



**Обзор проектов негеостационарных систем  
широкополосного доступа:  
конфликт в радиочастотном спектре**

**Гриценко Андрей Аркадьевич**

Генеральный директор, кандидат технических наук

**Пятая международная конференция Инжиниринг & Телекоммуникации –  
En&T-2018 Москва, 15-16 ноября, 2018 г.**

**Круглый стол «Тенденции развития систем спутниковой связи»**

**МФТИ, Москва, 15 ноября 2018 г**

**Основная цель** – достижение себестоимости Мбит/с и цены подключения ШПД абонентов сравнимой или даже меньше, чем в наземных сетях.

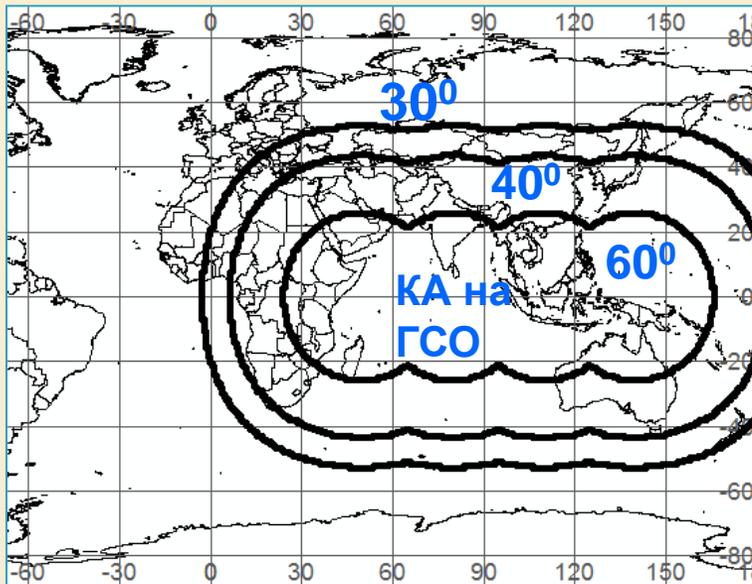
### Технические тенденции:

- Сокращение размеров лучей с увеличением их числа
- Длительный САС (15+ лет)
- Создание квази глобальных рабочих зон
- Переход в Q/V диапазоны и выше

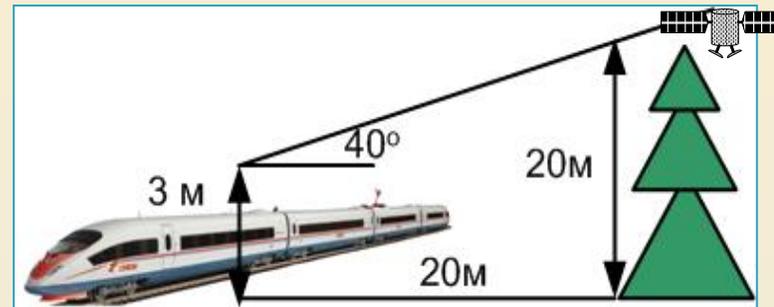
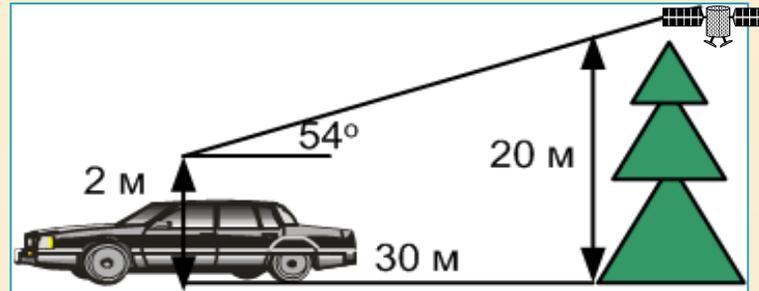
### Сопутствующие факторы:

- Рост массово-габаритных характеристик КА и мощности СЭС
- Использование РН тяжелого класса

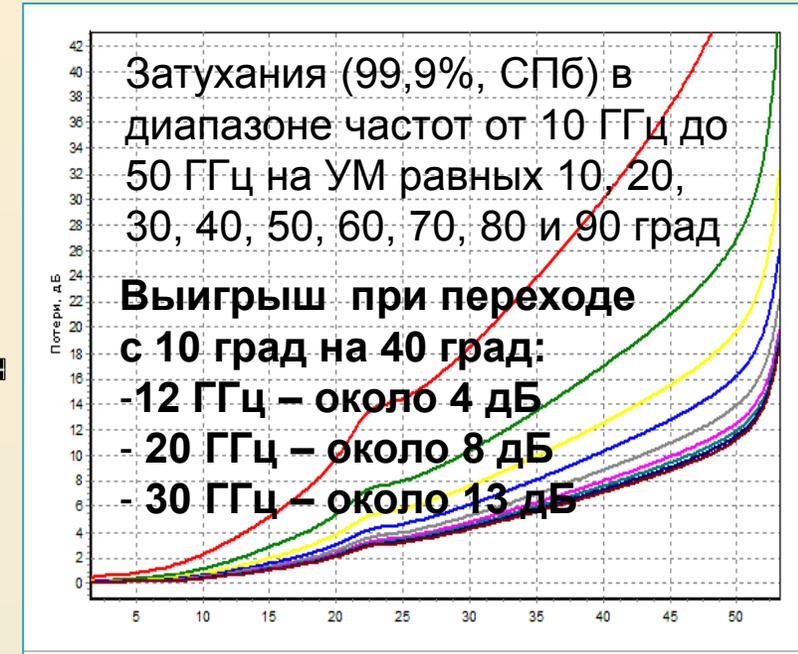
Проблемы	Решения
Создание дешевых абонентских терминалов для работы на подвижных средствах	✓ Решения сегодня нет, но обещают !
Гибкое перераспределение емкости в лучах в зависимости от трафика	✓ Заявлено решение с использованием технологии SS-TDMA
Координация новых спутников ГСО в Ku и Ka-диапазонах, конфликты в радиочастотном спектре	✓ Освоение Q/V-диапазона и выше



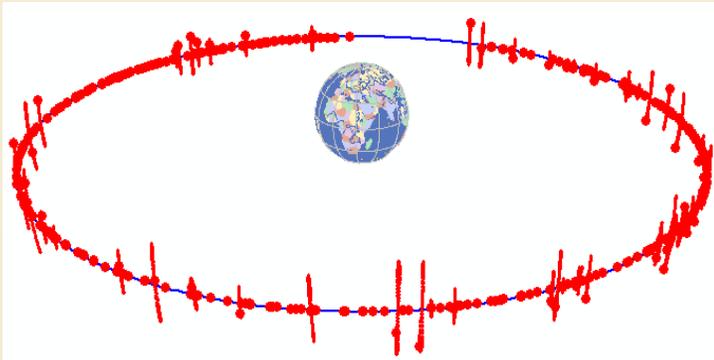
А) проблемы в реализации сетей подвижной радиосвязи



Б) значительные затухания при низком угле места



1. Малые углы места в высоких широтах



2. Значительные дальности до КА

В) Низкий коэффициент готовности канала

Г) Высокие задержки для предоставления услуг, требующих высокую скорость реакции на события, близкую к режиму реального времени

