблюдение из космоса

Мониторинг нашей меняющейся планеты

Хоулинь Чжао

Генеральный секретарь МСЭ

Земля – это хрупкая планета с ограниченными ресурсами для поддержания жизни растущего мирового населения. По мере нашей совместной работы над созданием устойчивой глобальной экономики все более важную роль в достижении Целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития (ЦУР) будут играть бортовые космические датчики для дистанционного зондирования.

Действительно, в настоящее время [Государства – Члены МСЭ](#) и мировое сообщество рассматривают возможность использования наблюдений Земли и геопространственной информации в качестве важнейшего средства достижения ЦУР. Дистанционное зондирование обеспечивает важную информацию для широкого круга применений, включая оценку качества воздуха, предупреждение стихийных бедствий и ликвидацию их последствий, здравоохранение, сельское хозяйство, поиск пресной воды, управление прибрежными зонами и здоровье земных экосистем.

Например, данные космического зондирования используются для оценки последствий стихийных бедствий и более качественной готовности к опасным явлениям во всем мире. Кроме того, данные бортовых космических датчиков для дистанционного зондирования все чаще применяются для направления усилий по минимизации ущерба, причиняемого окружающей среде в результате роста городов.

Это всего лишь несколько примеров того, как измерения, выполняемые с помощью дистанционного зондирования, – и наука, которую они питают, – приносят огромную пользу человечеству. В этом выпуске журнала "Новости МСЭ" приведены и другие такие примеры, а также множество примеров того, как работа МСЭ помогает реализовать те социально-экономические выгоды, которые дает наблюдение Земли из космоса.

Кроме того, я рад сообщить, что журналу "Новости МСЭ" исполнилось 150 лет. Из этого выпуска вы также узнаете о важных вехах в 150-летней истории "Новостей МСЭ".

Я пользуюсь случаем, чтобы пожелать вам всем здоровья и счастья в Новом году!



*“Измерения,
выполняемые
с помощью
дистанционного
зондирования, –
и наука, которую
они питают, –
приносят
огромную пользу
человечеству.”*

Хоулинь Чжао

Отслеживание изменений состояния нашей планеты

Спектр, имеющий важнейшее значение
для Земли Наблюдение из космоса

1 Мониторинг нашей меняющейся планеты

Хоулинь Чжао
Генеральный секретарь МСЭ

Исследования космоса - МСЭ и ВКР-19

4 Почему сегодня нам необходимы наблюдения с помощью космического зондирования

Марио Маневич
Директор, Бюро радиосвязи, МСЭ

8 Системы наблюдения Земли – 7-я Исследовательская комиссия МСЭ-R и Всемирные конференции радиосвязи

Джон Зюзек
Председатель 7-й Исследовательской комиссии Сектора
радиосвязи МСЭ (МСЭ-R) и управляющий Национальной
программой по вопросам спектра NASA

Преимущества наблюдения Земли из космоса

12 Космический компонент Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО

Петтери Таалас
Генеральный секретарь Всемирной
метеорологической организации (ВМО)

16 Значение радиочастотного спектра для наблюдения Земли

Эрик Алле
Председатель Руководящей группы по координации радиочастот

19 Измерение высоты из космоса

Жан Пла
Заместитель Председателя 7-й Исследовательской
комиссии Сектора радиосвязи МСЭ

24 Полосы частот для пассивного зондирования атмосферы и их выбор

Richard Kelley
Национальное управление по исследованию океанов и
атмосферы (НУОА) Министерства торговли США

30 Мониторинг погоды и климата из космоса безальтернативен для современного глобального общества

Маркус Дрейс
специалист по управлению использованием частот, EBMETCAT

Отслеживание изменений состояния нашей планеты

Спектр, имеющий важнейшее значение
для Земли Наблюдение из космоса

Фото на обложке: Shutterstock

ISSN 1020–4148
itunews.itu.int
6 выпусков в год
Авторское право: © МСЭ 2019

Главный редактор: Мэтью Кларк
Художественный редактор: Кристин Ванולי
Помощник редактора: Анджела Смит

Редакция/Информация о размещении рекламы:
Тел.: +41 22 730 5234/6303
Факс: +41 22 730 5935
Эл. почта: itunews@itu.int

Почтовый адрес:
International Telecommunication Union
Place des Nations
CH–1211 Geneva 20 (Switzerland)

Правовая оговорка:
Выраженные в настоящей публикации мнения
являются мнениями авторов, и МСЭ за них
ответственности не несет. Используемые
в настоящей публикации обозначения и
представление материала, включая карты,
не отражают какого бы то ни было мнения
МСЭ в отношении правового статуса любой
страны, территории, города или района
либо в отношении делимитации их границ.
Упоминание конкретных компаний или
определенных продуктов не означает, что МСЭ
их поддерживает или рекомендует, отдавая им
предпочтение перед другими компаниями или
продуктами аналогичного характера, которые не
упоминаются.

Все фотографии МСЭ, если не указано другое

36 Активное космическое зондирование в целях изучения Земли и прогнозирования стихийных бедствий

Брайан Ханикатт

Делегат МСЭ, специалист по дистанционному зондированию, Лаборатория реактивных двигателей Калифорнийского технологического института, НАСА

41 Использование датчиков для пассивного дистанционного зондирования в целях прогнозирования погоды

Ю Ян

инженер, Национальный центр спутниковой метеорологии, Китайское метеорологическое управление (CMA), Китай

44 Защитить спектр для датчиков наблюдения Земли во благо общества

Жильберто Камара

Директор секретариата, Группа по наблюдениям за Землей (GEO)

Решение проблемы вредных помех

47 Проблема радиопомех для пассивного зондирования в глобальном масштабе

Йозеф Ашбахер

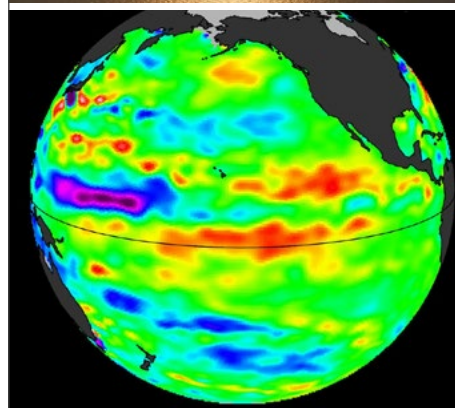
Директор программ наблюдения Земли, Европейское космическое агентство (ESA)

54 Важный вклад пассивного микроволнового дистанционного зондирования в численный прогноз погоды и возможный способ решений проблемы радиопомех на ВКР-19

Стивен Инглиш

руководитель Секции ассимиляции данных системы Земли Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП)

59 Основные вехи 150-летней истории журнала "Новости МСЭ"



Почему сегодня нам необходимы наблюдения с помощью космического зондирования

Марио Маневич

Директор, [Бюро радиосвязи](#), МСЭ

Изменение климата и возросшие масштабы эксплуатации природных ресурсов Земли приводят к целому ряду экологических проблем, которые требуют принятия мер на международном уровне.

Для того чтобы ответные меры, принимаемые человечеством, были эффективными, многие решения должны быть основаны на глобальном мониторинге окружающей среды, в том числе с использованием космических средств.

Действительно, наблюдения с помощью космического зондирования необходимы для того, чтобы помогать лидерам и гражданам принимать более эффективные решения на основе достоверных данных.

На сегодняшний день несколько десятков спутников содействуют накоплению крайне важных знаний о земной системе, что позволяет ученым описывать конкретные взаимосвязи между крупными естественными возмущениями в верхних слоях атмосферы и изменениями погоды, происходящими за тысячи километров от них.



“На сегодняшний день несколько десятков спутников содействуют накоплению крайне важных знаний о земной системе.”

Марио Маневич



Поскольку точное прогнозирование погоды должно опираться на максимально достоверную оценку текущего состояния атмосферы, крайне важно, чтобы метеорологи вели осуществляемые в режиме реального времени точные глобальные наблюдения того, что происходит в атмосфере Земли над сушей и над океанами. В решении этой задачи им помогает космическое зондирование.

Данные спутниковых наблюдений на сегодняшний день являются незаменимым источником информации для работы моделей предсказания погоды и систем прогнозирования, используемых для подготовки предупреждений об угрозах безопасности и другой информации, способствующей принятию решений как в государственном, так и в частном секторе.

Глобальная система наблюдений за климатом – рамочная программа Организации Объединенных Наций

Вопрос о необходимости проведения наблюдений официально зафиксирован в Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций (ООН) об изменении климата, в которой на [Глобальную систему наблюдений за климатом](#) возлагается ответственность за определение требований к наблюдениям, касающимся изменения климата. Все соответствующие учреждения ООН ведут совместную работу по обеспечению устойчивого ведения надежных физических, химических и биологических наблюдений и записи данных в целях содействия достижению каждой из 17 целей в области устойчивого развития и решению связанных с ними задач.

38TH WORLD RADIOCOMMUNICATION CONFERENCE



ITUWRC
SHARM EL-SHEIKH 2019

28 October - 22 November
Sharm El-Sheikh, Egypt

www.itu.int/wrc2019
#ITUWRC



Всемирная конференция радиосвязи МСЭ 2019 года – принятие решений, касающихся спектра

Настоящий выпуск журнала "Новости МСЭ" выходит в контексте подготовки к [Всемирной конференции радиосвязи МСЭ 2019 года](#), которая будет проходить с 28 октября по 22 ноября 2019 года в Шарм-эль-Шейхе, Египет.

На конференции будут приниматься решения, касающиеся использования спектра различными службами радиосвязи, в том числе в целях проведения исследований космоса. Крайне важно, чтобы эти решения обеспечили надлежащую защиту космических исследований, с тем чтобы они продолжали способствовать обеспечению устойчивого развития человечества.

“Крайне важно, чтобы метеорологи вели осуществляемые в режиме реального времени точные глобальные наблюдения того, что происходит в атмосфере Земли.”

Марио Маневич

Спектр имеет важнейшее значение для метеорологических систем

В связи с этим важно, чтобы читатели настоящего выпуска журнала "Новости МСЭ" поняли, почему доступность и защита соответствующего спектра для метеорологических систем имеет крайне важное значение для результативности их работы и почему потенциальная экономическая и социальная значимость этих систем требует того, чтобы члены МСЭ уделяли особое внимание потребностям научно-космического сообщества. Я очень признателен авторам за то, что они поделились своим опытом и точками зрения.

Типы космических дистанционных датчиков для наблюдения Земли



Активные датчики - это радиолокационные системы на космических платформах. Они получают данные посредством передачи и приема радиоволн. Существует 5 типов таких датчиков:



Радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR):

получение топографических данных о поверхности Земли

Высотомеры:

измерение точной высоты поверхности океана

Рефлектометры:

определение направления и скорости ветра на поверхности океана

Радары контроля осадков:

определение интенсивности и пространственной структуры дождевых осадков

Радары профилирования облачности:

измерение облачного покрова над поверхностью Земли и его структуры

Пассивные датчики представляют собой очень чувствительные приемники, с помощью которых измеряется электромагнитная энергия, излучаемая и рассеиваемая Землей, а также химические компоненты атмосферы Земли. Эти датчики нуждаются в защите от радиочастотных помех.



Ваш источник информации о Рекомендациях МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ (МСЭ-R)

7-я Исследовательская комиссия (Научные службы)

Ваш источник информации по [Рекомендациям МСЭ-R](#), в которых описываются технические и функциональные характеристики и критерии защиты, а также представлены соображения относительно совместного использования частот для спутниковых систем дистанционного зондирования и связанных с ними каналов управления и обратных каналов передачи данных:



Серия RS (дистанционное зондирование)



Серия SA (космические применения и метеорология)



Справочник "Спутниковая служба исследования Земли"



Совместный Справочник ВМО-МСЭ "Использование радиочастотного спектра в метеорологии: прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды"



Системы наблюдения Земли – 7-я Исследовательская комиссия МСЭ-R и Всемирные конференции радиосвязи

Джон Зузек

Председатель 7-й Исследовательской комиссии Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-R) и управляющий Национальной программой по вопросам спектра NASA



7-я Исследовательская комиссия Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-R) занимается научными службами. Они включают спутниковую службу исследования Земли и метеорологическую спутниковую службу с системами пассивного и активного бортового дистанционного зондирования, которые позволяют нам получать важные данные о Земле и ее атмосфере.

Используемые в этих целях системы имеют масштабные последствия для каждого человека на планете. Эти данные используются для изучения и мониторинга изменения климата, помощи метеорологам в прогнозировании погоды, а также для прогнозирования и мониторинга различных стихийных бедствий.

Важно отметить, что хотя метеорологические спутники и спутники наблюдения Земли эксплуатируются лишь ограниченным числом стран, данные и продукты их обработки, получаемые в результате эксплуатации этих спутников, распространяются и используются во всем мире, в частности национальными службами прогноза погоды развитых и развивающихся стран и организациями, занимающимися мониторингом и изучением изменения климата.

“Данные систем наблюдения Земли и дистанционного зондирования используются в приложениях для прогнозирования, мониторинга и смягчения последствий бедствий.”

Джон Зузек

Кроме того, данные систем наблюдения Земли и дистанционного зондирования используются в приложениях для прогнозирования, мониторинга и смягчения последствий бедствий. По данным доклада Организации Объединенных Наций, около 90% всех бедствий связаны с погодными условиями. С учетом глобального характера систем наблюдения Земли и дистанционного зондирования, вопросы защиты от вредных помех следует рассматривать в глобальном масштабе.

Бортовые активные датчики

Бортовые активные датчики представляют собой приборы для получения данных путем передачи и приема радиоволн. Как правило, это радиолокационные системы на бортовых платформах. Существует пять типов активных датчиков, каждый из которых выполняет свою конкретную задачу. Радар с синтезированной апертурой (SAR) используется для получения топографических данных о поверхности Земли. Высотометры предназначены для измерения точной высоты уровня мирового океана. Рефлектометры в основном используются для определения направления ветра и его скорости у поверхности мирового океана. Радары контроля осадков используются для определения интенсивности атмосферных осадков и построения их трехмерной структуры. Радары профилирования облачности предназначены для измерения облачного покрова и его структуры над поверхностью Земли.

Бортовые пассивные датчики

Бортовые пассивные датчики представляют собой очень чувствительные приемники, так называемые радиометры, которые измеряют электромагнитную энергию, излучаемую и отражаемую Землей, и химический состав ее атмосферы. Таким очень чувствительным приемникам требуется защита от



Около 90% всех бедствий связаны с погодными условиями.



IRIN/Tung X. Ngo

радиочастотных помех для выполнения требуемых измерений.

Приборы пассивного дистанционного зондирования, работающие на спутниках наблюдения Земли, направлены вниз, на поверхность Земли и атмосферу, и подвержены воздействию помех от передатчиков, работающих на поверхности или на небольшом удалении от поверхности Земли. Эти чувствительные приемники могут успешно работать только благодаря распределению определенных полос частот для соответствующих радиослужб и благодаря регуляторной защите, которая обеспечивается для них многими специальными положениями Регламента радиосвязи.

В силу своей природы пассивные датчики пытаются получать и обрабатывать очень слабые радиосигналы природного происхождения на конкретных частотах, определяемых законами молекулярной физики. Поэтому, если такие сигналы искажаются помехами, невозможно использовать для получения информации другую частоту. Информация просто становится недоступной.

После получения научных данных с помощью датчиков систем наблюдения Земли эти данные должны передаваться вниз, на Землю, чтобы ученые могли их обрабатывать и использовать. Линии передачи этих данных также должны быть защищены от вредных радиочастотных помех, в противном случае научные данные могут быть искажены или полностью утрачены.



См. все Рекомендации 7-й Исследовательской комиссии МСЭ-R по:

- системам дистанционного зондирования: [серия RS](#)
- космическим применениям и метеорологии: [серии SA](#).

7-я Исследовательская комиссия МСЭ-R

7-я Исследовательская комиссия МСЭ-R отвечает за [серию RS](#) (дистанционное зондирование) и [серию SA](#) (космические применения) Рекомендаций МСЭ-R, в которых описываются технические и функциональные характеристики, критерии защиты и рассмотрение совместного использования частот для спутниковых систем дистанционного зондирования и связанных с ними каналов управления и обратных каналов передачи данных. Она также отвечает за обновление Справочника МСЭ-R "[Спутниковая служба исследования Земли](#)" и совместного Справочника ВМО-МСЭ "[Использование радиочастотного спектра в метеорологии: прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды](#)", а также за подготовку множества актуальных отчетов по дистанционному зондированию и наблюдению Земли. Эти документы вносят свой вклад в усилия научного сообщества в целом и сообщества специалистов по дистанционному зондированию в частности, направленные на содействие защите использования радиочастотного спектра для применений дистанционного зондирования.

Всемирные конференции радиосвязи и дистанционное зондирование

Всемирные конференции радиосвязи ([ВКР](#)) также сыграли важнейшую роль в развитии дистанционного зондирования.

Первые распределения полос частот спутниковой службе исследования Земли были сделаны на [ВАРК-79](#).

На [ВКР-97](#) были усовершенствованы распределения спутниковой службе исследования Земли (активной) в целях включения в них активного дистанционного зондирования Земли, уточнены и усовершенствованы распределения в диапазоне 50–71 ГГц для важных применений дистанционного зондирования, а также согласованы в глобальном масштабе полосы частот для линии вниз.

На [ВКР-2000](#) были дополнительно усовершенствованы распределения различных полос частот для дистанционного зондирования и были перегруппированы и обновлены распределения в диапазоне 71–275 ГГц для учета их использования системами дистанционного зондирования в некоторых полосах частот.

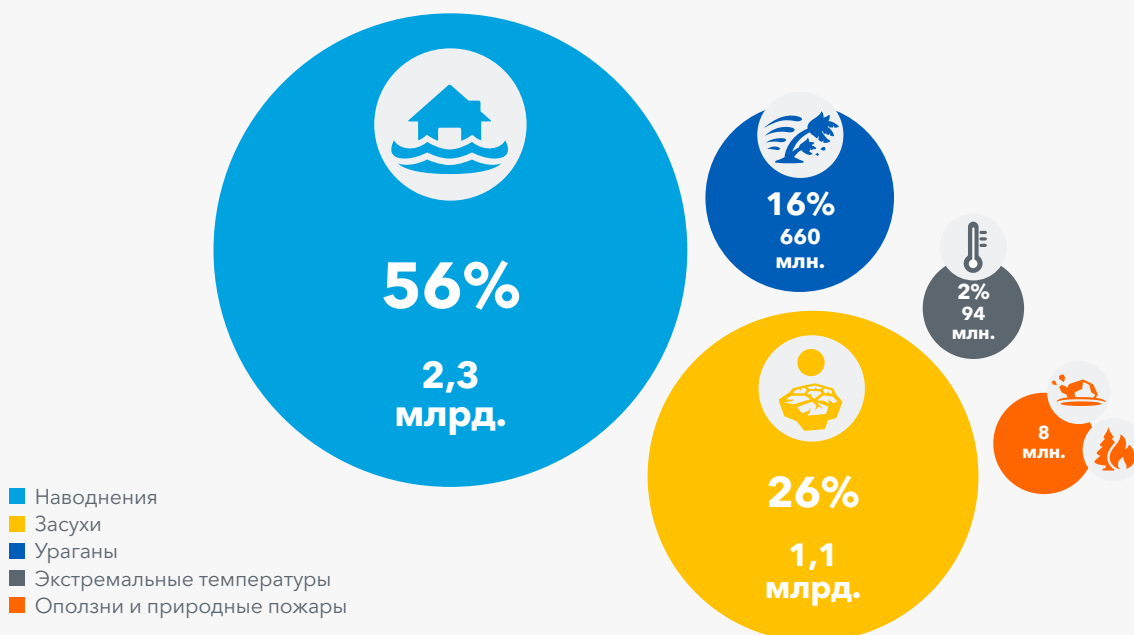
На [ВКР-07](#) была обеспечена защита некоторых полос, используемых для пассивного дистанционного зондирования, в том числе защита полос частот, распределенных исключительно пассивной службе, от внеполосных излучений расположенных поблизости передатчиков активной службы.

