

Радиочастотные помехи, зарегистрированные радиометром МТВЗА-ГЯ со спутников серии Метеор-М: результаты за 15 лет (2009-2024)

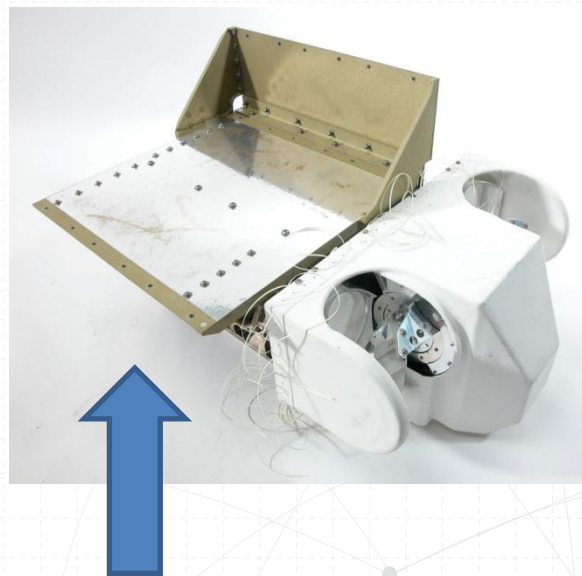
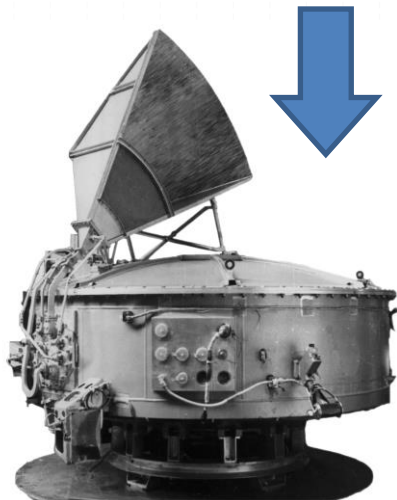
И.А. Барсуков, В.В. Болдырев,
М.И. Гаврилов, Г.Е. Евсеев, С.А. Ежов,
И.А. Зубков, А.М. Стрельцов,
В.В. Яковлев

Отделение 60

АО «Российские космические системы»



Первые в мире микроволновые измерения Земли были осуществлены **50** лет назад с отечественного спутника "Космос-243", запущенного **23 сентября 1968 года**. Измерения велись на частотах 3.4, 9.6, 22.2 и 37.0 ГГц в трассовом режиме [1].

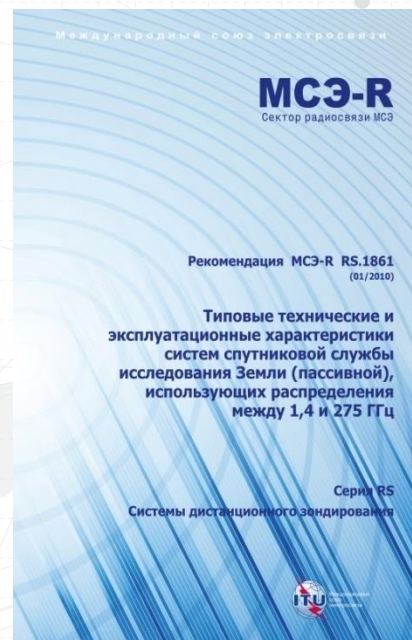
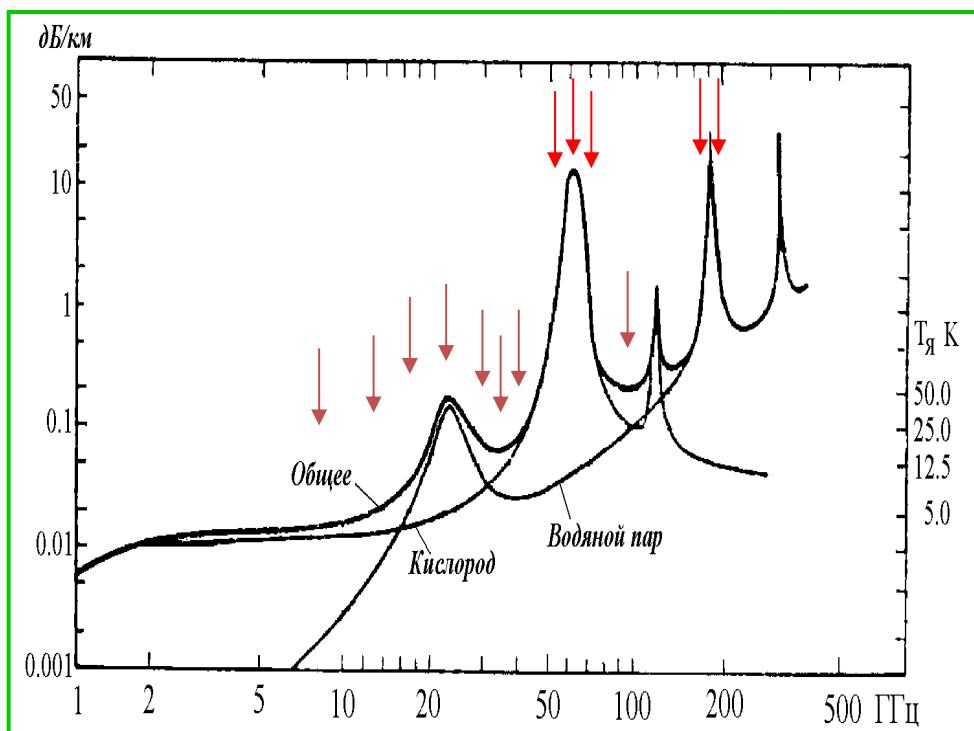


Однако практическое применение микроволновых радиометров началось в 1979 году со спутника NOAA (США), на котором был установлен зондировщик Microwave Sounding Unit (MSU) для измерения профиля температуры атмосферы на частотах 50-58 ГГц [2].

Проблема влияния радиочастотного излучения на данные космических микроволновых радиометров известна с 1978 года, когда впервые было обнаружено изменение уровня излучения на частоте 6,6 ГГц с помощью радиометра SMMR, установленного на спутнике SeaSat.

- Глобальность;
- Регулярность;
- Независимость от времени суток;
- Независимость от погодных условий;
- Сравнительно небольшие габариты, масса и энергопотребление радиометров

Диапазон частот выделенный для пассивных микроволновых измерений [2,3,4]



Применение спутниковой СВЧ-радиометрии для решения задач гидрометеорологии

- **определение вертикального профиля температуры атмосферы;**
- определение вертикального профиля влажности атмосферы;
- определение интегральной влажности атмосферы;
- определение водозапаса облаков;
- определение интенсивности осадков;
- определение скорости приводного ветра;
- определение температуры поверхности океана;
- определение влажности почв;
- мониторинг ледовых покровов (тип, толщина, возраст льда);
- мониторинг снежных покровов (толщина, водный эквивалент);
- диагностика внутриокеанических процессов (вихри, фронтальные зоны, течения...)

Виды помех и локализация их источников

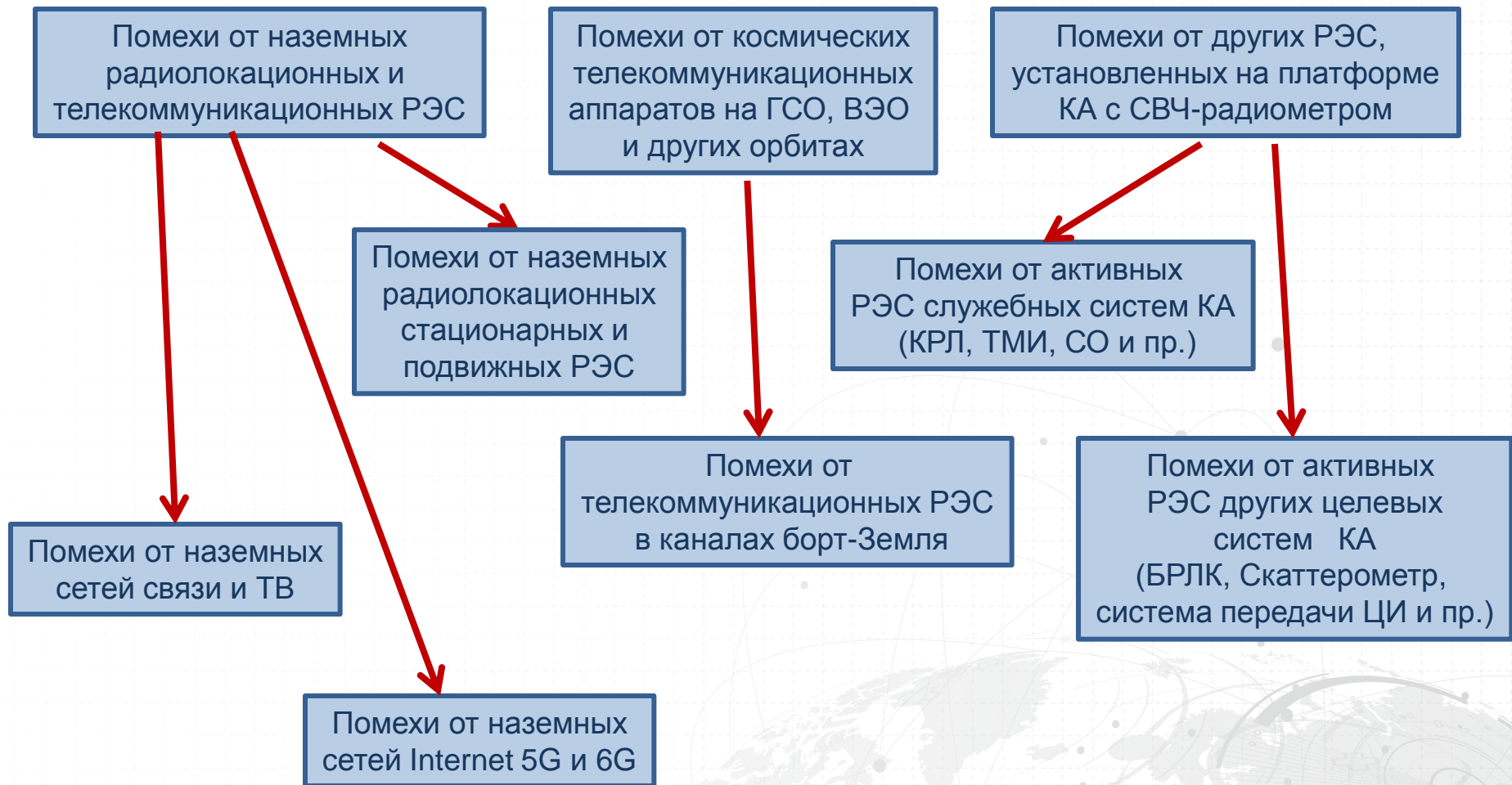
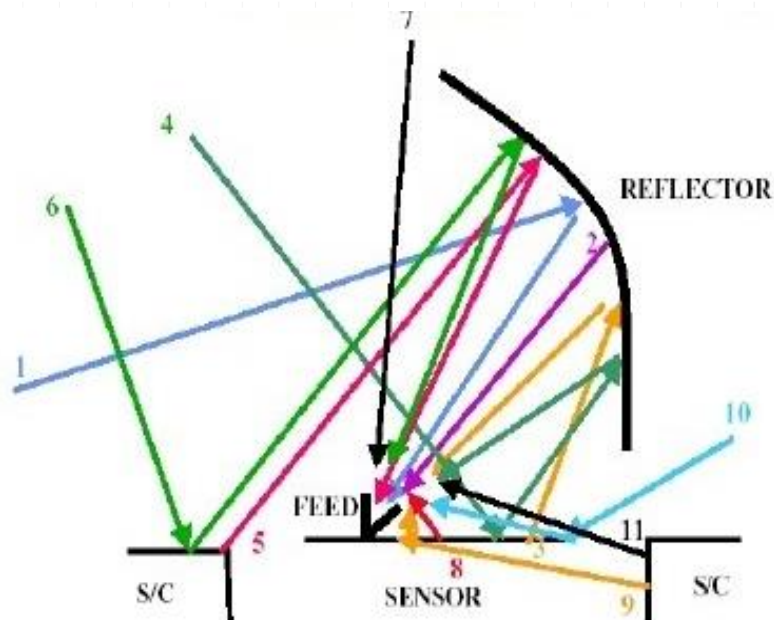