**Надежда на многоспутниковые системы широкополосного доступа на негеостационарных орбитах ?**



# Кратко о проектах многоспутниковых систем LEO/МЕО/НЕО-НТС

№	Проект	Число КА	Орбита	Диапазон	Примечания
1	OneWeb	720	LEO	Ku/Ka	1200 км, наклонение 87,9°; ОГ: 18x40=720
2	OneWeb	1980	LEO	Ku/Ka	1200 км, наклонение 87,9°; ОГ: 36x55=1980
3	Telesat	117	LEO	Q/V	- 72 КА на высоте 1000 км с наклонением 99.5° - 45 КА на высоте 1248 км и наклонением 37.4°
4	Leosat	108	LEO	Ka	1400 км, наклонение 90°
5	SpaceX	4425	LEO	Ku/Ka	1 этап- Эшелон 1 (1600 КА) 2 этап-Эшелоны 2-5 (1600+400+450+375)
6	SpaceX VLEO	7518	VLEO	Q/W	От 335 км до 346 км, 7518 КА, наклонение 42°, 48°, 53°
7	OneWeb (OW-MEO)	2560	MEO	Ku/Ka/Q/W/E	8500 км, наклонение 45°, первый этап 1280 КА
8	O3B NGSO	60	MEO	Ka	8062 км
9	O3B	24	MEO	Ka	8062 км, наклонение 0°
10	Boeing NGSO	60 (Ka) 2956 (V)	>25 тыс км	Ka	1 этап 1396 КА на 1030 км до 1082 км, наклонение 45° и 55° - затем 2956 LEO накл. 88°, высота 970 км
11	Boeing V-band	147		Q/W	- 132 КА на высоте 1056 км - 15 КА на геосинхронной с наклонением 63,4°
12	ViaSat NGSO	24	MEO	Ka/Q/W	8200 км, наклонение 87°
13	Space Norway	2	HEO	Ku/Ka	43509 x 8089 км. Наклонение 63.4°
	Virtual Geo	15	HEO	C/Ku/Ka	29190 x 1650 км, наклонение 63.4°

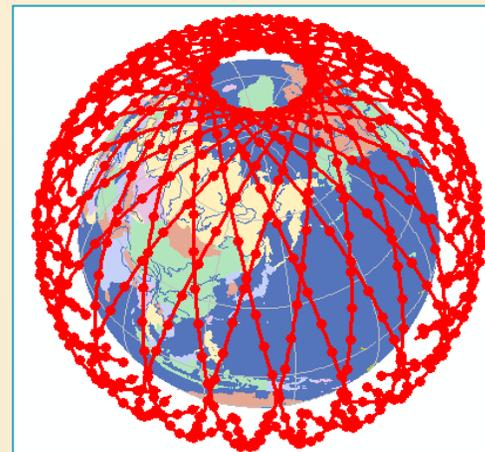
Число проектов продолжает расти !

### Основные ограничения:

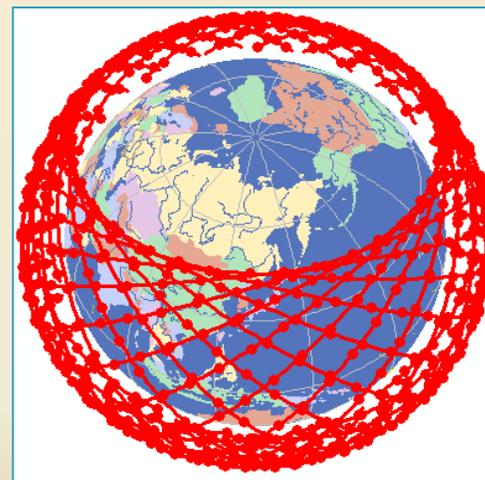
- максимальная высота 1500 км (выше – радиационные зоны), минимальная высота 500км
- ниже 400 км – значительное влияние атмосферы, угроза пилотируемой космонавтике
- ССО – наклонение от 96,4 град (h=300 км) до 102 град (h=1500 км)
- полярные орбиты (Эшелон 1)
- наклонные орбиты (Эшелон 2)

### Основные тенденции и проблемы:

- обеспечить гарантированные углы места до 60 град
- эшелонирование ОГ по наклонению и высоте (повышение эффективности использования КА)
- диверсификация --дополнительные модули ПН (аппаратура ДЗЗ и/или навигации)
- нужно сотни и тысячи КА в ОГ
- особые требования к КА
- проблема утилизации КА



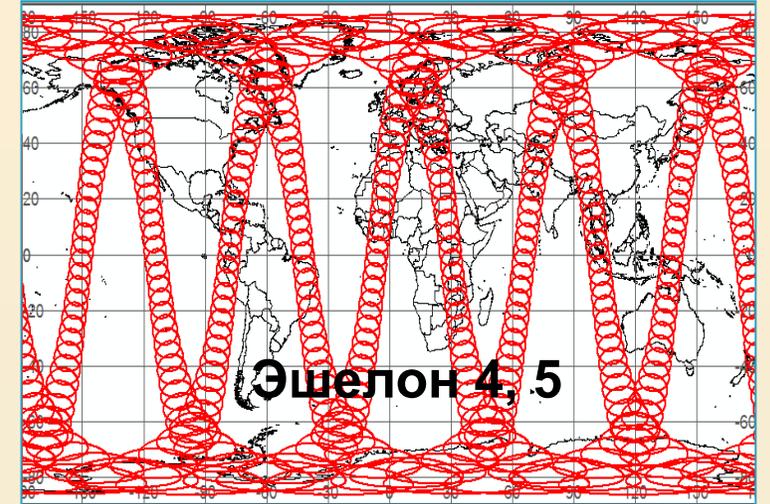
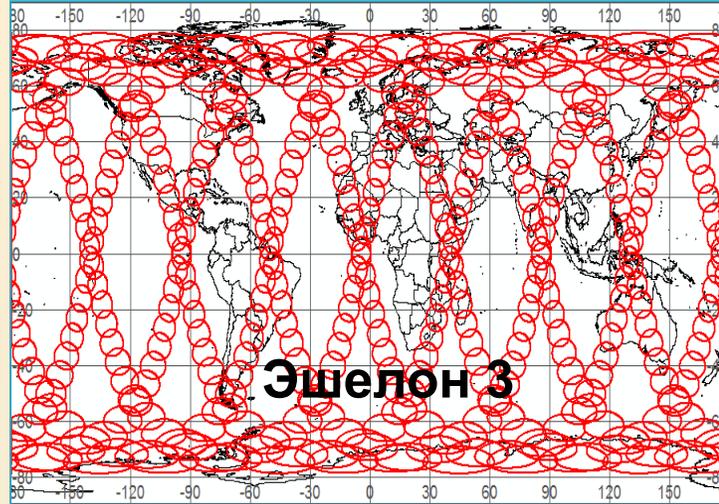
Эшелон №1



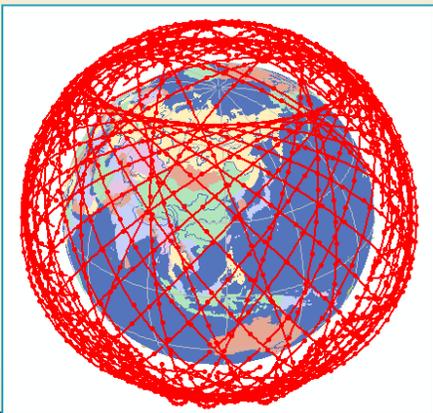
Эшелон №2

## Орбитальная группировка

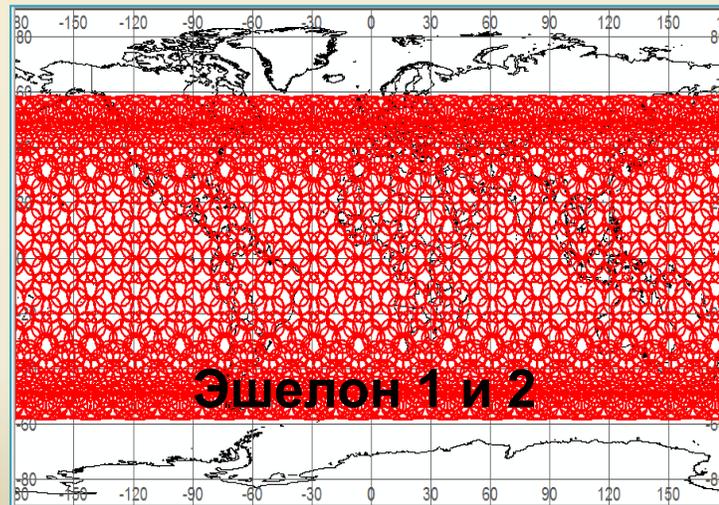
№ эш.	плоск остей ей	КА в плоскости	Всего КА	Орбита	
				i, град	h, км
1	32	50	1600	53,0	1150
2	32	50	1600	53,8	1110
3	8	50	400	74,0	1130
4	6	75	450	70,0	1325
5	5	75	375	81,0	1275
Всего	83	-	4425	-	-