[ВКР 12](#) официально закрепила важное значение радиосвязи для наблюдения Земли в [Регламенте радиосвязи](#). Все эти действия способствовали формированию современных способов использования систем дистанционного зондирования и получению связанных с ними общественных и экономических выгод, а также предопределили будущее использование этих систем в последующие десятилетия.

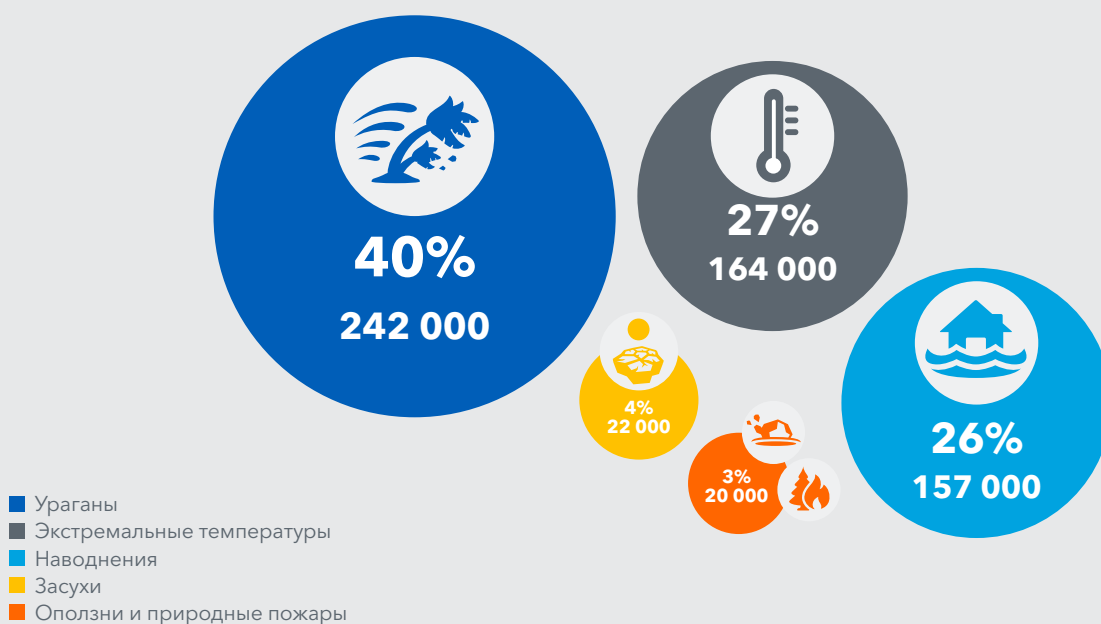


Гуманитарные последствия бедствий, вызванных атмосферными условиями, 1995–2015 гг.

Число людей, пострадавших от стихийных бедствий, вызванных атмосферными условиями (1995–2015 гг.)
(примечание: смертельные случаи исключены из общего числа пострадавших.)



Число погибших в разбивке по типу стихийного бедствия (1995–2015 гг.)



Космический компонент Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО

Петтери Таалас

Генеральный секретарь Всемирной
метеорологической организации (ВМО)

Преимущества использования орбитальных спутников Земли для наблюдения Земли признаны с начала XX века. Их наконец удалось реализовать, когда 4 октября 1957 года был запущен первый искусственный спутник, что стало началом космической эры.

В 1961 году в ответ на просьбу только что созданного Комитета по использованию космического пространства в мирных целях (КОПУОС) Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций Всемирная метеорологическая организация (ВМО) подготовила новаторский доклад, в котором выдвинула предложение о создании глобальной программы по развитию научных исследований атмосферы и разработке усовершенствованных средств прогнозирования погоды (см. [статью Глобальная спутниковая система наблюдений: история успеха](#)).



“Всемирная
служба погоды
является одним из
лучших примеров
совместного
использования
получаемых от
космоса выгод
всеми странами.”

Петтери Таалас

"Всемирная служба погоды" – защита жизни и имущества

Программа получила название "[Всемирная служба погоды](#)". Она объединяет системы наблюдения, средства электросвязи и центры обработки данных и прогнозирования, эксплуатируемые Членами ВМО, для того чтобы предоставлять метеорологическую и связанную с нею экологическую информацию, необходимую для предоставления квалифицированных услуг и защиты жизни и имущества во всех странах.

Компонент систем наблюдения Всемирной службы погоды, Глобальная система наблюдений ([ГСН](#)), стала четко организованной системой метеорологических и экологических спутников, интегрированных с расположенными на местах сетями наблюдения и поддерживающих широкий диапазон прикладных программ ВМО. В ее состав входит множество спутников на геостационарной орбите, низкой околоземной орбите, а также в различных других местоположениях в системе Солнце-Земля.

Данные, производимые этими спутниками, являются необходимой исходной информацией для широкого круга прикладных программ. Так, благодаря цифровому прогнозированию погоды повысилась точность прогнозов и предоставляются все более надежные и своевременные предупреждения об экстремальных погодных явлениях. Продукты и услуги, использующие данные аппаратуры космического базирования, способствуют осуществлению глобальных повесток дня в области развития, в том числе [Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года](#), [Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий](#) и [Парижского соглашения](#) для борьбы с изменением климата.

Всемирная служба погоды является одним из лучших примеров совместного использования получаемых от космоса выгод всеми странами. Ее данные и информация предоставляются всем странам, независимо от уровня их социально-экономического развития. Это предусматривает предоставление оборудования для получения и анализа данных и создание потенциала в рамках профессиональной подготовки, стипендиальных программ и других видов поддержки.



Новая структура для наблюдения за изменчивостью глобального климата

В связи с расширением мандатов национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС), научно-техническим прогрессом и экономическими реалиями Глобальная система наблюдений стала ключевым элементом структуры, которая объединяет существующую глобальную систему наблюдений с Интегрированной глобальной системой наблюдений ВМО (ИГСН ВМО). В рамках этой новой структуры ГСН будет интегрирована с компонентами системы наблюдения прикладных областей, которые ранее разрабатывались по отдельности.

Под влиянием деятельности человека, а также природных процессов климат Земли вступает в новую эру, и поэтому крайне важно поддерживать систему наблюдений, способную обнаруживать и документировать изменчивость глобального климата и перемены в нем за длительные периоды времени. Научному сообществу, директивным органам и широкой общественности нужны высококачественные наблюдения за климатом для оценки текущего состояния океанов, криосферы, атмосферы и суши и сопоставления его с полученными ранее показателями. ВМО и Глобальная система наблюдения за климатом (ГСНК), вместе с Координационной группой по метеорологическим спутникам (КГМС) и Комитетом по спутникам наблюдения Земли (КСНЗ) продолжают активно взаимодействовать для обеспечения наличия эффективного и оптимизированного компонента космического базирования системы мониторинга климата.

“Крайне важно поддерживать систему наблюдений, способную обнаруживать и документировать изменчивость глобального климата и перемены в нем за длительные периоды времени.”

Петтери Таалас

ИГСН ВМО обеспечивает структуру для сквозной интеграции по всем национальным, организационным и технологическим границам, а также различным уровням показателей деятельности, использующую эталонные и стандартные сети, а также данных, собранных на основе краудсорсинга. В ходе процесса, именуемого Скользящим рассмотрением потребностей, возможности наблюдения оцениваются на регулярной основе, чтобы гарантировать, что системы наблюдения, применяемые членами ВМО, соответствуют потребностям пользователей. КГМС и КСНЗ реагируют на рекомендации ВМО для заполнения пробелов в системе наблюдения космического базирования. ИГСН ВМО вступит в действие в 2020 году.

Обычно большая часть данных совместно используется членами ВМО безвозмездно и распространяется по разнообразным каналам связи, координируемым в рамках Информационной системы ВМО (ИСВ).

Космическая программа ВМО, созданная в 2003 году, имеет целью координацию и поддержку развития космического компонента ИГСН ВМО и отражает растущую роль спутников в прикладных программах ВМО.

В Концепции ИГСН ВМО на период до 2040 года намечается, как должна развиваться в следующие два десятилетия система наблюдения космического базирования, чтобы не отставать от растущих потребностей пользователей.

Новые виды датчиков, растущее число спутников, в том числе разворачиваемых в группировках и формированиях, а также новые области применения и увеличивающиеся потребности в полосе пропускания – вот некоторые из факторов, приводящих к увеличению спроса на использование частотного спектра для космического зондирования.

Значение космических систем для прямых выгод гражданам всего мира и для предоставления данных и информации в поддержку разработки политики и принятия решений в интересах устойчивого развития подчеркивает решающую роль МСЭ в глобальном управлении использованием радиочастотного спектра и спутниковых орбит.

Ввиду этого тесное сотрудничество между ВМО и МСЭ остается совершенно необходимым для гарантий доступности и целостности ИГСН ВМО и для обеспечения того, чтобы глобальные наблюдения нашей планеты продолжали способствовать ее устойчивому развитию.



Karolin Eichler/Deutscher Wetterdienst/WMO

Всемирная служба погоды (ВСП)

Чтобы прогнозировать погоду, современная метеорология должна практически мгновенно обмениваться информацией о погоду по всему земному шару. Созданная в 1963 году Всемирная служба погоды, являющаяся основной частью программ Всемирной метеорологической организации (ВМО), объединяет системы наблюдения, средства электросвязи и центры обработки данных и прогнозирования, эксплуатируемые Членами ВМО, для того чтобы делать доступной метеорологическую и связанную с нею экологическую информацию, необходимую для предоставления квалифицированных услуг всем странам.

Прочесть больше [здесь](#).

Значение радиочастотного спектра для наблюдения Земли

Эрик Алле

Председатель [Руководящей группы по координации радиочастот](#)

Имеющий решающее значение и ограниченный ресурс радиочастотного спектра служит основой для всех видов деятельности по наблюдению Земли, таких как сбор и измерение данных наблюдения, анализ, прогноз и предупреждения. Эти виды деятельности крайне важны для обеспечения защиты людей и имущества, для мониторинга изменения климата и окружающей среды и предвидения этих изменений.

К числу основных систем, применяемых для наблюдения Земли, относятся метеорологические радары (измерения осадков и профилей ветра, вспомогательные метеорологические средства (радиозонды, сбрасываемые радиозонды, ракетные зонды) и спутники.

Активные и пассивные датчики

В случае спутников обычно применяются два вида дистанционного зондирования космического базирования: активные и пассивные датчики. Активный датчик ведет передачу и прием на борту. Он освещает цель и измеряет отражаемое ей излучение. Ввиду этого излучение сигнала высокой мощности и обнаружение сигнала очень низкой мощности зачастую производятся одним и тем же спутником. Пассивный датчик — это приемник, который улавливает излучение очень низкой интенсивности, имеющее природное происхождение из системы атмосферы Земли.



“В мировом масштабе необходим постоянный и надежный охват системами природоохранного мониторинга космического базирования.”

Эрик Алле

Пассивные и активные датчики используют многие методы наблюдения, охватывающие широкий диапазон длин волн электромагнитного спектра, от гамма-лучей до радиоволн. Полосы спектра, необходимые для наблюдений Земли, определяются основными законами физики и радиации. Так, для наблюдений Земли пригодны лишь отдельные части микроволнового спектра, поскольку они содержат полосы поглощения кислорода, водяных паров или других составляющих атмосферы. Излучение, принимаемое спутником, используется в цифровом анализе погоды и моделях прогнозов для определения таких параметров, как температура, влажность и содержание жидкой воды.

Микроволны – проникая сквозь облака и далее

Существенным преимуществом микроволн является то, что, в отличие от инфракрасного излучения, с их помощью можно получить информацию через облака и за их пределами. Это представляет значительный интерес для наблюдения Земли, потому что обычно почти две трети земного шара покрыты облаками. Наряду с этой возможностью наблюдать Землю вне зависимости от погоды измерения пассивными микроволновыми датчиками можно также производить в любое время дня и ночи, потому что они не измеряют отраженный свет Солнца или Луны. Меньший уровень излучения природных микроволновых сигналов по сравнению с инфракрасными означает, что технически значительно сложнее выполнять такие измерения из космоса, поэтому, хотя геостационарная орбита обеспечивает больший охват, находясь дальше от Земли, важны также низкие околоземные орбиты.

“Дальнейшее развитие наблюдений Земли на глобальном уровне возможно только при использовании соответствующих полос частот.”

Эрик Алле

Следует также иметь в виду, что для измерения определенных характеристик атмосферы и поверхности Земли требуется сочетание нескольких измерений различными датчиками на разных частотах. Ввиду этого любые помехи, получаемые одним датчиком, могут внести ошибки в ряд измерений.

Комплекс данных, получаемых системами наблюдения Земли космического базирования, работающими в радиоспектре, играет все более важную роль в исследованиях окружающей среды и связанной с ней деятельности, в частности в ограничении последствий связанных с погодой и климатом бедствий, а также в научном понимании, мониторинге и прогнозировании изменения климата и его воздействия на нашу планету.

Обеспечение наблюдения Земли на глобальном уровне

В мировом масштабе необходим постоянный и надежный охват системами природоохранного мониторинга космического базирования.

Крайне важно эффективно и грамотно управлять использованием полос частот, выделенных для различных научных и метеорологических служб, с тем чтобы гарантировать и повышать качество и точность метеорологических продуктов и приложений, являющихся результатом этих наблюдений.

Почти вся информация, собираемая системами наблюдения Земли (сегодня три четверти этих данных предоставляются спутниками), доступна во всем мире. Вне зависимости от того, владеет ли она спутниковыми системами или приемными станциями на своей территории, каждая администрация (Государство – Член МСЭ) имеет доступ к информации, необходимой для прогнозов погоды и измерений на поверхности океана (высота волн, температура поверхности моря, соленость, толщина морского льда и т. п.), на поверхности суши (водяные пары, скорость ветра, интенсивность осадков, плотность древесных насаждений в лесах и т. д.), а также ко всем видам исследований, связанных с последствиями изменения климата.

Дальнейшее развитие наблюдений Земли на глобальном уровне возможно только при использовании соответствующих полос частот, определяемых точными и уникальными физическими характеристиками, которые нельзя изменить или воспроизвести в других полосах частот.

Радиоспектр испытывает все бóльшую нагрузку в связи с новыми и возрастающими потребностями, а также в связи с интенсификацией использования и высокой чувствительностью пассивных датчиков, которые не в состоянии отличить полезный сигнал от какого-либо принимаемого мешающего сигнала.



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



Прочсть больше [здесь](#).

Именно поэтому Всемирная метеорологическая организация и Международный союз электросвязи продлили действие своего соглашения о сотрудничестве для защиты и оптимального использования частот, необходимых для наблюдения Земли и ее атмосферы, в особенности в контексте подготовки Всемирной конференции радиосвязи 2019 года, на которой будут рассматриваться пункты повестки дня, представляющие значительный интерес для научного и метеорологического сообщества.

Это тесное сотрудничество также дало возможность обновления Справочника "Использование радиочастотного спектра в метеорологии: прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды". Справочник имеется на шести официальных языках Организации Объединенных Наций и содержит комплексную техническую информацию по использованию радиочастот метеорологическими службами.

Измерение высоты из космоса

Жан Пла

Заместитель Председателя
7-й Исследовательской комиссии
Сектора радиосвязи МСЭ



Измерение высоты из космоса представляет собой метод измерения высоты поверхности, расположенной под спутником. Радар измеряет время, необходимое для прохождения импульса от спутниковой антенны до поверхности и обратно к спутниковому приемнику.

Полученные сигналы содержат обширную информацию, такую как точные измерения океанической топографии, из которых можно извлечь точное значение высоты уровня мирового океана или более полные данные о циркуляции океанических течений.

Все эти действия позволяют произвести расположенный на борту спутника прибор под названием "активный датчик", который может обеспечивать постоянное покрытие (днем и ночью) в любых метеорологических условиях, вне зависимости от облачного покрова.

Спутники, находящиеся на околоземных орбитах, занимают прекрасные позиции для зондирования поверхности Земли (суши и океана), компонентов атмосферы Земли, а также полярных регионов.

Геостационарные спутники предоставляют возможности постоянного мониторинга одной обширной зоны, а спутники, расположенные на низкой полярной орбите, покрывают всю Землю с регулярными интервалами.

“Измерение среднего уровня моря предоставляет важные ключи к загадке глобального потепления.”

Жан Пла

Альтиметрические спутники составляют топографическую карту мирового океана для точного определения его среднего уровня, улучшения представления о ледовой обстановке и получения точных данных об уровне суши на Земле и других планетах.

Измерение среднего уровня моря предоставляет важные ключи к загадке глобального потепления.

В Таблице 1 перечислены основные миссии альтиметрических спутников в прошлом и в настоящее время.

