

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1747\*

**Защита спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) (пассивная) в полосе частот 1400–1427 МГц от нежелательных излучений фидерных линий ПСС, которые могут функционировать в полосах частот 1390–1392 МГц (Земля-космос) и 1430–1432 МГц (космос-Земля)**

(2006)

**Сфера применения**

В данной Рекомендации представлены уровни мощности нежелательного излучения для защиты спутников ССИЗ (пассивной), работающих в полосе частот 1400–1427 МГц от фидерных линий ПСС (космос-Земля), которые могут функционировать в полосе частот 1430–1432 МГц, и от фидерных линий ПСС (Земля-космос), которые могут функционировать в полосе частот 1390–1392 МГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ-Т,

*учитывая,*

- a) что ВРК-03 создала временное распределение на вторичной основе для ФСС для фидерных линий ПСС п. 5.339А в полосах частот 1390–1392 МГц (Земля-космос) и 1430–1432 МГц (космос-Земля);
- b) что эти распределения ограничены в использовании фидерными линиями для негеостационарных спутниковых сетей в подвижной спутниковой службе со служебными линиями ниже 1 ГГц и что применяется Резолюция 745 (ВРК-03);
- c) что полоса частот 1400–1427 МГц распределена для спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) (пассивной), радиоастрономической службы и службы комических исследований (пассивной) на первичной основе во всех регионах и что к полосе частот 1400–1427 МГц также применяется п. 5.340;
- d) что Резолюция 745 (ВРК-03) предусматривает изучение совместимости, включая измерение излучений от оборудования, которое будет применяться в операционных системах для подтверждения того, что системы ПСС, использующие эту полосу частот, соответствуют всем требованиям для защиты пассивных служб в полосе частот 1400–1427 МГц;
- e) что полоса частот 1400–1427 МГц более всего подходит для ССИЗ (пассивной) для измерения влажности почвы, солёности воды на поверхности моря и растительной биомассы;
- f) что в Рекомендации МСЭ-R SA.1029 содержится информация о критерии защиты ССИЗ (пассивной);
- g) что в Рекомендации МСЭ-R М.1184 представлены технические характеристики для подвижных спутниковых систем в полосах частот ниже 3 ГГц для использования их при разработке критерия для совместного использования частот между подвижной спутниковой службой (ПСС) и другими службами;
- h) что исследования фидерных линий ПСС (Земля-космос), как показано в Приложениях 1 и 2, привели к тому, что наиболее подходящим критерием для защиты ССИЗ (пассивной) будет спецификация спектральной плотности мощности нежелательного излучения для станций фидерных линий ПСС в полосе частот 1400–1427 МГц;

---

\* Настоящая Рекомендация была подготовлена при совместной работе 7-й и 8-й Исследовательских комиссий по радиосвязи, и любые последующие пересмотры также будут производиться совместно.

j) что рекомендован запас примерно в 2 дБ на основе результатов, полученных для вероятности помех в 0,05%, для того чтобы учитывать факт, что только ограниченное число фидерных линий и комбинаций пассивных датчиков могут быть изучены и что действительные характеристики ПСС могут немного отличаться от тех, которые приведены в исследовании,

*отмечая,*

a) что снижение нежелательного излучения до уровня, который необходим для достаточной защиты пассивных служб в полосе частот 1400–1427 МГц, является возможным с помощью методов обработки в основной полосе частот для типичных комбинаций технологий скорости передачи данных и модуляции без использования специального фильтра после усилителя;

b) что дополнительный фильтр после усилителя может использоваться в тех случаях, в которых обработка в основной полосе, описанная в пункте a) раздела *отмечая*, недостаточна для обеспечения требуемых уровней нежелательного излучения;

c) что уровень нежелательного излучения на входе антенны спутника фидерных линий ПСС, необходимый для защиты радиоастрономической службы, ниже, чем уровень излучения, представленный в пункте 1 раздела *рекомендует* (см. Рекомендацию МСЭ-R М.1748),

*рекомендует,*

1 чтобы для того, чтобы обеспечить защиту спутниковой службы исследования Земли (пассивной) в полосе частот 1400–1427 МГц, нежелательное излучение фидерных линий ПСС не превышало следующие уровни мощности в полосе частот 1400–1427 МГц:

- –63 дБВт на входе антенны земной станции для фидерных линий ПСС (Земля-космос), работающей в полосе частот 1390–1392 МГц;
- –46 дБВт на входе антенны спутника для фидерных линий ПСС (космос-Земля), работающей в полосе частот 1430–1432 МГц.

## Приложение 1

### **Защита датчиков спутниковой службы исследования Земли (пассивной) в полосе частот 1400–1427 МГц от фидерных линий подвижной спутниковой службы, которые могут функционировать в ФСС на частоте около 1400 МГц**

#### **1 Технические характеристики спутника пассивного датчика ССИЗ**

Частоты около 1400 МГц являются наиболее подходящими для измерения влажности почвы, солености воды на поверхности моря и растительной биомассы. НАСА в настоящий момент разрабатывает прибор для измерения солености воды на поверхности моря (миссия Aquarius), который позволит объединить измерения во всей рассматриваемой пассивной микроволновой полосе частот (1400–1427 МГц). НАСА также разрабатывает прибор для измерения влажности почвы (миссия HYDROS) в полосе частот 1400–1427 МГц. Технические характеристики спутников пассивного зондирования Aquarius и HYDROS представлены в таблице 1.

Целями исследования Aquarius являются наблюдение и моделирование процессов, которые связывают различия в солености с изменением климата в мировой циркуляции воды, и выяснение того, как эти различия влияют на циркуляцию вод мирового океана. Целью исследования HYDROS является измерение влажности почвы, которая является ключевой переменной в круговороте воды, сильно влияя на испарение, просачивание и поверхностный сток.

ТАБЛИЦА 1

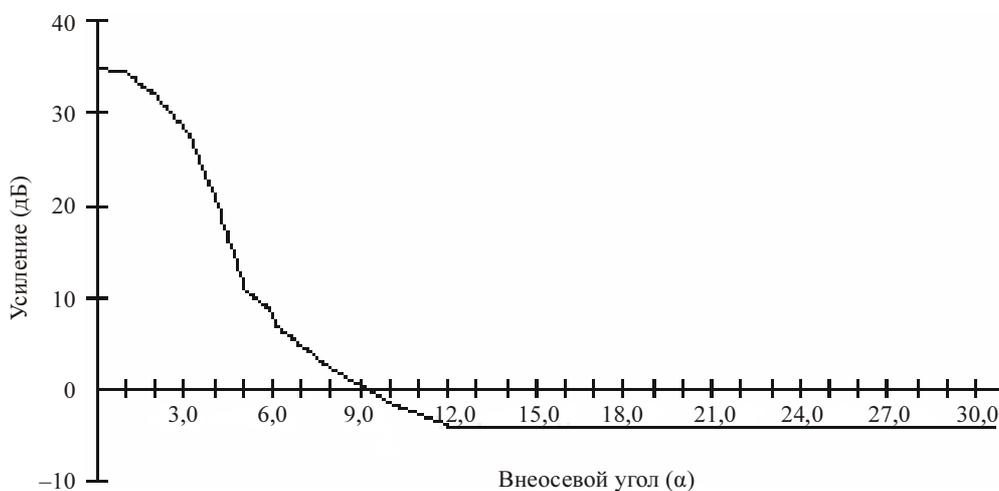
## Параметры пассивных датчиков Aquarius и HYDROS

Параметр	Aquarius	HYDROS
Максимальное значение коэффициента усиления (для каждого пучка лучей)	31,1 дБи	35 дБи
Ширина диаграммы направленности антенны 3 дБ (для каждого пучка лучей)	5,5°	2,6°
Поляризация антенны	Горизонтальная и вертикальная	Горизонтальная и вертикальная
Наведение антенны (градусов от надира)	<u>Пучок 1</u> Перпендикуляр: 37,2° Параллель: 4,8°	Антенна под углом 40° от надира сканирует около надира на скорости 6 об./мин. со временем получения выборки 72 мс/сота
	<u>Пучок 2</u> Перпендикуляр: 28,9° Параллель: -9,5°	
	<u>Пучок 3</u> Перпендикуляр: 20,7° Параллель: 4,8°	
Орбита	600 км над уровнем моря 98° наклон	670 км над уровнем моря 98° наклон
Ширина полосы частот приемника (3 дБ)	25 МГц	27 МГц
Допустимый уровень помех	-174 дБ(Вт/27 МГц)	-174 дБ(Вт/27 МГц)
Процент, на который может быть превышено время помехи	0,1%	0,1%

В процессе HYDROS используется сканирующая антенна под углом в 40 градусов по отношению к надиру. Диаграмма направленности усиления для антенны HYDROS представлена на рисунке 1. В процессе Aquarius используется конфигурация трехлучевого радиометра постоянного сканирования, в которой диаграмма направленности усиления каждого пучка лучей датчика схожа с диаграммой для HYDROS. Каждый пучок лучей представляет отдельный пиксель со средним временем интеграции, равным 10 секунд.