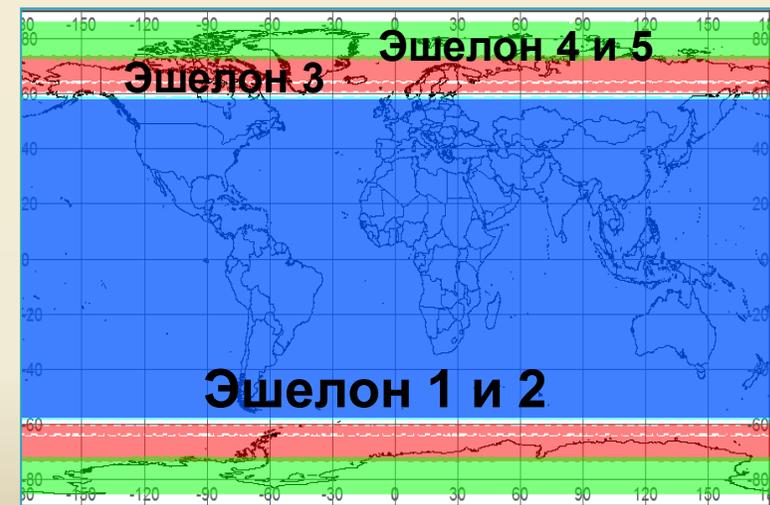
Мгновенная зона радиовидимости эшелонов



Структура ОГ (все эшелоны)