Схема состава группового излучения, попадающего на вход СВЧ-радиометра

Излучение, попадающее на вход радиометра состоит из нескольких групп полезных и помеховых сигналов, в том числе излучение от Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы радиометра и переотражение сигналов от элементов конструкции КА и других источников:

1. Излучение атмосферы Земли, попадающее на вход датчика, отражаясь от Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы.
2. Собственное излучение Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы.
3. Излучение элементов конструкции КА, попадающее на вход датчика, отражаясь от Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы.
4. Излучение космического пространства, отраженное от элементов конструкции радиометра, попадающее на вход датчика, отражаясь от Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы.
5. Излучение корпуса космического аппарата, попадающее на вход датчика, отражаясь от Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы.
6. Излучение космического пространства, отраженное от элементов конструкции КА, попадающее на вход датчика, отражаясь от Большого зеркала (рефлектора – отражателя) антенной системы.
7. Фоновое излучение (распространение) непосредственно космического пространства.
8. Вторичное излучение от радиометра.



9. Побочный эффект, связанный с переизлучением (преобразованием) собственного излучения элементов конструкции КА, конструкцией радиометра и попадающего непосредственно на вход радиометра.
10. Побочный эффект, связанный с переотражением излучения космического пространства элементами конструкции радиометра, попадающих непосредственно на вход радиометра.
11. Вторичное излучение от элементов конструкции космического аппарата.

Спутниковые СВЧ-радиометры

Прибор (спутник, год запуска)	Частоты, ГГц	Разрешение, км	Полоса обзора, км	Основные задачи	Примечание
"Космос-243», 1968	3.4, 9.6, 22.2 и 37.0	-	-	интегральные метеопараметры	трассер
SMMR Nimbus 7, Seasat, 1978	6.6, 10.6, 18, 21, 37.0	22-100	600	интегральные метеопараметры	сканер
MSU (9 ед.) NOAA 6, 1979	50-58	110	2000	профиль температуры	зондировщик
SSM/I (7 ед.) DMSP F08, 1987	19.3, 22.2, 37.0, 85.5	13-69	1400	интегральные метеопараметры	сканер
SSM/T-1 (5 ед.) DMSP F11, 1991	50.5-59.4	175	1600	профиль температуры	зондировщик
SSM/T-2 (5 ед.) DMSP F11, 1991	91.6, 150, 183.31	48	1400	профиль влажности	зондировщик
AMSU-A (8 ед.) NOAA-15 1998	23.8, 31.4, 50-59 , 89	50	2340	профиль температуры	зондировщик
AMSU-B (8 ед.) NOAA-15, 1998	89, 157, 183.31	15	2200	профиль влажности	зондировщик
МНВЗА Метеор-3М №1, 2001	20, 35, 94	25-110	1500	интегральные метеопараметры	сканер
МТВЗА Метеор-3М №1, 2001	18.7, 22.2, 33, 36.5, 42, 48, 52-57, 91.6, 183.31	16-75	2200	интегральные метеопараметры, профили температуры и влажности	сканер/ зондировщик
AMSR Aqua, май 2002	6.9, 10.6, 18.7, 23.8, 36.5, 89	5-75	1400	интегральные метеопараметры, ТПО	сканер
WindSat DMSP Coriolis, январь 2003	6.8, 10.7, 18.7 , 23.8, 37	11-55	1025	скорость и направление приводного ветра, ТПО	сканер/поляриметр
SSMIS (5 ед.) DMSP F16, октябрь 2003	19.3, 22.2, 37.0, 50.3-59.4 , 91.6, 150, 183.31	13-75	1700	интегральные метеопараметры, профили температуры и влажности	сканер/ зондировщик
МТВЗА-ГЯ (7 ед.) Метеор-М, 2009	10.6, 18.7, 23.8, 31, 36.5, 42, 48, 52-57, 91.6, 183.31	16-90	1500	интегральные метеопараметры, профили температуры и влажности, ТПО	сканер/ зондировщик
ATMS Suomi NPP, 2011, JPSS, 2017	23.8, 31.4, 50-57 , 89, 166, 183.31	16-74	2450	профиль температуры и влажности	зондировщик
AMSR 2 GCOM-W1, Май, 2012	6.9, 7.3, 10.6, 18.7, 23.8, 37, 89	5-35	1450	интегральные метеопараметры, ТПО	сканер
WSF-M (MWI) DWSS, 2024	6.9, 7.3, 10.85, 18.7, 23.8, 37.0, 89-91/	4-55	1700	интегральные метеопараметры,, ТПО, скорость и направление приводного ветра	сканер/ поляриметр
МТВЗА-ГЯ-МП Метеор-МП, после 2030 года	6.9, 7.3, 10.6, 18.7, 23.8, 31, 36.5, 42, 48, 52-57, 91.6, 166, 183.31	11-73	2200	интегральные метеопараметры, профили температуры и влажности, ТПО	сканер/ зондировщик/ поляриметр

Бортовые микроволновые сканеры-зондировщики разработки АО «Российские космические системы» [7, 8, 9,10, 11, 12]

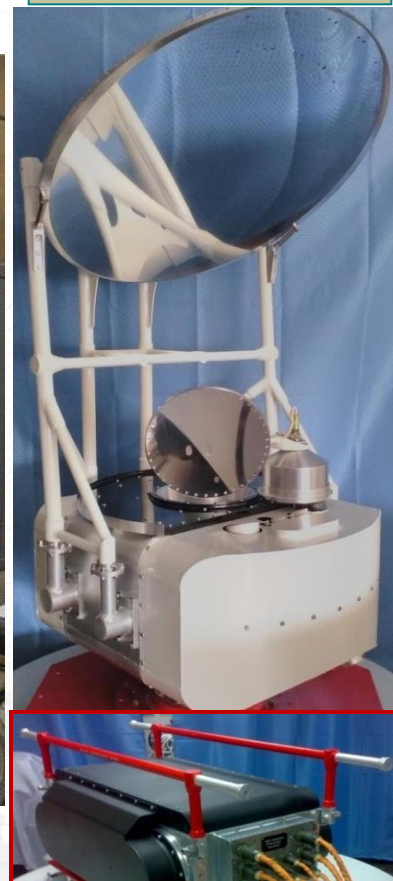
Антенный
модуль
СВЧ-радиометра
МТВЗА
КА «Метеор-3М»
Запуск - 2001 г.
19 каналов
в диапазоне
18,7 – 183 ГГц

Оптико-
микроволновый
сканер-зондировщик
МТВЗА-ОК
КА «Сич-1М»
Запуск - 2004 г.
Диаметр зеркала – 0,5 м
31 канал в диапазоне
6,9 – 183,31 ГГц

МТВЗА-ГЯ
КА «Метеор-М»
Запуск №1 - 2009 г.
Запуск №2 - 2014 г.
Запуск №2-2 - 2019 г.
Диаметр зеркала – 0,6 м
29 каналов в диапазоне
10,6 – 183,31 ГГц.

Модуль сканирующей
платформы (МСП)
МТВЗА-ГЯ
КА «Метеор-М»
Запуск №2-3 - 2023 г.
Запуск №2-4 - 2024 г.
Диаметр зеркала – 0,67 м
40 каналов в диапазоне
6,9 – 183,31 ГГц.