РИСУНОК 1

## Диаграмма направленности антенны для HYDROS



## 2 Технические характеристики систем ПСС

Полосы частот 1390–1392 МГц и 1430–1432 МГц находятся в процессе рассмотрения для их использования для фидерных линий между негеостационарными спутниками подвижной службы и фиксированными земными станциями, расположенными по всему миру. По этим фидерным линиям будут передаваться и приниматься данные от группировки спутников ПСС. Более того с помощью этих линий будут предоставляться телеметрия, сопровождение и командные функции.

Четыре группы ПСС, состоящие из 128 спутников, были рассмотрены в этой работе, как показано в таблице 2. Параметры для группировок "L", "M", "Q", и "S" были получены из Приложения 2 к Рекомендации МСЭ-R М.1184. Было внесено небольшое изменение, касающееся количества и наклона спутников в группировке "Q", для того чтобы эта группировка была совместима с реальной спланированной системой. Количество спутников, составляющих группировку "Q", было сокращено с 32 до 26 для данной работы, и наклон 24 из 26 спутников был увеличен с 51° до 66 градусов.

ТАБЛИЦА 2

### Характеристики группировок ПСС

	Рекомендация МСЭ-R М.1184						
	Группировка L	Группировка M		Группировка S	Группировка Q <sup>(1)</sup>		
Количество спутников	48	48		6	26		
Высота над уровнем моря (км)	950	825	775	692	1 000		
Наклон (градусы)	50	45	0	70, 108	98	66	83
Плоскости орбиты	8	3	1	2	2	6	2
Количество спутников в одной плоскости	6	8		3	4	1	

(1) Количество спутников, составляющих группировку "Q", было уменьшено с 32 до 26 для данной работы и уклон для 24 из 26 спутников был увеличен с 51° до 66°, для обеспечения соответствия с группой, используемой в Документе 7C/8.

Характеристики фидерных линий ПСС Земля-космос и космос-Земля, используемые в этой работе, описаны в таблицах 3 и 4, соответственно. Предполагается, что характеристики идентичны четырем группировкам ПСС, и они получены из предыдущих отдельных работ МСЭ-R.

Диаграмма направленности антенны слева на рисунке 2 показывает диаграмму направленности усиления спутника НГСО ПСС антенны фидерных линий с круговой поляризацией, он используется в данном анализе как для передачи, так и для получения. Диаграмма направленности антенны справа на рисунке 2 показывает диаграмму направленности усиления антенны земной станции ПСС. Данная диаграмма получена из Приложения 8 к Дополнению III Регламента радиосвязи. Каждая группировка ПСС поддерживается 15 земными станциями, распределенными по всему миру в характерных местах, всего 60 земных станций.

ТАБЛИЦА 3

## Характеристики фидерной линии Земля-космос

Параметр	Значение
Количество земных станций	15 для каждой группировки ПСС, всего 60
Местоположения земных станций	Распределены по всему миру для каждой группировки
Максимальное усиление передающей антенны	30 дБи
Ширина пучка 3 дБ	5°
Минимальное значение усиления	-1,5 дБи
Диаграмма направленности антенны	РР, Приложение 8, Дополнение III
Поляризация антенны	По часовой стрелке
Наведение антенны	Ближайшие траектории спутника при возвышении 5° и 90°
Мощность передатчика	10 Вт на каждые 100 кГц
Потери на линии	1 дБ
Модуляция	GMSK <sup>(1)</sup> , OQPSK <sup>(2)</sup> , 8-PSK <sup>(2)</sup> , 16-QAM <sup>(2)</sup>
Частотная ширина канала	100, 300, 855 кГц

(1) Гауссовская узкополосная передача, подверженная фильтрации с  $BT_b = 0,5$ .

(2) Квадратный корень приподнятого косинуса узкополосной передачи, которая подвергнута фильтрации с  $BT_s = 1,0$ .

ТАБЛИЦА 4

## Характеристики фидерной линии космос-Земля

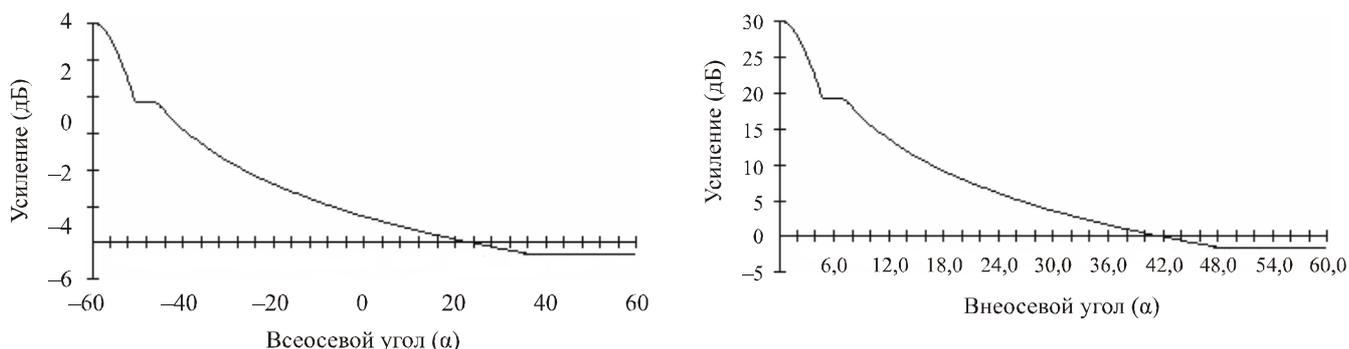
Параметр	Значение
Максимальное усиление передающей антенны	См. рисунок 2
Минимальное значение усиления	-6 дБ
Поляризация антенны	По часовой стрелке
Наведение антенны	фиксированное, площадь покрытия примерно 4000 км в диаметре
Мощность передатчика	1 Вт на каждые 100 кГц
Потери на линии	1 дБ
Модуляция	GMSK <sup>(1)</sup> , OQPSK <sup>(2)</sup> , 8-PSK <sup>(2)</sup> , 16-QAM <sup>(2)</sup>
Частотная ширина канала	100, 300, 855 кГц

(1) Гауссовская узкополосная передача, подверженная фильтрации с  $BT_b = 0,5$ .

(2) Квадратный корень приподнятого косинуса узкополосной передачи, которая подвергнута фильтрации с  $BT_s = 1,0$ .

РИСУНОК 2

Диаграмма направленности принимающей и передающей антенны НГСО спутника ПСС (слева) и диаграмма направленности принимающей и передающей антенны земной станции (справа)



1747-02

### 3 Анализ помех

#### 3.1 Обзор

Динамическая модель помех включает в себя 4 системы ПСС, содержащие 128 космических кораблей и 60 земных станций. При помощи имитационной модели рассчитаны кумулятивные функции распределения (КФР) мощности помех совмещенного канала, производимых совокупностью отдельных линий вверх и линий вниз системы ПСС и совокупностью линий вверх и линий вниз системы ПСС на входе приемника пассивного датчика.

На каждом шаге имитации моделью были подсчитаны общая мощность на выходе отдельного пучка антенны датчика, производимая всеми видимыми и активными линиями вверх и вниз ПСС, результаты были отсортированы по ячейкам с разрешением в 1,0 дБ для их использования при построении КФР. При моделировании использовался шаг в одну секунду для Aquarius и 50 мс для HYDROS, для того чтобы гарантировать приемлемое перекрытие со временем выборки для каждой соты пучка лучей датчика. Моделирование происходило в течение периода, соответствующего 14 дням в режиме реального времени.

Уровень мощности помех  $I$  (дБВт) на выходе антенны пассивного датчика рассчитывался по следующей формуле:

$$I = 10 \cdot \log P_t - L_l + G_t - (32,44 + 20 \log(f \cdot R)) + G_r - L_p - L_{atm}, \quad (1)$$

где:

$P_t$ : мощность передатчика (Вт)

$L_l$ : линейные потери передатчика

$G_t$ : усиление антенны источника помех в направлении станции, испытывающей помехи (дБи)

$f$ : частота, на которой испытывающая помехи станция ведет прием (МГц)

$R$ : наклонная дальность между источником помех и станцией, испытывающей помехи (км)

$G_r$ : усиление антенны, испытывающей помехи, в направлении источника помех (дБи)

$L_p$ : потери поляризационной селекции

$L_{atm}$ : атмосферные потери на поглощении (дБ).

Значение в 0 дБ использовалось для затухания в результате атмосферного поглощения (сухой воздух и водяной пар). Значение в 1,4 дБ использовалось для потерь поляризационной селекции, происходящих в результате действия антенны с линейной поляризацией пассивного датчика и антенны ПСС с круговой поляризацией. При помощи этих расчетов было сделано предположение, что все линии ПСС функционируют на одной частоте и в рамках полосы частот пассивного датчика. Все действия по моделированию совершались на частоте 1400 МГц и использовали уровни мощности передачи, связанные с шириной канала в 100 кГц. Необходимо отметить, что графики КФР для ширины каналов в 300 кГц и 855 кГц должны показать более высокие уровни помех по причине масштабирования уровней мощности линий передачи Земля-космос и космос-Земля как функции от ширины канала.