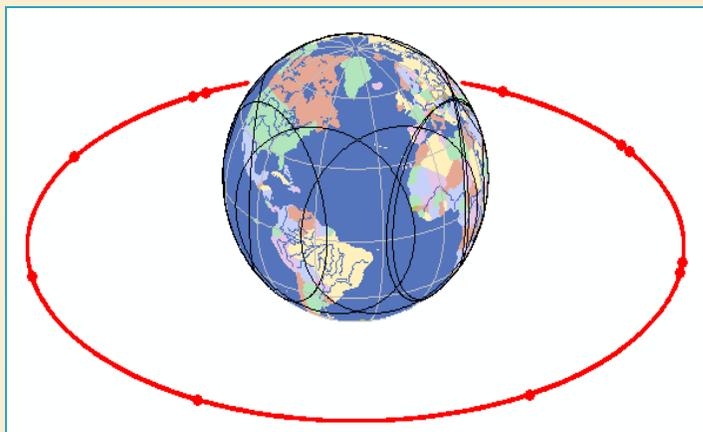


Мгновенная зона радиовидимости

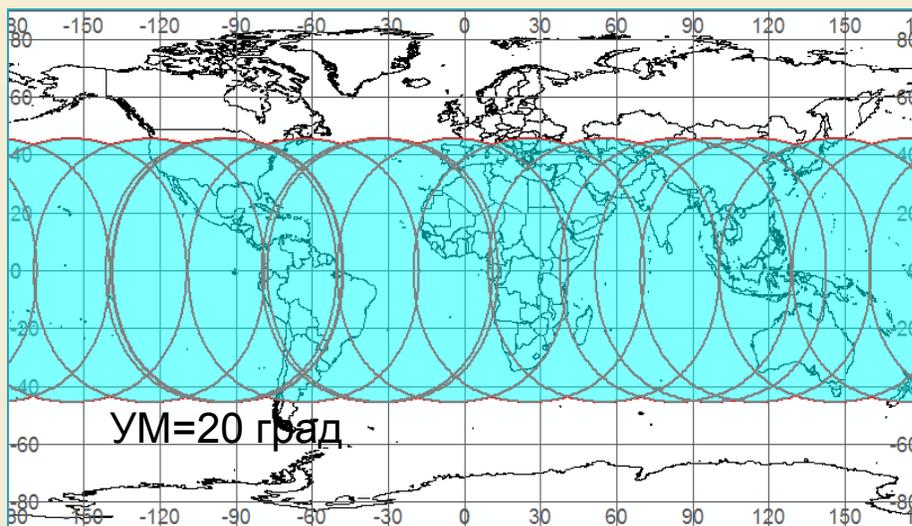


ГЗРВ системы SpaceX, УМ=60 град,

## Система ОЗВ

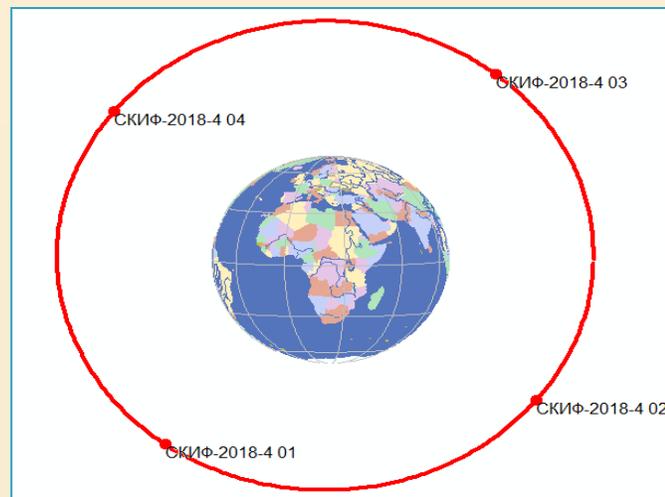


Диапазон частот - Ка  
Число КА - 12

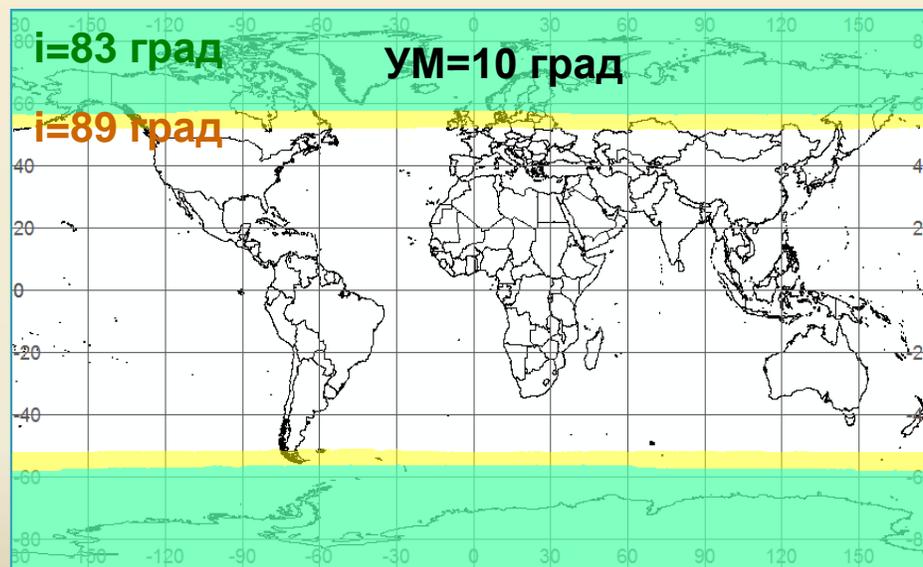


Радиовидимость системы при УМ=20°

## Проект «СКИФ»



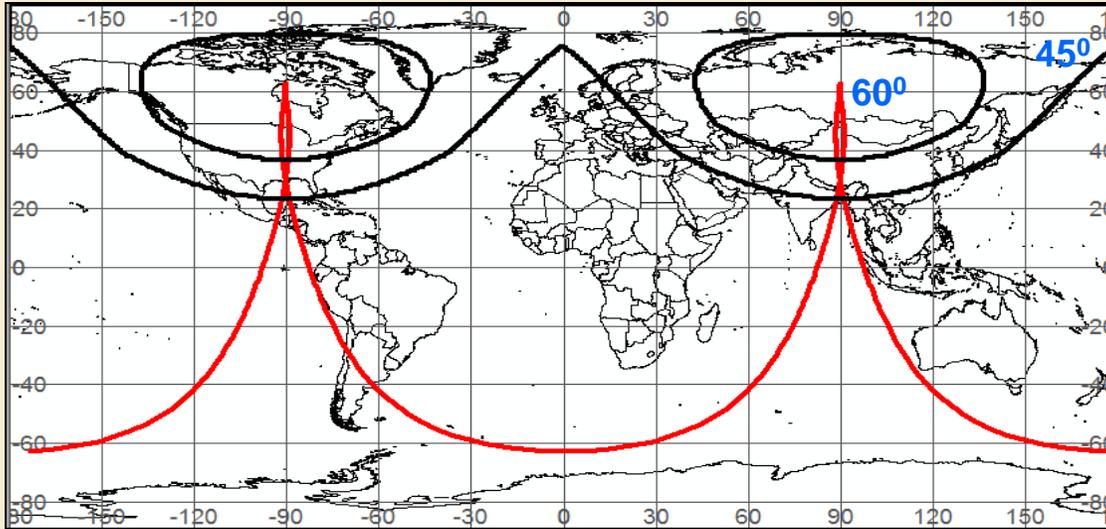
Диапазон частот - Ка  
Число КА - 4



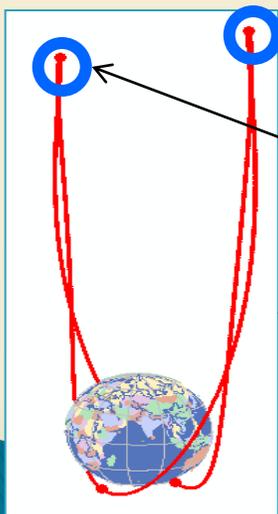
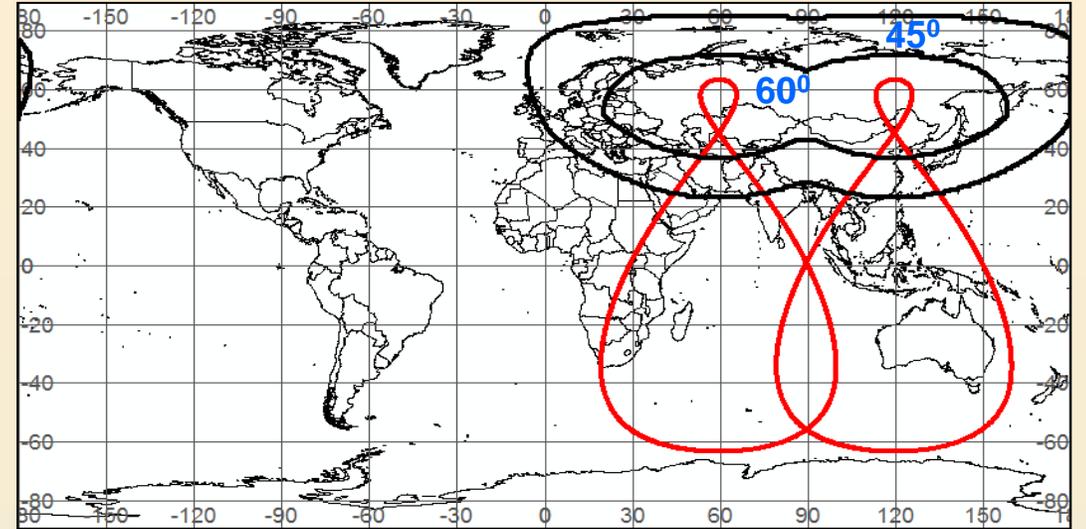
Радиовидимость системы при УМ=10°

(по состоянию на 15.11.2018)

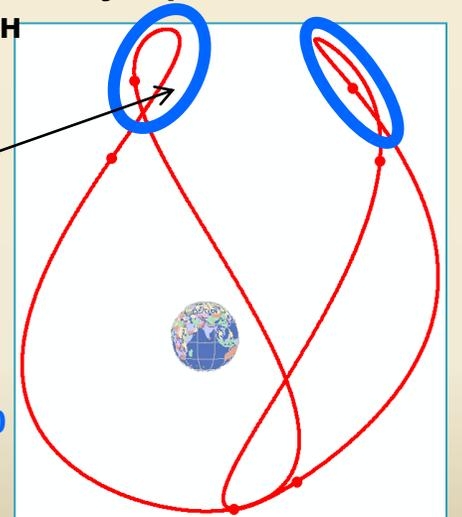
## Проект «Экспресс-РВ»