Антенный модуль
СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ-МП
КА «Метеор-МП»
(запуск - 2030 г.)
Функции: сканер/зондировщик/
поляриметр
Диаметр зеркала – 1 м
40 каналов
в диапазоне 6,9 – 183,31 ГГц



Модуль МСДУ МТВЗА-ГЯ
КА «Метеор-М» №2-3 и №2-4



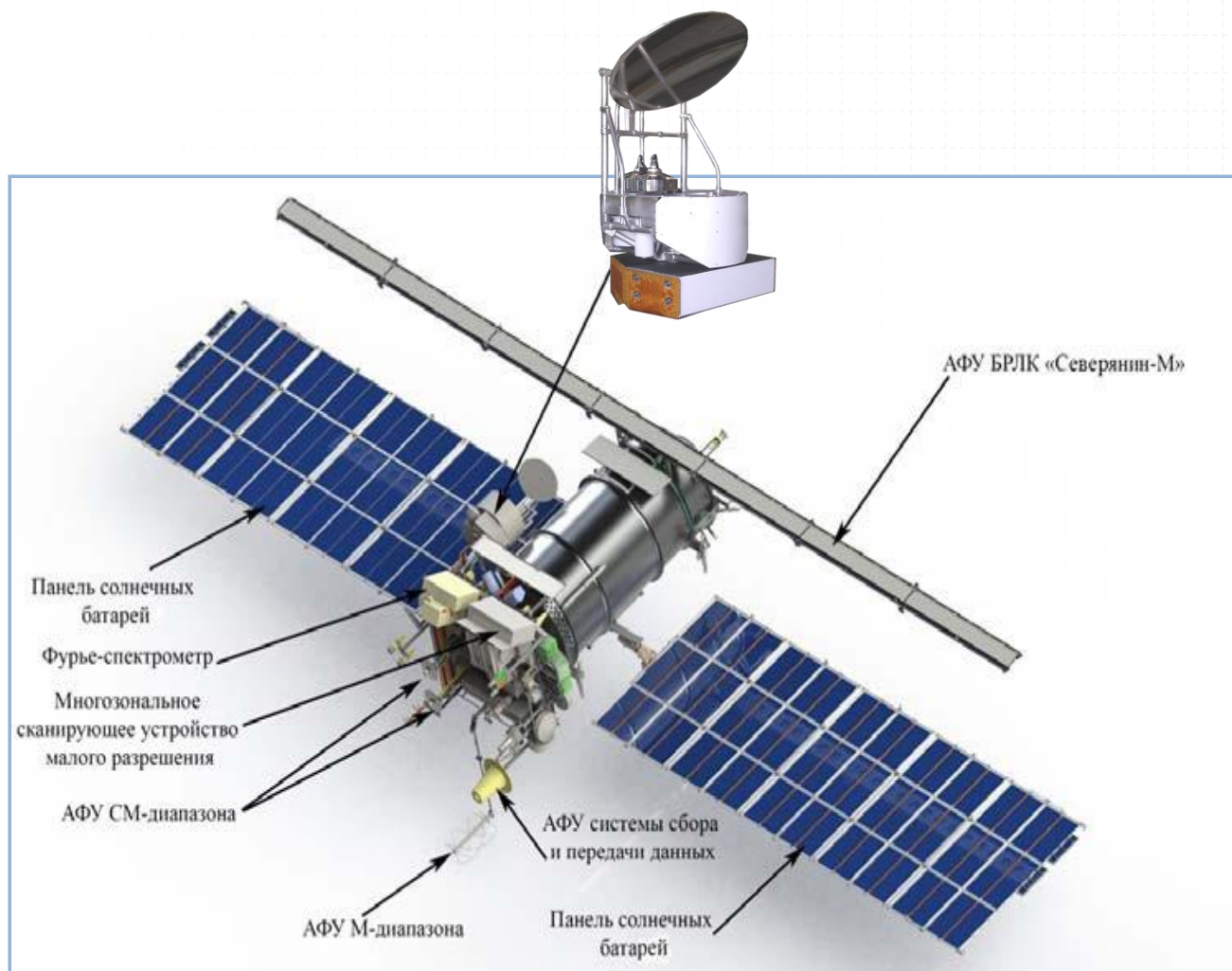
МТВЗА-ГЯ [10, 11]

Модуль Температурно-Влажностного Зондирования Атмосферы (МТВЗА-ГЯ) производит регистрацию данных о восходящем излучении атмосферы Земли в полосе до 2200 км (на КА «Метеор-М» – 1500 км) с пространственным разрешением от 9 до 75 км в диапазоне частот от 6,9 до 183 ГГц.

Первый прибор МТВЗА-ГЯ был изготовлен для КА «Метеор-М» №1 (запуск осуществлен 17 сентября 2009 г.) и эксплуатировался более 5 лет. В период с 2014 по 2019 г.г. были осуществлены успешные запуски двух КА «Метеор-М»: №2 (запущен в 2014 г.) и №2-2 (запущен в 2019 г.)

В настоящее время на орбите функционируют два спутника «Метеор-М» № 2-3 (запущен в 2023 г.) и № 2-4 (запущен в 2024 г.) с приборами МТВЗА-ГЯ № 2-3 и № 2-4 соответственно.

В период до 2030 года планируются запуски еще 4-х КА «Метеор-М».

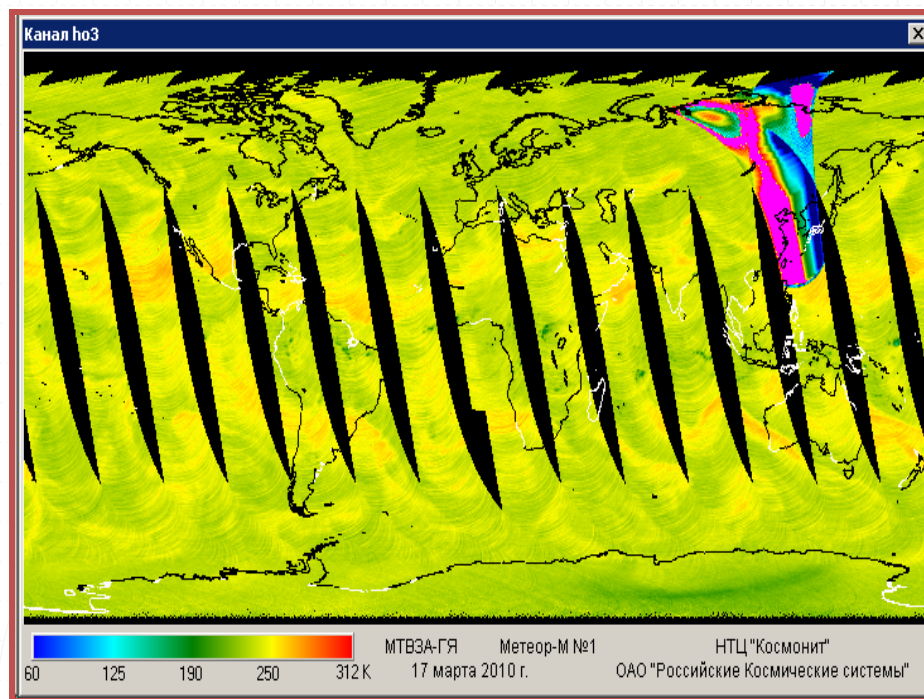
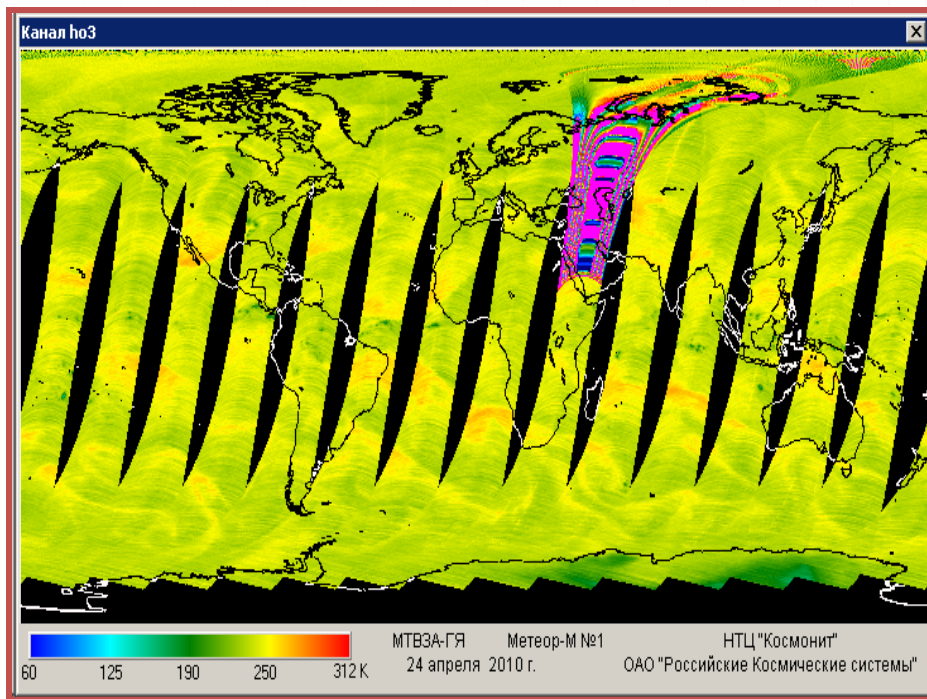


Помехи, выявленные в период опытной эксплуатации СВЧ-радиометра *МТВЗА-ГЯ* КА «Метеор-М» №1, которые влияют на качество информации

№ п/п	Средства помех	Уровень проблемы	Возможность устранения проблемы на КА «Метеор-М» №2	Примечание
1	Телеметрический передатчик МБИТС-01	Локальный (КА)	Да	В канале 183.31 ± 1.0 ГГц. Потери данных до 25%
2	Подсвет от солнечных батарей	Локальный (КА)	Да	Во всех каналах (нисходящие витки)
3	Наземные телекоммуникационные средства	Международный	Нет	В канале 10.6 ГГц. Потери данных до 20%. Aqua испытывает схожие проблемы
4	Спутниковые телекоммуникационные средства (геостационарные)	Международный	Нет	В канале 10.6 ГГц. Потери данных до 30%. Aqua испытывает схожие проблемы
5	Радиолокатор БРЛК	Национальный	Нет	Потери данных до 4% (в отдельных каналах)