Таблица 1. Основные характеристики миссий по космической альтиметрии в прошлом и в настоящее время

Полет	Дата запуска	Центральная частота	Орбита
GEOSAT	1985 г., эксплуатация прекращена в 1986 г.	13,5 ГГц	Гелиосинхронная полярная орбита, угол наклона 108,1°, высота 757-814 км
ERS-1 and 2	1991 г., 1995 г., эксплуатация прекращена в 2000 г. и в 2011 г., соответственно	13,8 ГГц	Гелиосинхронная полярная орбита, угол наклона 98,5°, высота 780 км
TOPEX-POSEIDON	1992 г., эксплуатация прекращена в 2005 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Негелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 66,039°, высота 1336 км, период повторения – 10 дней
JASON-1	2001 г., эксплуатация прекращена в 2013 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Негелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 66°, высота 1324 км, период повторения – 10 дней
JASON-2	2008 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Негелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 66°, высота 1336 км, период повторения – 9,9 дня
CRYOSAT-2	2010 г.	13,575 ГГц	Негелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 92°, высота 717 км
HY-2A	2011 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Гелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 99,3°, высота 971 км, период повторения – 14 дней
SARAL	2013 г.	35,75 ГГц	Гелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 98,5°, высота 800 км, период повторения – 35 дней
JASON-3	2016 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Негелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 66°, высота 1336 км, период повторения – 9,9 дня
SENTINEL-3A	2016 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Гелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 98,6°, высота 815 км, период повторения – 27 дней
SENTINEL-3B	2018 г.	13,575 и 5,3 ГГц	Гелиосинхронная круговая орбита, угол наклона 98,6°, высота 815 км, период повторения – 27 дней

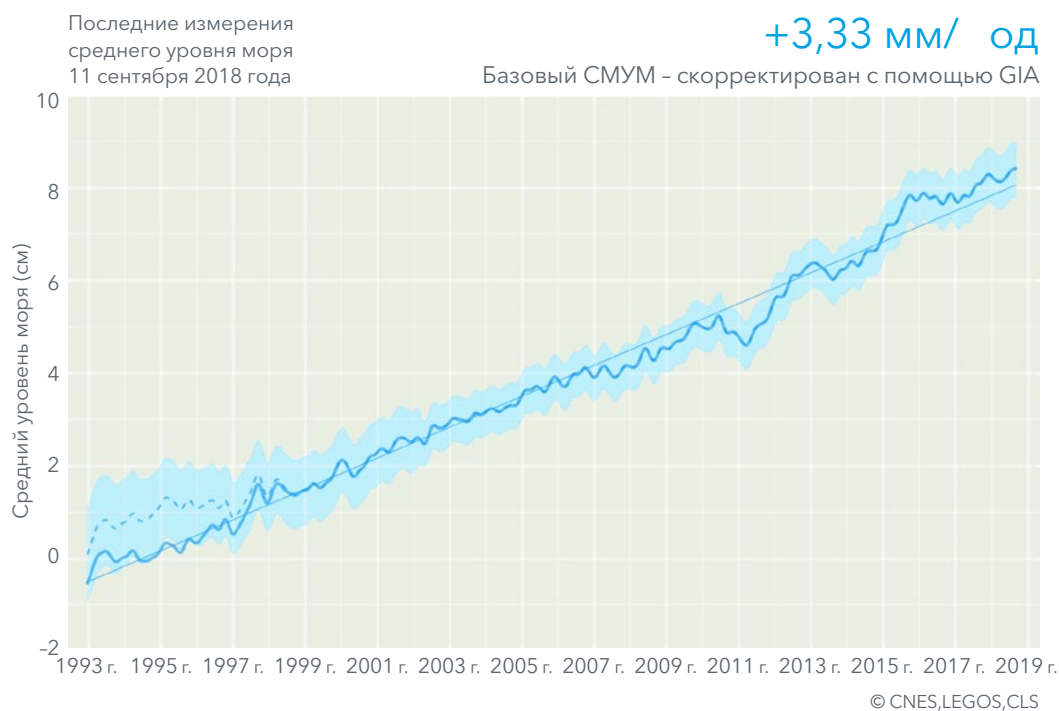
Высотомер представляет собой радар вертикального зондирования (см. прилагаемый рисунок: [принципы альтиметрии](#)), а возвращаемый спутнику сигнал очень похож на отражение от гладкой поверхности (зеркальное отражение).

Необходимы данные о точном положении спутника, вычисляемые на основе точных данных об орбите. Океанографам необходимы данные об относительной высоте поверхности моря относительно геоида.

Радиолокационный высотомер позволяет точно измерить расстояние от спутника до поверхности Земли, а также мощность и форму возвращаемых поверхностью океана, льда и суши эхо-сигналов.

Среднемировой уровень моря (СМУМ), рассчитываемый для мирового океана, является одним из важнейших показателей изменения климата: СМУМ вычисляется на основе данных, получаемых от миссий TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2 и Jason-3 с января 1993 года до наших дней. По оценкам, средние темпы роста СМУМ составляют 3,3 мм/год (см. Рисунок 1).

Рисунок 1. Среднее значение подъема уровня моря



Отныне стало возможным прогнозировать явления Эль-Ниньо

Эль-Ниньо представляет особый интерес для стран Южной Америки. Более глубокие знания океанической циркуляции позволяют нам лучше понимать и прогнозировать климат, в особенности стихийные бедствия (засуху, наводнения и циклоны), в том числе Эль-Ниньо (необычно теплая масса воды, формирующаяся у западного побережья Южной Америки и связанная с комплексными и масштабными процессами взаимодействия между атмосферой и океаном в Тихом океане).

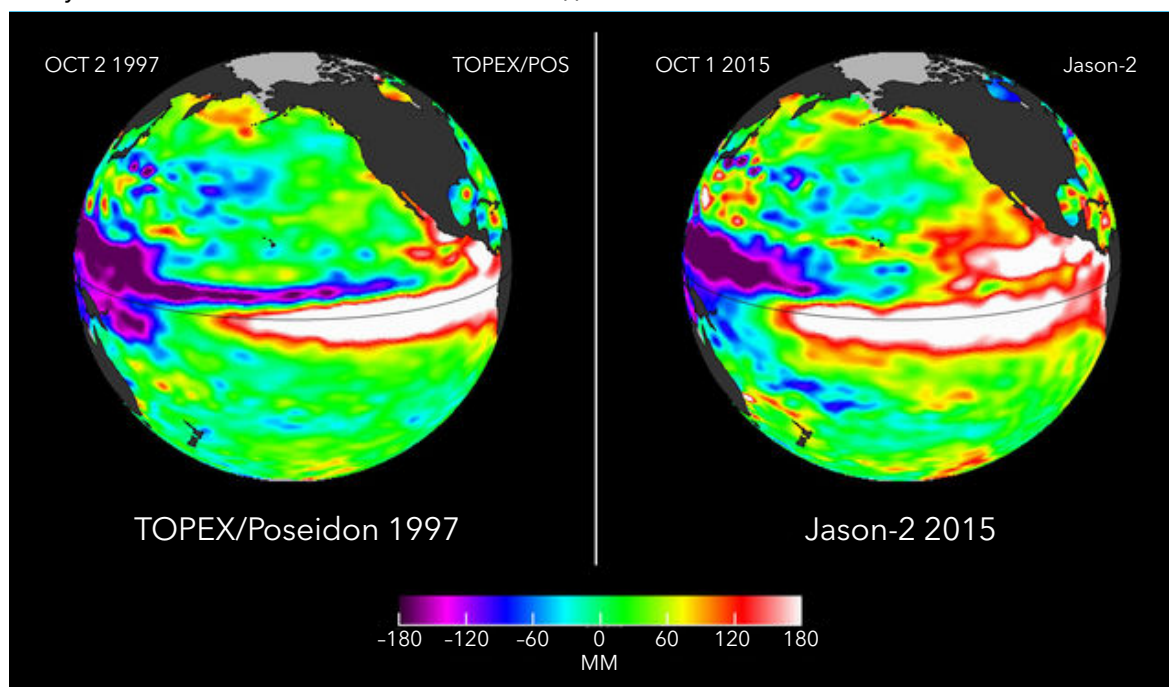
На Рисунке 2 показано, что отныне можно прогнозировать Эль-Ниньо на основе океанических данных, полученных с помощью спутника: на нем видно огромное аномальное перемещение теплых масс воды у берегов Перу в 1997 и 2015 годах.

“Отныне можно прогнозировать Эль-Ниньо на основе океанических данных, полученных с помощью спутника.”

Жан Пла

Чрезмерный подъем уровня моря, вызванный явлением Эль-Ниньо, намного превышает среднее значение подъема уровня моря. В течение 1997 года в экваториальной зоне Тихого океана наблюдалось локальное повышение уровня моря примерно на 20 см на пике этого явления (это значение доходило даже до 30 см у берегов Перу).

Рисунок 2. Явление Эль-Ниньо в 1997 и 2015 годах





26 декабря 2004 года землетрясение и цунами в Индийском океане разрушили город Банда-Ачех в Индонезии

Таблица 2. Будущие миссии по космической альтиметрии

Название полета	Цель	Орбита
CFOSAT	Измерение направления, амплитуды и длины поверхностных волн, а также скорости ветра	Гелиосинхронная, высота 520 км, угол наклона 97,4°
JASON-CS (Sentinel 6)	Составление точной топографической карты поверхности мирового океана; продолжение миссии Jason-3	Негелиосинхронная, высота 1336 км, угол наклона 66°
SWOT	Гидрология суши и океанография	Негелиосинхронная, высота 890,6 км, угол наклона 77,6°

Однако метеорологические последствия Эль Ниньо в 1997-1998 годах ощущались по всему миру и все эти аномальные явления, несомненно, отразились на среднемировом уровне моря: в 1997 году его подъем составил 15 мм.

Измерение высоты и неожиданное обнаружение цунами

Одним из необычных применений альтиметрии является обнаружение цунами. По чистому стечению обстоятельств рано утром 26 декабря 2004 года,

через несколько часов после крупного землетрясения в Индийском океане два совместных спутника NASA/CNES (Torex и Jason-1), спутник Европейского космического агентства (ESA) ENVISAT и спутник Национального управления океанских и атмосферных исследований (NOAA) GFO случайно заметили волны цунами, которые пересекали Бенгальский залив.

Космические агентства готовят новые миссии по космической альтиметрии (см. Таблицу 2).

Полосы частот для пассивного зондирования атмосферы и их выбор

Ричард Келли

Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) Министерства торговли США

Базовая информация о полосах частот для пассивного микроволнового дистанционного зондирования

Международные и национальные регуляторные организации выделили определенные участки микроволнового спектра для целей пассивного наблюдения. Пассивное дистанционное зондирование в полосах микроволнового диапазона – это основной метод, используемый для повышения точности численного прогноза погоды (ЧПП). Данный тип зондирования также важен при определении состояния снежного покрова, льда и земной поверхности.

Спутниковые датчики сканируют Землю от поверхности и выше – сквозь атмосферный столб до самого космоса. Ими сканируются все компоненты системы Земли, показанные на рисунке 1.

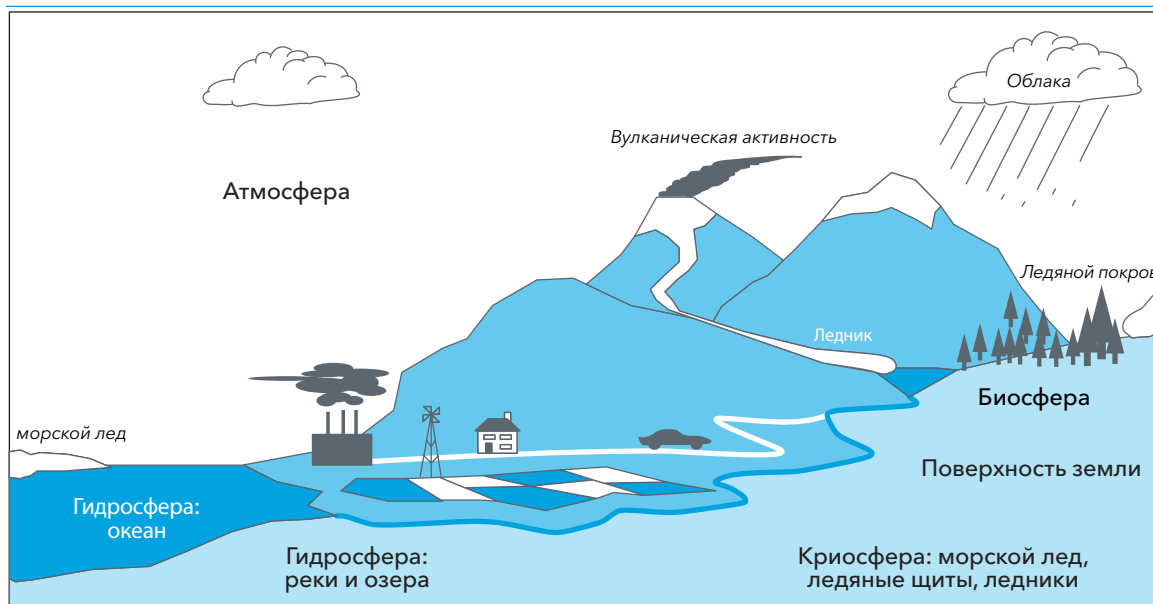
Технология пассивного микроволнового спутникового зондирования приносит пользу странам независимо от того, владеют ли они спутниками, эксплуатируют или запускают их.



“Международные и национальные регуляторные организации выделили определенные участки микроволнового спектра для целей пассивного наблюдения.”

Ричард Келли

Рисунок 1. Компоненты системы Земли, наблюдаемые с помощью пассивных датчиков



Источник: по материалам документа "Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis - The Climate System". Межправительственная группа специалистов по изменению климата (МГЭИК).

Показательный проект по прогнозированию явлений суровой погоды Всемирной метеорологической организации расширяет возможности национальных метеорологических и гидрологических служб по предоставлению улучшенных прогнозов и предупреждений о суровых погодных условиях в целях спасения жизней людей, защиты ресурсов и сохранения имущества и инфраструктуры в наименее развитых странах (НРС) и малых островных развивающихся государствах (СИДС) с использованием результатов, полученных с помощью систем пассивного микроволнового зондирования.

Выгоду получают свыше 75 развивающихся стран, в том числе страны Южной части Африки, южной части Тихого океана, Восточной Африки, Юго-Восточной Азии, Бенгальского залива (Южная Азия), Центральной Азии, Западной Африки и восточной части Карибского бассейна.

Это обеспечивается участием глобальных и региональных метеорологических центров и поддержкой доноров/партнеров.

Крайне важное значение для всего мира имеют не только прогнозы погоды, но и другая информация, получаемая методом пассивного микроволнового зондирования. Большая часть этих данных имеет первостепенное значение для долгосрочных исследований климата Земли. В таблице 1 приведены некоторые примеры важных сведений, предоставляемых системами пассивного микроволнового зондирования.

Пассивные датчики непрерывно собирают излучаемую с поверхности Земли энергию в определенных полосах радиочастот и передают данные на наземные станции. Эти данные имеют крайне важное значение для органов государственной власти, предоставляя им ценную информацию, необходимую для защиты жизни и имущества людей.

Таблица 1. Примеры результатов дистанционного зондирования

1	Определение влажности почвы с помощью активных и пассивных датчиков из космоса
2	Обнаружение разливов нефти для спасения морской флоры и фауны и защиты окружающей среды
3	Обнаружение лесных насаждений и подсчет их площади для оценки запасов леса
4	Измерение скорости и направления ветра для ветровых электростанций, прогнозирования погоды и серферов
5	Прогнозирование погоды для предупреждения о стихийных бедствиях
6	Выявление растительного покрова/типов землепользования для принятия решений
7	Наблюдение за океанскими течениями и их циркуляцией
8	Изучение таяния ледников и его влияния на уровень моря
9	Отслеживание угроз для ускорения реагирования и восстановления. Интеграция данных наблюдения Земли и географических информационных систем (ГИС) в опасных ситуациях стала одним из основных инструментов управления операциями при стихийных бедствиях
10	Предотвращение деградации и исчезновения водно-болотных экосистем
11	Сравнение климатических факторов в прошлом и в настоящем
12	Подача ранних предупреждающих сигналов об угрозе голода на обширных территориях

Источник: *WMO Severe Weather Forecasting Demonstration Project (SWFDP)*.

Полосы частоты для пассивного зондирования нельзя переместить в другие диапазоны

Полосы для пассивного зондирования обусловлены фундаментальными свойствами Земли и ее атмосферы. Никакими техническими и финансовыми средствами эти свойства изменить нельзя.

Пассивные датчики могут определять вертикальное изменение и горизонтальное распределение температуры и влажности в атмосфере – двух ключевых переменных состояния атмосферы. Состояние планеты определяет и ряд других физических параметров, таких как лед, жидкая вода и состояние моря. В таблице 2 указана связь между полосами частот и этими параметрами.

Пассивные датчики, работающие в различных полосах частот

Обычно непрозрачность атмосферы мала на низких частотах и возрастает с частотой, в основном из-за поглощения водяного пара и увеличения поглощения и рассеяния облаками и осадками. Кроме того, в некоторых полосах наблюдается значительно более сильное поглощение, вызванное различными атмосферными газами, например кислородом (на частотах около 60 ГГц) и водяным паром (на частотах около 183 ГГц). Эти характерные частоты соответствуют вращательным модам молекул и определяются молекулярной физикой. Данные полосы частот для пассивного зондирования представляют собой защищенный [от помех] естественный ресурс.

На частотах ниже 10 ГГц атмосфера почти полностью прозрачна даже при наличии облаков. Это позволяет непосредственно зондировать поверхность планеты с помощью датчиков, работающих на частотах ниже 10 ГГц.

Таблица 2. Полосы для пассивного зондирования, выбранные для мониторинга компонентов системы Земли в диапазоне ниже 275 ГГц

Полоса частот (ГГц)	Физические параметры
1,37–1,427	Влажность почвы, соленость океана, температура поверхности моря, вегетационный индекс
2,64–2,7	Соленость океана, влажность почвы, вегетационный индекс
4,2–4,4	Температура поверхности моря
6,425–7,25	Температура поверхности моря
10,6–10,7	Интенсивность дождя, содержание воды в снеге, морфология льда, состояние моря, скорость океанского ветра
15,2–15,4	Водяной пар, интенсивность дождя
18,6–18,8	Интенсивность дождя, состояние моря, морской лед, водяной пар, скорость океанского ветра, коэффициент излучения и влажность почвы
21,2–21,4	Водяной пар, жидкая вода
22,21–22,5	Водяной пар, жидкая вода
23,6–24	Водяной пар, жидкая вода, соответствующие каналы атмосферного зондирования
31,3–31,8	Морской лед, водяной пар, разливы нефти, облака, жидкая вода, температура поверхности, эталонное окно для диапазона 50–60 ГГц
36–37	Интенсивность дождя, снег, морской лед, облака
50,2–50,4	Эталонное окно для создания профилей атмосферных температур (температура поверхности)
52,6–59,3	Создание профилей атмосферных температур (линии поглощения O ₂)
86–92	Облака, разливы нефти, лед, снег, дождь, эталонное окно для температурного зондирования на частотах около 118 ГГц
100–102	N ₂ O, NO
109,5–111,8	O ₃
114,25–116	CO
115,25–122,25	Создание профилей атмосферных температур (линия поглощения O ₂)
148,5–151,5	N ₂ O, температура поверхности Земли, параметры облаков, эталонное окно для температурного зондирования
155,5–158,5	Параметры Земли и облаков
164–167	N ₂ O, облачные вода и лед, дождь, CO, ClO
174,8–191,8	N ₂ O, создание профилей водяного пара, O ₃
200–209	N ₂ O, ClO, водяной пар, O ₃
226–231,5	Облака, влажность, N ₂ O (226,09 ГГц), CO (230,54 ГГц), O ₃ (231,28 ГГц), эталонное окно
235–238	O ₃
250–252	N ₂ O

Источник: [Рекомендация МСЭ-R RS.515](#) "Полосы частот и ширина полос частот, используемые для спутникового пассивного дистанционного зондирования".