## Проект «Росинфоком-ВЭО»



4-е КА, орбита «Молния»  
Абонентские линии: Ки-диапазон



Две группировки по 3-и КА, орбита «Тундра»  
Абонентские линии: Ки-диапазон

Квази геостационарные зоны

Квази геостационарные группировки

Минимально требуемый угол сканирования антенны абонентского терминала

$12^\circ \times 2^\circ$

$25^\circ \times 25^\circ$

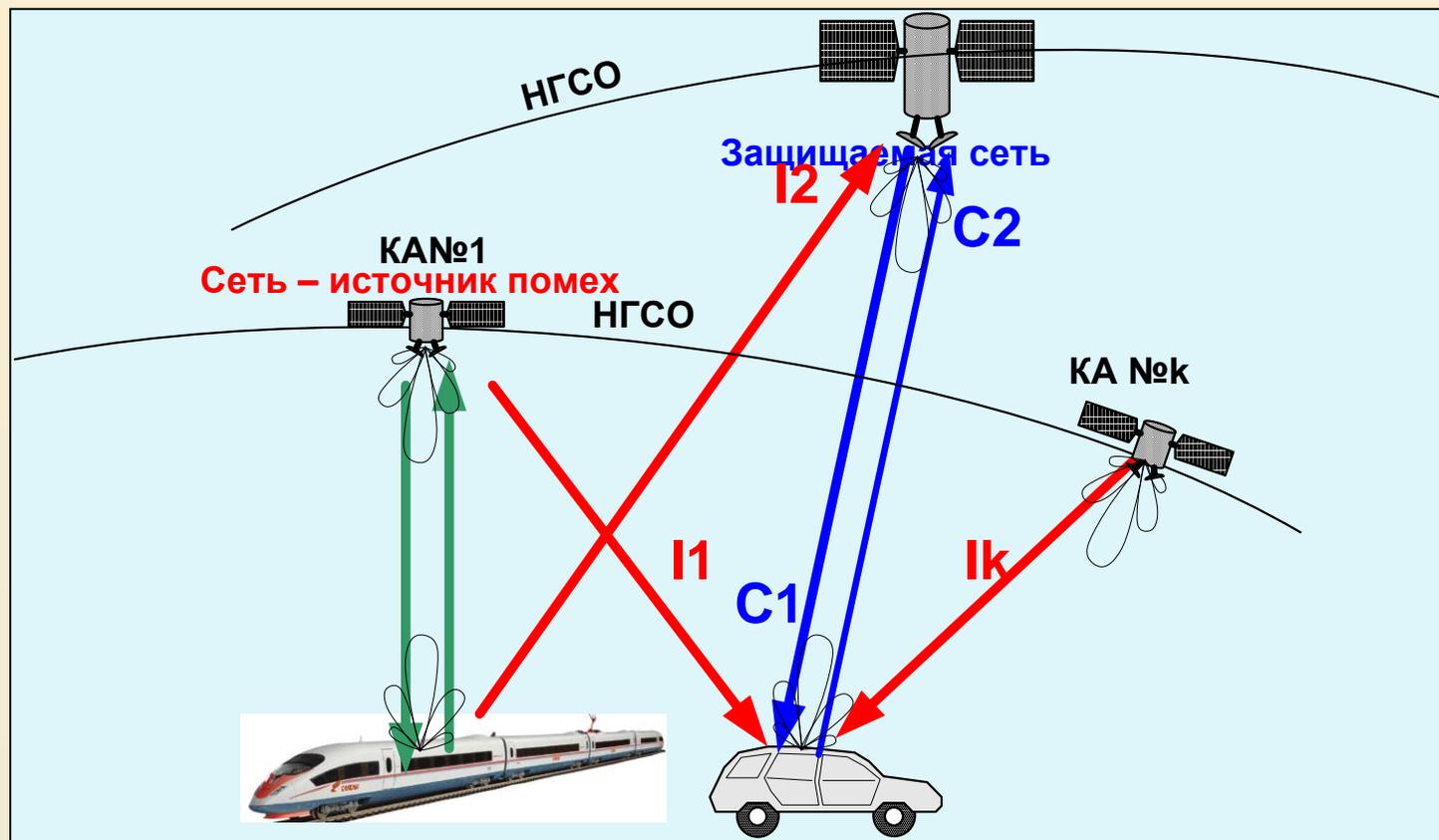
## Оценка ЭМС НГСО – РЭС ФСС, РСС и ФС и других служб радиосвязи:

- нормирование допустимого уровня суммарной спектральной плотности потока мощности от всех доступных КА в любой точке у поверхности Земли (PP)

## Обеспечение ЭМС ГСО - НГСО:

- угловой разворот КА НГСО в экваториальной зоне
- выключение КА НГСО в экваториальной полосе
- угловой пространственный разнос вне экваториальной зоны

## Обеспечение ЭМС НГСО – НГСО ???



Типовой сценарий возникновения помеховых ситуаций НГСО-НГСО

### Особенности анализа ЭМС НГСО-НГСО:

- нестационарность процесса, существенная динамика изменения во времени ЭМО на Земле и в Космосе
- необходимость учета значительного числа факторов, связанных с баллистикой, энергетикой, особенностями исполнения бортовых и наземных антенн и др.
- проведение анализа ЭМС в этих условиях аналитическими методами затруднено
- анализ ЭМС и поиск решений по ее обеспечению целесообразно проводить путем математического моделирования работы затронутых систем на НГСО

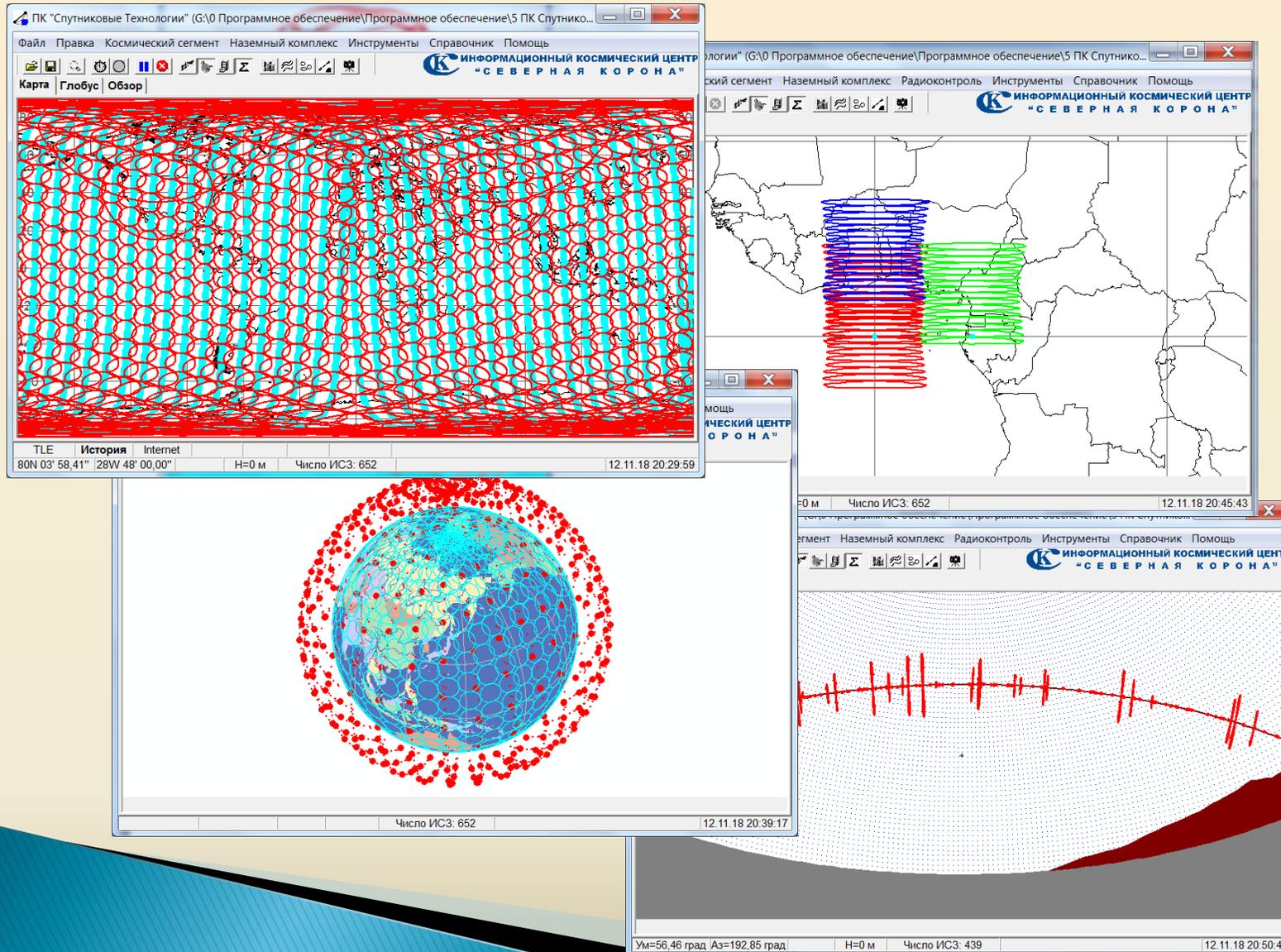
### Основные задачи, решаемые при моделировании работы систем «Экспресс-РВ» и OneWeb:

- расчет мощности помехи, формируемой составом КА орбитальной группировки OneWeb по входу приемника абонентской станции системы «Экспресс-РВ»
- расчет отношения С/И с учетом основных значимых факторов в контрольных точках зоны обслуживания
- построение графиков изменения С, I, С/И во времени
- подготовка выводов и рекомендаций по вариантам решения для обеспечения ЭМС

### Инструмент для моделирования:

САПР «Альбатрос»,  
программный комплекс «Спутниковые технологии»