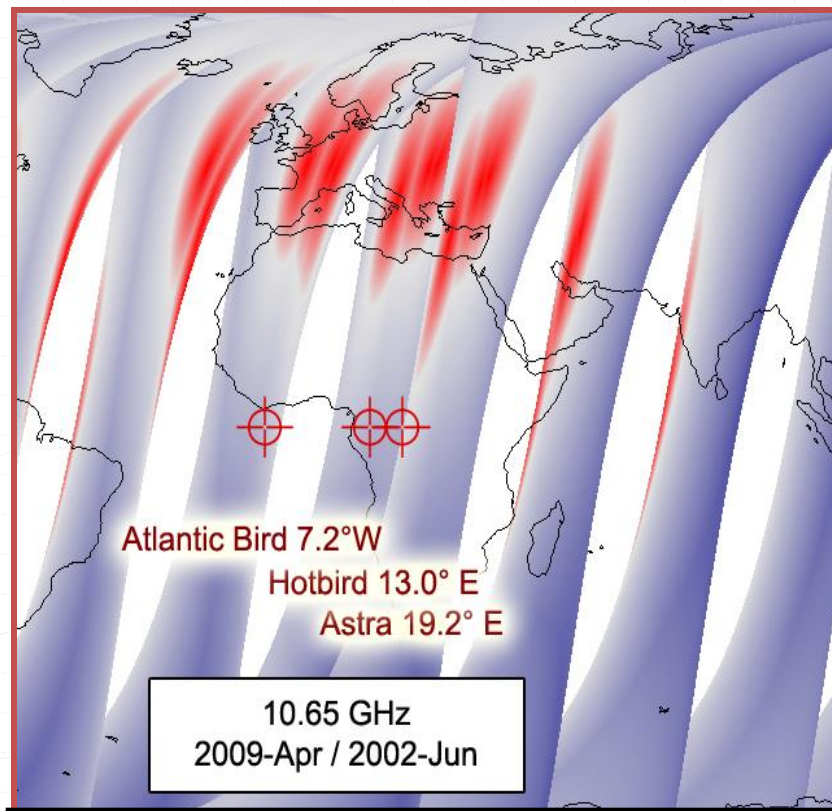
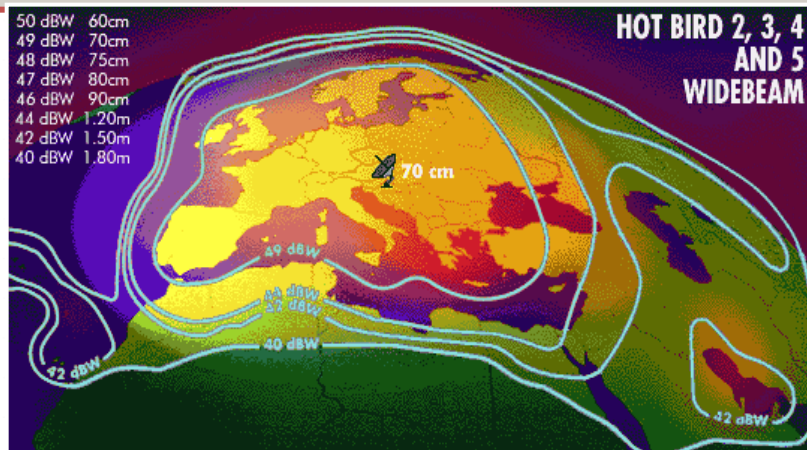
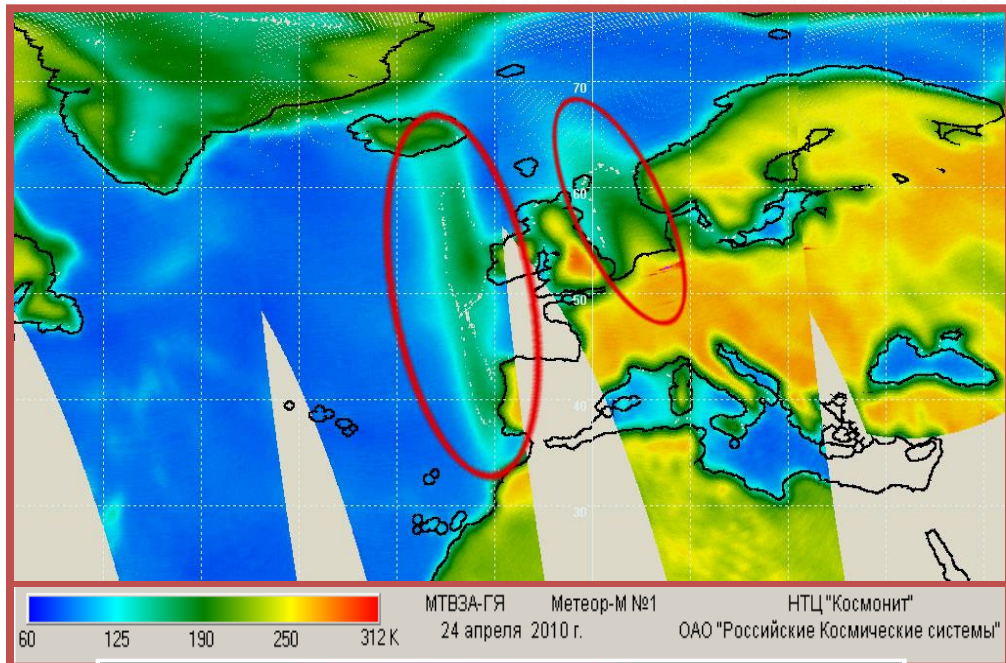
Помехи в канале 183.31 ± 1.0 ГГц МТВЗА-ГЯ от передатчика МБИТС-01

Помехи на изображениях обусловлены работой бортовых систем КА Метеор-М №1 и связаны с передачей ТМ-информации (МБИТС-01) в московской и дальневосточной зоне.



Решение проблемы:
Перестройка частотного канала 183.31 ± 1.0 ГГц в 183.31 ± 1.4 ГГц.

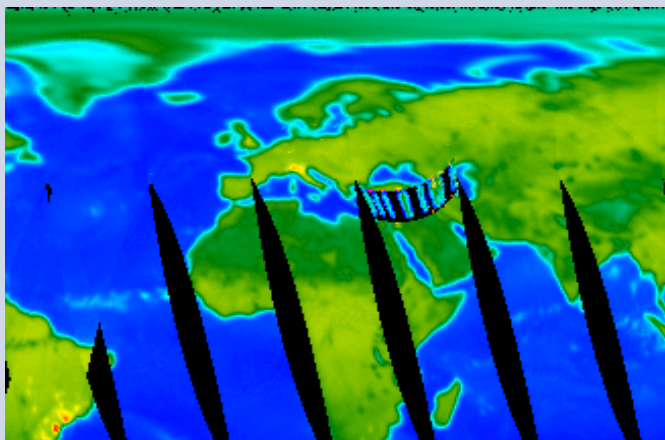
Помехи на частоте 10.65 ГГц МТВЗА-ГЯ от геостационарных телекоммуникационных спутников



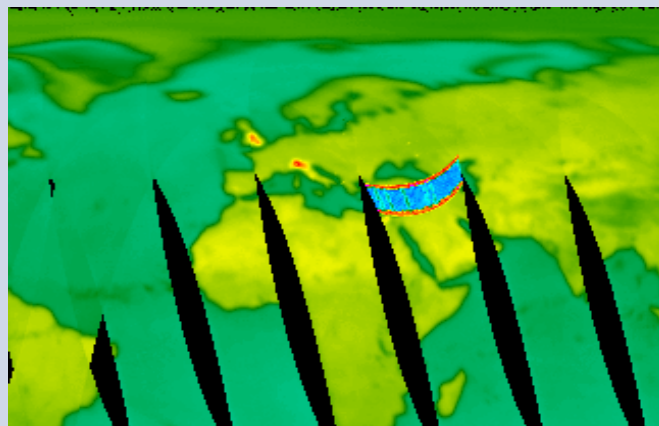
Aqua, AMSR-E
GeoStationary Glint Angles: 20°