Для того чтобы определить внеполосную мощность фидерных линий ПСС в полосе частот 1400–1427 МГц, были введены технологии моделирования и имитации для различных схем модуляции и ширины каналов. Впервые имитационная модель была утверждена для данных измерений аппаратного обеспечения GSMK, а затем были сформированы данные о спектральной плотности мощности (СПМ) с помощью моделирования для других технологий модуляции и ширины каналов. При использовании данных СПМ общая суммарная мощность относительно 1 Вт в полосе частот 1400–1427 МГц была определена по передатчику ПСС линии вверх и линии вниз. Эти результаты представлены в таблице 5. Были выбраны центральные частоты для смоделированных сигналов линии вверх и линии вниз, для того чтобы первый нуль смоделированного сигнала попадал на границу полосы частот фидерной линии ПСС, которая является ближайшей к полосе ССИЗ (пассивной).

ТАБЛИЦА 5

**Суммарная мощность в полосе частот 1400–1427 МГц от передатчика фидерных линий ПСС для наилучшей ситуации при мощности передачи, равной 1 Вт (дБВт)**

Ширина канала фидерной линии	Модуляция фидерной линии							
	Передача информации с земной станции на спутник (1390–1392 МГц)				Передача информации со спутника на земную станцию (1430–1432 МГц)			
	GMSK	OQPSK	8-PSK	16-QAM	GMSK	QPSK	8-PSK	16-QAM
100 кГц	-75,0	-74,3	-74,4	-74,4	-71,5	-71,8	-71,8	-71,9
300 кГц	-74,1	-73,5	-73,6	-73,6	-72,2	-71,0	-71,2	-71,6
855 кГц	-75,0	-75,1	-73,1	-73,5	-71,3	-70,8	-59,1	-64,2

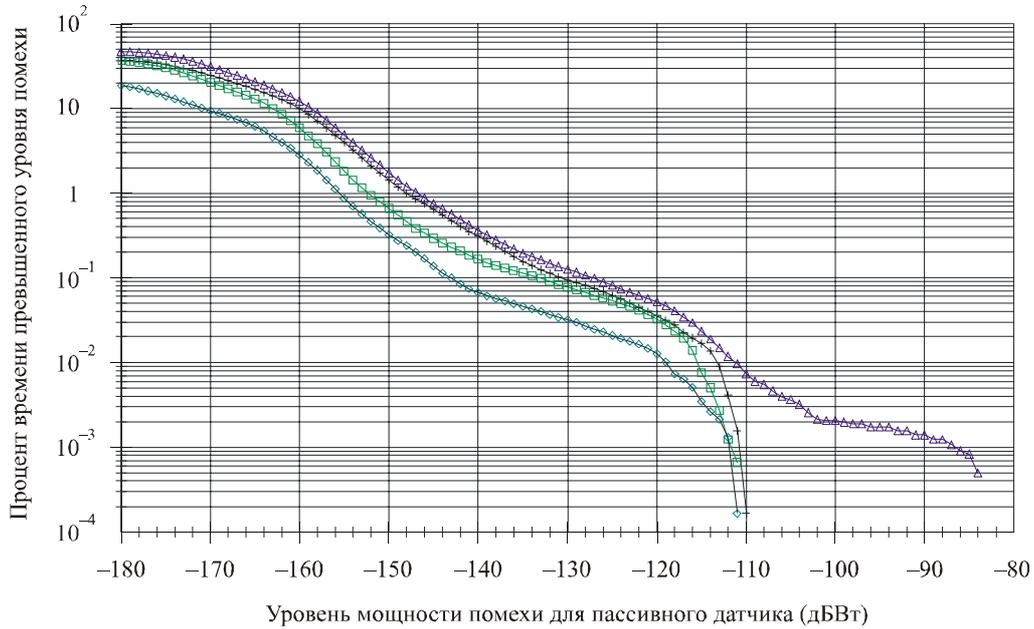
### 3.2 Результаты анализа – режим работы

Графики кумулятивной функции распределения (КФР) для Aquarius показаны на рисунках 3–5. Похожие графики КФР были получены для HYDROS, поэтому они не представлены на рисунках. На рисунке 3 показан график КФР для уровня мощности помех смежного канала для Aquarius линии Земля-космос для каждой системы ПСС. На рисунке 4 показан график КФР смежного канала для Aquarius для каждой линии космос-Земля системы ПСС. На рисунке 5 показан общий график КФР для смежного канала для всех линий ПСС Земля-космос, общий график КФР для смежного канала для всех линий ПСС космос-Земля и суммарный общий график КФР для смежного канала для всех линий ПСС и систем, которые могут иметь отношение к Aquarius.

Точка зрения как Рабочей группы 8D, так и Рабочей группы 7C заключается в том, что вклад фидерных линий ПСС не должен составлять больше 5–10% от общего допустимого уровня помех, принимая во внимание, что несколько служб вносят вклад в допустимый уровень помех, что указано в Рекомендации МСЭ-R SA.1029, а также состояние возможного распределения фидерных линий ПСС.

РИСУНОК 3

**КФР Aquarius для помех смежных каналов в пассивных датчиках от линий ПСС Земля-космос  
(ширина полосы пропускания канала 100 кГц)**

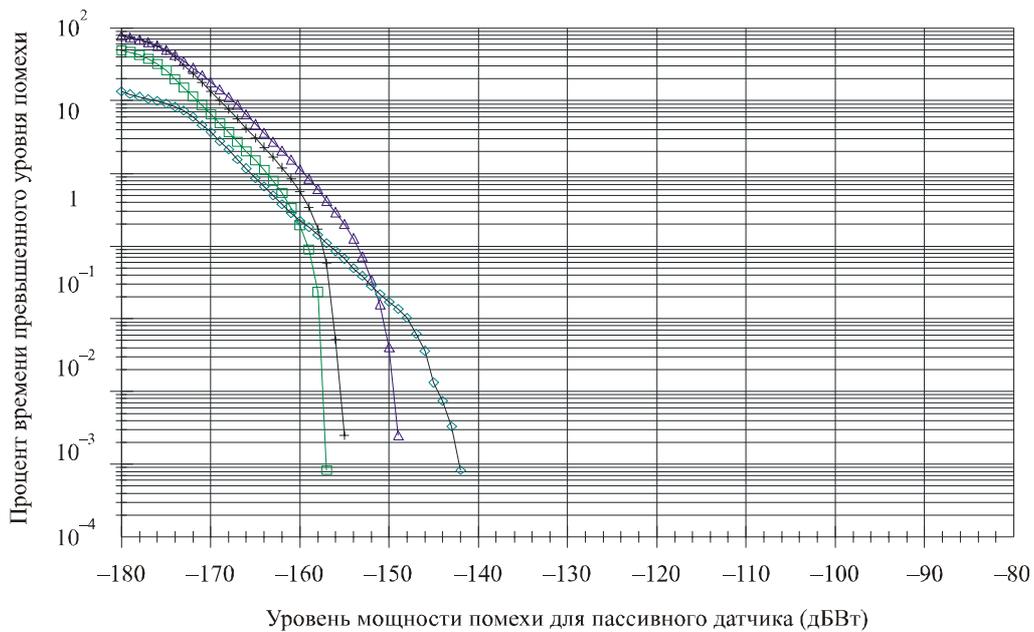


+ L Constel Uplink.Forward.I                      □ Q Constel Uplink.Forward.I  
 △ M Constel Uplink.Forward.I                    ◇ S Constel Uplink.Forward.I

