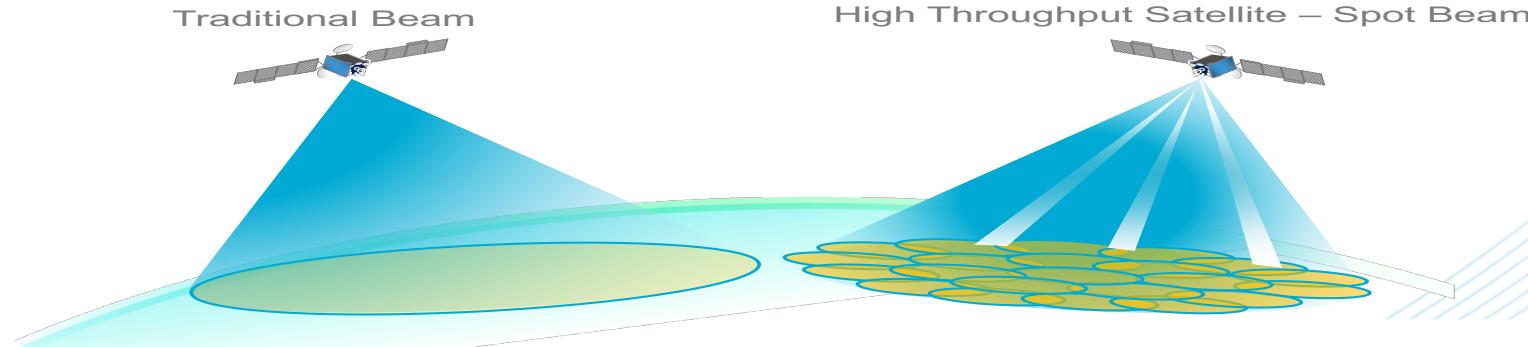


Региональный семинар МСЭ «Тенденции развития и опыт использования
технологий спутниковой связи» Минск, Республика Беларусь, 22-23 мая 2018 г.



Исследование новых технологий спутниковой связи: спутники с высокой пропускной способностью (HTS) и многоспутниковые НГСО системы

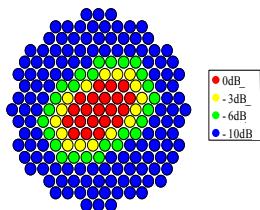
Докладчик: Симонов Михаил Михайлович
Ведущий научный сотрудник, к.т.н.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИО 2018

Содержание доклада



- Спутники с высокой пропускной способностью (High Throughput satellites - HTS)



- Адаптивные системы спутникового вещания РвСС в диапазоне частот 21 ГГц



- Современные многоспутниковые НГСО системы

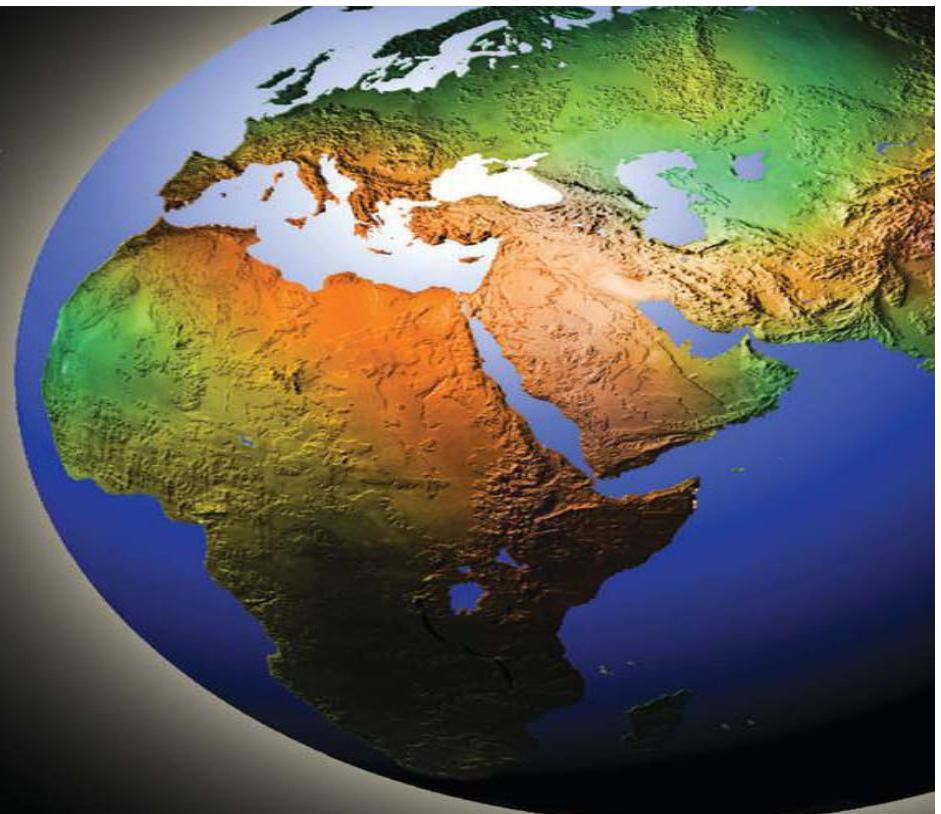


Международные проблемы создания новых систем спутниковой связи и вещания в начале XXI века

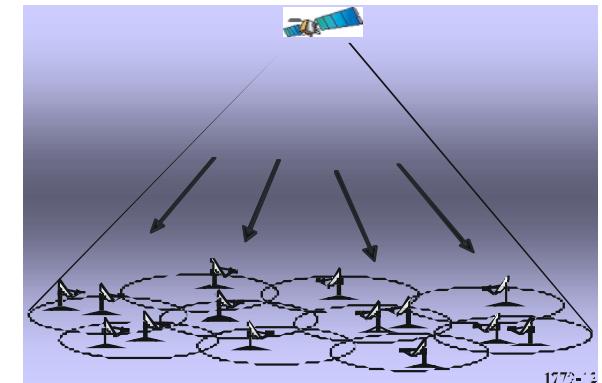
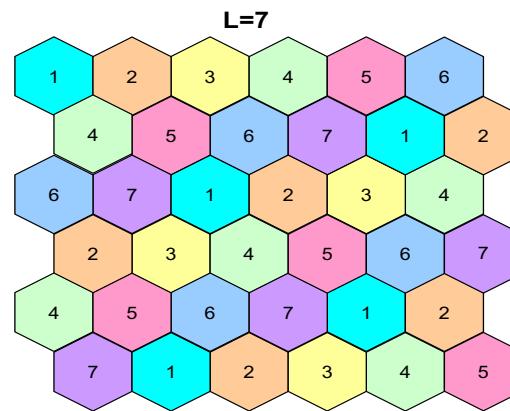
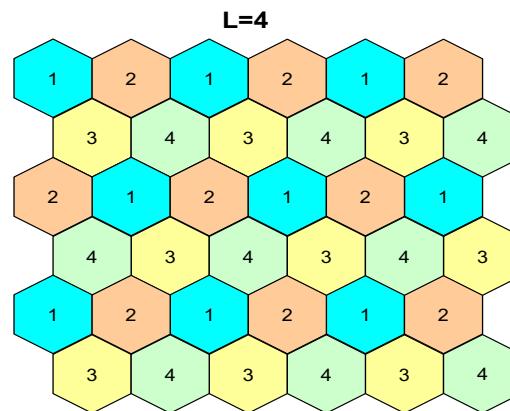
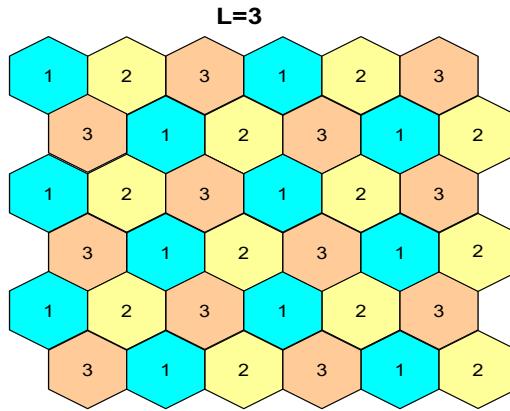
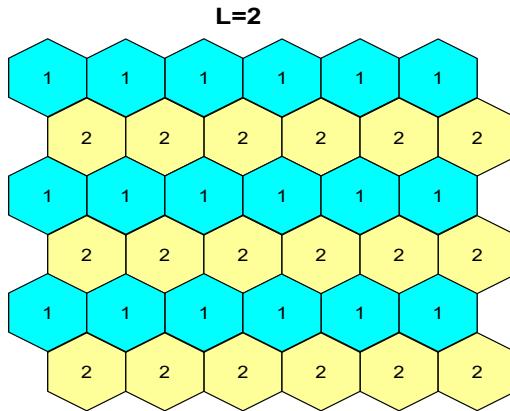