Помехи от БРЛК

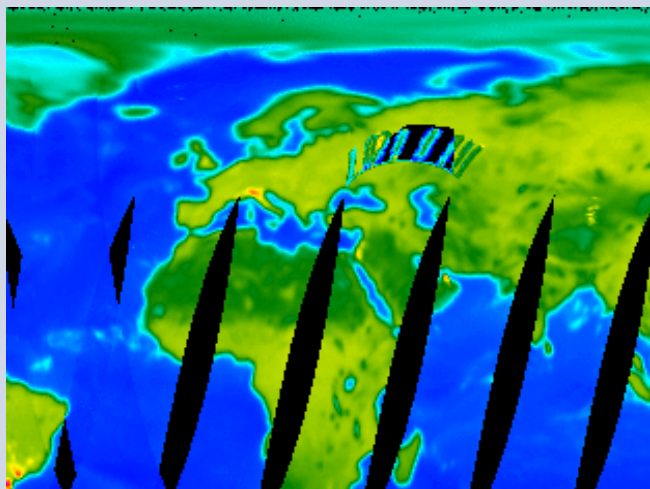
Канал 10.6 ГГц (ГП) 19.07.2023



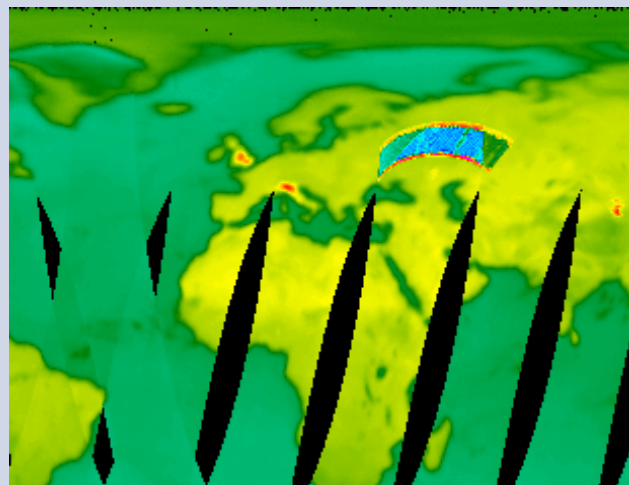
Канал 10.6 ГГц (ВП) 19.07.2023



Канал 10.6 ГГц (ГП) 23.07.2023

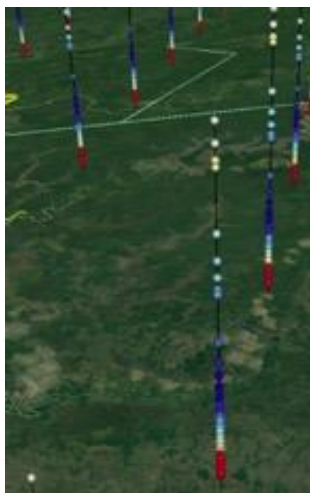
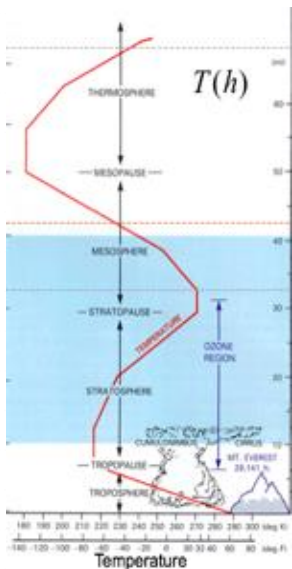
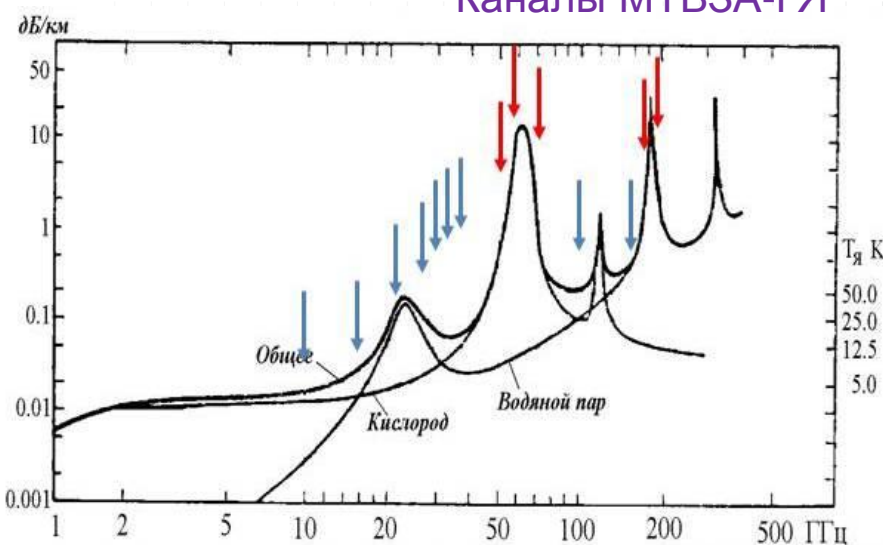
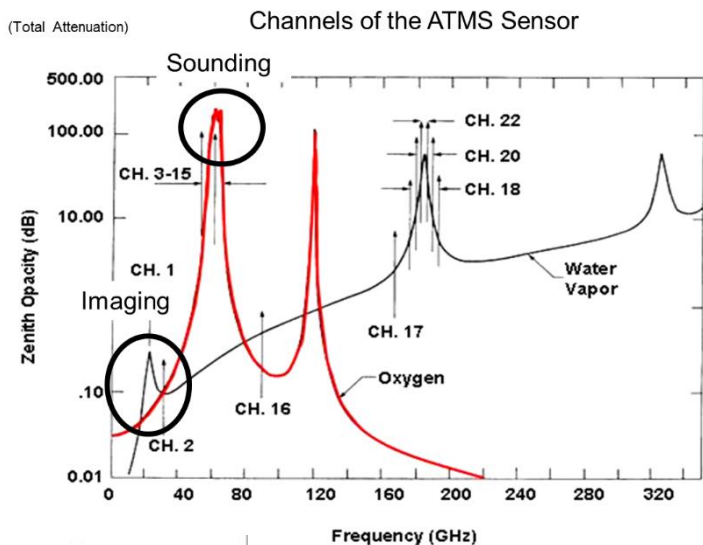


Канал 10.6 ГГц (ВП) 23.07.2023



Измерения восходящего излучения атмосферы приборами СВЧ-радиометрии (пассивной радиолокации) производятся на определенных частотах, основанных на естественных свойствах атмосферы

Каналы МТВЗА-ГЯ



Вертикальный профиль температуры определяется по измеренным значениям излучения в разных каналах, что соответствует данным на разных высотах

Измерения пассивных СВЧ-радиометров, которые обладают высокой чувствительностью, подвержены воздействию радиочастотных помех (RFI), которые могут вносить ошибки в процессы определения геофизических параметров и прогнозы

МСЭ-Р
Сектор радиосвязи ИСД

Рекомендация МСЭ-Р RS.1861 (01/2010)

Типовые технические и эксплуатационные характеристики систем спутниковой службы исследования Земли (пассивной), использующих распределения между 1,4 и 275 ГГц

Сери́я RS
Системы дистанционного зондирования

ITU-R
International Telecommunication Union
Radio Communication Sector of ITU

Report ITU-R RS.2194 (10/2010)

Topics of scientific interest from 275 to 3 000 GHz

RS Series
Remote sensing systems

WRC-19 agenda item 1.13 (IMT-2020/5G):

- WRC-19 agenda item 1.13 calls for the identification of frequency bands for the future development of International Mobile Telecommunications (IMT), so called IMT-2020/5G, in the range 24.25 to 89 GHz.

Two issues:

- Protection of existing earth stations and the deployment of future receiving earth stations (**not further considered here**),
- Protection of passive sensors in the following bands from unwanted emissions of IMT-2020/5G:

EESS (passive) band	IMT-2020/5G band
23.6-24 GHz	24.25-27.5 GHz
31.3-31.8 GHz	31.8-33.4 GHz
36-37 GHz	37-43.5 GHz
50.2-50.4 GHz	47.2-50.2 GHz & 50.4-52.6 GHz
52.6-54.25 GHz	50.4-52.6 GHz
86-92 GHz	81-86 GHz

Slide: 1

Пункт 1.13 повестки дня ВКР-19 (IMT-2020/5G):

Пункт 1.13 повестки дня ВКР-19 предусматривает определение полос частот для будущего развития международной мобильной электросвязи (IMT), так называемых IMT-2020/5G, в диапазоне от 24,25 до 89 ГГц.

Два вопроса:

- Защита существующих наземных станций и развертывание будущих приемных наземных станций (**далее здесь не рассматривается**),
- Защита пассивных датчиков в следующих диапазонах от нежелательных излучений IMT-2020/5G:

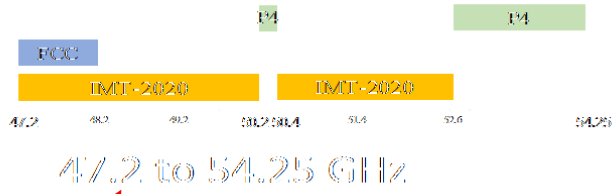
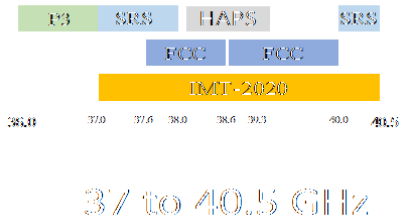
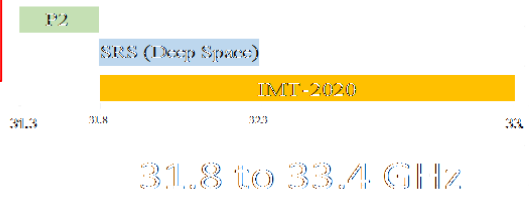
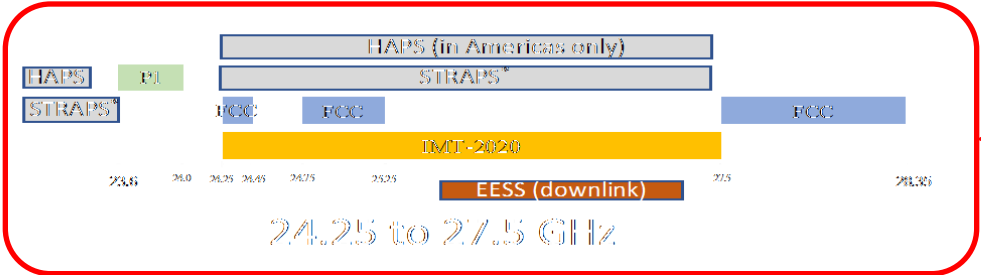
Диапазоны системы СВЧ-радиометрии (пассивной)	Сети международной мобильной электросвязи (IMT), IMT-2020/5G
23,6 – 24 ГГц	24,25 – 27,5 ГГц
31,3 – 31,8 ГГц	31,8 – 33,4 ГГц
36 – 37 ГГц	37 – 43,5 ГГц
50,2 – 54,4 ГГц	47,2 – 50,2 ГГц & 50,4 – 52,6 ГГц
52,6 – 54,25 ГГц	50,4 – 52,6 ГГц
86 – 92 ГГц	81 – 86 ГГц

Кроме этого, в планах развития сетей 5G и 6G предполагается использование свободных участков электромагнитного спектра от 100 до 330 ГГц

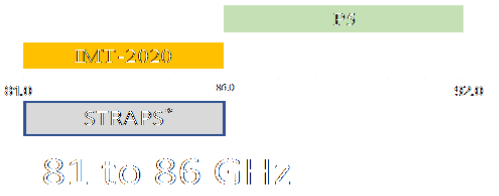
Предлагаемое использование сетей 5G или аппаратных платформ с рабочими частотами вблизи пассивных диапазонов

Диапазоны рабочих частот пассивной СВЧ-радиометрии (*показаны зеленым цветом*) требуют защиты от радиочастотных помех в соседних диапазонах

Федеральная комиссия связи (FCC) выставила этот диапазон на аукцион стоимостью более 1 миллиарда долларов. Установлена пассивная защита на уровне -20 дБВт/200 МГц



Федеральная комиссия Связи (FCC) готовит Третий аукцион на использование спектра сетей 5G. Будет предложена структура для участков спектра вокруг частот 37 ГГц, 39 ГГц и 47 ГГц



P = Пассивный; FCC = Внутренние предложения 5G; IMT-2020 = Диапазоны 5G, которые могут быть предложены МСЭ; SRS = Космические исследования; EESS = Спутниковая служба исследования Земли; HAPS = Высокоргорные платформенные станции; Системы связи на основе стратосферных эффектов ("предложенные заявителем")

Анализ геопространственного проявления помеховых воздействий в каналах температурного зондировщика