На частоте 10 ГГц облака и водяной пар остаются в основном прозрачными, но сильный дождь вызывает затухание, что дает уникальную информацию об осадках (другие методы являются косвенными).

На частоте 18 ГГц в силу диэлектрических свойств морской воды энергия, собираемая пассивными датчиками, практически не зависит от температуры поверхности моря, но вызванные ветром пульсации и волны изменяют его коэффициент излучения, так что можно получать информацию о ветрах.

В диапазоне 22–24 ГГц находится слабая линия поглощения воды, и путем измерения этой линии можно определить общее количество водяного пара в атмосферном столбе. Полоса 24 ГГц очень чувствительна к суммарному количеству водяного пара в атмосферном столбе и малочувствительна к жидкой воде облаков.

На частоте 31 ГГц затухание в жидкой воде позволяет определить содержание жидкой воды в облаках.

Полосу 24 ГГц называют каналом водяного пара, а полосу 31 ГГц – каналом облаков, однако фактически потеря данных одного из этих каналов уменьшает ценность обоих.

На частотах от 50 до 60 ГГц кислород поглощает энергию в нескольких отдельных узких полосах (линиях). Пассивные датчики, работающие в этих диапазонах, предоставляют информацию о вертикальном профиле температуры, показывая, как температура атмосферы изменяется на разных высотах (вертикальный профиль температуры).

“Эти данные используются для создания таких предназначенных для информирования мирового сообщества продуктов, как экологические предупреждения и оповещения о стихийных бедствиях и долгосрочные исследования климата Земли.”

Ричард Келли

Для получения информации о вертикальном профиле необходимо большое количество каналов в этом комплексе спектральных линий поглощения кислорода.

В диапазоне частот выше 60 ГГц находится самая важная спектральная линия водяного пара – на частоте 183 ГГц. Эта линия последовательно дискретизируется все дальше от центральной частоты для получения информации профиля. На частоте 183 ГГц влияние облаков еще сильнее, чем на частоте 50 ГГц, поэтому необходимы дополнительные каналы для получения информации об облаках, в частности в полосах 89 ГГц, 150 ГГц и 229 ГГц.

Имеется также важная линия поглощения кислорода 118 ГГц. Короткая длина волны позволяет узкополосным датчикам обнаруживать мелкие детали экстремальных погодных явлений, таких как ураганы/тайфуны.

Глобальная польза спутников для исследования окружающей среды

Более 100 национальных и международных организаций вкладывают средства в запуск спутников для исследования окружающей среды, которые позволяют получать данные спутникового пассивного зондирования многим другим. Эти данные используются для создания таких предназначенных для информирования мирового сообщества продуктов, как экологические предупреждения и оповещения, оповещения о стихийных бедствиях и долгосрочные исследования климата Земли.

Самым активным пользователем данных пассивного микроволнового зондирования является мировое метеорологическое сообщество. Компьютерные модели погоды используют данные пассивных датчиков и других источников для создания продуктов ЧПП. Поскольку атмосфера меняется каждую секунду, "скоропортящиеся" данные пассивного зондирования быстро загружаются и передаются в центры ЧПП, где они используются в тех или иных моделях. Эти компьютерные прогнозы охватывают географические области разного масштаба — от земного шара в целом до небольших районов. Прогнозы ЧПП передаются в те страны, которые еще не имеют таких возможностей.

Резюме

Государства всего мира вкладывают значительные средства в организацию спутникового исследования окружающей среды и связанные с ним системы инфраструктуры. Использование особых частот пассивными датчиками имеет первостепенное значение для изучения Земли и ее атмосферы и позволяет принимать важные решения на основе наблюдаемых явлений.

Физические измерения окружающей среды нашей планеты могут осуществляться только с использованием известного набора полос частот для пассивного зондирования.



NOAA

Мониторинг погоды и климата из космоса безальтернативен для современного глобального общества

Маркус Дрейс

Специалист по управлению использованием частот, [EBMETCAT](#)



Наше общество становится все более чувствительным к погодным условиям и менее терпимым к неточным метеорологическим наблюдениям, прогнозам и предупреждениям. Ввиду этого органы государственной власти и отдельные отрасли требуют постоянного повышения качества прогнозов погоды и предупреждений, чтобы управлять растущими рисками, связанными с влиянием суровых погодных условий (наводнений, засухи, лесных пожаров, загрязнения окружающей среды и т. д.). Обществу также требуется больше и более достоверной информации о погоде в режиме реального времени для решения экономических задач и задач обеспечения безопасности и даже для личных целей. Поэтому национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) во всем мире используют наблюдения Европейской организации по эксплуатации метеорологических спутников ([EBMETCAT](#)), которые способствуют выполнению указанных требований.

Прогнозы погоды также способствуют экономическому росту, поскольку во многих областях современной жизни, например на транспорте, в энергетике, в сельском хозяйстве, в сфере туризма, продовольственной сфере, строительстве и т. д., высокоразвитая экономика чрезвычайно чувствительна к погодным условиям. Следовательно, социально-экономические выгоды от прогнозов и их постоянного улучшения пропорциональны ВВП страны или региона.

“В нашем обществе, все больше зависящем от погоды, данные метеорологических спутников приобрели жизненно важное значение для кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования погоды национальными метеорологическими службами.”

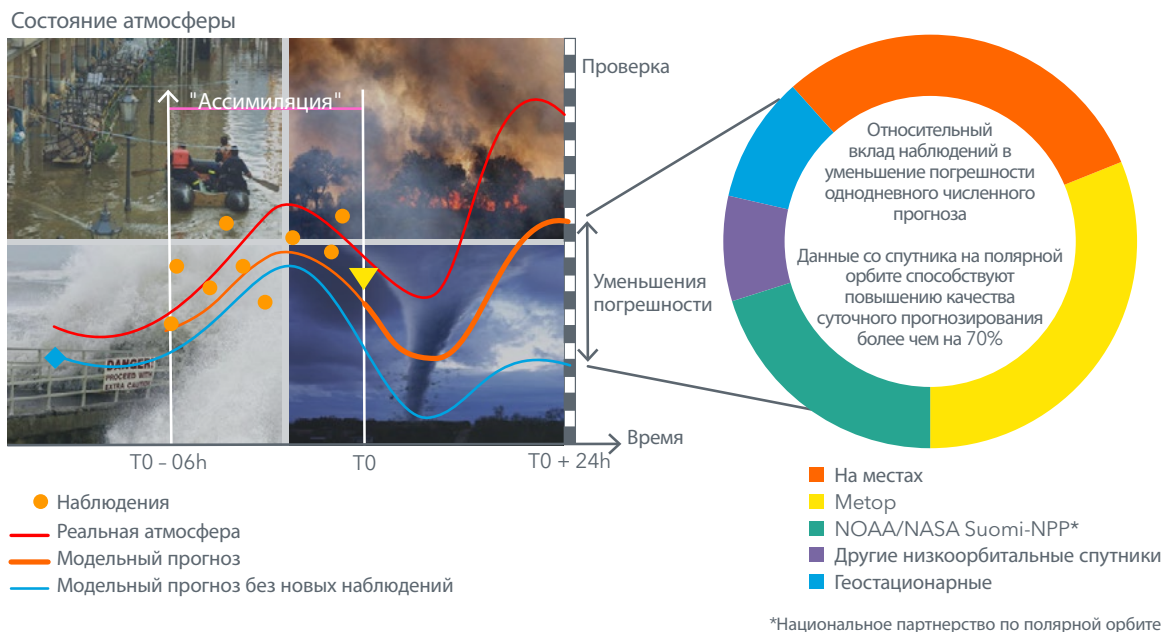
Маркус Дрейс

Для современного прогнозирования погоды требуются наблюдения из космоса

В историческом плане спутниковые наблюдения за погодой и климатом – еще совсем новое явление. Всего лишь 20 лет назад их влияние на системы численного прогноза погоды (ЧПП) было весьма незначительным.

В то время большая часть данных поступала от служб измерения на местах. За последние 20 лет ситуация существенно изменилась, и спутниковые наблюдения стали важнейшим элементом ЧПП. Сегодня прогнозы погоды в значительной степени зависят от спутниковых наблюдений, которые повысили качество однодневных прогнозов (за счет уменьшения числа ошибок) более чем на 70% (рисунок 1).

Рисунок 1. Повышение качества прогнозирования за счет метеорологических спутников



На рисунке 2 показан вклад метеорологических спутников в прогнозирование, без которого происходили бы потери ценного времени в процессе подготовки к опасным погодным явлениям, способным вызвать разрушительные последствия.

Повышение качества наблюдения Земли из космоса

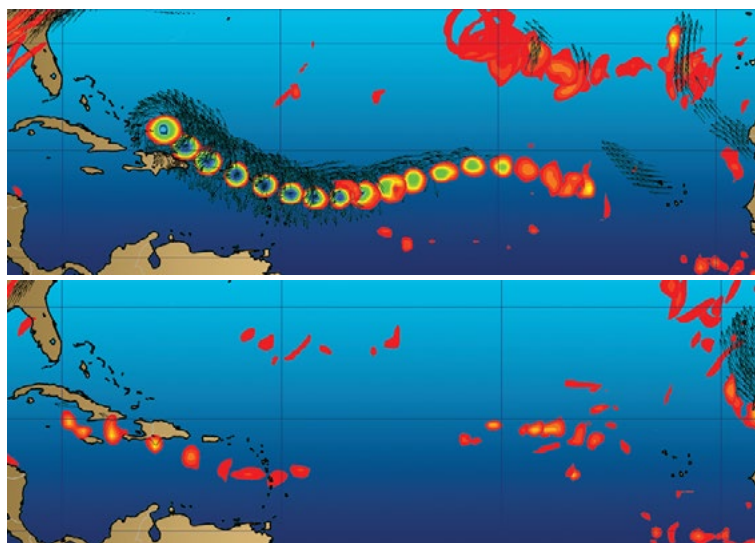
Ввиду сохранения этой тенденции спутниковые данные должны будут соответствовать требованиям инновационных моделей численного прогноза погоды с очень высоким разрешением, которые будут все шире использоваться НМГС для составления краткосрочных прогнозов в сочетании с наблюдениями в режиме реального времени.

Рисунок 2. Вклад метеорологических спутников в прогнозирование. Пример: ураган "Ирма"

(Пример: первая Объединенная полярная система (IJPS) Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) Министерства торговли США и спутники на полярной орбите EUMETSAT)

Начальные условия, определенные в значительной мере с помощью спутниковых наблюдений (вверху справа, обозначены красным), сыграли важную роль для прогнозирования ЕЦСПП процесса развития и траектории движения урагана "Ирма" за четыре дня до начала.

Без спутниковых наблюдений в модели не был бы учтен первоначальный этап развития урагана "Ирма".



Поэтому от организаций, эксплуатирующих системы метеорологических спутников, таких как EUMETSAT (Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников), ожидают дальнейшего повышения качества наблюдений из космоса с точки зрения своевременности, разрешения и объема данных.

Для обеспечения этих систем прогнозирования данными EUMETSAT, как и другие операторы метеорологических спутников, располагает группировкой спутников на геостационарной орбите и на негеостационарных низких околоземных орбитах со специализированными и дополнительными приборами на борту (рисунок 3). На основе данных, предоставляемых этими спутниками, налажена регулярная, точная и своевременная передача краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды, качества воздуха и состояния океана и криосферы в региональном и глобальном масштабах. Это достигается за счет наличия "бесшовного" каталога глобальных, региональных и локальных продуктов наблюдения за атмосферой, океаном, льдом и сушей, включая снежный покров.

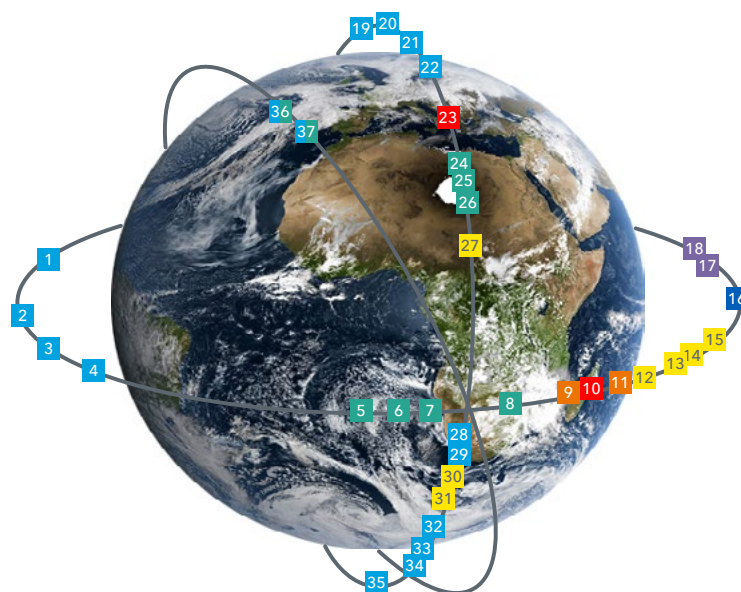
Составление записей климатических данных за самый долгий период наблюдений

Помимо постоянного обеспечения прогнозов погоды, метеорологические спутники накапливают самые продолжительные записи климатических данных, полученных из космоса более чем за 35 лет спутниковых метеонаблюдений. Из космоса производятся глобальные наблюдения за важными климатическими параметрами (ВКП) атмосферы, океана, криосферы и поверхности суши. Эти записи климатических данных создаются и регулярно обновляются с использованием данных, получаемых от операторов метеорологических спутников, таких как EUMETSAT. Полученные записи климатических данных служат исходными данными для климатического информационного обслуживания в рамках Всемирной метеорологической организации (ВМО) и используются в инициативах по изменению климата.

Метеорологические спутники составляют космический компонент Глобальной системы наблюдений ВМО

Глобальная сеть метеорологических спутников на геостационарной орбите и на негеостационарных низких околоземных орбитах составляет космический компонент Глобальной системы наблюдений (ГСН) ВМО (рисунок 3).

Рисунок 3. Действующие метеорологические спутники



Геостационарные метеорологические спутники

- 1 GOES-15 (США) 135°W
- 2 GOES-14 (США) 105°W (резервный)
- 3 GOES-17 (США) 89.5°W (резервный)
- 4 GOES-16 (США) 75.2°W
- 5 METEOSAT-11 (EUMETSAT) 0°
- 6 METEOSAT-9 (EUMETSAT) 3.5°E (резервный)
- 7 METEOSAT-10 (EUMETSAT) 9.5°E
- 8 METEOSAT-8 (EUMETSAT) 41.5°E
- 9 INSAT-3DR (ИНДИЯ) 74°E
- 10 ELECTRO-L N2 (РОССИЯ) 76°E
- 11 INSAT-3D (ИНДИЯ) 82°E
- 12 FY-2E (КИТАЙ) 86.5°E
- 13 FY-2G (КИТАЙ) 105°E
- 14 FY-4A (КИТАЙ) 105°E
- 15 FY-2F (КИТАЙ) 112°E (резервный)
- 16 COMS (ЮЖНАЯ КОРЕЯ) 128.2°E
- 17 HIMAWARI-8 (ЯПОНИЯ) 140.68°E
- 18 HIMAWARI-9 (ЯПОНИЯ) 140.73°E (резервный)

Негеостационарные метеорологические спутники

- 19 DMSP-F17 (США) ECT 06:20 нисходящий
- 20 NOAA-15 (США) ECT 06:30 нисходящий
- 21 DMSP-F18 (США) ECT 07:08 нисходящий
- 22 NOAA-18 (США) ECT 07:40 нисходящий
- 23 METEOR-M N2 (RUSSIA) ECT 09:30 восходящий
- 24 METOP-A (EUMETSAT) ECT 09:30 нисходящий
- 25 METOP-B (EUMETSAT) ECT 09:30 нисходящий
- 26 METOP-C (EUMETSAT) ECT 09:30 нисходящий
- 27 FY-3C (CHINA) ECT 10:15 нисходящий
- 28 NOAA-20 (США) ECT 13:25 восходящий
- 29 SNPP (США) ECT 13:25 восходящий
- 30 FY-3B (CHINA) ECT 13:38 восходящий
- 31 FY-3D (CHINA) ECT 14:00 восходящий
- 32 DMSP-F15 (США) ECT 14:50 восходящий
- 33 NOAA-19 (США) ECT 15:44 восходящий
- 34 DMSP-F16 (США) ECT 15:50 восходящий
- 35 DMSP-F14 (США) ECT 17:00 восходящий
- 36 JASON-2 (США, ЕВРОПА) 66° inclination
- 37 JASON-3 (США, ЕВРОПА) 66° inclination

(По состоянию на октябрь 2018 года, источник информации: КГМС)

Обеспечение постоянного наличия данных из космоса

В целях обеспечения постоянного наличия данных метеорологических наблюдений из космоса на глобальной основе операторы метеорологических спутников сотрудничают в деле создания глобальной сети таких спутников. Для того чтобы гарантировать необходимую непрерывность поступления метеорологических и климатических данных в течение десятилетий, действующие метеорологические спутники должны заменяться новыми спутниками той же серии или спутниками следующего поколения с расширенными возможностями наблюдения и повышенным разрешением (при сохранении непрерывности наблюдений). В спутниках нового поколения применяются новейшие приборы, обладающие все большим числом измерительных каналов и повышенной чувствительностью и точностью, необходимыми для удовлетворения требований сообщества пользователей метеорологических данных. Для того чтобы оптимизировать выгоды от этих совместных/скоординированных усилий при ограниченном числе операторов метеорологических спутников, требуются целенаправленные инвестиции в глобальную инфраструктуру как в космосе, так и на Земле.

Метеорологические спутники оснащаются формирователями изображения и приборами для зондирования в видимой и инфракрасной областях спектра. Данные, предоставляемые теми и другими приборами, используются для получения многих метеорологических параметров. Спутники на полярной орбите дополнительно оснащаются приборами для активного и пассивного микроволнового зондирования, которые предоставляют, например, вертикальные профили температуры и влажности атмосферы, информацию о распределении облачности, снежного и ледяного покровов, а также температуры поверхности океана и ветра на глобальной основе. Известно, что все эти переменные состояния атмосферы имеют важное значение для долгосрочного мониторинга изменения климата.

Кроме бортовых измерительных приборов на метеорологических спутниках устанавливаются системы сбора данных (ССД), которые собирают основные метеорологические и экологические данные для ГСН с платформ сбора данных (ПСД), расположенных по всему миру (измерения в удаленных местах или с помощью морских буев). Предоставляемая информация используется в режиме, близком к режиму реального времени, для различных экологических применений, таких как гидрология или сейсмология, а также для целей защиты населения, таких как предупреждение о надвигающемся цунами.