1747-03

РИСУНОК 4

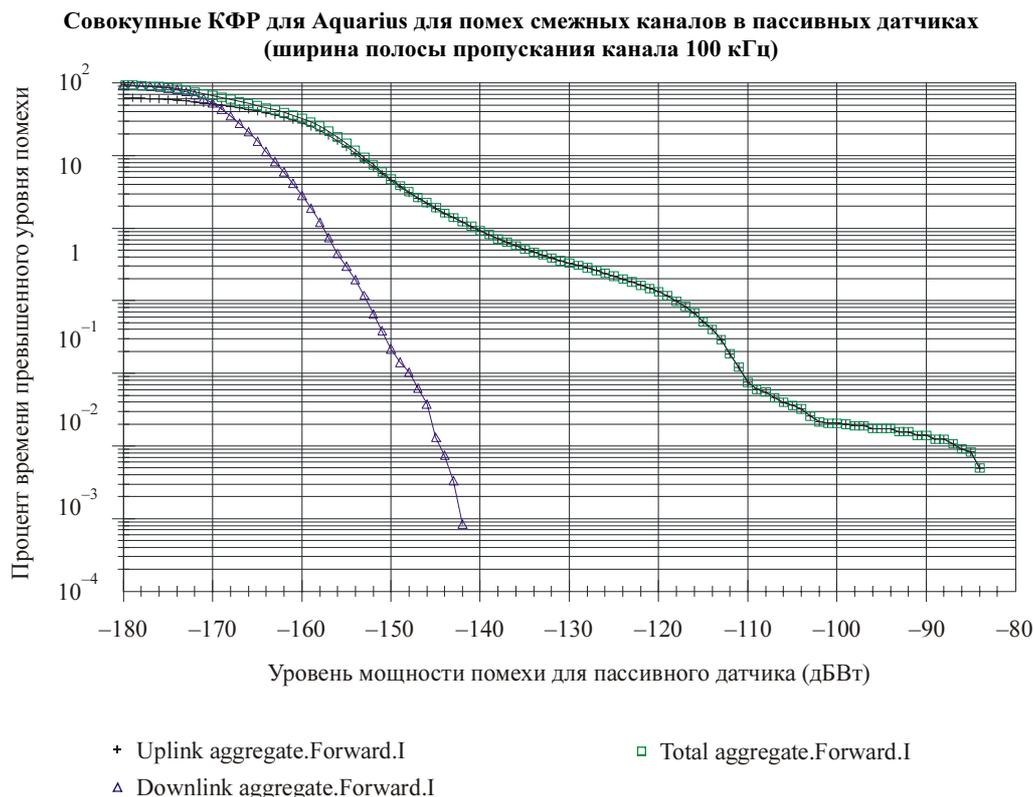
**КФР Aquarius для помех смежных каналов в пассивных датчиках от линий ПСС космос-Земля  
(ширина полосы пропускания канала 100 кГц)**



+ L Constel Dnlink.Forward.I                      □ Q Constel Dnlink.Forward.I  
 △ M Constel Dnlink.Forward.I                    ◇ S Constel Dnlink.Forward.I

1747-04

РИСУНОК 5



1747-05

В таблице 6 представлен пример расчета запаса помехозащищенности для Aquarius и фидерных линий ПСС Земля-космос, которые функционируют в полосе частот шириной 100 кГц с модуляцией GMSK для значений времени 0,005% и 0,01%, на которое может быть превышен допустимый уровень помех. В таблице 7 представлены суммарные совокупные запасы помехозащищенности для Aquarius и HYDROS для всех модуляций фидерных линий и значений ширины полосы каналов. Отрицательное значение запаса помехозащищенности в строке таблиц показывает, что существует необходимость в дополнительной внеполосной фильтрации фидерных линий ПСС или в усовершенствовании конструкции передатчика по отношению тому, который предусмотрен для данной работы.

ТАБЛИЦА 6

**Aquarius/Помехи фидерных линий ПСС Земля-космос для модуляции GMSK,  
ширина полосы пропускания канала 100 кГц**

		Группировка				Совокупность передачи с земной станции на спутник
		L	M	S	Q	
Мощность смежного канала ПСС (дБВт)	5% распределения времени	-112,0	-107,5	-116,0	-114,0	-107,5
	10% распределения времени	-113,0	-111,0	-119,0	-115,5	-111,0
Мощность фидерных линий ПСС в полосе частот ССИЗ относительно 1 Вт (дБ)		-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0
Мощность фидерной линии ПСС в полосе частот ССИЗ (дБВт)	5% распределения времени	-187,0	-182,5	-191,0	-189,0	-182,5
	10% распределения времени	-188,0	-186,0	-194,0	-190,5	-186,0
Допустимый уровень помех (дБВт)		-174,0	-174,0	-174,0	-174,0	-174,0
Запас помехозащищенности (дБ)	5% распределения времени	13,0	8,5	17,0	15,0	8,5
	10% распределения времени	14,0	12,0	20,0	16,5	12,0

ТАБЛИЦА 7

## Итоговые запасы помехозащищенности фидерной линии ПСС

Модуляция	Частотная ширина канала	Распределение помех	Общая совокупная величина запаса помехозащищенности (дБ)	
			Aquarius	HYDROS
GMSK	100 кГц	5% распределение	8,5	8,0
		10% распределение	12,0	9,0
	300 кГц	5% распределение	2,8	2,3
		10% распределение	6,3	3,3
	855 кГц	5% распределение	-0,8	-1,3
		10% распределение	2,7	-0,3
OQPSK	100 кГц	5% распределение	7,8	7,3
		10% распределение	11,3	8,3
	300 кГц	5% распределение	2,2	1,7
		10% распределение	5,7	2,7
	855 кГц	5% распределение	-0,7	-1,2
		10% распределение	2,8	-0,2
8-PSK	100 кГц	5% распределение	7,9	7,4
		10% распределение	11,4	8,4
	300 кГц	5% распределение	2,3	1,8
		10% распределение	5,8	2,8
	855 кГц	5% распределение	-2,7	-3,2
		10% распределение	0,8	-2,2
16-QAM	100 кГц	5% распределение	7,9	7,4
		10% распределение	11,4	8,4
	300 кГц	5% распределение	2,3	1,8
		10% распределение	5,8	2,8
	855 кГц	5% распределение	-2,3	-2,8
		10% распределение	1,2	-1,8

## 3.3 Результаты анализа – режим калибровки

Моделирование отдельных орбит осуществляется для космических кораблей Aquarius, для того чтобы определять уровни помех во время инструментальной калибровки. В процессе калибровки космический корабль Aquarius направит свою антенну в космос на участке отдельной орбиты, удерживая корабль инерциально фиксированным. Были проведены восемь вариантов моделирования отдельных орбит, каждое с использованием различных параметров моделирования, для того чтобы изменить местоположения участков, на которых производится калибровка. Результаты, представленные в таблице 8, показывают совокупный уровень помех в наихудшей ситуации от всех фидерных линий ПСС, с учетом пучка лучей антенны Aquarius на протяжении отдельной калибровочной орбиты. Этот уровень помех примерно на 7 дБ меньше, чем совокупный уровень помех, полученный в процессе моделирования обычных операций Aquarius в течение 14 дней.

ТАБЛИЦА 8

**Итоговая таблица для уровней помех, возникающих во время калибровки датчика для смещения модуляции QPSK и фидерных линий ПСС с шириной полосы пропускания в 300 кГц**

		<b>Aquarius</b>	<b>HYDROS</b>
<b>Технология калибровки</b>		Антенна корабля направлена в космос на участке одной орбиты, удерживая космический корабль инерциально фиксированным	Антенна наклонена в направлении космоса для всей орбиты
Максимальная мощность помех в полосе частот ССИЗ (пассивной) (дБВт)		-189,9	-176,9
Мощность помех в полосе частот ССИЗ (пассивной) для критерия 0,1% (дБВт)		-193,7	-189,2
Допустимая мощность помех (дБВт)	5% распределение	-187	-187
	10% распределение	-184	-184
Запас помехозащищенности (дБ)	5% распределение	6,7	2,2
	10% распределение	9,7	5,2

Также проводилось моделирование для определения уровней помех на космическом корабле HYDROS во время калибровки его пассивного датчика. Текущая базовая схема калибровки для HYDROS предназначена для исследования амазонского тропического леса и открытого океана каждые 3 дня в дополнение к сканированию пространства с помощью отклонения космического корабля для одной орбиты каждые 2–4 месяца. Было проведено три варианта моделирования отдельных орбит (каждое с использованием разной долготы восходящего узла), для того чтобы определить уровень помех от фидерных линий ПСС в то время, когда антенна HYDROS направлена в космос для калибровки. В таблице 8 представлены результаты моделирования для помех в наихудшей ситуации во время космической калибровки. Предполагается, что в случае калибровки, при направлении в сторону Земли значения уровней помех не должны превосходить значения, представленные в п. 3.2 данного документа.

## Приложение 2

### Анализ помех между ССИЗ (пассивной) в полосе частот 1400–1427 МГц и фидерными линиями ПСС в близлежащих полосах частот

#### 1 Введение

В данном Приложении совмещены итоги трех исследований, которые представлены на рассмотрение МСЭ-R, на предмет совместимости датчиков ССИЗ (пассивной), работающих в полосе частот 1400–1427 МГц, и фидерных линий ПСС в близлежащих полосах частот. Многие решения идентичны тем, которые используются в Приложении 1, и поэтому не будут повторяться. Решения, касающиеся системы ПСС, также идентичны. Основное отличие основано на альтернативных приложениях датчиков, которые описаны ниже.

## 2 Характеристики пассивного датчика и критерии защиты

Влажность почвы и соленость океана (ВПСО) могут быть измерены пассивными датчиками, которые работают в полосе частот 1400–1427 МГц. Влажность почвы является ключевой переменной в круговороте воды, она оказывает существенное влияние на испарение, просачивание и поверхностный сток. Соленость воды на поверхности моря оказывает влияние на глубокий термохалинный круговорот и меридиональный перенос теплого воздуха. Различные значения солености влияют на движение поверхности океанов в тропических зонах. Частоты около 1400 МГц являются наиболее подходящими для измерений влажности почвы и солености воды на поверхности моря.