ПРОБЛЕМЫ:

- Наличие острого дефицита в получении и реализации частотного ресурса на ГСО
- Сложная помеховая обстановка из-за перегрузки ГСО спутниками не завершившими процедуру координации («условная» регистрация спутниковых сетей в МСРЧ по п.11.41 РР)
- Невозможность успешной координации и размещения на ГСО новых спутниковых сетей в освоенных диапазонах частот (L, S, C, Ku)

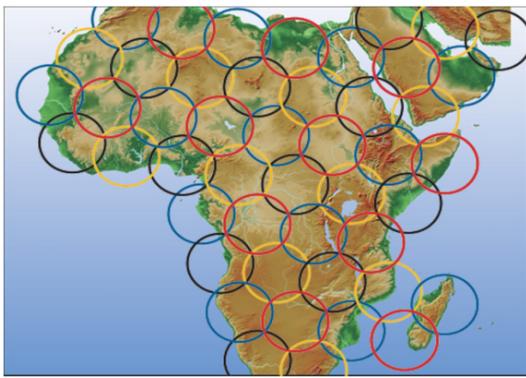


Варианты повторного использования полос частот в парциальных лучах бортовой МЛА (HTS)



Варианты
развязки зон покрытия МЛА:
L = 7 – 7-частотный, $(F1 \div F7)$
L = 4 – 4-частотный, $(F1 \div F4)$
L = 3 – 3-частотный, $(F1 \div F3)$
L = 2 – 2-частотный, $(F1 \div F2)$

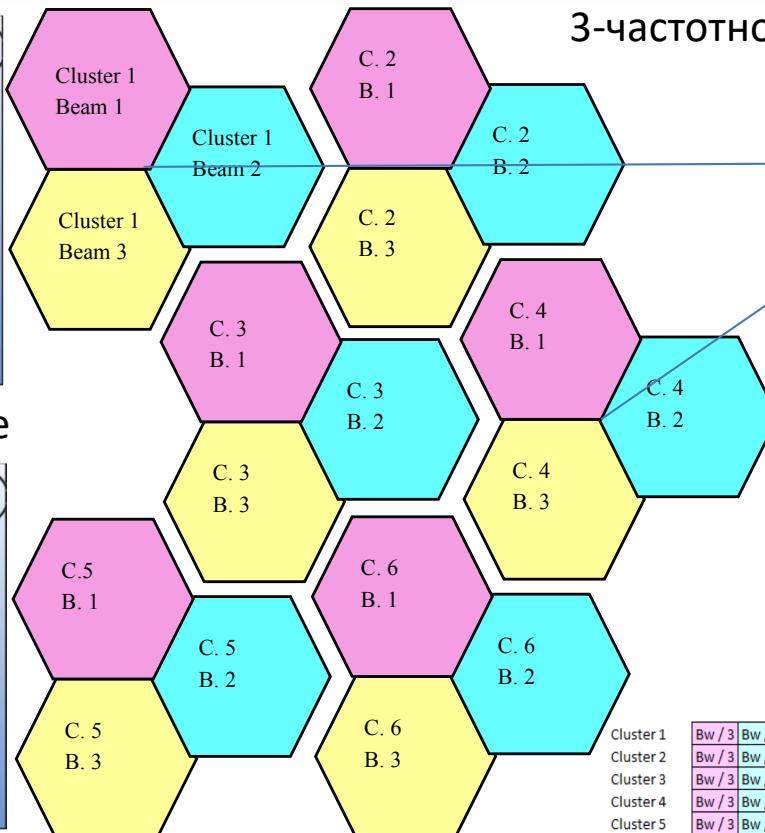
Особенности построения спутниковых систем с высокой пропускной способностью (HTS)



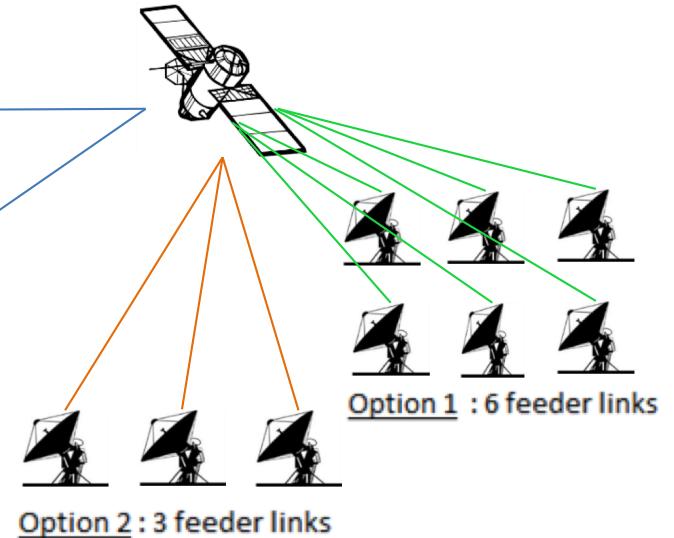
4-частотное использование



8-частотное использование



3-частотное использование



Cluster 1	Bw / 3	Bw / 3	Bw / 3
Cluster 2	Bw / 3	Bw / 3	Bw / 3
Cluster 3	Bw / 3	Bw / 3	Bw / 3
Cluster 4	Bw / 3	Bw / 3	Bw / 3
Cluster 5	Bw / 3	Bw / 3	Bw / 3
Cluster 6	Bw / 3	Bw / 3	Bw / 3

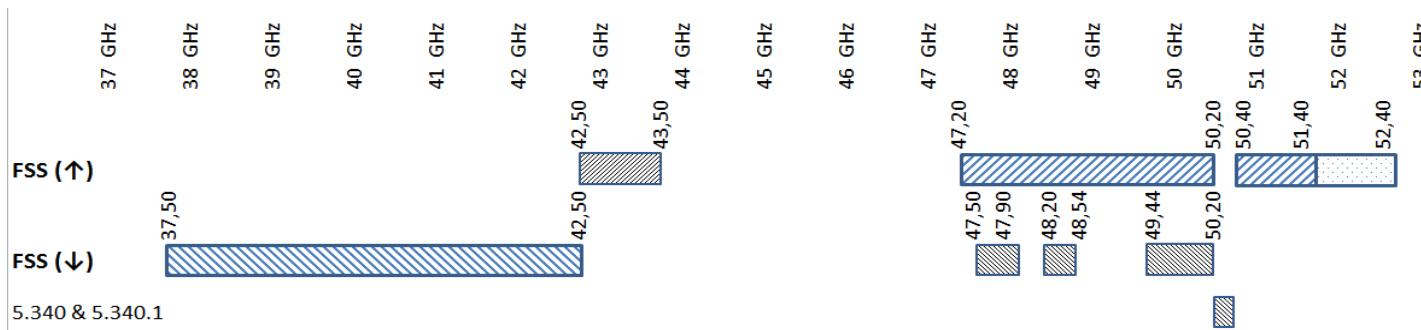
Feeder Link 1	Bw
Feeder Link 2	Bw
Feeder Link 3	Bw
Feeder Link 4	Bw
Feeder Link 5	Bw
Feeder Link 6	Bw

Total User Link Bandwidth = 6 . Bw (Hz)	
with either option 1 or 2	
Feeder Link 1	Bw
Feeder Link 2	Bw
Feeder Link 3	Bw