Метеорологические спутники и использование частот, регулируемых в рамках МСЭ

Метеорологические спутники используют и должны использовать многие радиочастоты (регулируемые [Регламентом радиосвязи МСЭ](#)) для работы самого спутника и различных приборов и для передачи полученных данных на Землю в целях дальнейшей обработки и распространения среди пользователей. Области применения этих частот:

- телеметрия, телеуправление и определение расстояния до космического аппарата;
- активное и пассивное микроволновое зондирование;
- передача данных наблюдений с метеорологических спутников на основные приемные станции;
- ретрансляция через метеорологические спутники предварительно обработанных данных на станции пользователей из метеорологического сообщества;
- прямая широкополосная передача данных с метеорологических спутников на станции пользователей из метеорологического сообщества;
- альтернативное распространение данных среди пользователей ([GEONETCast](#)) через другие спутниковые системы, отличные от систем метеорологических спутников (вне полос частот, распределенных метеорологическим спутникам (MetSat)/спутникам службы исследования Земли (ССИЗ));

- передача данных с платформ сбора данных через метеорологические спутники;
- ретрансляция сообщений при поисково-спасательных операциях ([КОСПАС-САРСАТ](#)).

Для столь широкого круга применений радиочастот требуется, чтобы ресурсы радиочастотного спектра, распределенные соответствующим службам радиосвязи в Регламенте радиосвязи, были доступны и защищены от помех в долгосрочной перспективе (в частности частоты для пассивного зондирования), и в силу их чувствительности необходимо особое признание этого в Регламенте радиосвязи.

Доступ к данным измерений с метеорологических спутников

Метеорологические спутники предоставляют данные с жестким временным режимом. Следовательно, одна из главных задач такого спутника – доставлять данные своим пользователям с минимально возможной задержкой при наивысшем уровне доступности и надежности. Для этого необходимо обеспечить пользователей высококачественными услугами передачи данных при минимальных затратах с их стороны. Такие услуги передачи данных предоставляются разными способами с использованием радиочастот. Помимо традиционных механизмов распространения данных среди пользователей непосредственно через метеорологические спутники, обработанные данные также распространяются альтернативными способами, то есть через систему [GEONETCast](#), в которой применяются самые эффективные стандарты цифрового телевизионного вещания с оптимизированным управлением доступной пропускной способностью, чтобы доставлять метеорологические и климатические данные в глобальном масштабе через обычные геостационарные спутники, работающие в диапазонах C и Ku. Эта служба позволила улучшить работу региональных служб сбора данных, обеспечив 15–30-минутную задержку с момента получения данных измерительными приборами до их передачи в сеть наземных станций.

Спутниковые данные играют все более важную роль в прогнозировании погоды

В нашем обществе, все больше зависящем от погоды, данные метеорологических спутников приобрели жизненно важное значение для кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования погоды национальными метеорологическими службами, выпуска ими своевременных предупреждений о неблагоприятных погодных условиях и предоставления другой информации, поддерживающей принятие решений в государственном и частном секторах, направленных на достижение социально-экономического благополучия.

Эксплуатация этих метеорологических спутников зависит от наличия свободных от помех радиочастотных ресурсов (предоставленных соответствующими положениями Реглаamenta радиосвязи), необходимых для управления спутниками, работы разнообразных приборов для активного и пассивного микроволнового зондирования и своевременного распространения данных непосредственно со спутников или с помощью альтернативных средств распространения данных с использованием других служб радиосвязи.

Необходимость скоординированных долгосрочных мер

Мониторинг погоды и климата – глобальные задачи. Они требуют принятия скоординированных долгосрочных мер, основанных на стратегических инвестициях в обширную инфраструктуру в космосе и на Земле, во благо общества. Для достижения этой цели также необходимо обеспечить доступность ресурсов частотного спектра, требуемых для работы метеорологических спутников и их микроволновых приборов, при отсутствии помех. Для этого требуется поддержка администраций радиосвязи во всем мире.



Активное космическое зондирование в целях изучения Земли и прогнозирования стихийных бедствий

Брайан Ханикатт

Делегат МСЭ, специалист по дистанционному зондированию, Лаборатория реактивных двигателей Калифорнийского технологического института, [НАСА](#)



Космос представляет собой идеальную точку наблюдения для изучения Земли. Для дистанционного зондирования земной поверхности, поверхности океана и атмосферы используются активные бортовые космические датчики. Они могут применяться для обнаружения и мониторинга стихийных бедствий, таких как ураганы, наводнения, пожары и оползни, и предоставляют ценную информацию для действий по реагированию и восстановлению.

Эти активные бортовые космические датчики (см. боковую вставку 1) собирают информацию, излучая радиоволны, а затем принимая отраженную (обратно рассеянную) энергию. спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (активной) для использования активными бортовыми космическими датчиками распределены 14 полос частот в диапазоне от 432 МГц до 238 ГГц. Распределение частот осуществлялось через Сектор радиосвязи МСЭ ([МСЭ-R](#)) и Всемирные конференции радиосвязи ([ВКР](#)).

“Космос представляет собой идеальную точку наблюдения для изучения Земли.”

Брайан Ханикатт

Активные

Активные датчики используют как передатчик, так и приемник. Они передают сигнал в направлении исследуемого объекта. Затем они обнаруживают и измеряют сигнал обратного рассеяния. Пассивные датчики не имеют передатчика. Они представляют собой только приемники, которые измеряют интенсивность естественного излучения (например, солнечного света), отраженного от наблюдаемого объекта.

Сектор радиосвязи МСЭ – защита полос частот от вредных помех

МСЭ-R проводит исследования в области совместного использования частот для обеспечения того, чтобы предлагаемые новые системы не создавали радиопомех в уже используемых полосах частот. Радиопомехи могут искажать сигнал обратного рассеяния активного датчика, который обычно возвращается с очень низким уровнем, едва превышающим уровень шума приемника.

Например, активной областью исследований, проводимых в рамках МСЭ-R для Всемирной конференции радиосвязи 2019 года (ВКР-19), является возможное внедрение систем беспроводного доступа, включая локальные радиосети (WAS/RLAN) (см. боковую вставку 2), в полосе частот 5350–5470 МГц, которая в настоящее время распределена на первичной основе для использования активными бортовыми космическими датчиками.

Пять основных типов активных бортовых космических датчиков

МСЭ-R изучает активные бортовые космические датчики ССИЗ (активной) следующих типов: радары с синтезированной апертурой (SAR), высотометры, рефлектотометры, радары наблюдения за осадками (PR) и радары профилирования облачности (CPR).

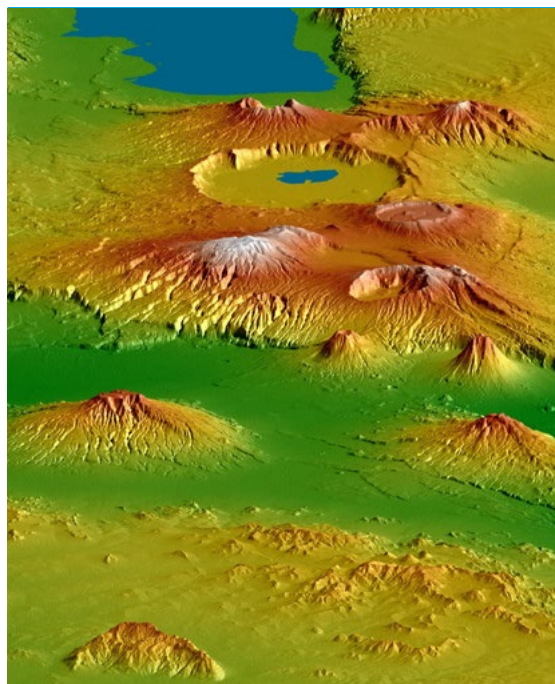
Синтезированная апертура создается путем записи сигнала обратного рассеяния вдоль траектории полета радара. Эти данные преобразуются в изображение с помощью алгоритма SAR, так что образуется виртуальная апертура, значительно превышающая длину физической антенны.

Радары с синтезированной апертурой используются для получения изображений и топографических карт

Благодаря своей способности к всепогодной круглосуточной съемке и чувствительности к мельчайшим изменениям всего в несколько сантиметров, радары с синтезированной апертурой (SAR) (см. боковую вставку 3) успешно применяются во всем мире для реагирования на стихийные бедствия, включая разливы нефти и землетрясения. Радар SAR JPL/HACA, работающий в диапазоне 5 ГГц, использовался для получения цифровых карт земного рельефа с высоким разрешением в рамках проекта Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

На рисунке 1 показано изображение вулканического нагорья вдоль Восточно-Африканского рифта в Танзании, полученное с помощью SAR SRTM в 2000 году.

Рисунок 1. Изображение вулканического нагорья в Танзании, полученное с помощью SAR в рамках проекта SRTM HACA



Пункт 1.16 повестки дня ВКР-19

Пункт 1.16 повестки дня ВКР-19 в частности касается возможного внедрения сетей WAS/RLAN в полосе частот 5350–5470 МГц. Однако в ходе проводимых в МСЭ-R исследований пока не найден эффективный метод ослабления помех для предотвращения создания сетями WAS/RLAN вредных радиопомех активным бортовым космическим датчикам.

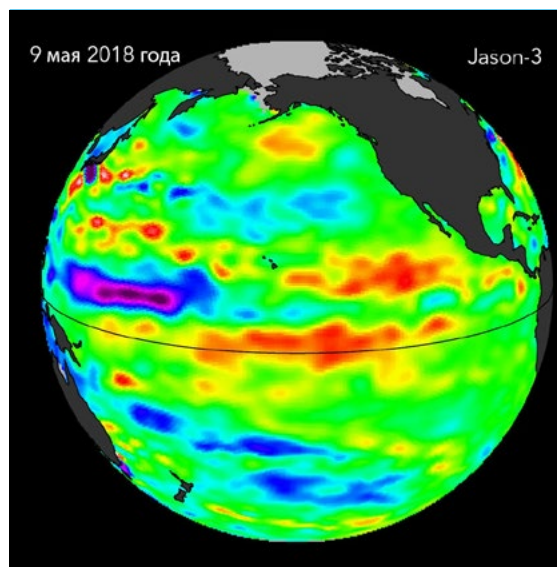
Датчики SAR, направленные по одну сторону от траектории надир (см. боковую вставку 4), собирают данные об изменении по фазе и во времени когерентного радиолокационного эхо сигнала. На основе этой информации получают радиолокационное изображение высокого разрешения или интерферометрическую топографическую карту поверхности Земли.

Высотомеры измеряют высоту над средним уровнем моря и уровень моря

Для измерения уровня моря высотомер Jason-3 использует две частоты из распределений ССИЗ (активной) – около 13,6 ГГц и 5,3 ГГц. На рисунке 2 показано изображение, полученное в мае 2018 года, когда Jason-3 двигался в восточном направлении над тропической частью Тихого океана. На экваторе видна волна Кельвина (выделенная красным цветом), которая часто предшествует возникновению Эль-Ниньо (см. боковую вставку 5). Изучив закономерности и последствия климатических циклов, таких как Эль-Ниньо, можно прогнозировать наводнения и засухи, смягчая их катастрофические последствия.

Датчики высотомера, ориентированные в направлении надир, измеряют точное время между передачей и приемом сигнала, что позволяет получать точные значения уровня моря.

Рисунок 2. Изображение уровня моря, полученное с помощью высотомера НАСА JASON 3



Надир

Надир – это точка на небесной сфере, расположенная непосредственно под данной позицией или наблюдателем. Она противоположна зениту.

Эль-Ниньо

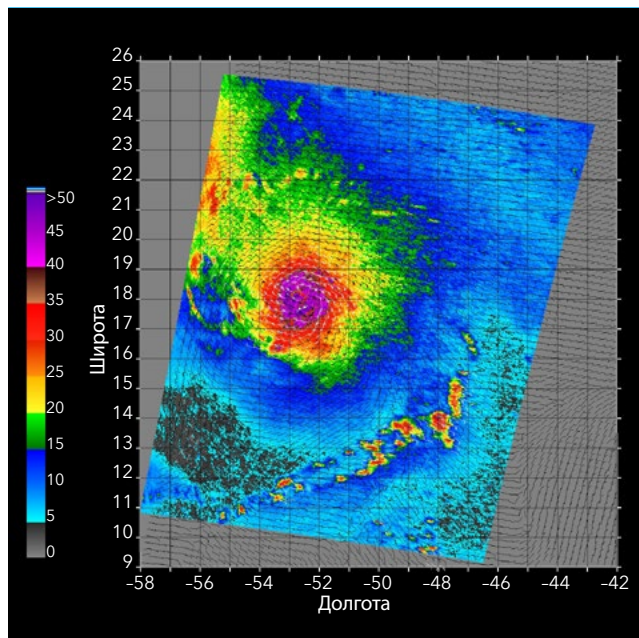
Южное колебание Эль-Ниньо (ЮКЭН) – это цикл изменения температуры поверхности моря в центральной и восточной тропических частях Тихого океана. Теплую фазу ЮКЭН называют Эль-Ниньо, а холодную – Ла-Нинья. Как Эль-Ниньо, так и Ла-Нинья вызывают глобальные изменения температуры и интенсивности осадков.

Рефлектометры измеряют скорость и направление ветра над поверхностью океана

Рефлектометр SeaWinds, работающий в диапазоне 13 ГГц и установленный на борту спутника НАСА QuikSCAT, собрал данные, которые использовались для получения изображения урагана "Фрэнсис", когда тот приближался к Кубе в сентябре 2004 года. На рисунке 3 условные цвета отражают скорость ветра у поверхности океана, а на черных шкалах указаны значения скорости и направления ветра.

Датчики рефлектометра направлены по сторонам от траектории надир под разными углами и измеряют колебания мощности отраженного сигнала в зависимости от угла наклона, что позволяет определить направление и скорость ветра над поверхностью океана.

Рисунок 3. Изображение урагана "Фрэнсис", полученное с помощью рефлектометра SeaWinds НАСА



Радары наблюдения за осадками позволяют определять интенсивность осадков в тропиках

Двухчастотный радар наблюдения за осадками (DPR) в рамках проекта Global Precipitation Measurement (GPM) использует полосы частот 13,6 ГГц и 35,5 ГГц для построения трехмерного изображения интенсивности и структуры осадков.

На рисунке 4 приведено трехмерное изображение структуры супертайфуна "Мангхут", двигавшегося в направлении Филиппин в сентябре 2018 года. Трехмерный разрез, построенный с помощью DPR GPM, отражает высоту штормовых вершин и интенсивность ливней в "глазу" тайфуна "Мангхут" и других полосах дождя.

Рисунок 4. Изображение супертайфуна "Мангхут", полученное с помощью радара наблюдения за осадками GPM НАСА

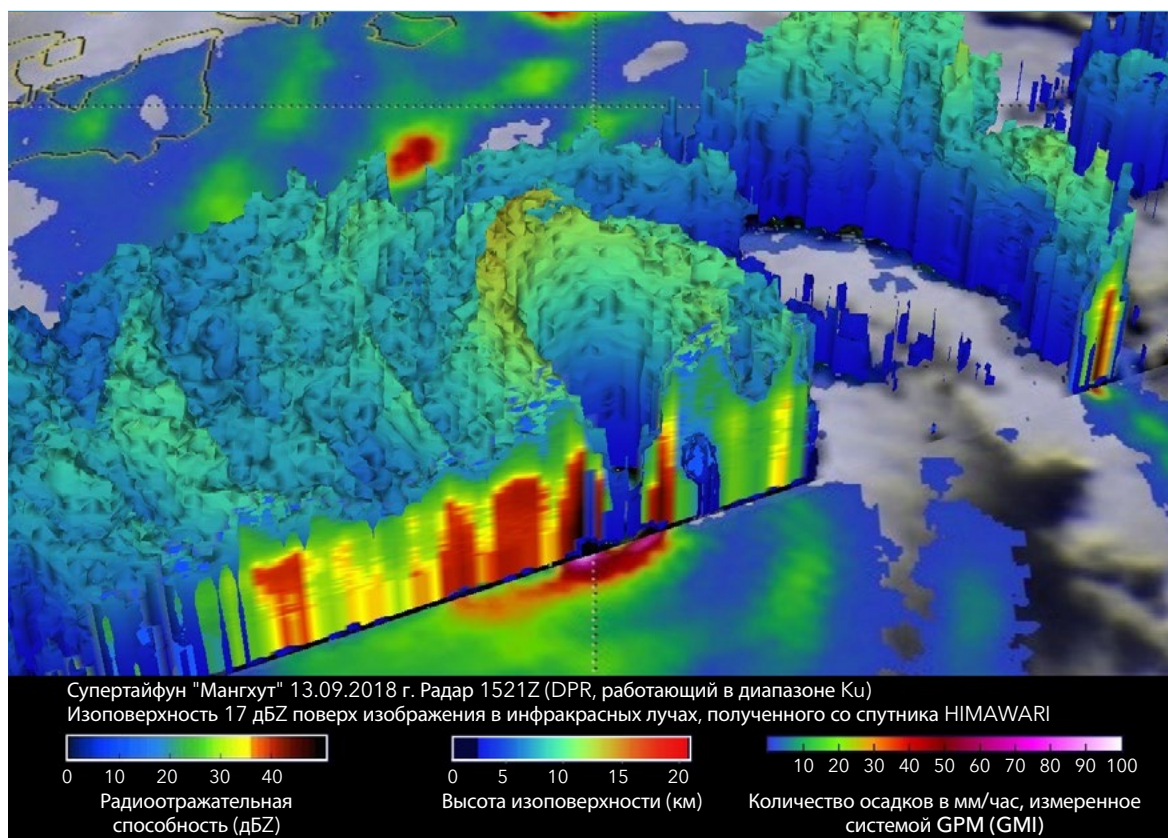
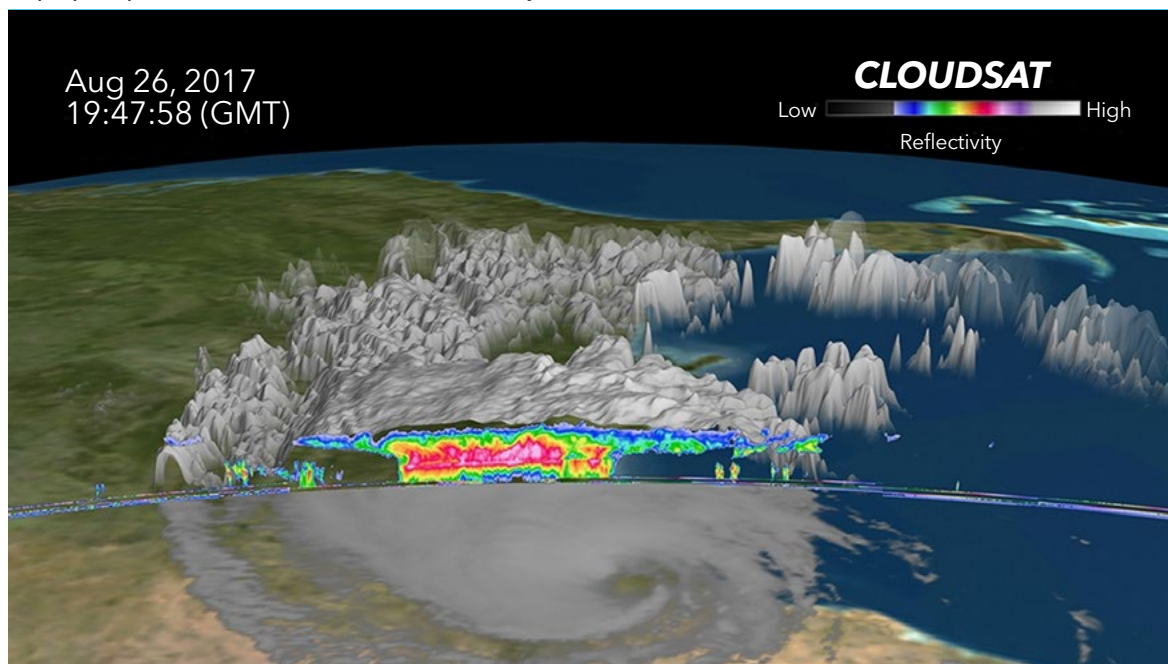


Рисунок 5. Картина тропического шторма "Харви", построенная по данным радара профилирования облачности CloudSat в августе 2017 года



Датчики радара наблюдения за осадками сканируют поверхность перпендикулярно к траектории надир, измеряя радиолокационный сигнал, отраженный от осадков, для определения интенсивности осадков на поверхности Земли, как правило, в зоне тропиков.