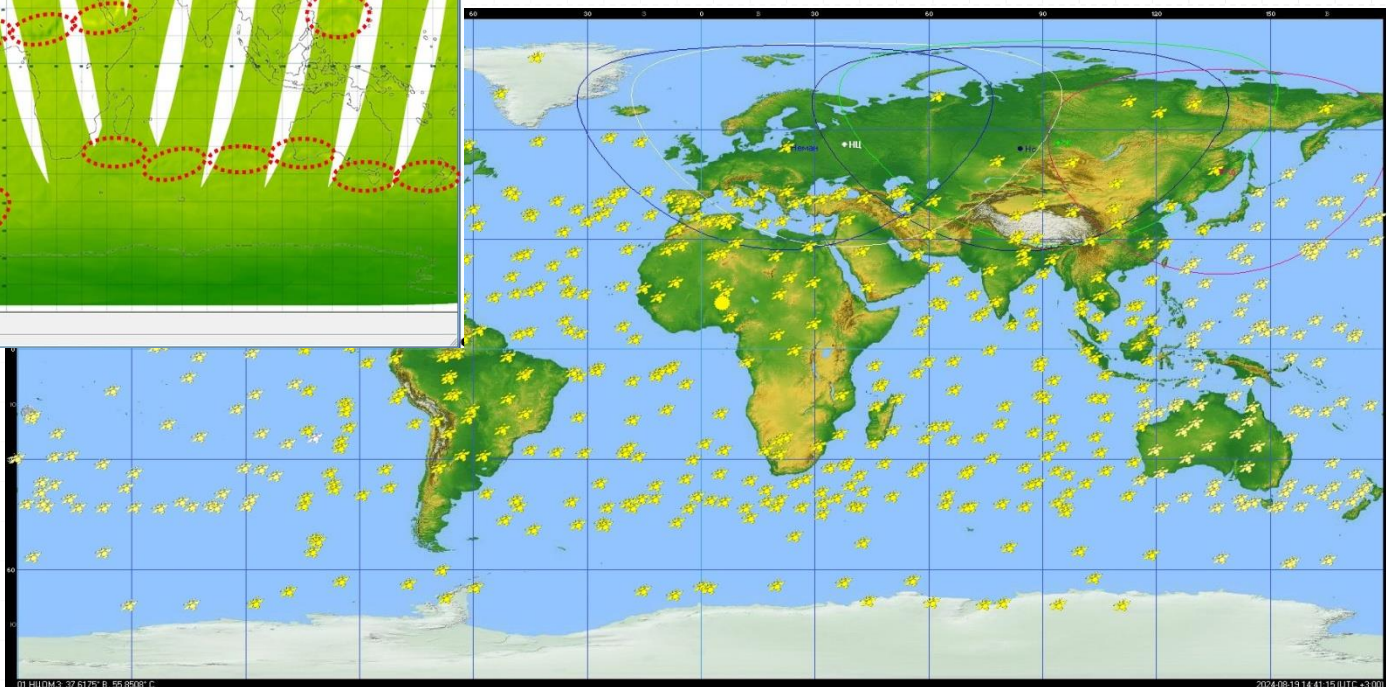
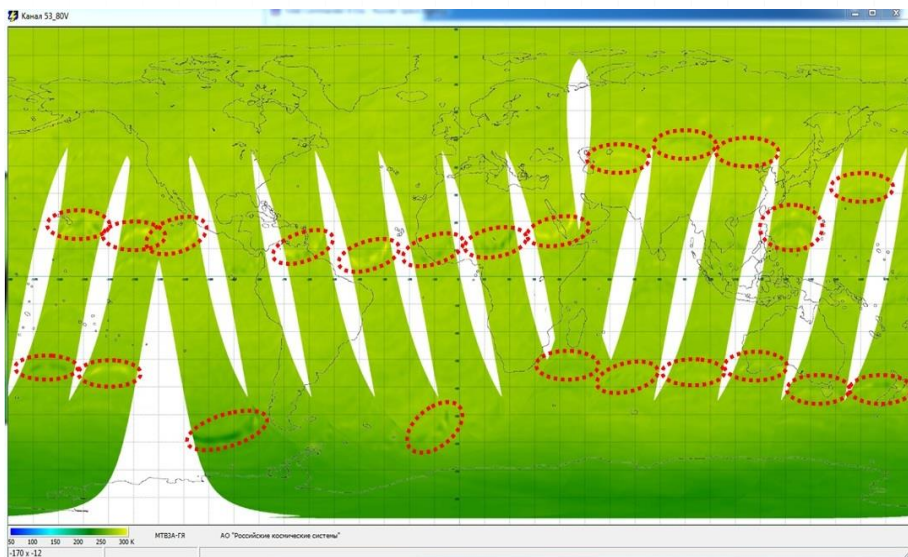
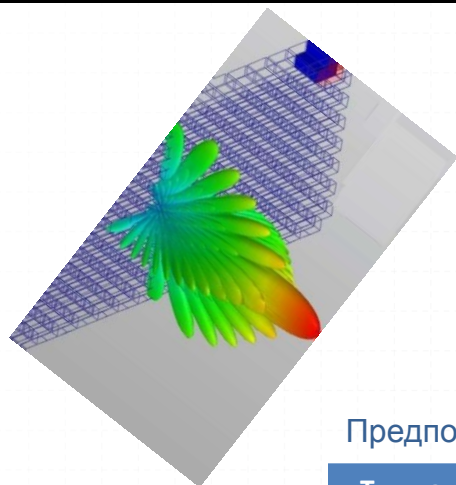
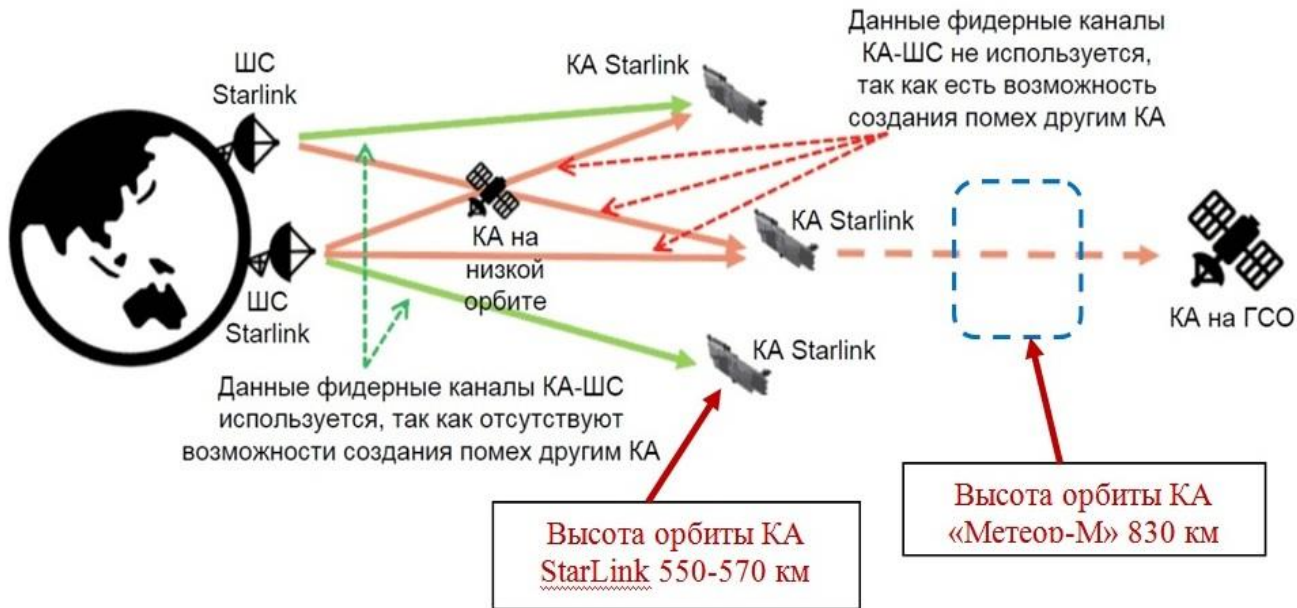


Рис. 6. Орбиты 1-й группы КА на высоте 550 км с наклоном 53° в составе 1-й фазы ОГ CCC Starlink

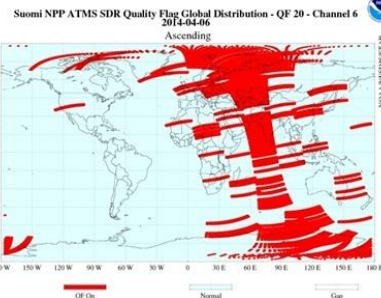
Анализ возможного совпадения по времени с работой каких-либо бортовых систем КА "Метеор-М" №2-4 таких фактов не выявил. Тогда была рассмотрена гипотеза о возможной дислокации источника помех вне атмосферы Земли. В качестве такого источника могут выступать РЭС, размещенные на малых низкоорбитальных КА глобальной системы связи и непосредственного доступа в Интернет (ССС Иридиум, Starlink и пр.).



Учитывая, что для получения большой зоны охвата наземных станций антенны КА StarLink работают с угловым отклонением от надира, возможно при определенных угловых положениях КА StarLink и КА «Метеор-М» кратковременное попадание излучения аппаратуры КА StarLink, например - 2-я гармоника каналов 25 -30 ГГц или 3-я гармоника каналов 12-18 ГГц, в зону пролета КА «Метеор-М»

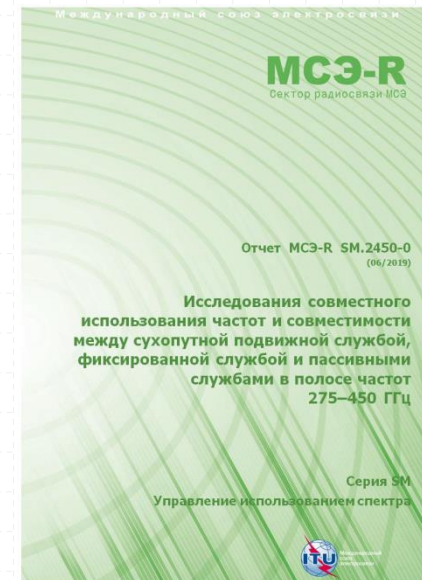


Предполагаемый частотный план ШС Starlink после фазы развертывания Generation 2 [32]



Тип канала связи и направление приема-передачи	Диапазоны частот, ГГц	Доступно МГц в одной поляризации	Количество поляризаций	Общее количество доступных экв. МГц
линия «вверх» ШС – КА	27,5-29,1 29,5-30 81-86	1600 500 5000	2	14200
линия «вниз» КА – ШС	17,8-18,6 18,8-19,3 71-76	800 500 5000	2	12600

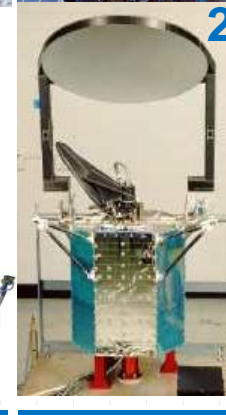
- Радиометры MW не могут различать естественный и искусственный шумы
 - Подобные уровни будут неразличимы и приведут к «загрязнению» данных;
 - Высокие (аномальные) уровни приведут к потере важных данных в различных районах мира.
- Исследования показывают, что для полной защиты микроволновых радиометров, работающих в этих диапазонах, требуется гораздо более продуманный уровень защиты.