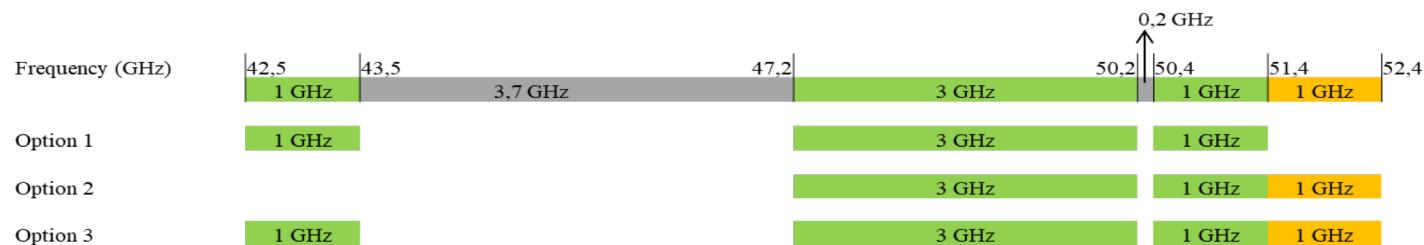
Требования к спектру для обеспечения фидерных линий спутниковых систем с высокой пропускной способностью



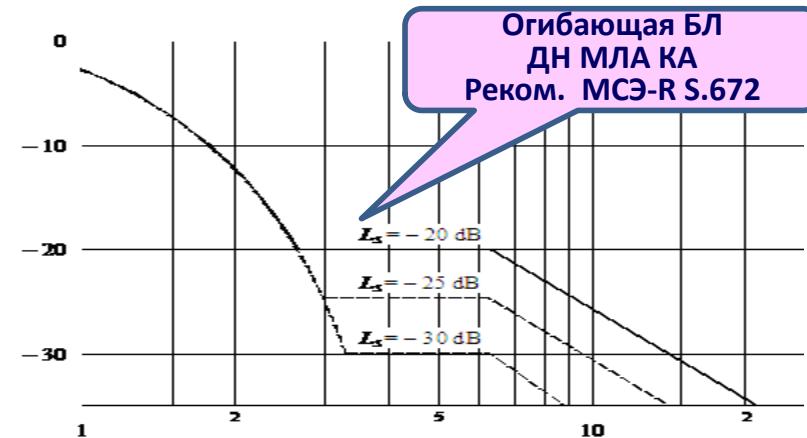
Текущее распределение спектра в диапазонах 40/50 ГГц



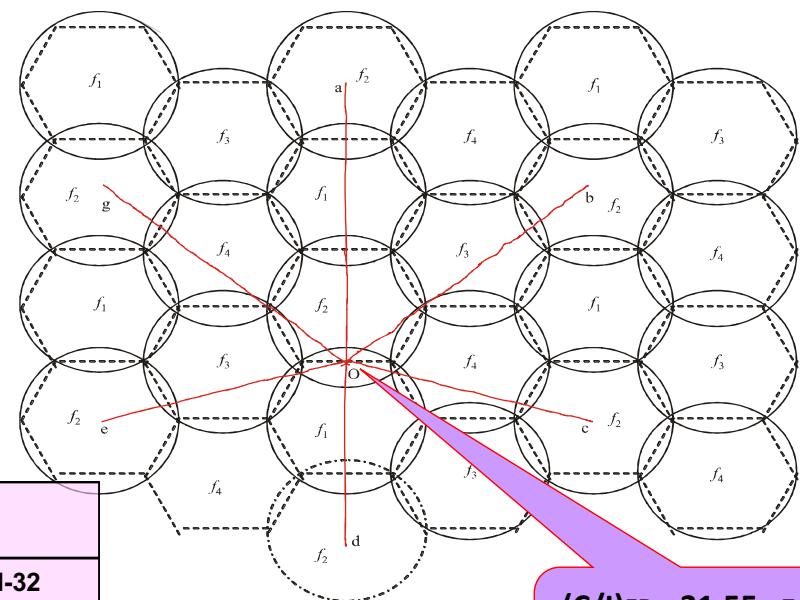
Предложения по использованию спектра в диапазонах 40/50 ГГц в рамках вопроса 9.1.9 ВКР-19



Пример расчета уровня межлучевых помех $(C/I)_{FR}$ для 4-х частотного варианта МЛА спутника HTS



Внутрисистемные помехи в МЛА		СКК DVB-S2 Требуемое отношение $C/(I+N)$, дБ			
Уровень БЛ ДН антенны	$(C/I)_{FR}$ дБ	ФМ-4 1/4 - 9/10	ФМ-8 3/5 - 9/10	АФМ-16 2/3 - 9/10	АФМ-32 3/4 - 9/10
-30 дБ	21,55	- 2,3 / 6,5	5,5 / 11,0	9,0 / 13,2	12,7 / 16,1
-25 дБ	16,55	- 2,3 / 6,5	5,5 / 11,0	9,0 / 13,2	12,7 / 16,1
-20 дБ	11,55	- 2,3 / 6,5	5,5 / 11,0	9,0 / 13,2	12,7 / 16,1



$(C/I)_{FR} = 21,55$ дБ
 $(C/I)_{FR} = 16,55$ дБ
 $(C/I)_{FR} = 11,55$ дБ

Пример расчета помех
для гексагональной сетки лучей МЛА
с использованием 4-х частот (F1, F2, F3, F4)
(Рекомендация МСЭ-R S.1782)

Зависимость спектральной эффективности СКК от (C/N)ref (Линейный канал - АБГШ)



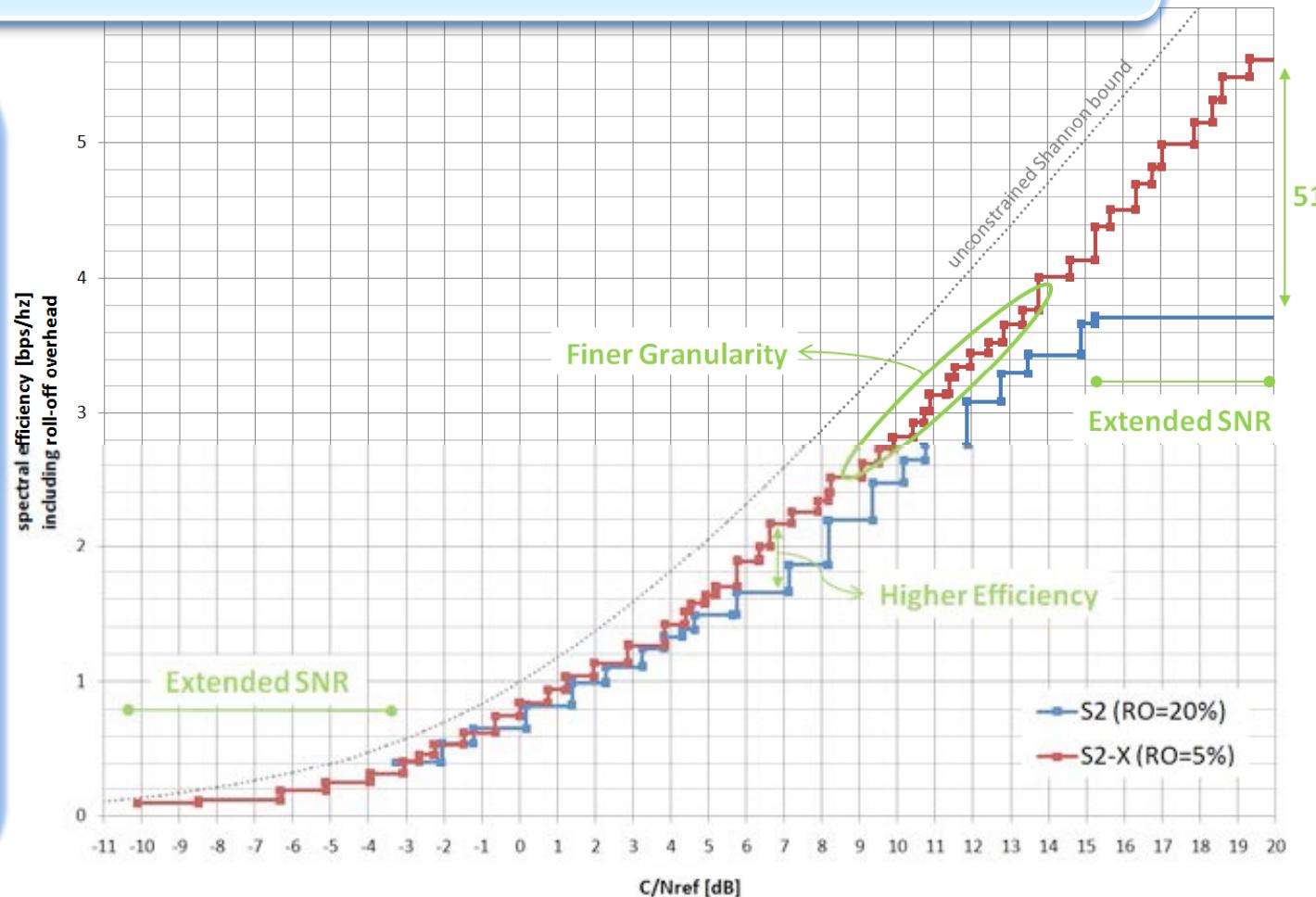
Эволюция
стандартов
Интерактивных
Широкополосных
Спутниковых
Служб
DVB-S – 1997 г.
DVB-S2 – 2005 г.
DVB-S2-X – 2015 г.