ВПСО также является названием земного спутника с низкой орбитой с предусмотренной высотой орбиты в 760 километров над уровнем моря. Оптимальное значение угла наклона составляет 98,4 градуса со временем восходящего узла около 06 час. 00 мин. Подробная информация представлена в таблице 9. ВПСО основана на инновационной концепции, так как она отображает большую зону (обычно 1000 × 1000 км) в течение каждого промежутка времени интеграции при различных углах зрения с уровня земли (от 0 до 55°). Отсюда в любой точке поверхности могут быть проведены измерения под различными углами зрения, которые используются для разделения почвы и улучшения вегетации. ВПСО использует интерферометрические технологии, для того чтобы улучшить пространственную разрешающую способность. Будет использоваться фиксированное количество небольших антенн вместо больших сканирующих антенн.

ТАБЛИЦА 9

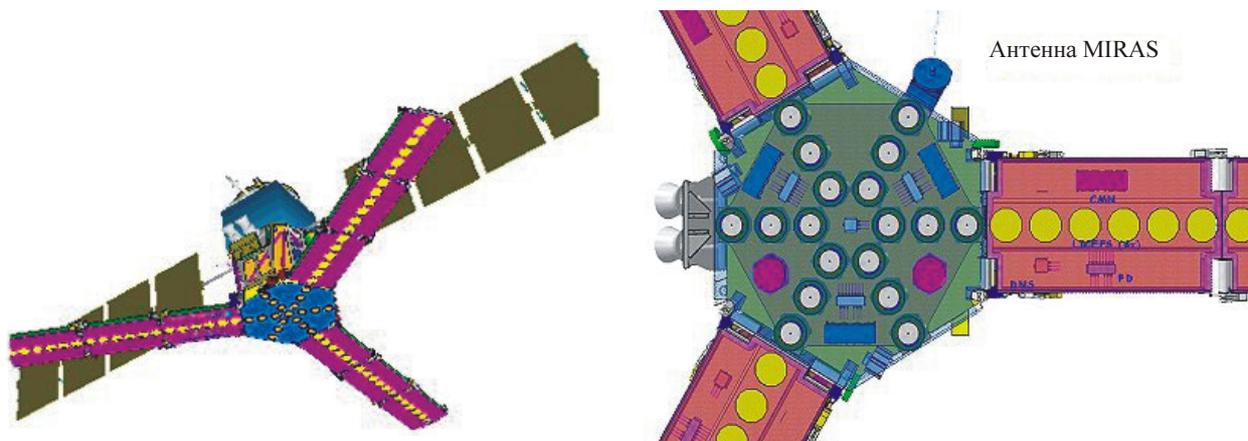
### Основные характеристики ВПСО

Прибор	СВЧ радиометр со средствами формирования изображений, использующий апертурный синтез – MIRAS
Принцип работы прибора	Пассивный двухмерный микроволновый интерферометр
Частота	1400–1427 МГц
Ширина полосы частот	27 МГц
Поляризация	Горизонтальная и вертикальная (поляриметрический дополнительный режим)
Пространственная разрешающая способность	50 км (35 км в центре FOV)
Угол наклона	32°
Угловая разрешающая способность	0–55°
Разрешение по времени	Раз в 3 дня

Действительный датчик в ВПСО относится к так называемым MIRAS (СВЧ радиометр со средствами формирования изображений, использующий апертурный синтез). Это двухмерный интерферометр с двойной поляризацией. Согласно конструкции прибором используются 3 манипулятора в одной плоскости, состоящие из элементарных антенн, расположенных вилкообразно на равных интервалах друг от друга (0,875 лямбда, максимальная избыточность) (см. рисунок 6). В данной концепции применяется интерферометрический синтез Фурье для получения изображений из соотношений между каждой парой элементов антенны (маленькие независимые приемники), которые работают в микроволновом диапазоне. Двухмерные интерферометры ВПСО позволяют измерять яркостную температуру одновременно при различных наклонах и двух видах поляризации. Более того, прибор мгновенно записывает общую картину. По мере движения спутника данная точка в рамках двухмерного поля зрения наблюдается под разными углами. Серии независимых измерений получаются при выводе параметров поверхности с большей точностью. Поле яркостной температуры при такой конструкции преобразуется с разрешением, соответствующим расположению крайних приемников.

РИСУНОК 6

## Конфигурация антенны ВПСО

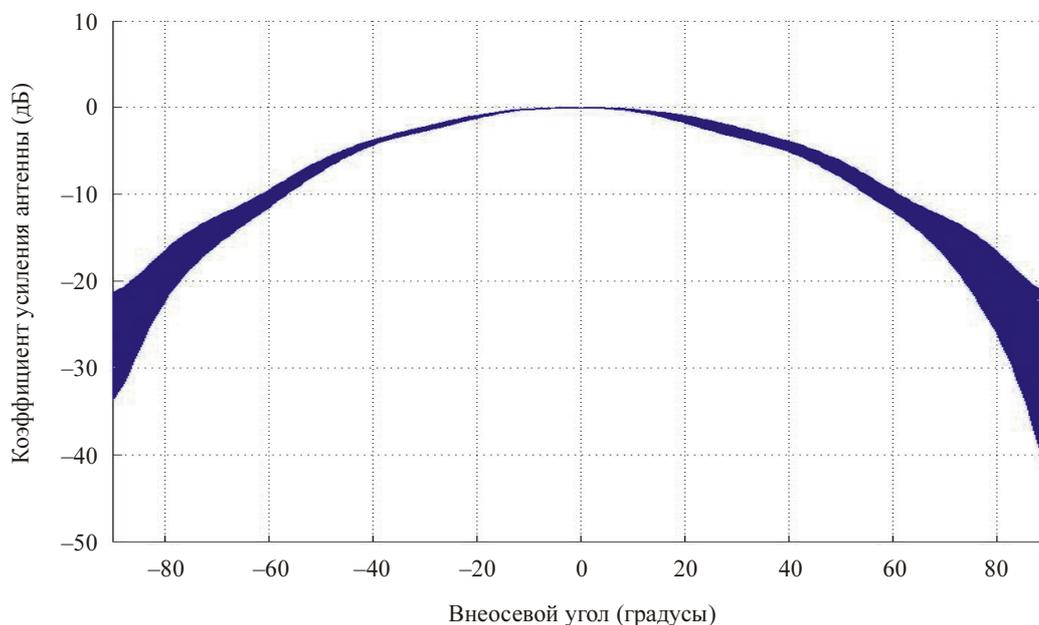


1747-06

Каждая антенна/приемник располагается на заплаточной антенне без диэлектрической подложки с шириной ДНА примерно  $70^\circ$  по уровню половинной мощности, с коэффициентом направленности около 8 дБ, и обеспечивает как горизонтальную, так и вертикальную поляризацию с отличными характеристиками перекрестной поляризации (соотношение собственной/перекрестной поляризации  $> 25$  дБ). Диаграмма направленности антенны для одного элемента антенны представлена на рисунке 7.

РИСУНОК 7

## Элементарная диаграмма направленности антенны ВПСО



1747-07

Доступна сеть отдельных приемников для каждого элемента антенны, таким образом, каждое устройство может работать с вертикальной или горизонтальной поляризацией согласно команде контролирующего устройства. В каждом приемнике сигнал антенны фильтруется до выбранной ширины полосы пропускания, усиливается, окончательно отбирается и преобразуется с однобитный цифровой сигнал.

Поток информации на выходе MIRAS, объединяющий компоненты I и Q, на скорости примерно 130 Мбит/с, передается в корреляционное устройство при помощи оптоволоконной линии связи. Каждый элемент также получает (при помощи второй оптоволоконной линии связи) централизованно

генерированный опорный тактовый сигнал, для того чтобы осуществить преобразование с понижением частоты и выборку с фазовой когерентностью среди всех элементов. Дополнительная выборка на 2 порядка величины касательно критерия устойчивости Найквиста достигается на каждом приемнике, что увеличивает радиометрическую чувствительность. В корреляционном устройстве после преобразования оптических сигналов в электрические большая группа однобитных/двухуровневых корреляторов, внедренных в специализированные интегральные схемы, осуществляет кросскорреляцию между всеми сигналами. Изображения горизонтальной и вертикальной поляризации связаны и кросскорреляция для каждой поляризации осуществляется по истечении периода в 0,3 секунды. До пяти изображений затем усредняются, с тем чтобы 2 изображения были доступны каждые 3 секунды (одно для каждой поляризации).

Усиление для отдельного элемента этой антенны может быть выражено следующим образом:

$$G = 9 - 0,0027 \theta^2 \quad \text{для } |\theta| < 120^\circ \quad (2)$$

$$G = -30 \quad \text{для } |\theta| > 120^\circ,$$

где  $\theta$  – горизонтальный угол, отсчитываемый от опорного направления (градусы).

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-SA.1029, допустимая мощность помех составляет –174 дБВт в опорной полосе пропускания 27 МГц. Этот уровень может быть превышен на 0,1% времени от всех источников помех, вносящих вклад в общий уровень помех в этой полосе частот. Это было принято рабочими группами МСЭ-R 7С и 8D для ограничения вклада ПСС на уровне 5–10% от общего уровня помех.