Предполагаемый частотный план AT Starlink после фазы развертывания Generation 2 [32]

Тип канала связи и направление приема-передачи	Диапазоны частот, ГГц	Доступно МГц в одной поляризации	Количество поляризаций	Общее количество доступных экв. МГц
линия «вверх» AT – КА	12,75-13,25	500	2	4000
	14-14,5	500		
	18,8-19,3	500		
	19,7-20,2	500		
линия «вниз» КА – AT	10,7-12,75	2050	2	7300
	17,8-18,6	800		
	18,8-19,3	300		
	19,7-20,2	500		

Параметр	Тип аппаратуры			
	МТВЗА-ГЯ	GMI	SSMIS	MRWI-RM
Диапазон частот, ГГц	10.6 ÷ 183.31	10.65 ÷ 183.3	19.35 ÷ 183.31	10.65 ÷ 183.3 (54, 118 и 183)
Количество каналов	29 (40)	13	24	26
Диаметр антенны, см	65 (67)	120	61 × 66	122
Тип сканирования	коническое	коническое	коническое	коническое
Угол визирования / падения	53.3° / 65°	45° / 53°	45° / 53.1°	53.3° / 65°
Частота сканирования, об / мин	24	32	32	35,3 (1,7сек)
Полоса обзора, км	1500	1700	1700	800
Чувствительность, К/пиксель	0.3 ÷ 1.7	0.57 ÷ 1.5	0.2 ÷ 1.23	
Пространственное разрешение (в зависимости от канала), км×км	89×198 52×116 42×94 35×76 30×67 26×60 24×43 14×30 21×48 9×21	19×32 11×18 9.2×15 8.6×14 4.4×7.2	42.4×70.1 27.5×44.2 17.5×25.8 13.1×14.4	
Режим работы на витке	непрерывный			
Информативность, Кбит/с	35 (45)	25	14.2	-
Масса, кг	94	150	96	-
Среднее энергопотребление, Вт	80	140	135	-



МТВЗА-ГЯ

GMI

SSMIS

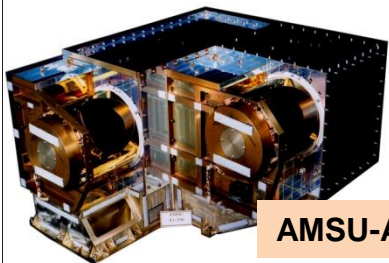
1) Тип КА (NASA , INPE (Бразилия), JAXA (Япония)):
GPM Core Observatory (2014 - 2017).

Тип аппаратуры:
GPM Microwave Imager (GMI).

2) Тип КА (Министерство обороны США):

DMSP- F16 (2003 - 2014); DMSP- F17 (2006 - 2014); DMSP- F18 (2009 - 2014); DMSP- F19 (2014 - 2019); DMSP- F20 (**запуск отменен**).

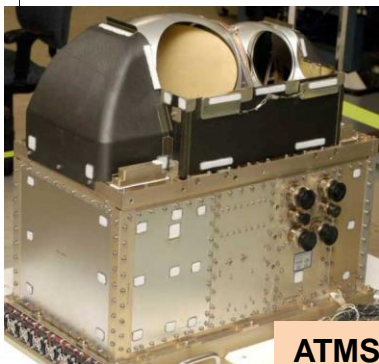
Тип аппаратуры:
Special Sensor Microwave - Imager/Sounder (SSMIS).



AMSU-A

AMSU-A_(NOAA) (MetOp-B,C), ESA
 Функции: зондировщик
 -сканирование – поперёк трассы (cross-track);
 -разрешение - 40 км
 -полоса обзора – 1690 км
 -число каналов – 15
 -частотный диапазон – 23,8–89 ГГц

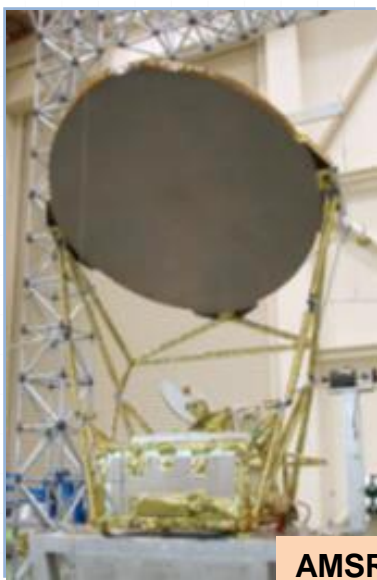
FY-3(ФеньЮн-3), Китай
MWRI (MicroWave Radiation Imager)
 Функции:сканер
 -сканирование – коническое;
 -разрешение - 12 – 85 км
 -полоса обзора – 1700 км
 -число каналов –12
 -частотный диапазон – 10,65–150 ГГц



ATMS

MHS (Microwave Humidity Sounder) (MetOp-B,C), ESA
 Функции: влажностный зондировщик
 -сканирование – поперёк трассы (cross-track);
 -разрешение - 16 км
 -полоса обзора – 2000 км
 -число каналов – 5
 -частотный диапазон – 89–190,3 ГГц

MWTS (MicroWave Temperature Sounder)
 Функции:температурный зондировщик
 -сканирование – поперёк трассы (cross-track);
 -разрешение - 50 – 75 км
 -число каналов –4
 -частотный диапазон – 52–57 ГГц



AMSU-2

ATMS_(NOAA) (Advanced Technology Microwave Sounder), совмещает функции температурного и влажностного зондировщика (AMSU-A и AMSU-B)
 -сканирование – поперёк трассы (cross-track);
 -разрешение - 16 км(183 ГГц)/32 км (54ГГц)
 -полоса обзора – 2200 км
 -число каналов – 22
 -частотный диапазон – 50–183,3 ГГц

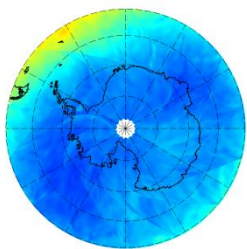
MWHS (MicroWave Humidity Sounder)
 Функции:влажностный зондировщик
 -сканирование – поперёк трассы (cross-track);
 -разрешение - 15 км
 -число каналов – 5
 -частотный диапазон – 150–183,31 ГГц

AMSR-2 (GCOM-1), JAXA(Япония)

имеет самое большое на данный момент зеркало в мире -2 метра
 Функции:сканер
 -разрешение - 5 – 60км,
 -полоса обзора – 1450 км
 -число каналов – 16
 -частотный диапазон – 6,9–89 ГГц

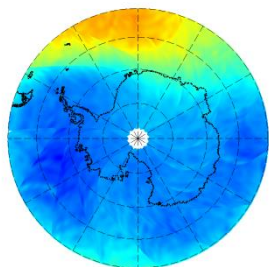
Пример данных МТВЗА-ГЯ за июль 2024 года (мощное тепловое стратосферное вторжение на д Антарктидой)

08 -Н pol 05 Июль 2024



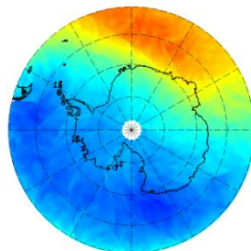
170 260

08 -Н pol 08 Июль 2024



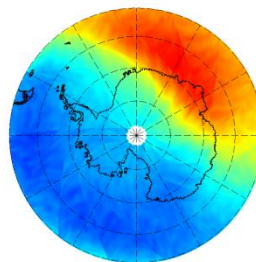
170 260

08 -Н pol 10 Июль 2024



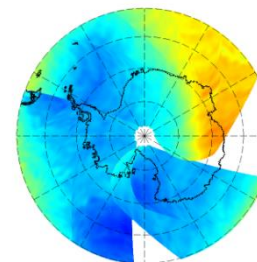
170 260

08 -Н pol 12 Июль 2024



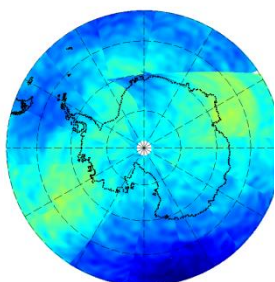
170 260

08 -Н pol 16 Июль 2024



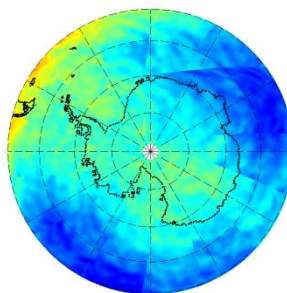
170 260

010 -Н pol 01 Июль 2024



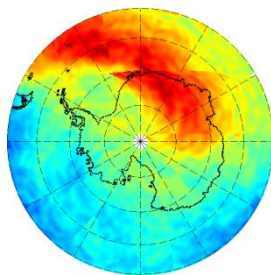
200 270

010 -Н pol 05 Июль 2024



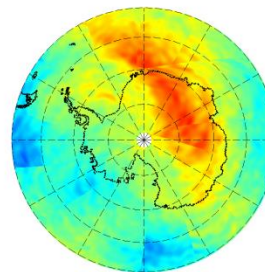
200 270

010 -Н pol 11 Июль 2024



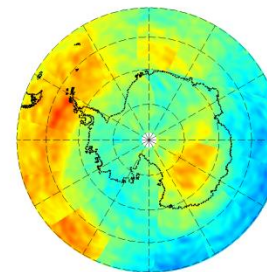
200 270

010 -Н pol 14 Июль 2024

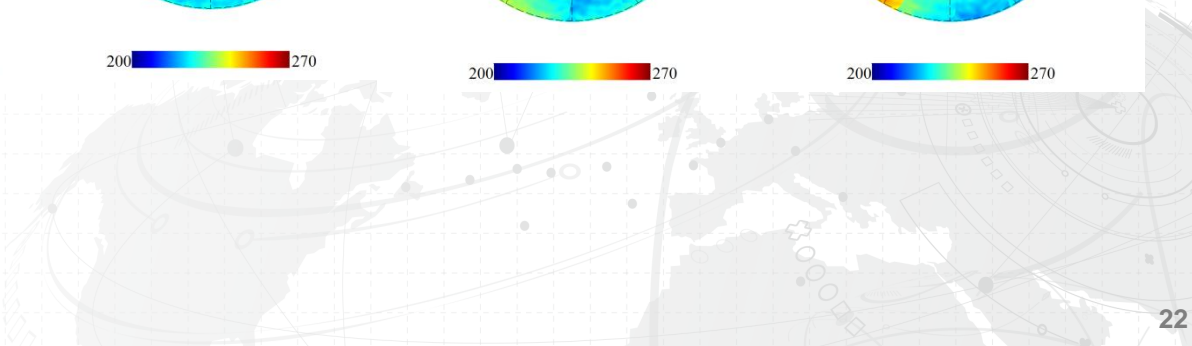


200 270

010 -Н pol 18 Июль 2024



200 270





**Предполагаемый вид КА
в орбитальном полете**

Космический аппарат **Weather System Follow—on-Microwave (WSF-M)** был успешно выведен на орбиту **8 апреля 2024** года в рамках миссии Космических сил США (USSF)-62 с базы военно-космических сил Ванденберг, Калифорния, Запуск **второго КА** запланирован на **2028 год**.