DVB-S (Roll_off) = 35%

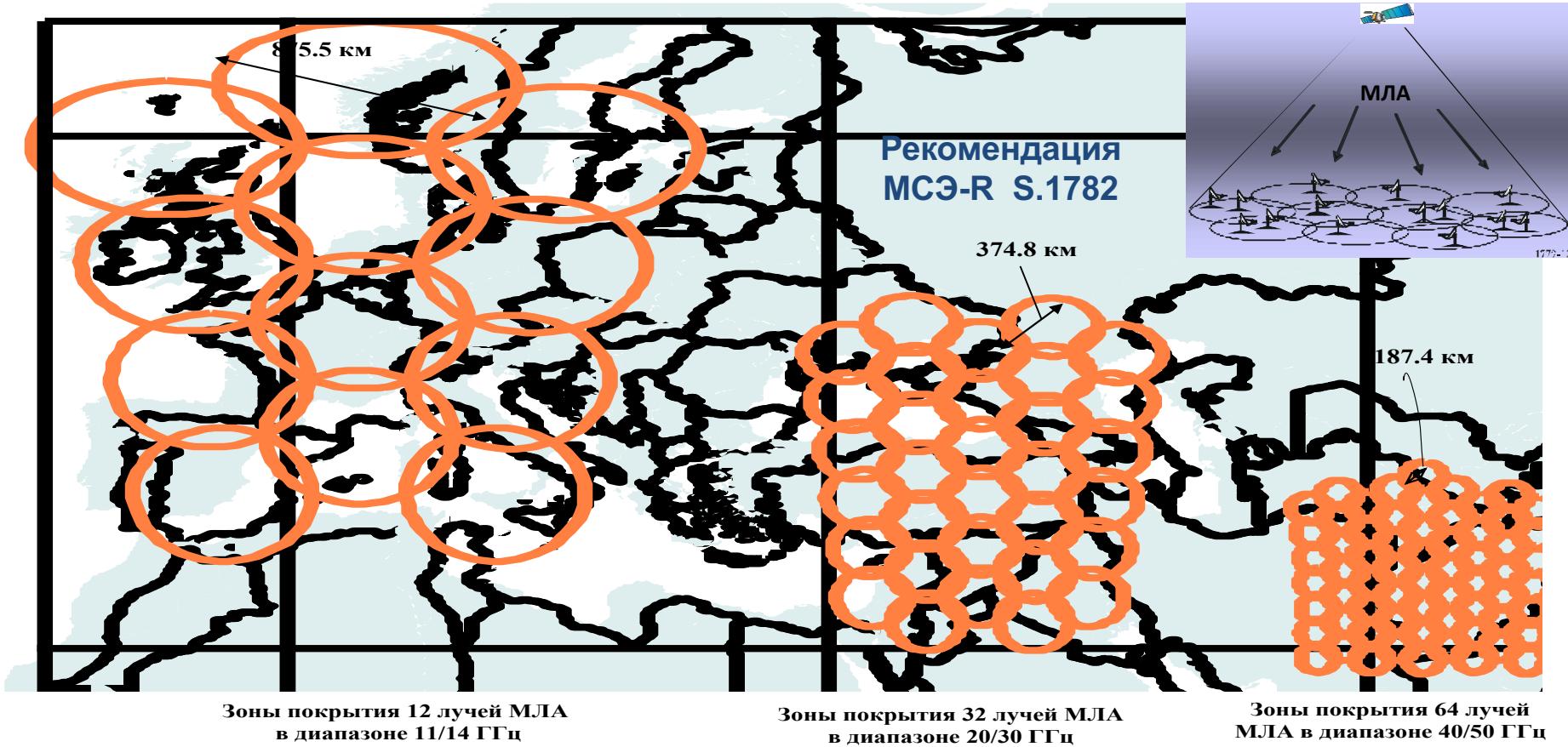
DVB-S2 (Roll_off) = 20%

DVB-S2X (Roll_off) = 5%

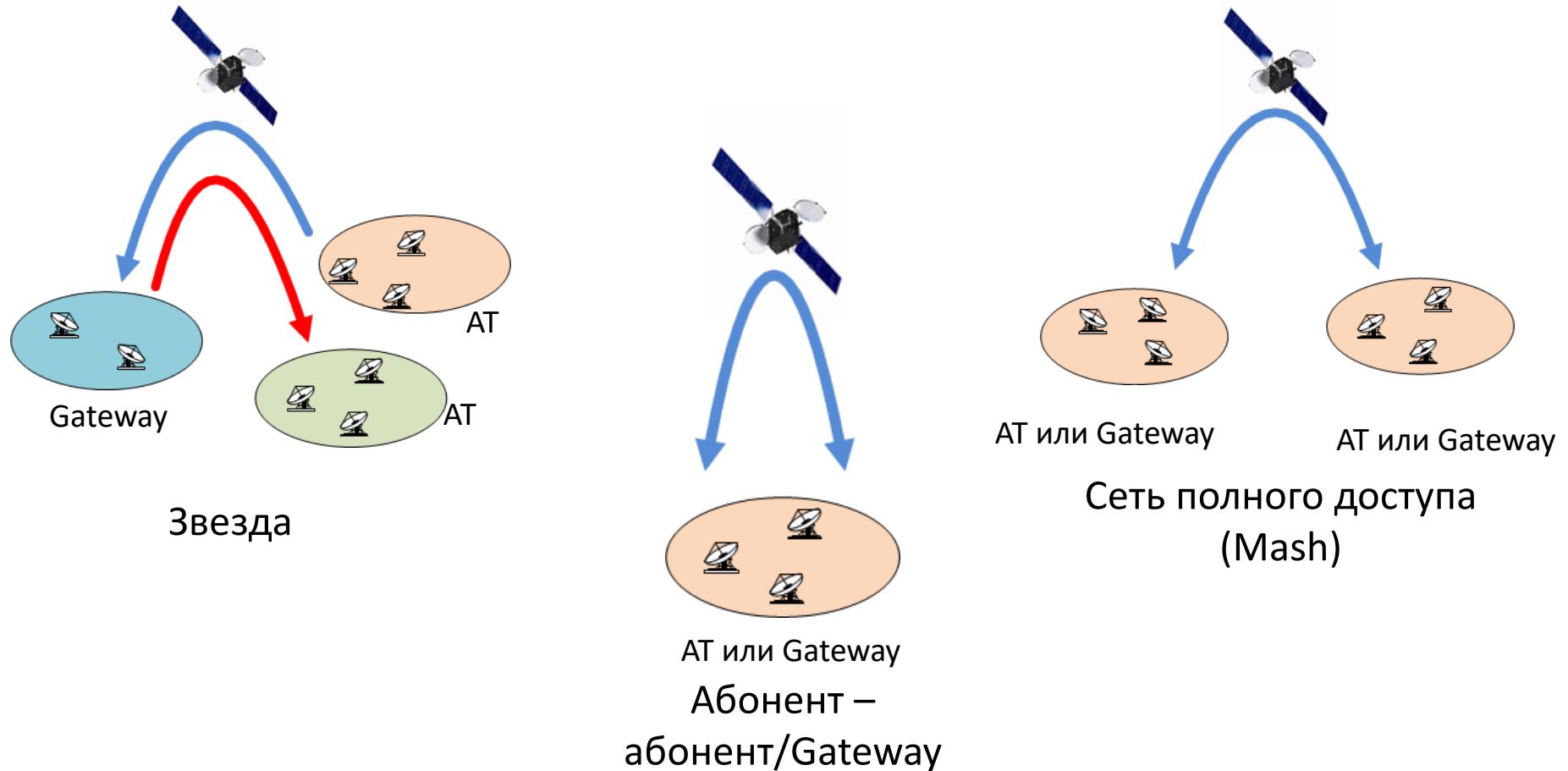
Рост дополнительных потерь
за счет МСИ на 0,1 – 0,3 дБ