Радары профилирования облачности создают трехмерные профили отражательной способности облаков

На спутнике [Cloudsat JPL/NASA](#) установлен радар, работающий в диапазоне 94 ГГц, для профилирования облачности над поверхностью Земли, включая профилирование ураганов и сильных штормов. На рисунке 5 показан вертикальный профиль глубокой облачности в районе тропического шторма "Харви", построенный радаром CloudSat в августе 2017 года.

На изображении со спутника CloudSat показано в виде шторки, как выглядят облака, расположенные

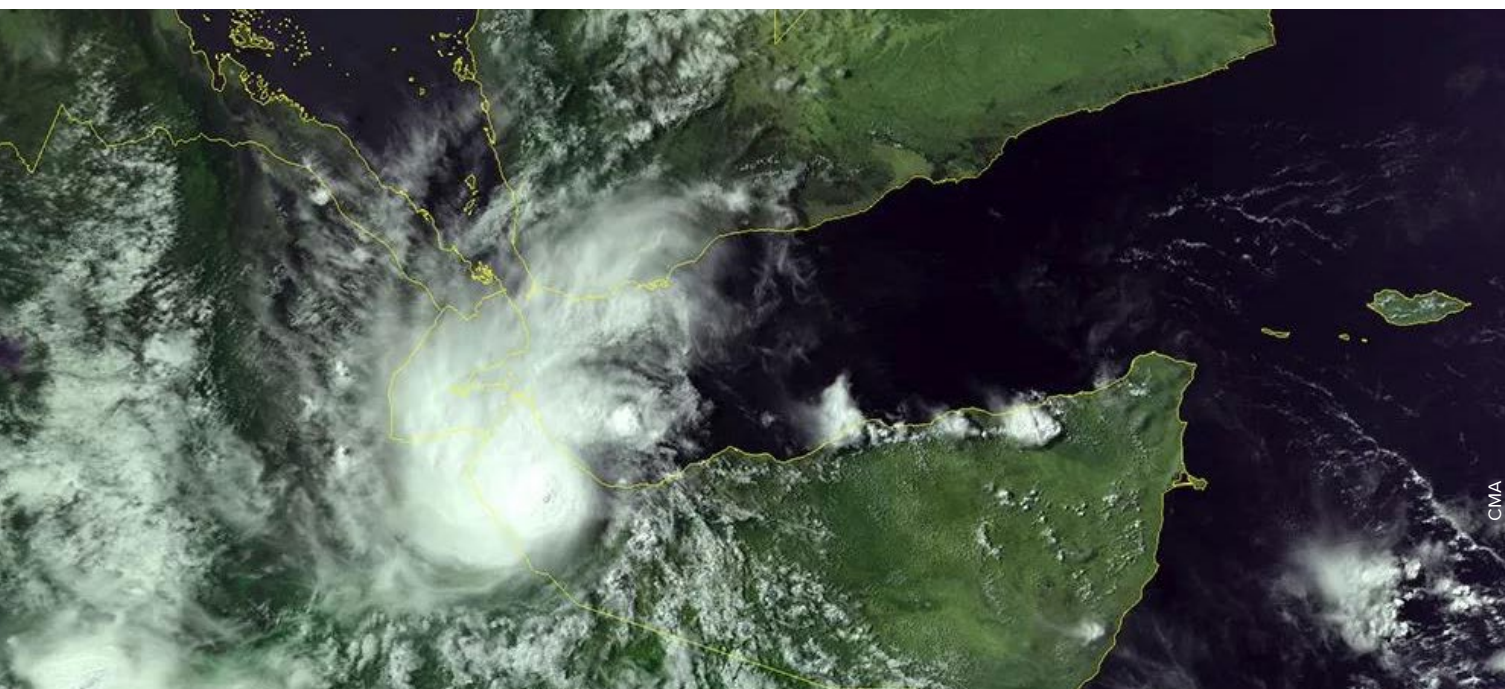
вдоль разграничительной линии на верхнем изображении, полученном со спутника Aqua NASA.

Датчики профиля облачности ориентированы в направлении надир и измеряют радиолокационный сигнал, отраженный от облаков, для построения трехмерного профиля отражательной способности облаков над поверхностью Земли.

Важность активных бортовых космических датчиков для прогнозирования стихийных бедствий и повышения качества жизни

Активные бортовые космические датчики играют важную роль в изучении нашей планеты. Эти датчики произвели революцию в области измерения и наблюдения Земли, они позволяют лучше понять Землю как целостную систему и помогут нам прогнозировать стихийные бедствия и повысить качество жизни в будущем.

Примечание. – Исследование проводилось в Лаборатории реактивных двигателей Калифорнийского технологического института по заказу Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США.



В мае 2018 года спутник FY-3В осуществлял мониторинг первого циклона "Сагар" над северной частью Индийского океана, Национальный центр спутниковой метеорологии

Использование датчиков для пассивного дистанционного зондирования в целях прогнозирования погоды

Ю Ян

Инженер, Национальный центр спутниковой метеорологии, Китайское метеорологическое управление (CMA), Китай

Системы дистанционного зондирования, которые измеряют энергию, излучаемую естественным путем в природе, называются "системы пассивного зондирования". Пассивное зондирование может использоваться только для измерения доступной природной энергии, и полосы частот для такого зондирования зависят от естественных физических характеристик. Это означает, что каждая полоса частот системы пассивного зондирования может использоваться для исследования только одной физической характеристики, например температуры или влажности.

“Для современных прогнозов погоды необходимо собрать как можно больше данных о текущем состоянии атмосферы, которые служат исходными данными для численного прогноза погоды.”

Ю Ян

Многие из этих физических характеристик служат источником ценной информации для метеорологии и океанографии, прогнозирования погоды, прогнозирования климата и мониторинга окружающей среды.

Существует три основных типа пассивных датчиков: датчики изображений, датчики зондирования атмосферы и датчики для микроволнового лимбового зондирования.

Датчики изображений

Датчики изображений собирают данные об окружающей среде с использованием многопараметрических алгоритмов для одновременного получения ряда геофизических параметров по изображениям откалиброванных многоканальных микроволновых радиометров.

Датчики зондирования атмосферы

Датчики зондирования атмосферы измеряют вертикальное распределение физических свойств атмосферы, таких как давление, температура, скорость и направление ветра, содержание жидкой воды, концентрация озона, степень загрязнения и др.

Датчики для микроволнового лимбового зондирования

Датчики для микроволнового лимбового зондирования ведут наблюдение за атмосферой в направлениях, тангенциальных по отношению к слоям атмосферы, и используются для изучения нижних и верхних слоев атмосферы, интенсивные фотохимические реакции в которых могут оказывать существенное влияние на климат Земли.

Численный прогноз – современные системы прогнозирования погоды

Используя ограниченную полосу частот системы пассивного зондирования, пассивные датчики обеспечивают способ и возможность осуществления всепогодных круглосуточных глобальных наблюдений за Землей и ее атмосферой. Данные этих наблюдений составляют наиболее важную часть данных, ассимилируемых в системе численного прогноза погоды (ЧПП) – наиболее популярного метода прогнозирования погоды.

Численный прогноз погоды позволяет прогнозировать погоду с использованием моделей атмосферы и вычислительных методов. В моделях численного прогноза погоды эти данные используются в качестве отправной точки для оценки будущего состояния атмосферы с помощью физических и гидродинамических уравнений.

Дифференциальные уравнения в частных производных, используемые в руководствах, дополнены параметризацией для учета турбулентной диффузии, излучения, процессов под действием влаги, теплообмена, почвы, растительности, поверхностных вод и кинематических эффектов местности.

Для решения сложных уравнений, определяющих, как изменяется состояние жидкости со временем, требуются суперкомпьютеры. В настоящее время прогнозирование погоды – это применение современной научно обоснованной технологии численного прогноза погоды для прогнозирования состояния атмосферы в данной местности в будущем.

Данные – важнейший элемент для численного прогноза погоды (ЧПП)

Для современных прогнозов погоды необходимо собрать как можно больше данных о текущем состоянии атмосферы, в частности о ее температуре, влажности и ветре, и использовать полученные с помощью метеорологии знания об атмосферных процессах, чтобы определить, как эти процессы будут развиваться в будущем. Таким образом данные пассивных датчиков служат исходными данными уравнений, используемых для численных прогнозов погоды; это такие данные, как атмосферное давление, температура, скорость ветра, направление ветра, влажность и осадки. Эти данные являются важнейшим элементом для современного прогнозирования погоды.

Защита полос частот для пассивного зондирования на Всемирной конференции радиосвязи

По своей конструкции пассивные датчики в известной мере аналогичны радиоастрономическим приборам, которые обнаруживают излучения чрезвычайно малой мощности. Одной из проблем для каждого прибора для пассивного зондирования являются помехи. К счастью, МСЭ уже разработал ряд рекомендаций на этот счет и на предстоящей [Всемирной конференции радиосвязи 2019](#) года рассмотрит вопрос о защите полос частот для пассивного зондирования.



“МСЭ уже разработал ряд рекомендаций... и на предстоящей Всемирной конференции радиосвязи 2019 года рассмотрит вопрос о защите полос частот для пассивного зондирования.”

Ю Ян

Защитить спектр для датчиков наблюдения Земли во благо общества

Жильберто Камара

Директор секретариата, Группа по наблюдениям за Землей (GEO)

Спутниковые данные необходимы для самых различных процессов принятия решений, имеющих целью защитить и сберечь наши окружающую среду и общества. Спутники предоставляют входные данные для численного прогноза погоды, измерения радиационного баланса Земли и истощения озонового слоя, для оценки ресурсов подземных вод, отслеживания динамики океана, а также оценки земной и морской продуктивности.

Устойчивое развитие – это долгосрочный процесс. Для оказания помощи в подготовке показателей для Целей в области устойчивого развития (ЦУР) Организации Объединенных Наций нам требуются наборы готовых для анализа данных многолетних наблюдений, полученных с использованием нескольких спутников. Наборы данных многолетних наблюдений необходимы для прогнозирования будущих тенденций, а потребность в наличии наборов готовых для анализа больших данных, полученных с помощью нескольких датчиков, обуславливает основное требование к использованию наблюдений Земли для оказания поддержки ЦУР.



“Спутниковые данные необходимы для самых различных процессов принятия решений, имеющих целью защитить и сберечь наши окружающую среду и общества.”

Жильберто Камара

Полосы радиочастот имеют решающее значение для наблюдения Земли

Радиочастота является важным вопросом для процесса наблюдения Земли, в частности, в тех случаях, когда радиочастоты крайне необходимы для наблюдения физических параметров Земли с использованием пассивных датчиков. В случае возникновения коллизии при распределении спектра между датчиками наблюдения Земли и коммерческими службами, выделенный спектр должен быть защищен, таким образом, чтобы информация, ретранслируемая с датчиков, поступала непрерывно и без искажений. Как показывает работа специалистов Группы по наблюдениям за Землей (GEO), существуют сотни примеров использования спутниковых данных, наглядно демонстрирующих то потенциальное влияние, которое непрерывно поступающие качественные данные, ставшие возможными в результате соответствующих распределений спектра, могут оказывать на цели развития и защиты окружающей среды.

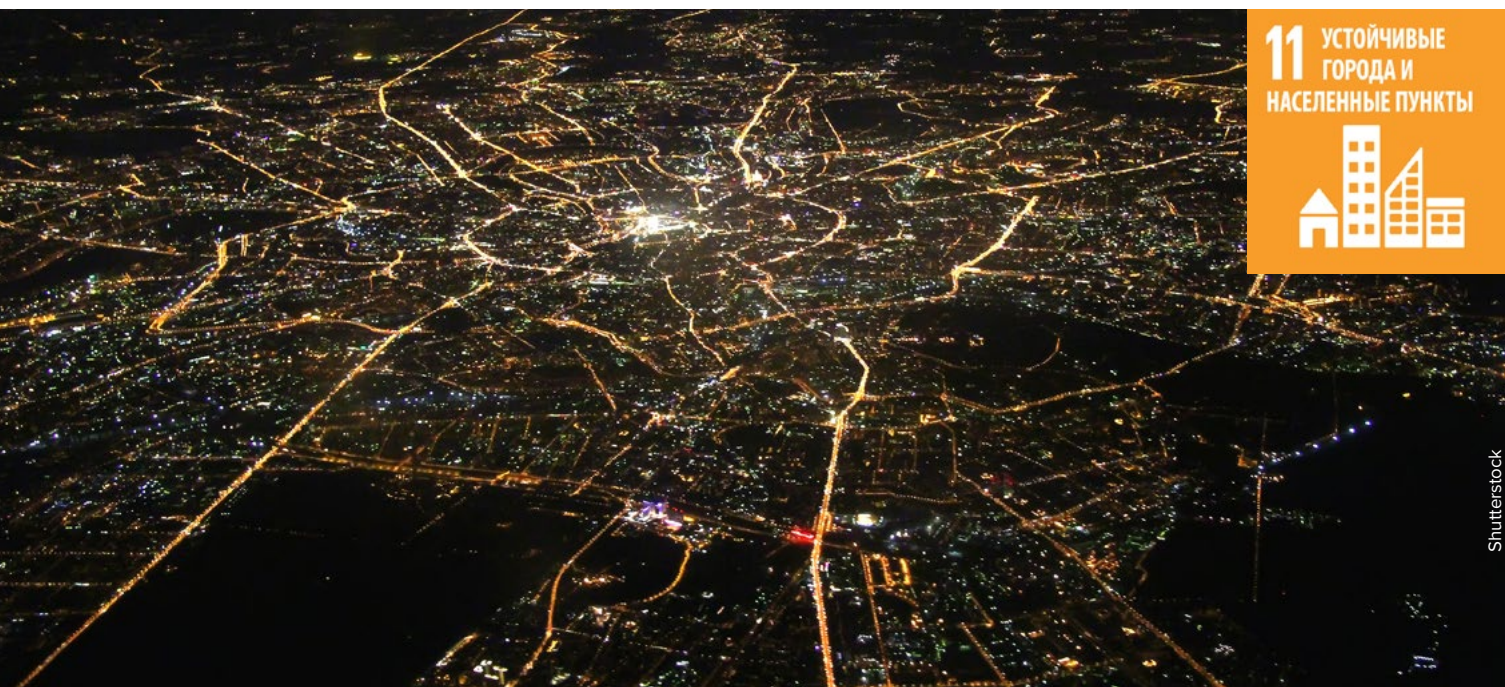
Глобальная инициатива мониторинга в сельском хозяйстве GEO (GEOGLAM) использует данные, полученные от нескольких датчиков на борту космических аппаратов, для решения проблемы продовольственной безопасности и неустойчивости цен на продовольствие. С помощью данных оптических

датчиков и радаров (MODIS, Landsat, RADARSAT-2, ALOS-2, TerraSAR) созданы карты использования земельных угодий. Сельскохозяйственная информация составляется на основе наборов ключевых данных о выпадении осадков, температуре поверхности, влажности почвы, испаряемости и сточных водах, поступающих от пассивных и активных неоптических датчиков на борту космических аппаратов (GPM, SMAP и SMOS), требующих защиты спектра.

Вклад в достижение ЦУР 6: Чистая вода и санитария

Интегрированная система анализа положения с продовольствием Международного центра по управлению рисками, связанными с водными ресурсами (ICHARM), вносит вклад в достижение ЦУР 6 (Чистая вода и санитария) и реализацию Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий путем более точного прогнозирования наводнений, используя данные о выпадении осадков (GSMaP), получаемые со спутников и наземных станций для оценки режима стока. GSMaP – это глобальная карта распределения осадков, обновляющаяся в режиме реального времени, которая создана на основе данных микроволнового радиометра, данных, полученных в диапазоне теплового ИК излучения, а также других метеорологических данных.





Shutterstock

Мониторинг роста городов – ЦУР 11: Устойчивые города и населенные пункты

Глобальный слой человеческих поселений (GHSL), продукт инициативы GEO "Планета людей", позволяет лицам, отвечающим за принятие решений, осуществлять мониторинг роста городов в соответствии с ЦУР 11 (Устойчивые города и населенные пункты), предоставляя глобальную пространственную информацию о человеческих поселениях в динамике по времени, в том числе о застроенных территориях, плотности населения и картах поселения. Эта информация поступает от радиолокационных датчиков (Sentinel-1, Envisat) и оптических датчиков (Landsat и Sentinel-2). Радиолокационные датчики осуществляют всепогодный мониторинг, что позволяет производить более точный анализ ситуации в тропических и других районах, где повышенная облачность затрудняет работу оптических датчиков.

Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК) устанавливает наборы данных в отношении важнейших климатических переменных (ECV), содержащих эмпирические доказательства, необходимые для понимания и прогнозирования изменения климата, руководства мерами по смягчению последствий изменения климата и адаптации к нему, оценки рисков и обеспечения возможности установления истинных причин климатических явлений, а также поддержки услуг в области климата.

Они необходимы для продолжения работы в рамках Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН) и Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В настоящее время более половины из 55 данных ECV являются в основном результатом спутникового наблюдения.