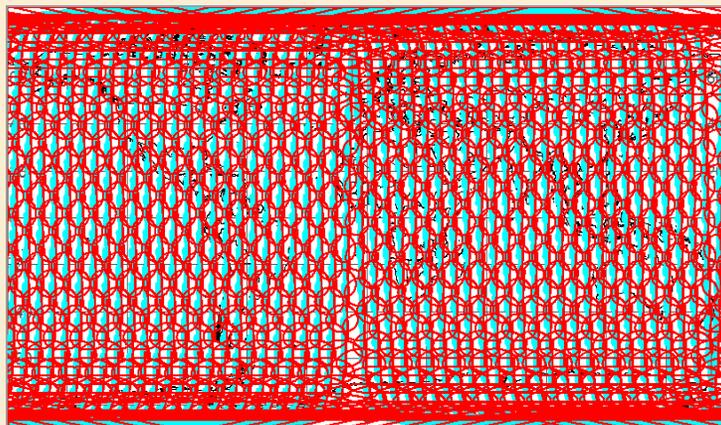
# Программные комплексы для моделирования САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии»



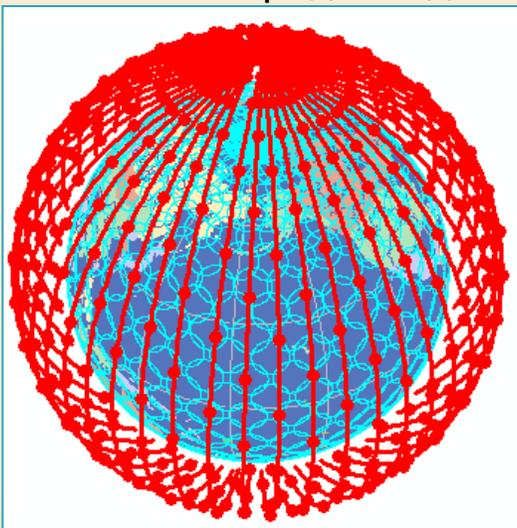
## САПР «Альбатрос» включает:

- режим синтеза орбитальных группировок любой размерности
- модели баллистического обеспечения
- модели распространения радиоволн на приземных трассах и участках Космос-Земля -Космос (Рекомендации BR ITU)
- эталонные диаграммы направленности (КА и ЗС)
- возможность визуального отображения и документирования результатов и мн. др.

## OneWeb



Мгновенная зона радиовидимости

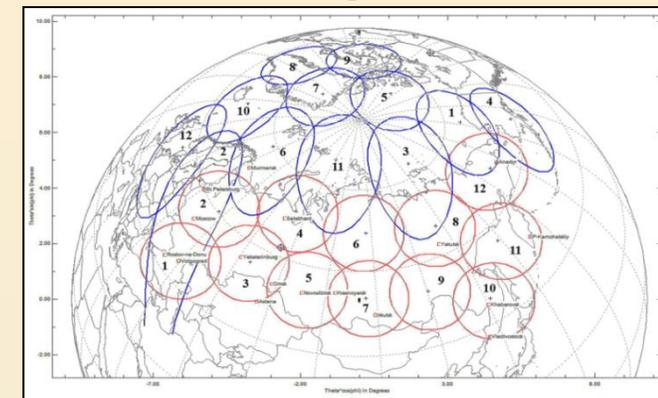


Структура ОГ

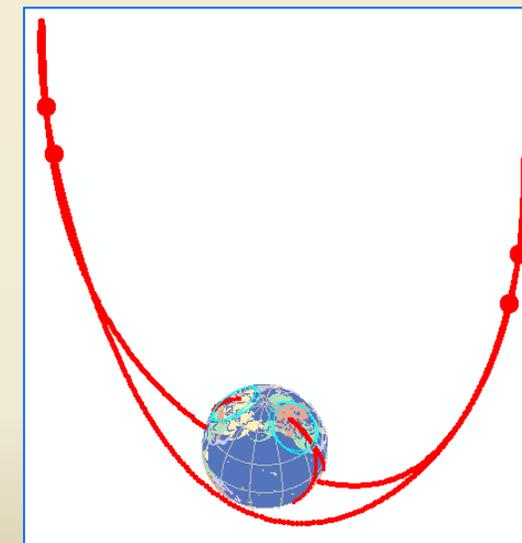
## Параметры, принятые при моделировании

Параметр	Экспресс РВ	OneWeb
Полоса радиочастот КА-Земля	10.97–11.7 ГГц	10.7 -12.7 ГГц
Полоса частот луча	54 МГц	250 МГц
Абонентские лучи КА	12 лучей, 2.75 <sup>0</sup> х2.75 <sup>0</sup>	16 лучей, 48 <sup>0</sup> х3 <sup>0</sup>
ЭИИМ в направлении границы луча	54 дБВт	34.6 дБВт
Спектральная плотность ЭИИМ в направлении границы луча	-12.7 дБВт/4 кГц	-13.4 дБВт/4кГц
Поляризация в абонентских лучах	левая	Правя