Примеры многолучевой структуры спутников HTS для широкополосного доступа к Интернет



Открытая архитектура спутниковых систем с высокой пропускной способностью (HTS)



Сравнительный анализ эффективности спутниковых систем с высокой пропускной способностью (HTS)



Спутник	Эквивалентная цена спутника на орбите	Частотный ресурс, МГц	Емкость, Гбит/с
Традиционный спутник			
Ямал 402	280 млн. \$	2 376	4.8
Глобальные системы на основе HTS			
Inmarsat 5, сеть Xpress	400 млн.\$	5 760 (Ka) фиксированные лучи 1 500 (Ka) перенацеливаемые лучи	18.5
IS-29e, сеть EpicNG	500 млн.\$ (экспертная оценка)	9 000 (Ku) 450 (Ka) 720 (C)	25
Региональные системы на основе HTS			
Ka-Sat	500 млн.\$	33 000	90
Viasat-1	500 млн.\$	60 000	140
Viasat-2	650 млн.\$	130 000	350

Прогноз роста суммарной пропускной способности спутниковых ГСО сетей нового поколения (HTS)



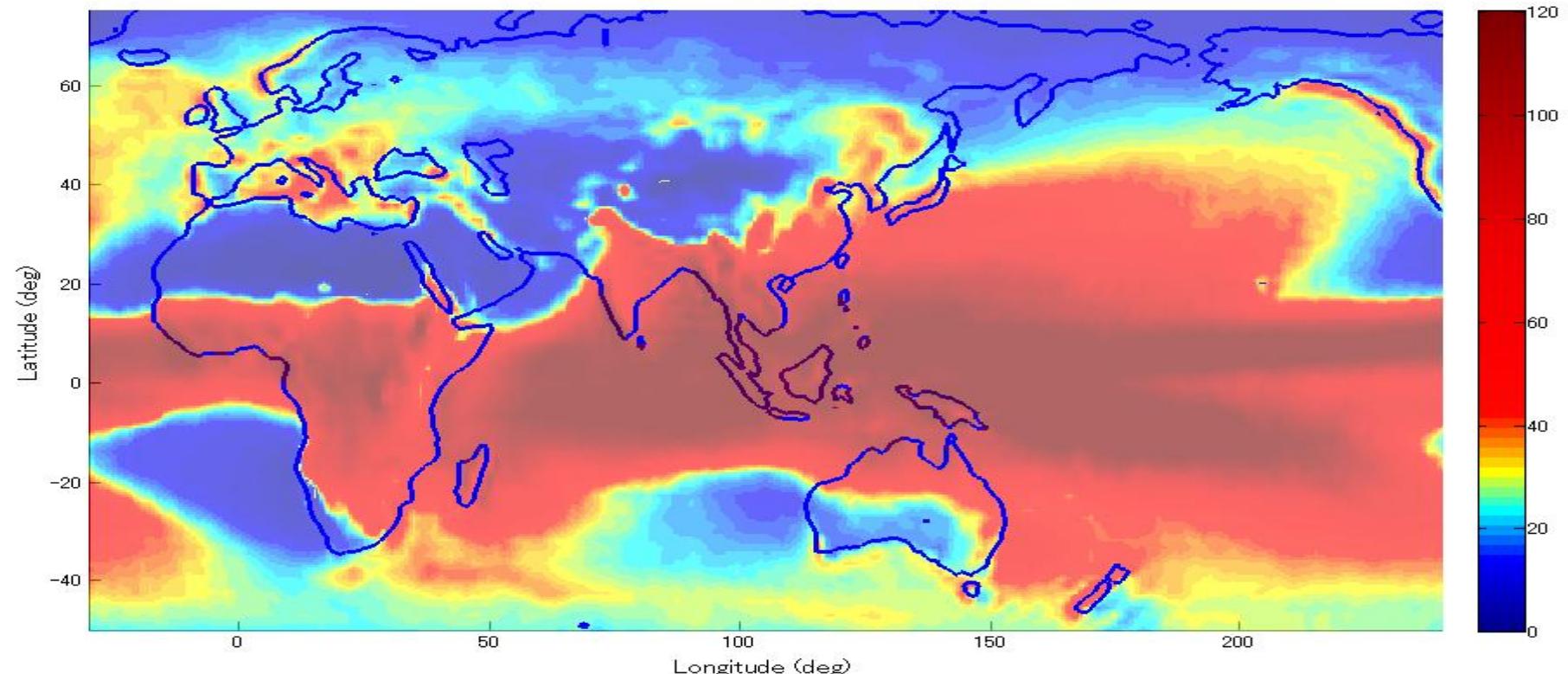
Source: NSR

Распределение интенсивности осадков (R 0,01%) на территории Районов 1 и 3 (МСЭ)



Рекомендация МСЭ-R Р.837-5

[мм/час]



Характеристики осадков, используемые при моделировании распространения радиоволн

Передающая МЛА КА РвСС с адаптивным управлением ЭИИМ в локальных зонах осадков (диапазон 21 ГГц)