Важность защиты данных наблюдения Земли

Специалисты GEO используют лишь очень немногие из большого числа применений наблюдения Земли с помощью дистанционного зондирования. Поскольку эти данные являются чрезвычайно ценным общественным ресурсом, то их защита должна стать одной из ключевых задач органов управления. Возможные коллизии между требуемым спектром для наблюдений Земли и запросами от коммерческих служб и других пользователей должны разрешаться таким образом, чтобы обеспечить непрерывные потоки надежных данных для исследователей и лиц, ответственных за принятие решений, чтобы содействовать проведению более эффективной политики в интересах общего блага.



Проблема радиопомех для пассивного зондирования в глобальном масштабе

Йозеф Ашбахер

Директор программ наблюдения Земли,
Европейское космическое агентство (ESA)

В данной статье рассматривается вопрос о том, какое воздействие на пассивное микроволновое дистанционное зондирование и, следовательно, на важные системы наблюдения Земли, которые зависят от этих измерений, могут оказать помехи, создаваемые другими радиочастотными службами. В ней также рассматривается вопрос о важности наличия соответствующих положений в Регламенте радиосвязи (PP) для предотвращения вредных помех. Другие статьи этого выпуска журнала "Новости МСЭ" посвящены значению спектра, роли наблюдения Земли, специфике пассивного дистанционного зондирования и международному характеру этой службы.

Пассивные датчики используют ограниченное количество полос, определенных в PP в соответствии с характером излучений земной поверхности, атмосферы или океана, в широком диапазоне частот от ~1 ГГц до ~1 ТГц. Они измеряют естественное фоновое радиационное излучение, поэтому любой искусственный сигнал (например, сигнал радиосвязи, сигнал радиолокатора), уровень которого превышает этот естественный фон, вероятно, будет мешать таким измерениям. Такие помехи могут считаться допустимыми, только если их энергия значительно ниже чувствительности датчика.

Учитывая крайне низкие уровни естественных излучений, даже очень слабые радиочастотные помехи могут ухудшить качество показаний пассивных датчиков.



“В повестке дня ВКР-19 имеется четыре пункта, касающиеся возможных нежелательных излучений в полосах пассивного зондирования.”

Йозеф Ашбахер

Потребности рынка ведут к росту числа коммерческих систем и соответственно их потребностей в спектре, охватывающем не только и без того уже перегруженные диапазоны радиочастотного спектра, но и более высокие частоты. Эта ситуация становится серьезной проблемой для обеспечения защиты критически важных систем наблюдения Земли.

Экономические и социальные последствия вредных помех для пассивного дистанционного зондирования

Для решения оперативных и исследовательских задач науки о Земле требуется проведение измерений в разных районах мира в ряде полос частот, распределенных спутниковой службе наблюдения Земли – ССИЗ (пассивной). Измерения в полосах для пассивного микроволнового зондирования также стали ключевым источником данных для численного прогноза погоды (ЧПП) и имеют важнейшее значение для иных областей применения, таких как мониторинг и прогнозирование климата, гидрология, управление земельными и сельскохозяйственными ресурсами, прогнозирование стихийных бедствий (наводнений, землетрясений, вулканической активности и т. д.) и ликвидация их последствий, а также для многих других областей, представляющих общественный и частный интерес. Несколько полос ССИЗ (пассивной) представляют исключительную ценность для действующих систем. В случае потери данных наблюдений в полосах пассивного зондирования из-за помех, создаваемых искусственными источниками, не существует каких-либо альтернативных полос или методов, которые могли бы быть использованы взамен. Следовательно, искажение результатов измерений из-за помех повлияет на работу систем предупреждения, основанных на стратегических системах численного прогноза.

Это ограничит существующие и новые возможности, что приведет к потере государственных инвестиций и инвестиций космических агентств и коммерческих организаций.

Особые потребности систем пассивного дистанционного зондирования

Если уровень радиопомех значительно превышает вероятный уровень естественных излучений, то будут обнаруживаться лишь помехи, а результаты измерений потеряются. Это создаст пробелы в покрытии датчиков, ограничив возможность понимания изучаемых сложных глобальных явлений, а также любых локальных событий. Если же уровень помех не столь высок, а полученные результаты правдоподобны, то помехи могут остаться незамеченными, и в этом случае искаженные сигналы будут приниматься за достоверные данные. Анализ, основанный на таких искаженных данных, окажется в значительной мере ошибочным.

Большинство пассивных датчиков не способно отличить естественное излучение от искусственного, и ошибки в данных невозможно обнаружить и/или исправить. Например, в области метеорологии (краткосрочное и среднесрочное прогнозирование погоды) такие ошибки приведут к снижению показателя качества, связанного с этими спутниковыми измерениями, что станет шагом назад в истории чрезвычайно успешного развития спутниковой метеорологии. Следовательно, сохранение целостности данных зависит от предотвращения вредных помех, создаваемых искусственными источниками, путем определения, применения и обеспечения соблюдения соответствующих положений в Регламенте радиосвязи.

Защита пассивного дистанционного зондирования в Регламенте радиосвязи

В середине 90-х годов были утверждены первые [Рекомендации](#) (технические стандарты) Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-R), касающиеся критериев защиты космических датчиков от помех. Поскольку наземные системы работали в низкочастотных диапазонах, вопросу о том, как должны функционировать активные службы, чтобы избежать превышения критериев защиты и создания вредных помех пассивным датчикам, уделялось мало внимания. Первые явные регламентарные ограничения для защиты таких датчиков, например защиты полосы 18,6–18,8 ГГц, появились только в 2000-е годы. Прошло некоторое время, прежде чем ключевые концепции оценки радиопомех были приняты и рассмотрены в анализе совместного использования частот и совместимости. В их число входят такие концепции, как совокупное влияние нескольких источников помех, воздействие нежелательных излучений служб, работающих в соседних полосах, и распределение бюджета радиопомех между источниками помех разного типа.

В настоящее время критерии качества и критерии помех для пассивных датчиков содержатся в Рекомендации [МСЭ-R RS.2017](#).

Усугубляющаяся проблема вредных помех для пассивных датчиков

Несмотря на совершенствование регулирования последние изображения, полученные в результате работы пассивных датчиков, указывают на рост числа случаев радиопомех. В частности, вредные помехи возникают в полосах частот, определенных в пункте 5.340 РР, который запрещает любые излучения в нескольких полосах, выделенных для пассивных измерений.

Это вызвано:

- быстрым ростом числа и разнообразия активных пользователей спектра;
- способностью активных РЧ-устройств работать на все более высоких частотах (например, в диапазонах Ka, Q, V, W), которые раньше были заняты только пассивными датчиками;
- распространением недорогих нелегализуемых устройств, соответствие которых РР не всегда гарантируется или обеспечивается.

Источником радиопомех, испытываемых пассивными датчиками, обычно являются наземные излучатели, рассеянные по поверхности Земли на глобальном уровне. Большинство датчиков не позволяет определять местоположение источников радиопомех, особенно если эти помехи создаются множеством слабых источников. Можно определить лишь обширную территорию, затронутую вредными помехами, которая часто охватывает несколько стран. В этом случае мало что можно сделать для защиты датчиков. Корректировка приведенных в РР ограничений, налагаемых на активные службы, требует времени и будет иметь эффект лишь через много лет после обнаружения проблемы помех, поэтому важно определять надлежащие пределы с самого начала.

Что касается тех немногих радиометров, которые допускают некоторую форму определения местоположения источника помех, Рекомендация [МСЭ-R RS.2106](#) облегчает процесс представления сообщений о случаях радиопомех, воздействующих на пассивные датчики, и их урегулирования. На фоне многочисленных случаев радиопомех, о которых сообщают наземные и космические системы связи, проблема помех для пассивных датчиков недооценивается, поскольку о многих таких случаях часто не информируются ни администрации, под юрисдикцией которых находятся территории, где расположены источники радиопомех, ни Бюро радиосвязи МСЭ.

Пример создания помех – опыт SMOS

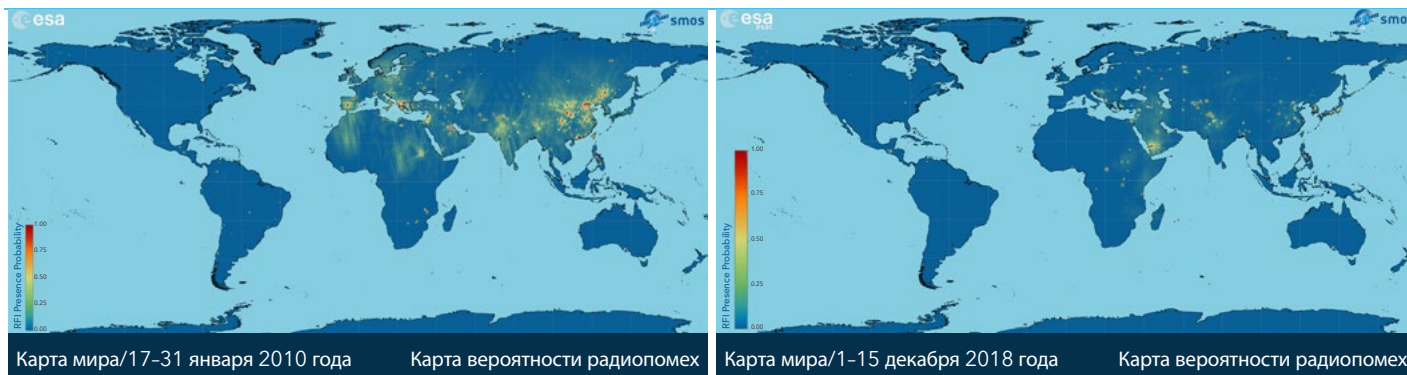
Спутник **SMOS** был запущен в ноябре 2009 года Европейским космическим агентством (ESA) для проведения высококачественных глобальных наблюдений из космоса за влажностью почвы и соленостью океана. Оба параметра являются ключевыми для определения круговорота воды в природе и считаются важными климатическими параметрами (ВКП).

Полезная нагрузка SMOS состоит из пассивного микроволнового интерферометрического радиометра с формированием изображений, работающего в полосе частот (чисто пассивной) 1400–1427 МГц. С самого начала своей работы этот радиометр испытывает большое количество радиопомех с широким географическим распределением, что сказывается на качестве измерений SMOS. Радиометры, установленные на принадлежащих НАСА спутниках SMAP и AQUARIUS, также обнаружили эти помехи (см. Отчет [МСЭ-R RS.2315](#)). В отличие от большинства других радиометров, характеристики этого датчика SMOS позволяют ученым с высокой точностью (0,5–4 км) определять местоположение источника помех.

Основываясь на этой информации, ESA с 2010 года начало длительный процесс взаимодействия со многими национальными администрациями по всему миру. Информация о расположении и мощности источников радиопомех на их территории доводится до сведения соответствующих администраций в соответствии с указаниями Рекомендации [МСЭ-R RS.2106](#). SMOS систематически отслеживает глобальный сценарий радиопомех, и их источники каталогизируются по географическому положению и мощности. Благодаря этому взаимодействию и сотрудничеству многих администраций за последние годы было отмечено значительное улучшение ситуации (см. рисунок 1).

Число очень сильных источников помех (то есть с яркостной температурой выше 5000 кельвинов) сократилось со 136 в 2010 году до 60 в 2018 году. Однако несмотря на реально ощутимое улучшение ситуации, к концу 2018 года все еще остается 470 активных источников радиопомех, и уровень ухудшения данных по-прежнему вызывает серьезную обеспокоенность (рисунок 2).

Рисунок 1. Карты вероятности радиопомех для SMOS, указывающие на улучшение распределения источников помех во всем мире в период 2010–2018 годов



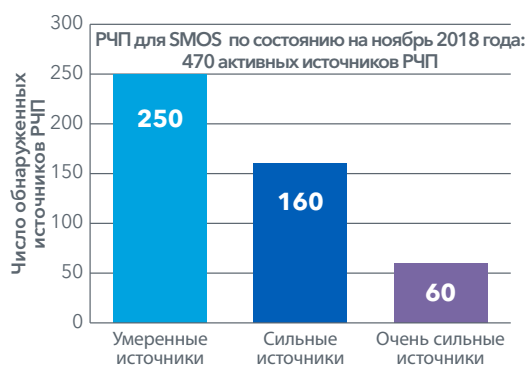
Источник: Европейское космическое агентство

Это улучшение позволило существенно увеличить объем данных, не затронутых вредными радиопомехами. На следующей диаграмме, построенной на основе наблюдений SMOS, представлено изменение со временем доли участков земной поверхности (пикселей), затронутых радиопомехами (рисунок 3). Выявленные источники помех обычно представляют собой радиолокационные системы, работающие в

соседних полосах, с чрезмерными уровнями нежелательных излучений, неисправные линии радиосвязи и несанкционированные радиовещательные системы, работающие в полосе пассивного зондирования.

В будущем следует избегать подобных ситуаций, поскольку они требуют от операторов спутников, соответствующих администраций и МСЭ интенсивной работы по выявлению и устранению источников помех. Кроме того, они создают серьезные помехи работе спутников и обесценивают научные результаты миссий.

Рисунок 2. Глобальная статистика числа источников радиопомех, обнаруженных радиометром SMOS в полосе пассивного зондирования 1400-1427 МГц



Примечание. – Источники радиопомех для SMOS классифицируются по силе как "очень сильные" при яркостной температуре (BT) ≥ 5000 К, "сильные" при 5000 К $>$ BT ≥ 1000 К и "умеренные" при 1000 К $>$ BT ≥ 350 К.

Рисунок 3. Изменение процентной доли участков измерения SMOS на поверхности Земли, затронутых радиопомехами, в период 2010-2018 годов



Источник: Европейское космическое агентство

Пункты повестки дня ВКР-19, потенциально важные для дистанционного зондирования

Одной из основных задач, стоящих перед Всемирной конференцией радиосвязи 2019 года (ВКР-19), является достижение надлежащего баланса между потребностью активных служб в более широком использовании спектра и правом пользователей полос пассивного зондирования продолжать работу без вредных радиопомех. Опыт показывает, что после развертывания активных устройств в отсутствие соответствующих регламентарных условий, обеспечивающих защиту пассивных датчиков, восстановить среду, в которой могут работать такие датчики, становится чрезвычайно трудно. Как указывалось выше, это имеет важнейшее значение для служб численного прогноза погоды и наблюдения за изменением климата и ведет к серьезным стратегическим социально-экономическим последствиям.

В повестке дня ВКР-19 имеется четыре пункта, касающихся возможных нежелательных излучений в полосах пассивного зондирования (пункты 1.6, 1.13, 1.14 и 9.1.9), которые требуют установления соответствующих пределов нежелательных излучений:

- пункт 1.13 повестки дня: исследуемый спектр для IMT-2020/5G в следующих полосах: 24,25–27,5 ГГц, 31,8–33,4 ГГц, 37–43,5 ГГц, 45,5–50,2 ГГц, 50,4–52,6 ГГц, 66–76 ГГц и 81–86 ГГц;
- пункт 1.14 повестки дня: определение дополнительного спектра для станций на высотной платформе (HAPS) в нескольких полосах, в частности в полосах 21,4–22 ГГц и 24,25–27,5 ГГц, и возможное изменение существующих примечаний и Резолюций, в частности в полосах 6440–6520 МГц и 31–31,3 ГГц;
- пункт 1.6 повестки дня: разработка регламентарной основы для спутниковых систем НГСО фиксированной спутниковой службы (ФСС), которые могут работать в полосах 37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос);
- пункт 9.1.9 повестки дня: возможное распределение полосы частот 51,4–52,4 ГГц ФСС (Земля космос).

На рисунке 4 показано графическое представление затрагиваемых полос частот.

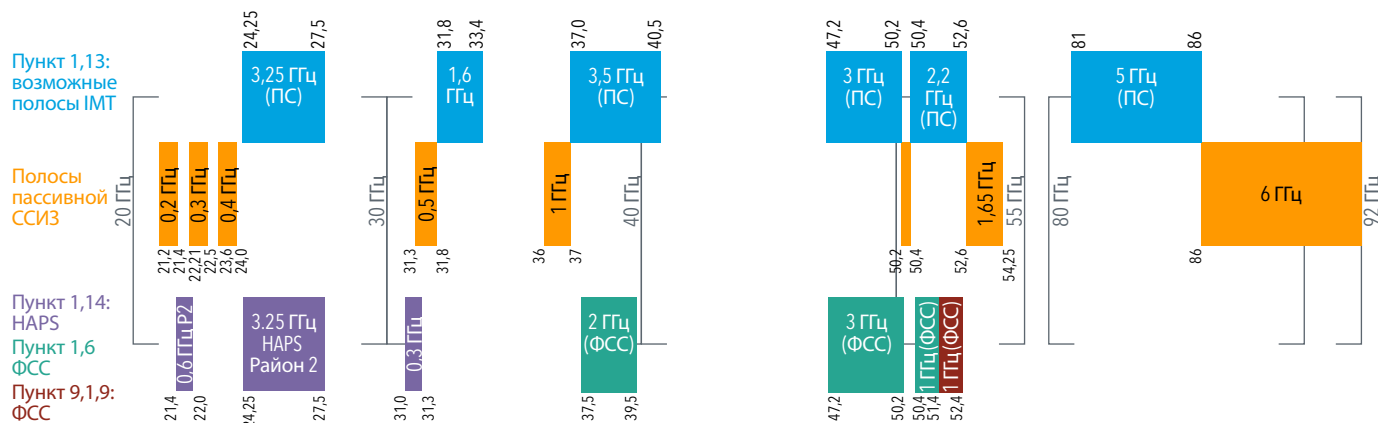
В отношении устройств IMT 2020 (пункт 1.13 повестки дня) регламентарные ограничения должны учитывать огромное количество этих устройств в долгосрочной перспективе, а не просто их ограниченное число, прогнозируемое при первоначальном развертывании. Очевидно, что недостаточные ограничения, принятые на ВКР-19, могут привести к созданию неисправимой ситуации для датчиков в будущем.

“У будущих поколений должна сохраниться возможность пользоваться социально-экономическими выгодами дистанционного зондирования в области метеорологии, климатологии, управления земельными и водными ресурсами, сельского хозяйства, прогнозирования стихийных бедствий и во многих других областях, представляющих общественный и частный интерес.”

Йозеф Ашбахер

Еще одним пунктом повестки дня ВКР-19, способным оказать влияние на пассивные службы, является пункт 1.15, который касается определения полос частот для сухопутной подвижной и фиксированной служб в диапазоне 275–450 ГГц. Хотя Таблица распределения частот в РР не охватывает частоты выше 275 ГГц, в диапазоне 275–450 ГГц имеется несколько полос, важных для применений пассивных служб, которые определены и защита которых предусмотрена в пункте 5.565 РР. Поэтому исследования должны доказать совместимость новых активных служб с работой датчиков пассивного дистанционного зондирования.