Принимая во внимание трудность прогнозирования всех потенциальных будущих конфигураций датчиков, были рассмотрены коэффициенты усиления нескольких антенн, и для датчиков, которые будут применяться в будущем, может существовать множество практических способов реализации антенны. Принимая во внимание знания о других системах датчиков, можно отметить, что промежуток между 27 и 40 дБ может быть утвержден в качестве образцового. Эквивалентные кривые усиления для таких антенн получены из Рекомендации МСЭ-R S.672, но необходимо принимать во внимание, основываясь на опыте, что нижнее значение усиления антенны, равное 0 дБи, обычно превышает полученный уровень помех. Предполагается, что последующий спад до значения ниже 0 дБи приводит к незначительно меньшему уровню помех по сравнению с точным следованием нижнему значению усиления антенны, указанному в приложении Рекомендации МСЭ-R S.672.

### 3 Характеристики подвижной спутниковой системы

Использовались те же характеристики ПСС, как и указанные в Приложении 1. В общем они основаны на данных Рекомендации МСЭ-R М.1184. Общие данные представлены в таблице 10.

ТАБЛИЦА 10

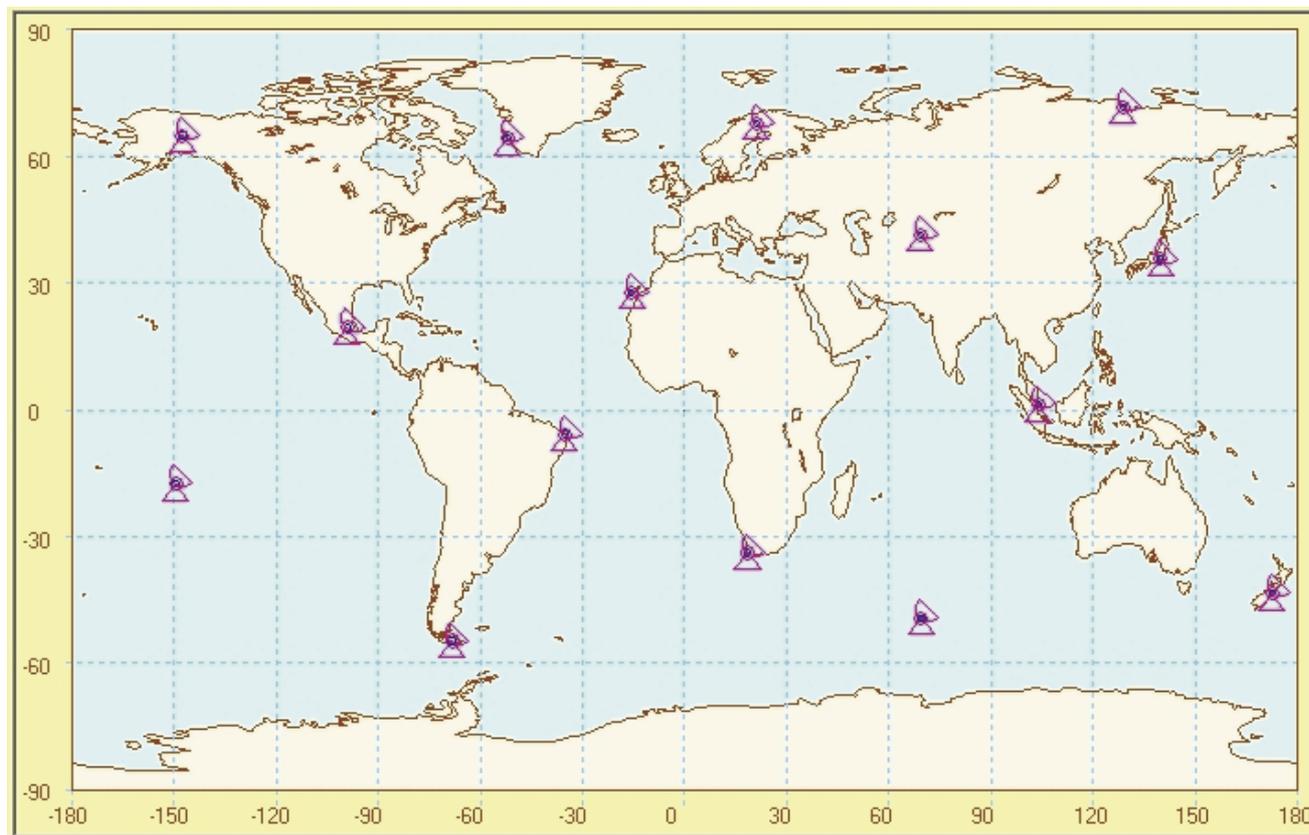
Параметры нескольких систем НГСО ПСС

Система	L	M		P	Q		S	
Количество спутников	48	48		6	26 (32)		6	
Высота над уровнем моря (км)	950	825	775	893	1 000		692, 667	
Наклон (градусы)	50	45	0	99	66 (51)	83	98,04	
Орбитальные плоскости	8	3	1	2	6	2	2	
Спутник/плоскость	6	8		3	4 (5)	1	3	
Прямое восхождение восходящего узла (градусы)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 120, 240	0	0, 180	9,8	0, 60, 120, 180, 240, 300	0, 90	143,5; 53,5
Частотная ширина канала (кГц)	15	5		855	25		150	
Поляризация (волна Tx)	Линейная			Левая круговая поляризация	Линейная		Правая круговая поляризация	

Для земных станций предполагается использование 15 точек для каждой системы ПСС. Местоположения были выбраны, с одной стороны, для максимизации времени покрытия, а с другой стороны, с учетом ограничений, касающихся фактически доступной суши, включая подходящие острова. Выбранные местоположения показаны на рисунке 8.

РИСУНОК 8

Расположение земных станций для систем ПСС



1747-08

#### 4 Анализ помех

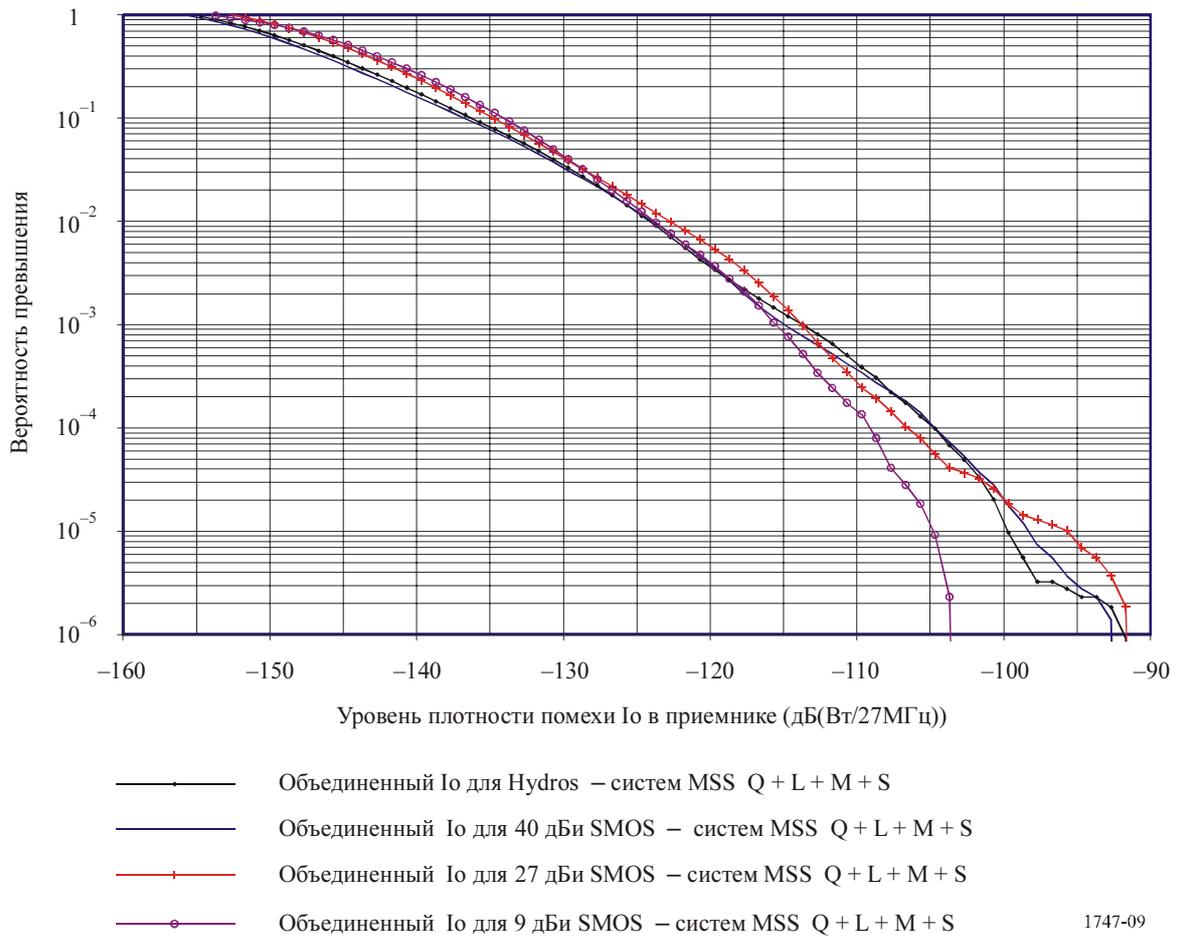
##### 4.1 Линии связи Земля-космос

Расчет значений уровней помех проведен таким же образом, что и в Приложении 1.