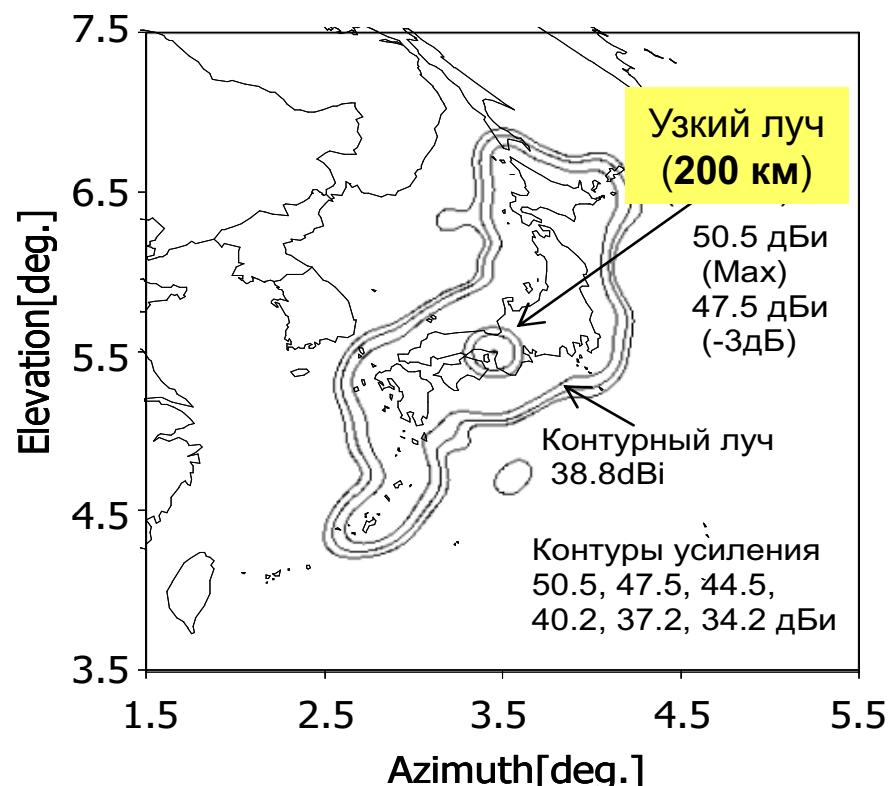
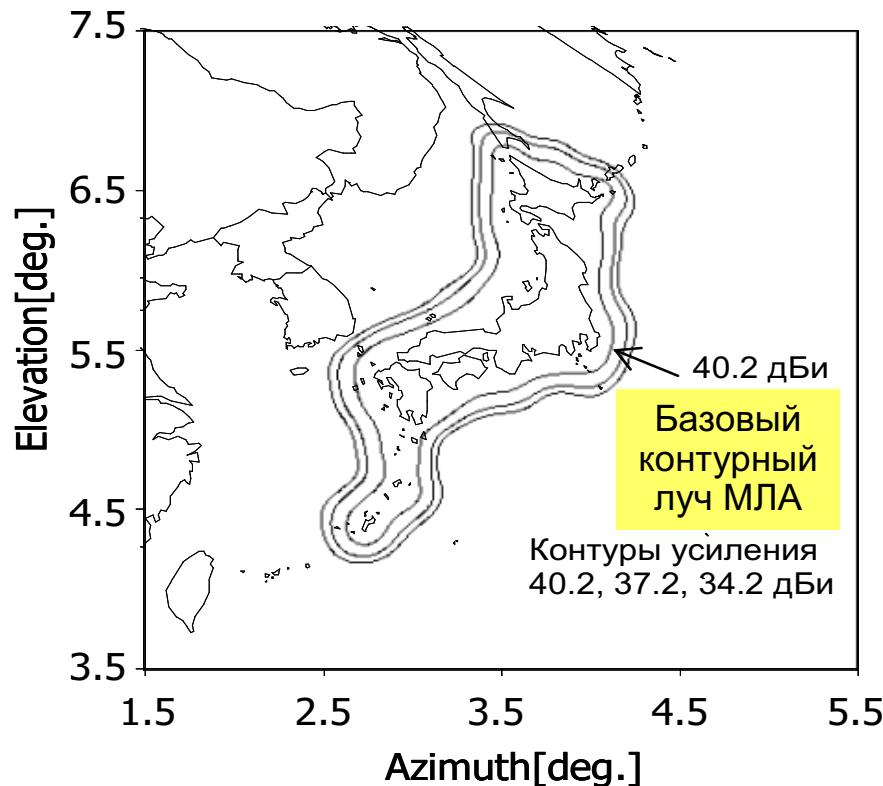
Конструкция бортовой передающей антенны (МЛА) в диапазоне 21 ГГц

Структура облучающей системы из 188 облучателей

Характеристики бортовой передающей антенны КА в диапазоне 21 ГГц

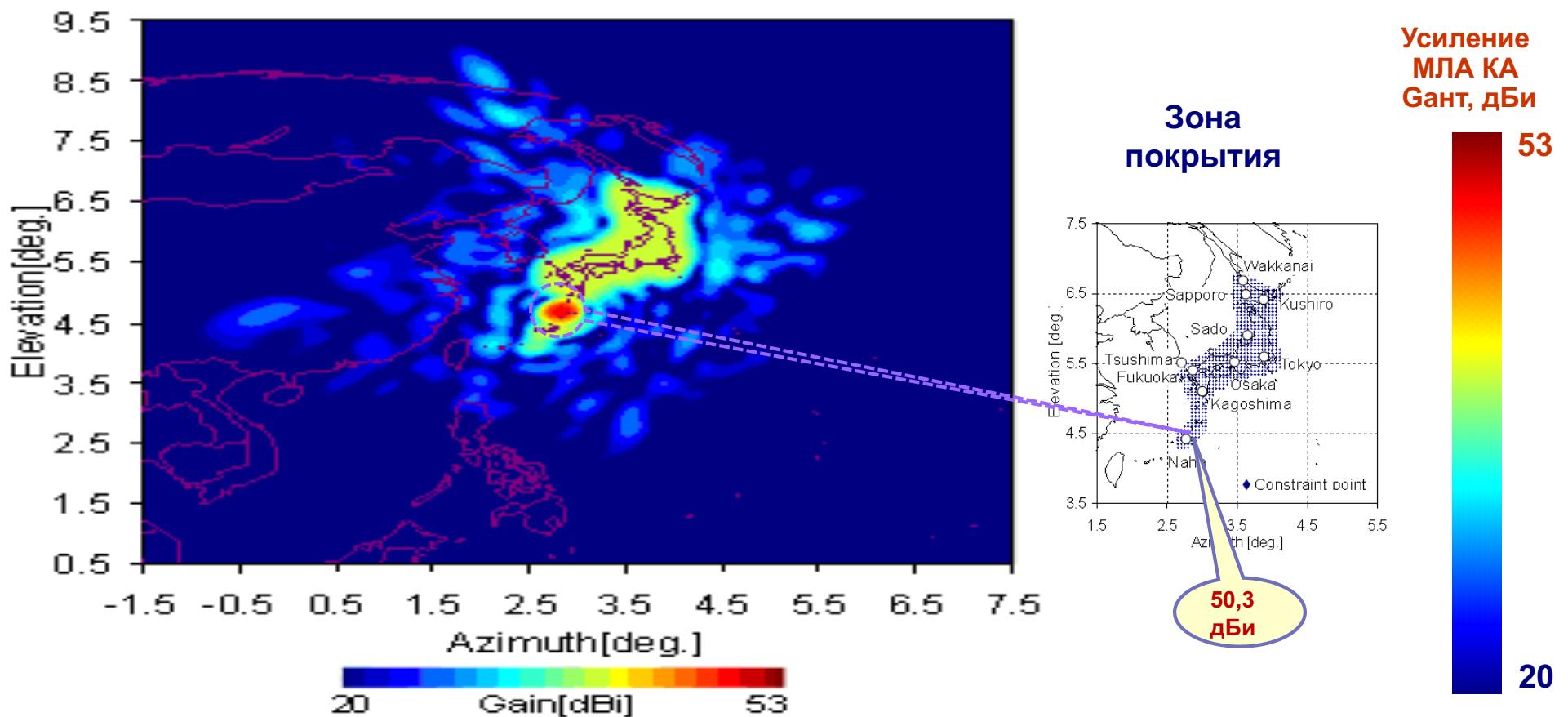
Характеристика бортовой МЛА	Величина
Диаметр основного рефлектора (D_m), м	4.0
Фокусное расстояние основного рефлектора (F_m), м	4.0
Диаметр облучающей решетки (D_f), м	0.4
Диаметр контррефлектора (D_s), м	0.52
Фокусное расстояние контррефлектора (F_s), м	0.4
Число облучателей в облучающей системе	188
Расстояние между соседними облучателями в решетке	1.8 длины волны
Поляризация сигнала	Линейная

Пример адаптивного управления ЭИИМ передающей МЛА в зоне покрытия КА РвСС (21 ГГц)