Основное назначение КА - предоставление актуальных метеорологических данных для Вооруженных сил США и их союзников. Спутник, обеспечивает оперативный космический мониторинг окружающей среды в интересах действий ВВС США в Мировом масштабе..

Система использует пассивный микроволновый радиометр с функциями сканера/поляриметра для измерения скорости и направления ветра на поверхности океана (**поляриметрические измерения на частотах 10,85, 18,7 и 37ГГц**), толщины льда, глубины снега и влажности почвы (**6,9 – 7,3 ГГц и 89-91 ГГц**), а также параметры паросодержания атмосферы (**23,8 ГГц**). Кроме этого будут предоставляться данные о космической погоде, на основании измерения потоков энергетически заряженных частиц вокруг космического аппарата (**аналогичная аппаратура стояла на КА DMSP**).

Суммарные затраты на проектирование, проведение испытаний и подготовку к запуску составили около 417,4 миллиона долларов.

WSF-M (MWI)

Функции: сканер, поляриметр

- сканирование – коническое;
- высота орбиты – около 835 км;
- разрешение – 4-5 км (апертура основного зеркала антенны – **1,8 м**);
- полоса обзора – 1700 км;
- число каналов – 17;
- частотный диапазон – 10,85, 18,85, 23,8 , 36,75, 37,3 и 89 ГГц.

По мере наращивания в арктическом регионе активности морских и авиационных перевозок, ESA решило нарастить возможности своих метеогруппировок. Для этого они заказали у возглавляемого OHB Swedeb AB прототип спутника, для отработки конструкции аппаратов **16-ти спутниковой группировки**. Стоимость контракта составила 32,5 млн. евро. Запуск первого арктического метеорологического спутника ESA **осуществлен 16 августа 2024 года**. КА AWS (Arctic Weather Satellite) оснащен пассивным микроволновым зондировщиком специально разработанными для этой миссии и поставляемыми фирмой Omnisys Instruments.

Микроволновый радиометр сконструирован по схеме сканирования поперек трассы, по характеристикам аналогичен ATMS (NOAA) или MWS (Metop-SG), но имеет новые частотные каналы, не используемые ранее. По функциональному назначению – зондировщик, объединяющий функции температурного и влажностного зондировщиков. Прибор функционирует в диапазоне частот от 50 до 325 ГГц, а 19 каналов сгруппированы в четыре группы в зависимости от частоты и функционального назначения и каждая группа каналов имеет свой приемный рупор и соответствующие приемные устройства.



Внешний вид КА AWS для разных вариантов компоновки Солнечных батарей

Данные пассивного микроволнового зондирования будут использоваться для численного прогнозирования погоды, а развертывание полного состава орбитальной группировки обеспечит обновление данных северных широтах каждые 10-15 минут.

Выводы

1. При оценке помеховой обстановки при работе СВЧ-радиометра необходимо учитывать многопараметрический сигнал, поступающий на вход приемных устройств.
2. Развитие сетей 5G и 6G требует проведения мероприятий по дополнительной фильтрации внеполосного излучения для наземных и бортовых РЭС, а также четкого соблюдения рекомендаций МСЭ.
3. Для развития конструкции бортовых приемных устройств и применения аппаратных способов компенсации помех необходимо развитие электронной компонентной базы на частоты до 240 ГГц, а в перспективе до 660 ГГц.
4. Для реализации программных алгоритмов фильтрации (компенсации) помех в процессе наземной обработки спутниковых данных необходимо передавать на средства НКПОР дополнительную служебную информацию от бортовых аппаратных средств компенсации помех.
5. Для моделирования ситуаций возникновения помех от РЭС, установленных на борту КА, необходимо своевременно обновлять экспериментальную базу и программно-методическую документацию.

1. Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. Радиоизлучение Земли как планеты. М.: Наука, 1974. 187 с.
2. Spencer R. W., Christy J. R. Precision lower stratospheric temperature monitoring with the MSU: Technique, validation, and results 1979–91 // J. Climate. 1993. No. 6. P. 1194–1204.
3. Jackson P. T. J., Hsu A. Y., Armand N., Kutuza B., Shutko A., Tishchenko Y., Petrenko B., Evtushenko A., Smirnov M., Savorskij V., Sorokin I., Nikolaev A., Sidorenko A. Piroda passive microwave observations in the Southern Great Plains 1997 hydrology experiment // Proc. IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS'98). 1998. P. 1568–1570.
7. Черный И. В., Чернявский Г. М., Успенский А. Б., Пегасов В. М. СВЧ-радиометр МТВЗА спутника «Метеор-3М» № 1: предварительные результаты летных испытаний // Исследование Земли из космоса. 2003. № 6. С. 1–15.
8. Наконечный В. П., Панцов В. Ю., Прохоров Ю. Н., Стрельников Н. И., Черный И. В., Чернявский Г. М., Данилов С. Г., Казанцев О. Ю. Оптико-микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ОК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Вып. 1. Т 1. С. 197–203.
9. Чернявский Г. М. Отечественные технологии спутниковой СВЧ-радиометрии. Аэрокосмический курьер. 2007. № 6. С. 22–24.
10. Болдырев В. В., Ильгасов П. А., Панцов В. Ю., Прохоров Ю. Н., Стрельников Н. И., Черный И. В., Чернявский Г. М., Яковлев В. В. Спутниковый микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 1. С. 243–248.
11. Барсуков И. А., Никитин О. В., Стрельцов А. М., Черный И. В., Чернявский Г. М. Предварительная обработка данных СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» №1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 257–264.
12. Cherny I. V., Chernyavsky G. M., Mitnik L. M., Kuleshov V. P., Mitnik M. L. Advanced Microwave Imager/Sounder MTVZA-GY-MP for New Russian Meteorological Satellite // Proc. IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). 2017. P. 1220–1223.
13. Cherny I. V., Mitnik L. M., Mitnik M. L., Uspensky A. B., Streltsov A. M. On-orbit calibration of the “Meteor-M” Microwave Imager/Sounder // Proc. IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). 2010. P. 558–561.

Литература (продолжение)

14. Kunkee D. B., Hong Y., Thompson D. A., Werner M. F., Poe G. A. Analysis of the Special Sensor Microwave Imager Sounder (SSMIS) fields-of-view on DMSP F-16 // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2008. V. 46. No. 4. P. 934–945.
15. Weng F., Zou X., Sun N., Yang H., Tian M., Blackwell W. J., Wang X., Lin L., Anderson K. Calibration of Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) // J. Geophys. Research. Atmosphere. 2013. V. 118. P. 1–14.
16. Imaoka K., Kachi M., Rasahara M., Ito N., Nakagawa K., Oki T. Instrument performance and calibration of AMSR-E and AMSR2 // Intern. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Kyoto, Japan, 2010. V. 38. Pt. 8.
17. Митник Л. М., Митник М. Л., Гурвич И. А. Выкочко А. В., Кузлякина Ю. А., Черный И. В., Чернявский Г. М. Исследование эволюции тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана по данным СВЧ-радиометров МТВЗА-ГЯ со спутника «Метеор-М» № 1 и AMSR-E со спутника Aqua // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 121–128.
18. Митник Л. М., Митник М. Л., Чернявский Г. М., Черный И. В., Выкочко А. В., Пичугин М. К. Приводный ветер и морской лёд в Баренцевом море по данным микроволновых измерений со спутников «Метеор-М» № 1 и GCOM-W1 в январе – марте 2013 г. // Исследование Земли из космоса. 2015. № 6. С. 1–11.
19. Чернявский Г.М., Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л., Черный И.В. Микроволновое зондирование океана, атмосферы и земных покровов по данным спутника Метеор-М №2. “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. Сборник научных статей. Том 15, №3, 2018, с.152-174.
20. [PENG ZHANG, SONGYAN GU, LIN CHEN, JIAN SHANG, MANYUN LIN, AIJUN ZHU, HONGGANG YIN, QIONG WU, YIXU AN SHOU, AND NAIMENG LU // JOURNAL OF REMOTE SENSING, 19 Dec 2023, Vol 3, Article ID: 0097](#)
21. <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2020/05/19/new-military-weather-satellite-passes-key-milestones/>
22. <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/wsf-m>
23. https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_System_Follow-on_Microwave
25. https://www.ball.com/aerospace/Aerospace/media/Aerospace/Downloads/D3395_WSF-M_1217.pdf?ext=.pdf

26. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/Arctic_Weather_Satellite
27. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/Arctic_Weather_Satellite/Arctic_Weather_Satellite_s_first_images_capture_Storm_Boris
28. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/MetOp/MetOp_Second_Generation_instruments
29. <https://www.eumetsat.int/metop-sg>
30. Ye Hong¹, Derek Reimer², David Kunkee¹, Dan Walker¹, Chris Brann² and Rebecca Hamilton² (1 The Aerospace Corporation; 2 NPOESS-IPO/USAF), FUTURE MICROWAVE IMAGER/SOUNDER (MIS) DATA PRODUCTS: TEMPERATURE DATA RECORDS (TDR), SENSOR DATA RECORDS (SDR) AND ENVIRONMENTAL DATA RECORDS (EDR) {document from the site vigir.missouri.edu 2678.pdf}
31. Jeffrey R. Piepmeier RFI Problems and Solutions in Spaceborne Microwave Radiometers. // Proc. IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS'2005). 2005. P. 168–170.
32. Пехтерев С. В., Макаренко С. И., Ковальский А. А., **Описательная модель системы спутниковой связи Starlink // Системы управления, связи и безопасности №4. 2022 с.190-255**