## Экспресс-РВ



Многолучевое покрытие



Структура ОГ

## Лучи с одинаковыми частотами

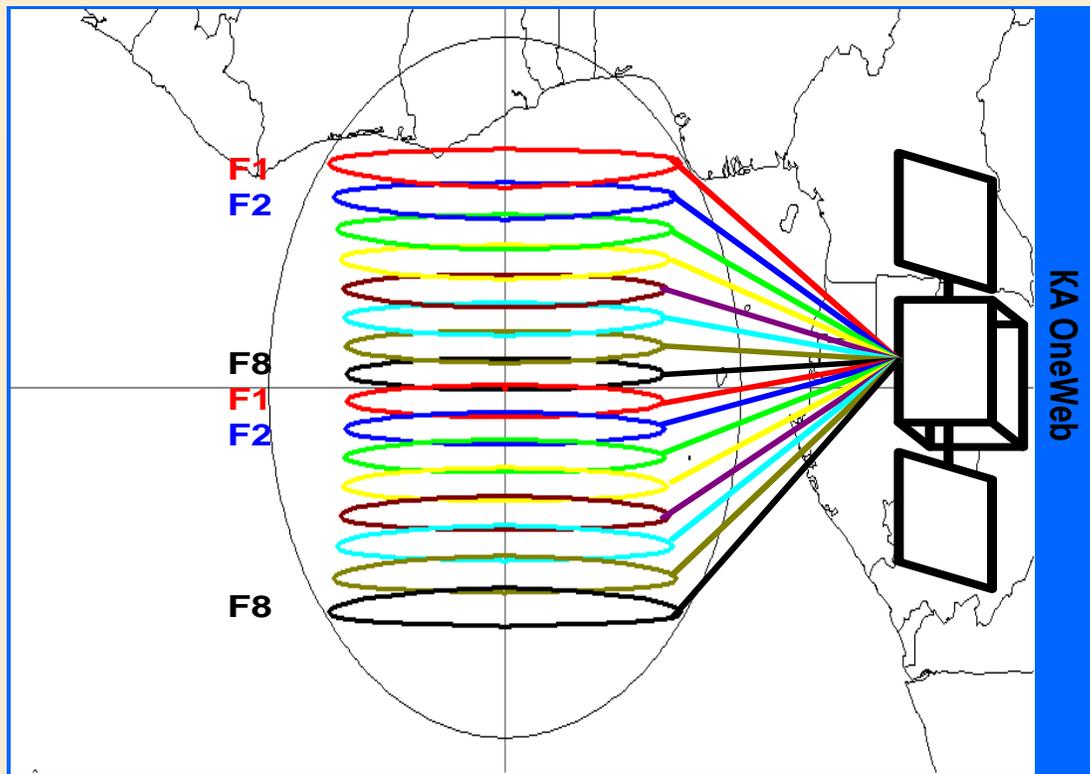
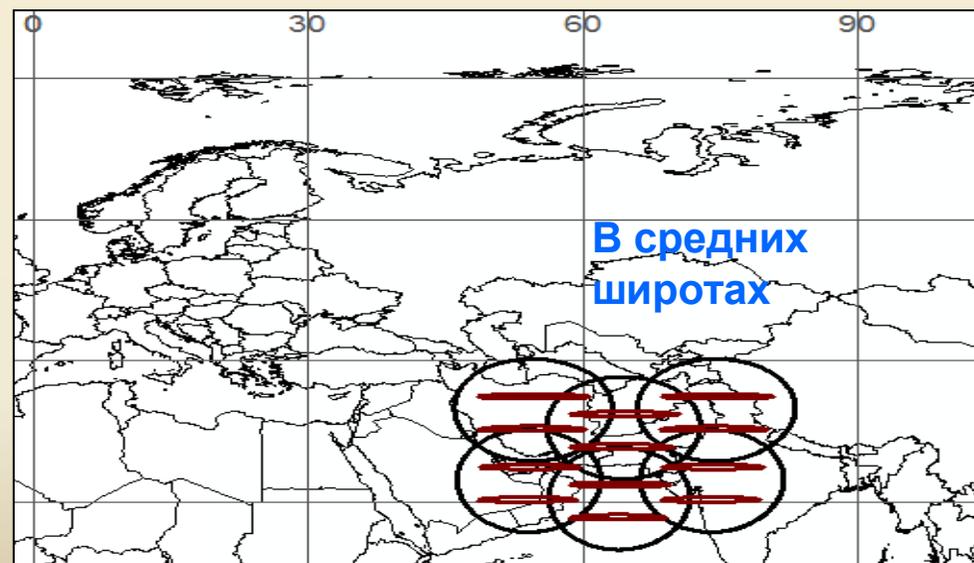
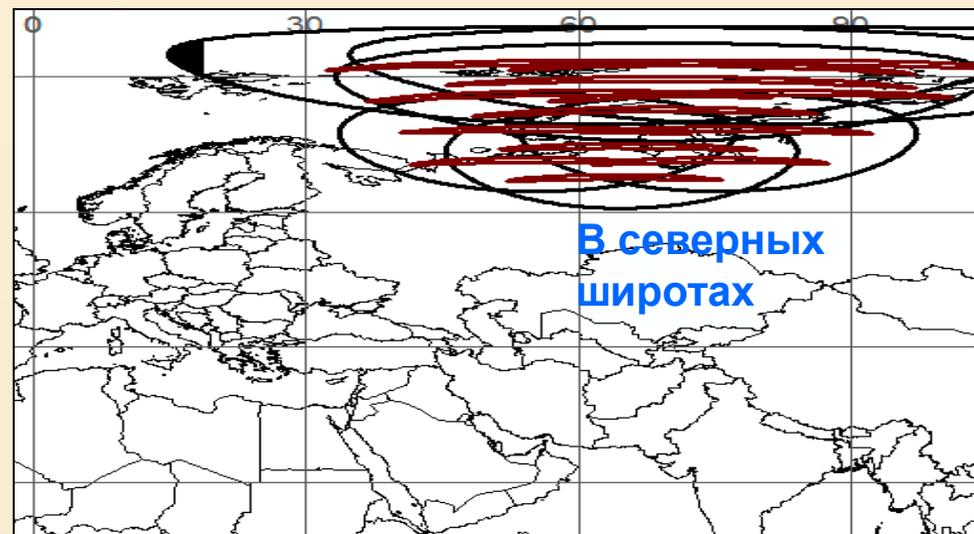
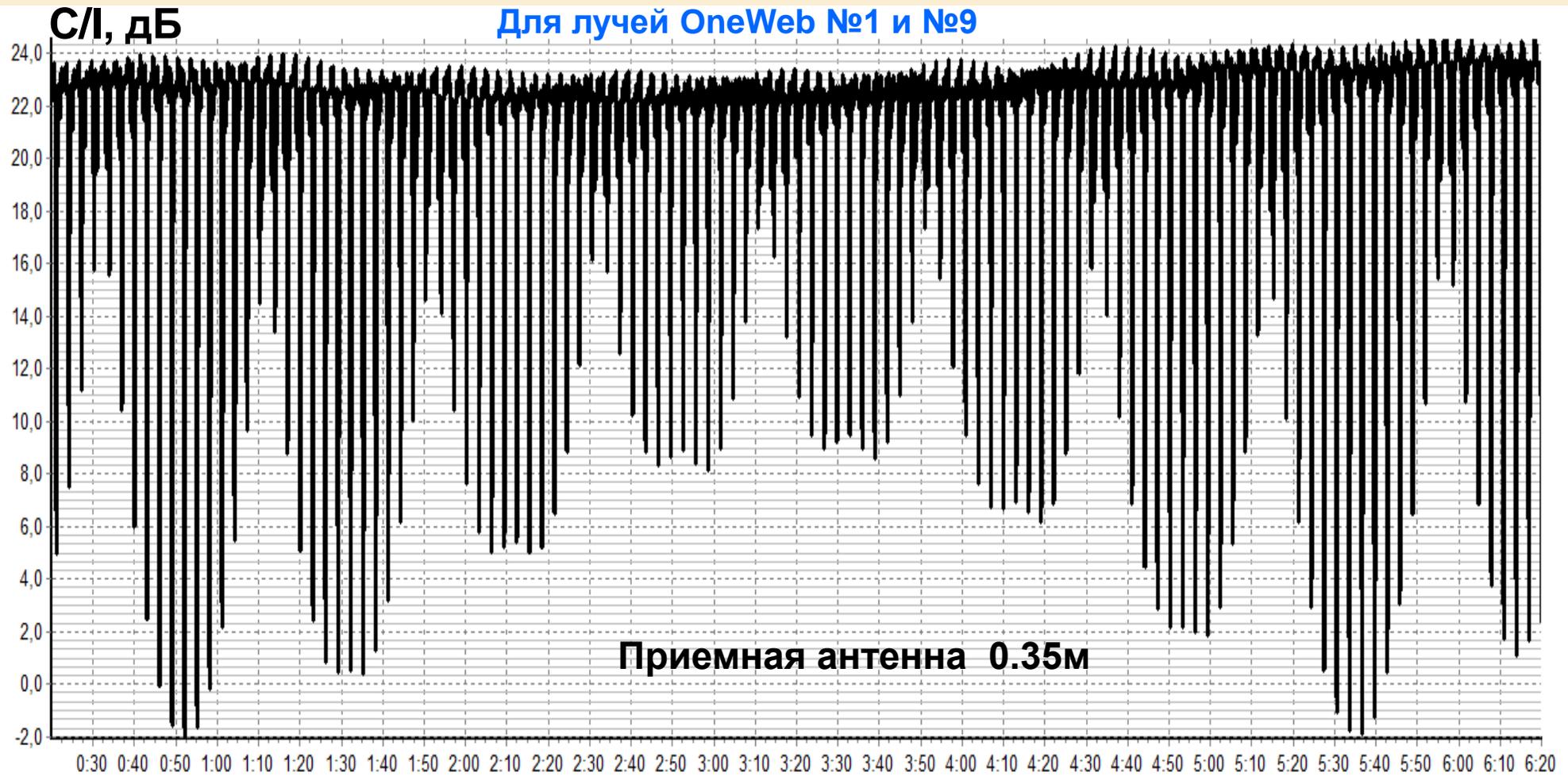