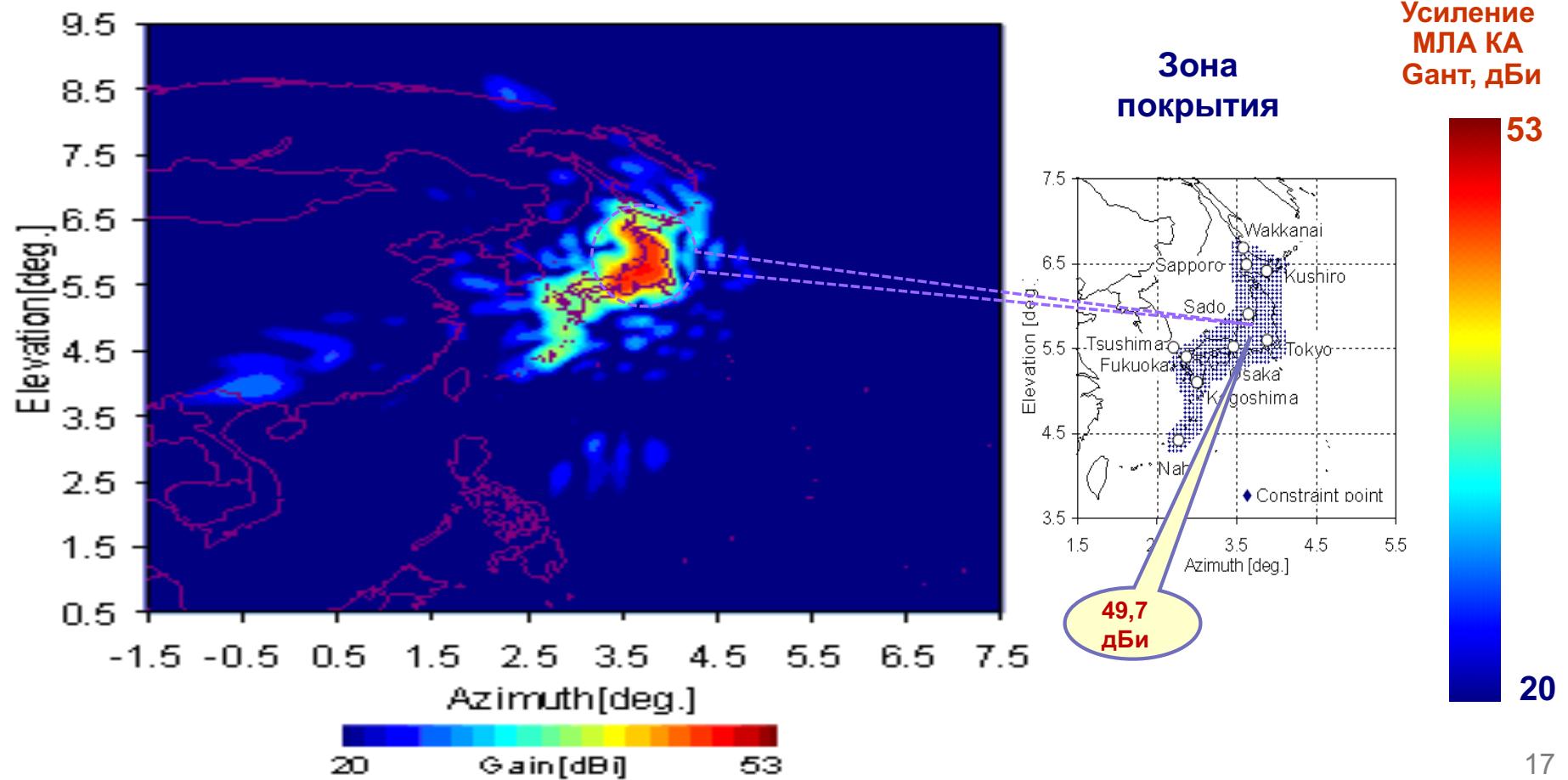


**Рекомендация МСЭ-R ВО.1659 - Mitigation techniques for rain attenuation
for BSS systems in frequency bands between 17.3 GHz and 42.5 GHz**

Пример узкого луча МЛА ($\varnothing \approx 220$ км) с высокой ЭИИМ в южной части зоны покрытия КА (21 ГГц)



Пример луча МЛА ($\varnothing > 400$ км) с высокой ЭИИМ
в северной части зоны покрытия КА (21 ГГц)



Требуемая мощность излучения КА РвСС для компенсации затухания сигнала в осадках (21 ГГц)



Система РвСС (21 ГГц)	Параметры системы РвСС с адаптивным локальным изменением ЭИИМ спутника	Величина		
Диаметр узкого луча антенны КА с повышенной ЭИИМ (% от общего покрытия)	200 км (2%)	300 км (5%)	400 км (7%)	—
Усиление в узком луче антенны КА (по -3дБ), дБи	47.5	47.3	46.7	—
Усиление антенны КА в общей зоне покрытия, дБи	38.8	38.8	38.0	40.2
Применяемые СКК (модуляция/кодирование)	Необходимая мощность сигнала в полосе 27 МГц (Вт)			
QPSK (1/2)	28.8	30.2	34.6	151
QPSK (3/4)	59.3	62.1	71.4	311
TC 8PSK	130	136	156	679
16QAM (2/3)	648 	679	780	3404 

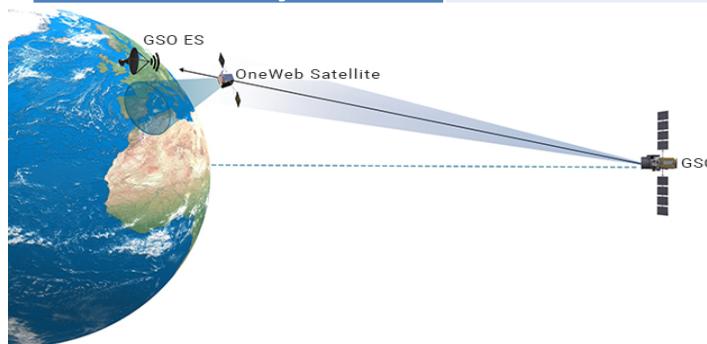


Экономия излучаемой мощности каждого ствола БРТР КА более 7 дБ

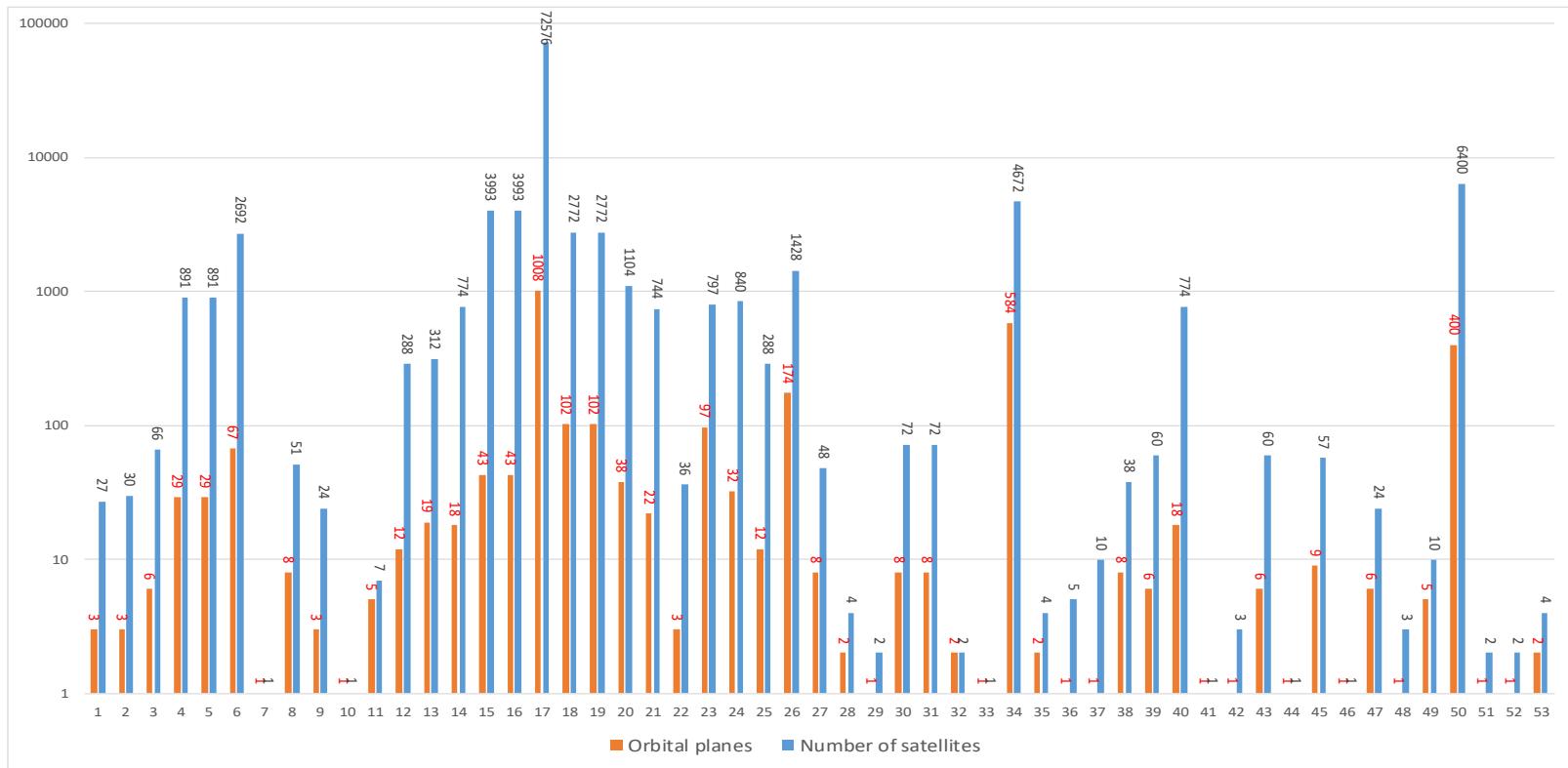
Современные многоспутниковые НГСО системы