На рисунке 9 показаны объединенные уровни плотности помех в линиях связи Земля-космос для четырех систем "Q", "L", "M" и "S", которые рассматривались в данном документе. Для допустимой вероятности помех от 0,005% до 0,01%, полученная предполагаемая плотность помех в полосе частот равна  $-103$  дБВт для вероятности в 0,005% и  $-105$  дБВт для вероятности 0,01%. Таким образом, избыточная величина помех для предполагаемого сигнала в полосе частот относительно требуемого значения  $-174$  дБ(Вт/МГц) равна 71 и 69 дБ, соответственно. С учетом уровня мощности, равного 10 Вт на входе земной станции ПСС, это приводит к тому, что максимальный уровень нежелательного излучения равен  $-59$  дБВт для 0,01% от времени или  $-61$  дБВт для 0,005% от времени во всей полосе частот в 27 МГц. Действительное требуемое ослабление для сигнала 100 кГц тогда будет равно 93 дБ для 0,01%, основываясь на 69 дБ, для того чтобы соответствовать критерию во всей пассивной полосе частот в 27 МГц, плюс дополнительные 24,3 дБ для перехода на ширину пропускания сигнала в 100 кГц.

РИСУНОК 9

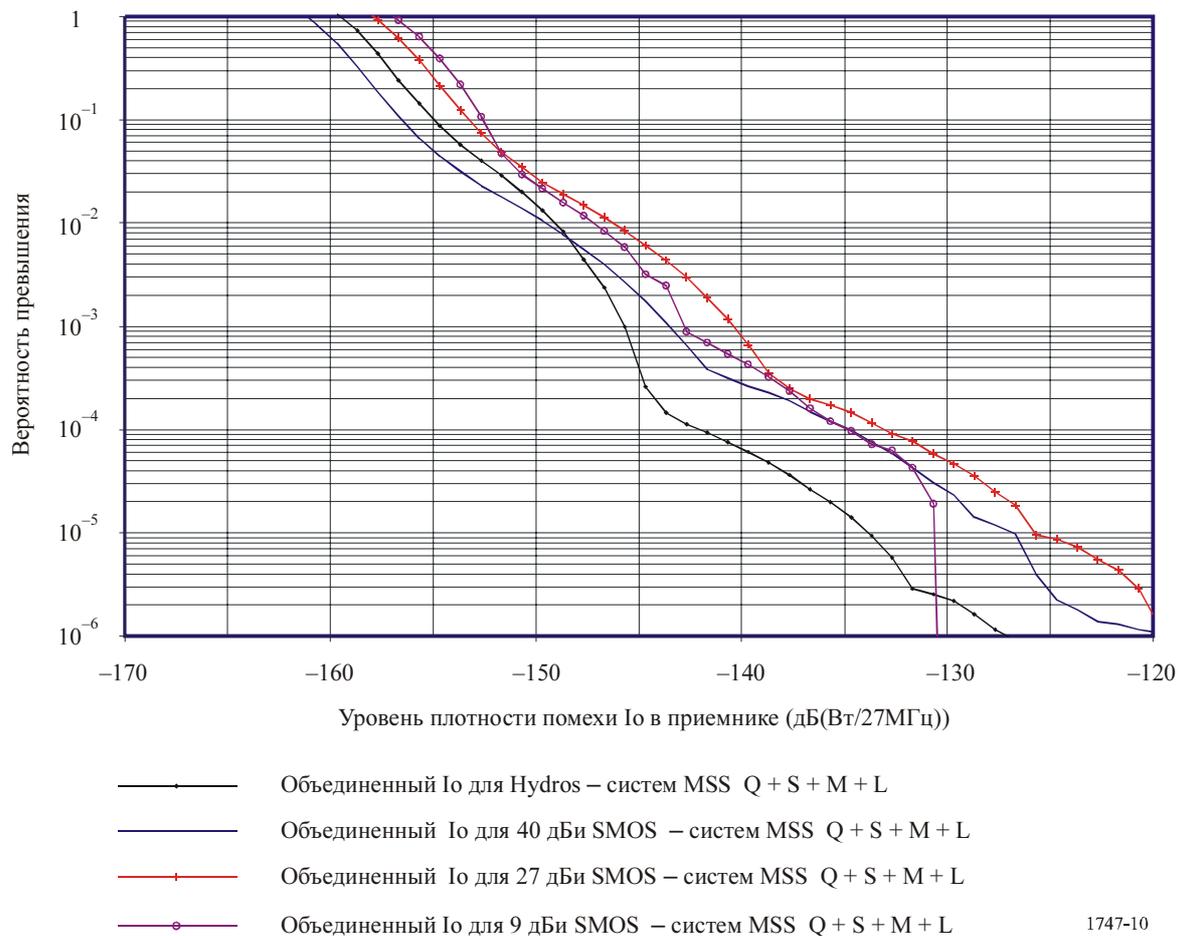
Совокупные уровни плотности помех для четырех систем ПСС с линиями связи Земля-космос



На рисунке 10 показаны объединенные уровни плотности помех в линиях связи космос-Земля для четырех систем ПСС, которые рассматривались в данном документе. Существует небольшая зависимость от усиления датчика, сниженного до вероятности  $10^{-4}$ , а также более существенная зависимость от различия в высоте орбит между датчиком и спутниками ПСС. Очевидно, что высота орбиты является критическим элементом для передачи информации со спутника на земную станцию. Большое количество помех будут иметь место в момент, когда спутники достаточно близки друг к другу. Может потребоваться установка минимального значения расстояния между орбитами. Для того чтобы удовлетворить требованиям защиты в  $-174$  дБ(Вт/МГц), уровень мощности нежелательного излучения должен быть ниже значения  $-44$  дБВт для 0,005% времени и  $-41$  дБВт для 0,01% времени.

РИСУНОК 10

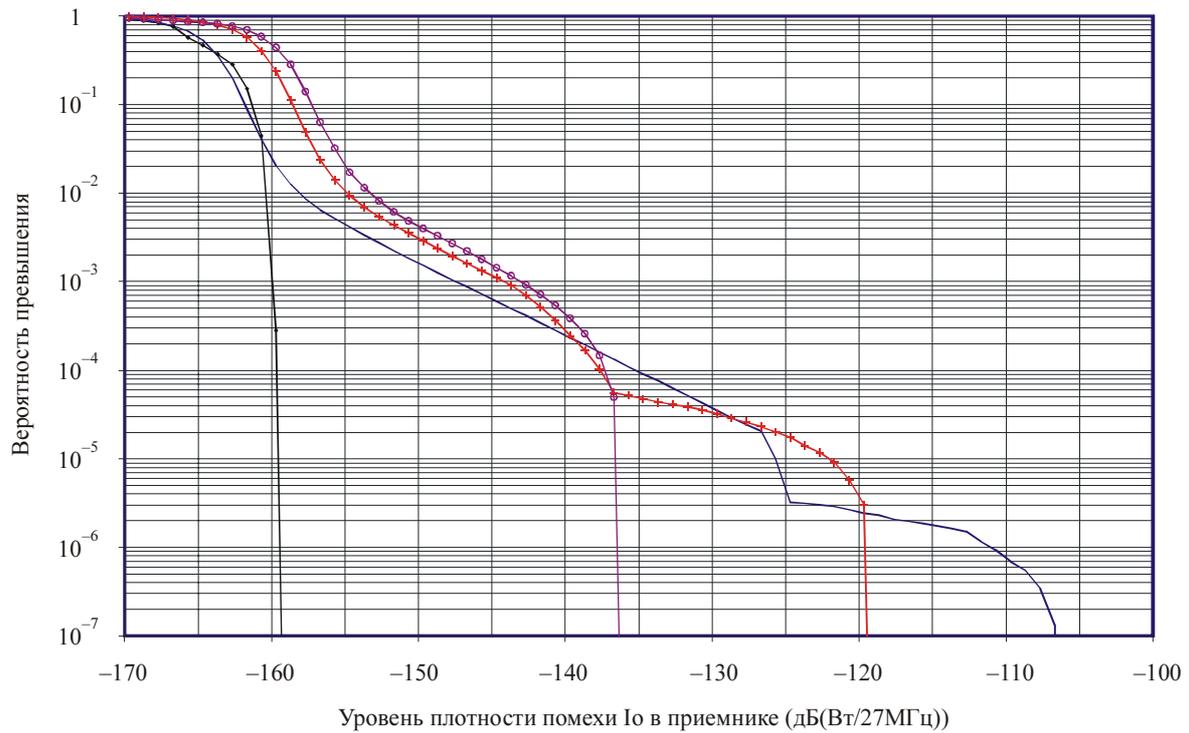
## Совокупные уровни плотности помех для четырех систем ПСС с линиями связи космос-Земля



На рисунке 11 плотность помех представлена как функция высоты орбиты спутника ПСС, что отличается данных, которые представлены в Рекомендации МСЭ-R М.1184. В Регламенте радиосвязи не существует ограничений на значения высоты орбит, поэтому также было принято решение об исследовании ситуаций, когда высоты орбит пассивных датчиков и спутников ПСС являются практически идентичными. В частности, на рисунке 11 показано, что уровни помех значительно возрастают, когда высоты орбит по значению близки друг к другу.