Иллюстрация частотного плана абонентских радиолиний KA OneWeb

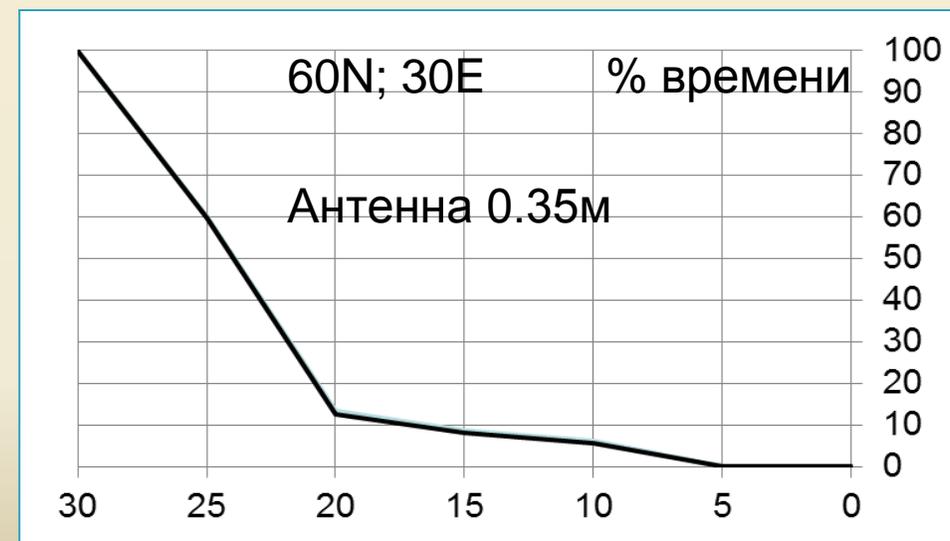
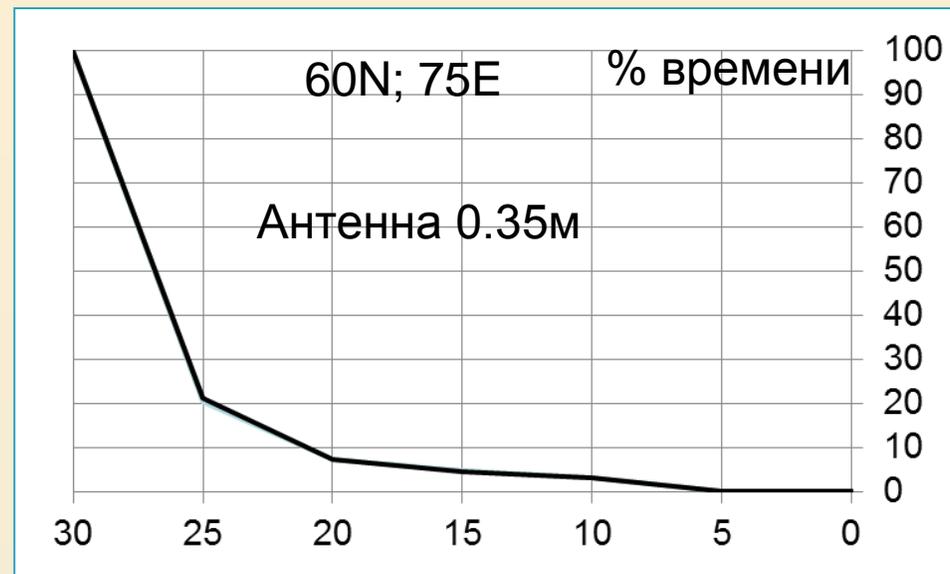
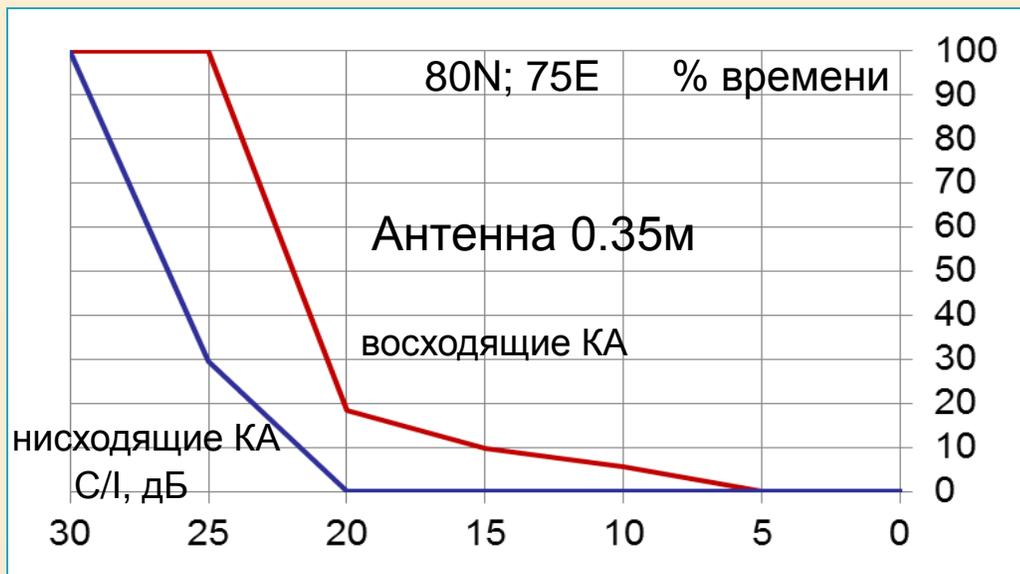


# Иллюстрация помехи, создаваемой OneWeb, приемным терминалам “Экспресс РВ”



Временной интервал 6 часов

# Вероятность помехи, создаваемой OneWeb, приемным терминалам “Экспресс РВ”



$$C/N = C/I + A_{\text{п}} - A_{\text{защиты}}, \text{ дБ}$$

$A_{\text{защиты}} = 12.2 \text{ дБ}$  рек. ITU-R S.741

$A_{\text{п}}$  = поляризационная развязка С и I

**Применимы только низкоэффективные  
сигнально-кодовые конструкции**

## Выводы и рекомендации

- GEO HTS не способны обеспечить высокие коэффициенты готовности на абонентских линиях в сетях сухопутной подвижной радиосвязи, их дальнейшее динамичное развитие – затруднено
- Все проекты НГСО HTS систем на НЕО, МЕО и ЛЕО орбитах имеют свои достоинства и недостатки, возможно целесообразно комбинирование разных систем для обеспечения сверхсуммарного эффекта
- Проекты в классе ЛЕО HTS систем, как правило, включают сотни и даже тысячи спутников, в том числе в составе многоярусных ОГ, что приводит к существенным проблемам в области ЭМС
- Оценки С/И для приемного абонентского терминала “Экспресс РВ” (НЕО-HTS) показывают существенное воздействие помех от спутников OneWeb (ЛЕО-HTS), даже с учетом поляризационной развязки полезного сигнала и помехи
- Разработанная модель конфликтной ситуации в радиочастотном спектре для систем ЛЕО-HTS и НЕО-HTS позволяет минимизировать риски, связанные с оценкой помеховой обстановки при проектировании наземных спутниковых сетей, в том числе в арктических регионах России
- Разработанная модель конфликтной ситуации в радиочастотном спектре может быть адаптирована и для оценки взаимных помех между многоспутниковыми системами ЛЕО-HTS.

## Заключение

**Реальное развертывание заявленных многоспутниковых ЛЕО HTS систем может привести к коллапсу в области НГСО HTS систем вследствие их взаимного деструктивного воздействия**

**Требуется новый алгоритм выделения полос радиочастот и допуска многоспутниковых низкоорбитальных систем для их практического развертывания и ПО для моделирования и анализа ЭМС**



**АО «Информационный Космический Центр «Северная Корона»**

## ***Спасибо за внимание!***

Автор признателен **Анпилову В.Р.** за ценные предложения и комментарии, сделанные в ходе подготовки материала.



199034, Россия, Санкт-Петербург,  
17-я линия В.О., д.4-6

тел/факс +7 (812) 320-65-04  
+7 (812) 922-36-21

e-mail: [org@spacecenter.ru](mailto:org@spacecenter.ru)

сайт: [www.spacecenter.ru](http://www.spacecenter.ru)