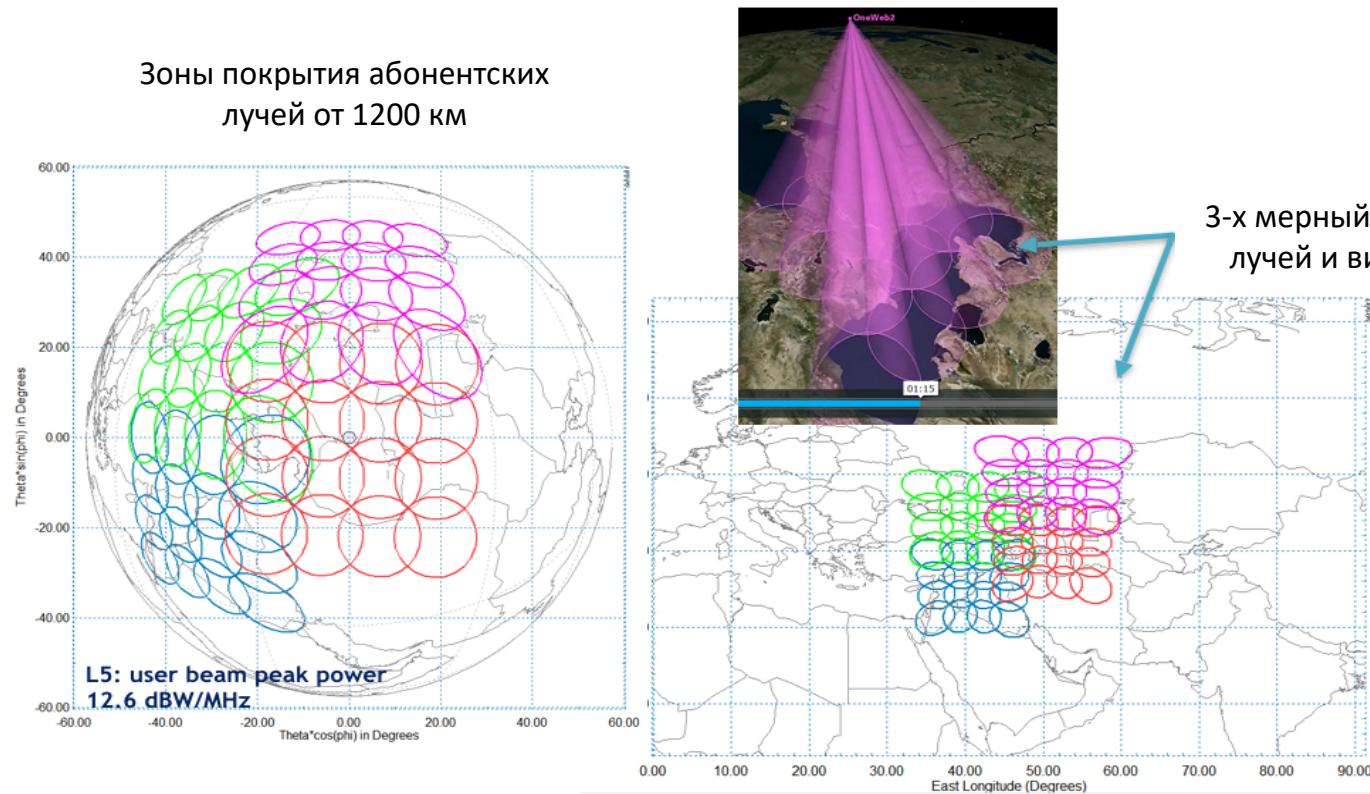
Проект	Диапазон частот	Высота круговой орбиты	Количество спутников	Планируемая реализация
OneWeb	Ku	1200 км	720 (всего по программе - 900)	2018-2020
SpaceX	Ka или Ku	1150 км (начальное размещение)	До 4025	2018-2020
Samsung	W (100 ГГц)	1250 км	4600	После 2020
Telesat Canada	Ka	1000 км	72 круговая 45 полярная	2019-2020
Valiny	Н.д.	600 км	135-144	2019-2020



Заявки на многоспутниковые НГСО системы в Бюро радиосвязи МСЭ в 2014-2016 гг.



Формирование лучей в многоспутниковой НГСО системе

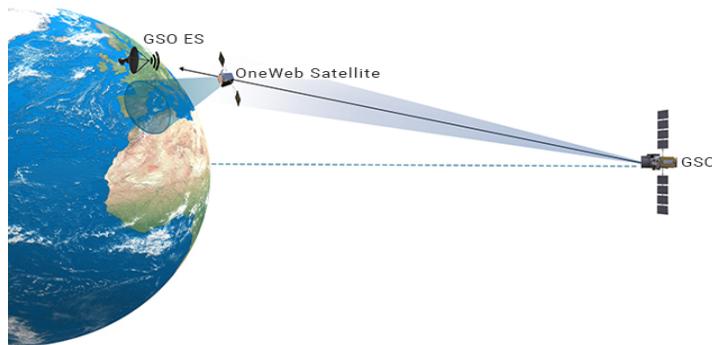


- Simultaneous footprints of 4 satellites are shown from the point of view of one (red) satellite. Note that 12 out of 16 beams of each satellite overlap with the other satellites footprints

Эффективность многоспутниковых НГСО систем



Спутниковая система	Эквивалентная цена спутника на орбите	Частотный ресурс, МГц	Емкость, Гбит/с
Глобальные системы на основе LEO- HTS			
OneWeb (2018-2020г.)	4.0 млн. \$	6 000	10.7
Space X (2018-2020г.)	3.7 млн. \$	9 000	14.0
Региональные и глобальные системы на основе MEO-HTS			
O3b (2013-2015г.)	88 млн. \$ (группировка)	4 320	12.0



Экономическая эффективность многоспутниковых НГСО систем



Спутник	Диапазон частот	СAC, лет	Полоса частот, МГц	Цена спутника на орбите, млн. \$	Себестоимость МГц, приведенная к месяцу, \$
Традиционные ГСО спутники					
“Ямал 402”	Ku	15	2376	280	655
“Интелсат-9”	C, Ku	13	3264	221	435
Спутники ГСО-HTS					
1-ое поколение Wildblue-1	Ka	15	4200	400 (250)	530 (330)
2-ое поколение Viasat-1, Ka-Sat	Ka	15+	39000	430	< 61
3-е поколения Viasat-3	Ka	15+	130000	650	28
Спутники LEO-HTS					
LEO-HTS OneWeb	Ka/Ku	7+	6000	4.0	8

**Региональный семинар МСЭ «Тенденции развития и опыт
использования технологий спутниковой связи»
Минск, Республика Беларусь, 22-23 мая 2018 г.**



**Благодарю за внимание!
Thank you for attention!**

www.niir.ru

mms@niir.ru

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИО**

2018