РИСУНОК 11

## Уровни плотности помех для систем ПСС, ближним к датчикам ВПСО



- +—  $I_0$  для Hydros 35 дБи – 26 спутников – Q на 670 км
- —  $I_0$  для SMOS 40 дБи – 26 спутников – Q на 670 км
- +—  $I_0$  для SMOS 27 дБи – 26 спутников – Q на 670 км
- $I_0$  для SMOS 9 дБи – 26 спутников – Q на 670 км

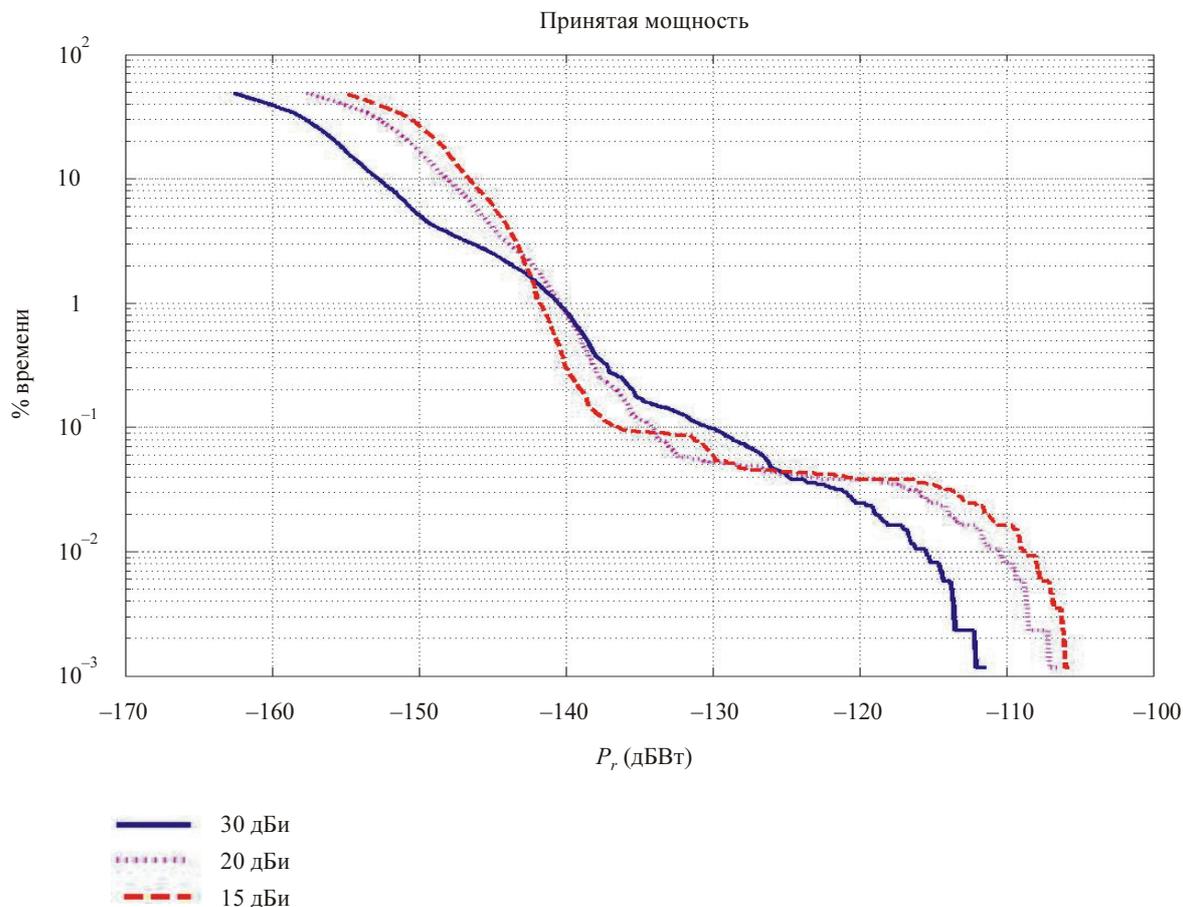
1747-11

Одно из исследований показало, что характеристики антенны земной станции ПСС могут существенно влиять на совокупные уровни помех. На рисунке 12 представлены результаты для земных станций с усилениями антенн в 15, 20 и 30 дБи, соответственно. Можно заметить, что в пределах значений вероятности от 0,01% до 0,005%, более низкое усиление антенны является причиной более высоких уровней помех из-за меньшего контроля уровней боковых лепестков.

Из данного исследования также можно сделать вывод, что предел эффективной изотропно излучаемой мощности вне частотной полосы не подходит для обеспечения защиты ССИЗ, так как она значительно колеблется, что требует уменьшения коэффициента усиления антенны. Фактически, более желательно определять предельный уровень нежелательного излучения, которое меньше изменяется с изменением усиления антенны. В таблице 11 представлены данные этого исследования.

РИСУНОК 12

Мощность, полученная для датчика HYDROS для различных значений усиления антенн земных станций ПСС



1747-12

ТАБЛИЦА 11

**Необходимая мощность излучения и эффективная изотропно излучаемая мощность для каждой фидерной линии земных станций ПСС**

Параметр	Антенна 15 дБи	Антенна 20 дБи	Антенна 30 дБи
Полученная мощность в пассивной полосе частот для 0,01% времени (дБВт) и мощности излучения 10 дБВт	-109	-111	-115
Минимальное значение относительно критерия защиты -174 дБВт в полосе частот 27 МГц (дБ)	-65	-63	-59
Требуемый предел мощности в пассивной полосе частот для удовлетворения требованиям критерия защиты (дБВт)	-55	-53	-49
Соответствующая эффективная изотропно излучаемая мощность (дБВт, включая потери фидерных линий)	-41	-34	-20

## 5 Резюме

При передаче с земной станции на спутник ПСС необходимо ограничение внеполосной мощности, которая питает антенну земной станции в полосе частот 1420–1427 МГц, равное –59 дБВт, для того чтобы удовлетворить требованиям критерия в 0,01% и –61 дБВт для критерия 0,005%.

Фактическое требуемое ослабление при передаче с земной станции на спутник для сигнала с частотой в 100 кГц равно 93 дБ для 0,01% и 95 дБ для 0,005%. Такой высокий уровень ослабления нежелательного излучения технически достижим, если используются технологии модуляции с подходящей формой импульса и высокой производительностью аппаратного обеспечения совместно с фильтром после усилителя.

При передаче со спутника на земную станцию ПСС, уровень мощности нежелательного излучения на выходе антенны спутника должен быть меньше, чем –41 дБВт для удовлетворения критерию 0,01%, и –44 дБВт для удовлетворения критерию 0,005%.

Фактическое требуемое ослабление при передаче со спутника на земную станцию для сигнала с частотой 100 кГц равно 65 дБ для 0,01% и 68 дБ для 0,005%.

Совокупный уровень помех при передаче со спутника на земную станцию сильно зависит от различий в высоте орбит между спутниками и датчиками ПСС. Могут потребоваться некоторые ограничения по высоте орбит.

Для обоих типов передачи большая часть помех исходит от пары боковых лепестков антенны, и получаемый результат оказывается достаточно нечувствителен к датчикам с различными коэффициентами усиления антенны.

Спецификации по нежелательному излучению должны быть основаны на уровнях плотности мощности в антеннах, а не на уровнях плотности эффективной изотропно излучаемой мощности.

Сценариев образования помех, которые могут встречаться на практике, может быть во много раз больше, чем несколько случаев, которые были рассмотрены во всех проводимых исследованиях. Чтобы затронуть случаи систем, отличающихся от рассмотренных в данном документе, такие как антенны ПСС меньших размеров, несколько каналов на одну земную станцию, более 4 системы ПСС и т. д., минимальное значение в 2 дБ должно быть включено на вершину уровней, полученных для 0,005%. Таким образом, значения, равные –63 дБ (Вт/27 МГц) при передаче с земной станции на спутник и –46 дБ (Вт/27 МГц) при передаче со спутника на земную станцию, установлены в качестве подходящих для определения предельных значений нежелательного излучения для фидерных линий ПСС.

---