Рисунок 4. Несколько полос частот спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) (пассивной), на которые могут оказывать воздействие чрезмерные нежелательные излучения систем подвижной службы (ПС) IMT-2020/5G (пункт 1.13 повестки дня (пункт 1.13) ВКР-19); систем станций на высотных платформах (НАРС) (пункт 1.14) и/или будущих систем фиксированной спутниковой службы (пункты 1.6 и 9.1.9)



Заключение

На рисунке 5 графически представлены основные причины ожидаемого увеличения радиопомех для пассивного дистанционного зондирования. Единственный способ смягчить проблему – это определить соответствующие обязательные ограничения в РР и Рекомендациях МСЭ-R для активных систем, способных оказать воздействие на измерения пассивных датчиков.

У будущих поколений должна сохраниться возможность пользоваться социально-экономическими выгодами дистанционного зондирования в области метеорологии, климатологии, управления земельными и водными ресурсами, сельского хозяйства, прогнозирования стихийных бедствий и во многих других областях, представляющих общественный и частный интерес. Для этого все администрации должны действовать мудро и дальновидно.

Рисунок 5. Причины увеличения радиопомех для пассивного дистанционного



Важный вклад пассивного микроволнового дистанционного зондирования в численный прогноз погоды и возможный способ решений проблемы радиопомех на ВКР-19

Стивен Инглиш

Руководитель Секции ассимиляции данных системы Земли Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП)



Приняв Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, мировые лидеры согласились с тем, что для достижения 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР) и решения 169 связанных с ними задач необходима глобальная система показателей.

Важную роль в достижении большинства ЦУР, таких как ликвидация голода, сохранение экосистем суши, устойчивое развитие городов и сообществ и т. д., должен сыграть численный прогноз погоды (ЧПП). ЧПП – это один из краеугольных камней обеспечения существенного снижения риска бедствий, гибели людей, потери ими здоровья и средств к существованию, а также утраты экономических, физических, социальных, культурных и экологических ценностей отдельными людьми, предприятиями, сообществами и странами, как установлено в Сендайской рамочной программе по снижению риска бедствий Организации Объединенных Наций.

“Решающее значение для этих применений ЧПП имеет радиочастотный спектр, используемый для спутниковых наблюдений за погодой, а также для связи.”

Стивен Инглиш

Опора на точные наблюдения для прогнозирования погоды

Национальные системы раннего предупреждения опираются на ЧПП в том, что касается ежедневного составления прогнозов погоды. ЧПП, в свою очередь, опирается на точные наблюдения. ЧПП позволяет анализировать погодные явления на ранней стадии развития и даже прогнозировать их образование, обеспечивая заблаговременное предупреждение и предоставляя время для принятия необходимых мер. Для достижения этой цели требуется глобальная система наблюдений со значительным космическим компонентом для оценки текущих погодных условий во всем мире. С помощью математических моделей атмосферы и океанов можно будет затем прогнозировать погоду.

Решающее значение для этих применений ЧПП имеет радиочастотный спектр, используемый для спутниковых наблюдений за погодой, а также для связи. Необходимы очень точные измерения, и даже небольшие ошибки в этих наблюдениях снижают эффективность ЧПП. ЧПП вносит огромный вклад не только в обеспечение общественной безопасности, но и в экономику, начиная с авиации, судоходства и транспорта и заканчивая сельским хозяйством и гарантией стабильности работы электросетей для возобновляемых источников энергии.

В своем недавнем исследовании [Метеорологическое бюро Соединенного Королевства](#) (официальная служба погоды Соединенного Королевства), основываясь на ряде независимых исследований, количественно оценило (в ценах 2010 года) социально-экономические выгоды от сбора информации для прогнозов погоды в Европейском союзе в 61,4 млрд. евро в год.

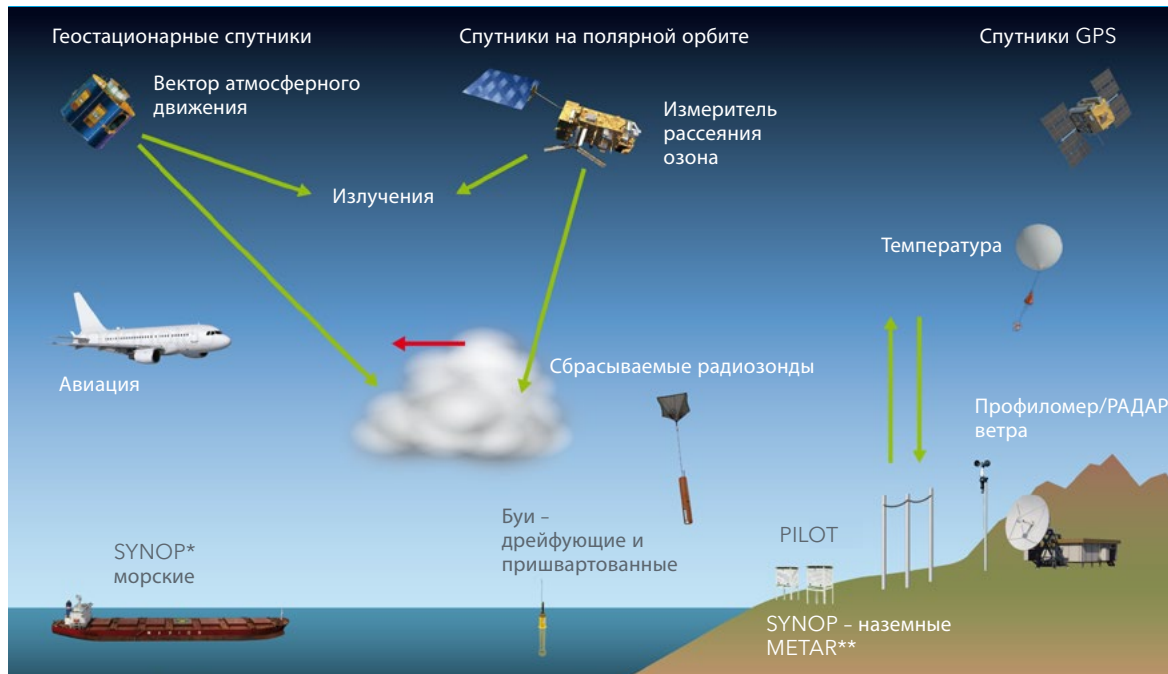
О моделях численных прогнозов погоды

Во многих странах мира используются модели ЧПП с применением в качестве входных данных результатов метеорологических наблюдений, передаваемых со спутников наблюдения Земли, радиозондов, самолетов и других систем наблюдения (см. рисунок 1). Одни модели ЧПП имеют глобальный охват, другие более детально описывают отдельные регионы.

В ходе многих спутниковых наблюдений для ЧПП используются методы пассивного зондирования в радиочастотном диапазоне, поэтому эти наблюдения зависят от частот, распределенных спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ). Для поглощения радиоволн атмосферой характерны пиковые значения, обусловленные молекулярным резонансом атмосферных газов, а также континуумом водяного пара и поглощением и рассеянием в облаках, которые усиливаются с частотой.

На частотах ниже 10 ГГц атмосфера почти полностью прозрачна даже при наличии облаков. Эти низкие частоты позволяют непосредственно зондировать поверхность планеты. На частоте 18 ГГц в силу диэлектрических свойств морской воды излучение становится практически не зависящим от температуры поверхности моря, так что излучение поверхности в первую очередь определяется состоянием моря и небольшими волнами. В диапазоне 22–24 ГГц наблюдается слабая линия поглощения воды, и путем измерения этой линии можно получить информацию об общем количестве водяного пара в воздушном столбе. На частоте 31 ГГц получают информацию о содержании жидкой воды в облаках.

Рисунок 1. В рамках своей повседневной деятельности по ассимиляции данных и мониторингу ЕЦСПП регулярно обрабатывает данные около 90 спутниковых информационных продуктов. Ежедневно обрабатываются и используются в общей сложности 40 млн. наблюдений; подавляющее большинство из них – это спутниковые измерения, но ЕЦСПП также использует все доступные данные наблюдений из некосмических источников, включая отчеты наземных и воздушных служб.



*Наблюдение метеословий на поверхности.

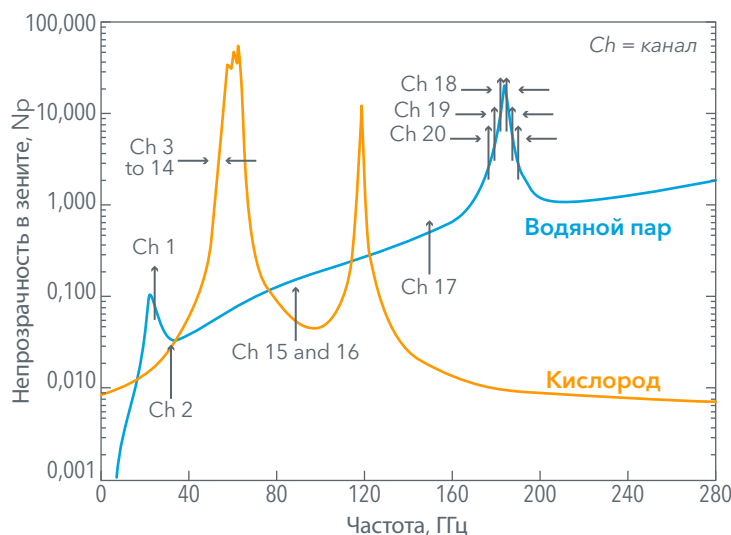
**Регулярные сводки погоды авиационной метеослужбы.

Источник: <https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation/observations>

В диапазоне 50–60 ГГц находится сильная полоса поглощения кислорода. Эта замечательная особенность спектра позволяет получать информацию о трехмерной структуре распределения температуры атмосферы при минимальном влиянии облаков и водяного пара. На частотах выше 60 ГГц наиболее важной спектральной характеристикой служит линия водяного пара на частоте 183 ГГц, которая позволяет получить информацию о трехмерной структуре водяного пара. Измерения на частотах выше 200 ГГц дают весьма подробную информацию о следовых газах и ледяных облаках.

Все эти особенности спектра вытекают из законов физики и, следовательно, определяются самой природой и представляют собой уникальный ресурс, который невозможно заменить другими измерениями (см. рисунок 2). Каждая полоса ССИЗ обеспечивает информацию, необходимую для современного прогнозирования погоды.

Рисунок 2. Непрозрачность атмосферы в диапазоне частот 0–280 ГГц и отображение частот, используемых каналами усовершенствованного микроволнового зонда (AMSU-A: каналы 1–15, AMSU-B: каналы 16–20) – одного из важнейших приборов, применяемых в ЧПП, который с 1998 года непрерывно эксплуатируется на ряде действующих спутников НУОА и EBMETCAT, а также приборами нового поколения, в частности такими, как китайские MWTS-2 и MWHS-2, российский MTVZA-GY и американский ATMS.



Источник: English, S. J.; Guillou, C.; Prigent, C.; and Jones, D. C. (1994), *Aircraft measurements of water vapour continuum absorption at millimetre wavelengths*.

Оценки результатов наблюдений за погодой показали, что в настоящее время главной системой спутниковых наблюдений для глобального ЧПП являются микроволновые наблюдения, вклад которых в общее повышение качества краткосрочного прогнозирования составил около 30–40%. Лишение возможности микроволновых наблюдений для большинства метеорологических центров означает в среднем примерно 3–6 часовую потерю качества прогнозирования. Другими словами, без микроволновых наблюдений прогнозы того же уровня, что и сегодня, выпускались бы на 3–6 часов позже.

Это привело бы к значительной потере времени при выдаче предупреждений, например в случае возникновения суровых погодных условий, для всех систем ЧПП во всем мире.

Исследование, проведенное ЕЦСПП, также указывает на возможную потерю устойчивости системы наблюдений в случае потери данных микроволнового зондирования. Действительно, в отсутствие микроволновых наблюдений в случае потери данных гиперспектральных наблюдений в инфракрасном диапазоне прогнозы ухудшились бы в несколько раз сильнее, чем при наличии микроволновых наблюдений.

При таком сценарии люди во многих местах оказались бы неподготовленными к опасным погодным явлениям и не подозревали бы о приближении погодных катаклизмов.

Данная общая зависимость, выявленная для глобальных систем ЧПП, находит отражение и в региональных системах ЧПП. Недавнее исследование норвежской метеослужбы продемонстрировало значительное ухудшение качества прогнозов в ее региональной системе без использования данных микроволновых наблюдений.

Особое внимание следует уделять требованиям оперативного прогнозирования погоды. Однако к мониторингу и прогнозированию климата предъявляются и другие дополнительные требования; они в равной степени зависят от наблюдений с помощью пассивных микроволновых датчиков для дистанционного зондирования.

Радиопомехи и потенциальная потеря полос

Пользователи ЧПП уже наблюдают свидетельства воздействия радиопомех (RFI) в С-, Х- и К-диапазонах частот, особенно на работу японского усовершенствованного микроволнового сканирующего радиометра-2 (AMSR2). Потеря этих и других полос негативно скажется на работе национальных систем метеорологического предупреждения, а также на нашей способности отслеживать изменение климата.

“Потеря этих и других полос негативно скажется на работе национальных систем метеорологического предупреждения, а также на нашей способности отслеживать изменение климата.”

Стивен Инглиш

Важная роль ВКР-19 в обеспечении защиты полос ССИЗ от помех

Касаясь пунктов повестки дня, которые будут обсуждаться на следующей Всемирной конференции радиосвязи 2019 года (ВКР-19), следует подчеркнуть важность обеспечения защиты полос ССИЗ (пассивной) от помех, которые могут быть вызваны нежелательным излучением систем IMT-2020/5G, в частности в полосе 24 ГГц, используемой для пассивного зондирования, а также от нежелательных излучений будущих коммерческих спутниковых систем в полосе пассивного зондирования 50/60 ГГц.

С учетом важности прогнозирования погоды и связанных с ним социально-экономических выгод ВКР-19 должна определить соответствующие пределы нежелательных излучений в Регламенте радиосвязи для сохранения возможности проведения глобальных измерений в этих уникальных полосах пассивного зондирования.

Основные вехи 150-летней истории журнала "Новости МСЭ"

1869 год

Опубликован первый номер "Journal télégraphique"

После подписания 17 мая 1858 года в Париже первой Международной телеграфной конвенции, учредившей МСЭ, на второй Международной телеграфной конференции, состоявшейся в 1868 году в Вене, было решено создать постоянный секретариат Союза в Берне (Швейцария). Одна из шести возложенных на Бюро задач заключалась в издании "телеграфного журнала на французском языке" (Международная телеграфная конвенция (Вена, 1868 г.), статья 61). Таким образом, Государства-Члены поручили МСЭ издание журнала, которое стало важной частью функции Союза по распространению информации непосредственно с момента создания секретариата. Первый номер "Journal télégraphique" был опубликован 25 ноября 1869 года.



1934 год

Журнал меняет свое название на "Journal des telecommunications"

В 1932 году на Международной телеграфной конференции и Международной радиотелеграфной конференции в Мадриде было принято решение объединить

телеграфную и радиотелеграфную конвенции в единую Международную конвенцию электросвязи. В это же время было принято новое название, которое должно было отразить весь комплекс задач Союза – Международный союз электросвязи. Новое название вступило в силу 1 января 1934 года. Вслед за изменением названия Союза с 1 января 1934 года было изменено и название журнала "Journal télégraphique" на "Journal des telecommunications" (журнал "Электросвязь").



1948 год

Журнал издается на трех языках – английском, французском и испанском

В соответствии с решениями Международной конференции по электросвязи в Атлантик-Сити (1947 г.), касающимися использования языков, журнал "Электросвязь" начиная с января 1948 года стал публиковаться на трех языках (английском, французском и испанском). Текст на всех трех языках располагался рядом, на одной странице. Издание журнала в новом формате означало существенное увеличение объема работ и затрат на производство.



1962 год

Появились отдельные выпуски на каждом языке

С января 1962 года началась публикация журнала в форме трех отдельных выпусков на английском, французском и испанском языках вместо прежней,

объединявшей три языка, формы.

С 1960-х по 1980-е годы журнал все шире используется для распространения информации о Союзе и его работе. Часть этой стратегии заключалась в направлении экземпляров журнала в Организацию Объединенных Наций и все ее специализированные учреждения, а также в информационные центры Организации Объединенных Наций в разных регионах мира и экспертам Союза по техническому сотрудничеству в этой области. Кроме того, росло число периодических изданий массовой и технической прессы, желающих получать выпуски журнала.



1994 год

Журнал становится информационным бюллетенем

Начиная с 1 января 1994 года журнал "Электросвязь" стал "Информационным бюллетенем МСЭ". Макет журнала стал иным и был адаптирован к современным требованиям,



был также изменен план выпуска, который теперь предусматривал десять номеров в год. Было объявлено, что в своей новой форме журнал/информационный бюллетень будет "посвящен в основном освещению деятельности МСЭ, рассматриваемых вопросов и достигнутых практических результатов". В этой публикации нового стиля приводились различные мнения, зачастую противоположные, для того чтобы предоставить читателям не только базовую информацию о деятельности МСЭ, но также отразить "более скрытые аспекты и дать ответы на вопросы "что, как и почему"".

1996 год

Журнал "Новости МСЭ" стал выходить в форме иллюстрированного издания.

2009 год

Журнал "Новости МСЭ" издается на шести языках

Начиная с июля 2009 года журнал "Новости МСЭ" издается на всех шести официальных языках Союза (арабском, китайском, английском, испанском, французском и русском) и продолжает обеспечивать широкое освещение мероприятий и событий МСЭ, которые определяют пути развития электросвязи/информационно-коммуникационных технологий во всем мире.



2016 год

Журнал "Новости МСЭ" стал полностью цифровым



В 2016 году журнал "Новости МСЭ" стал полностью цифровым, с новым интернет-порталом. В течение всего года ключевые мероприятия и темы МСЭ

освещаются в цифровых выпусках, которые широко распространяются по электронной почте в виде бюллетеней. Также в 2016 году, после длительной и кропотливой работы Библиотечно-архивная служба МСЭ открыла онлайн-доступ к оцифрованной исторической коллекции выпусков журнала "Новости МСЭ" с 1869 по 2015 годы. Этот полный архив имеет функцию поиска и позволяет вам изучить информацию о развитии сектора электросвязи/информационно-коммуникационных технологий и деятельности МСЭ за многие годы. Здесь вы можете ознакомиться с [выпусками журнала "Новости МСЭ" с 1869 по 2015 годы](#).

2019 год

Журнал "Новости МСЭ" отмечает свое 150-летие (1869-2019 гг.)

..... Stay current.
Stay informed.



The weekly ITU Newsletter
keeps you informed with:

Key ICT trends worldwide

Insights from ICT Thought Leaders

The latest on ITU events and initiatives ●

»
**Sign
up
today!**