

**Высокоскоростные спутниковые системы  
LEO/MEO/HEO-HTS - текущее состояние и  
перспективы развития**

**Гриценко Андрей Аркадьевич**

Генеральный директор, кандидат технических наук

**ФОРУМ CSTB. Telecom & Media – 2017  
ТЕЛЕВИДЕНИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ  
08 февраля 2017 г  
Крокус Экспо, Москва,**



## Спутниковые HTS системы – текущее состояние

**Цель развертывания HTS систем** – обеспечение высокоскоростных каналов передачи информации (прежде всего на линии «вниз») в интересах различных пользователей (стационарных, подвижных) на компактные абонентские станции (АЗС) при оптимальном соотношении цена/скорость

### Текущее состояние:

- развернут ряд HTS спутников на геостационарной орбите (ГСО), ведутся разработки новых (в Ku- и Ka-диапазонах частот):

- SES, Intelsat Epic, Inmarsat-5, ViaSat и др.;

-развернута одна HTS система на средней круговой орбите (МЕО):

- ОЗВ;

-ведутся работы по созданию новых HTS систем на высокоэллиптических (HEO), средних круговых (МЕО) и низких круговых (LEO) орбитах.

- OneWeb, SpaceX, LeoSat, COMMStellation и др. (LEO);

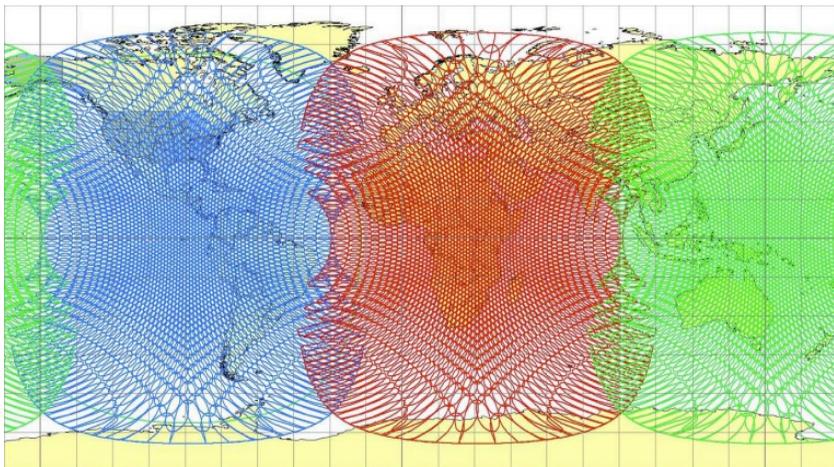
- «Скиф», Laser Light (МЕО);

- «Экспресс-РВ/Росинфоком» (HEO), CANPOL-2 (LEO - HEO).

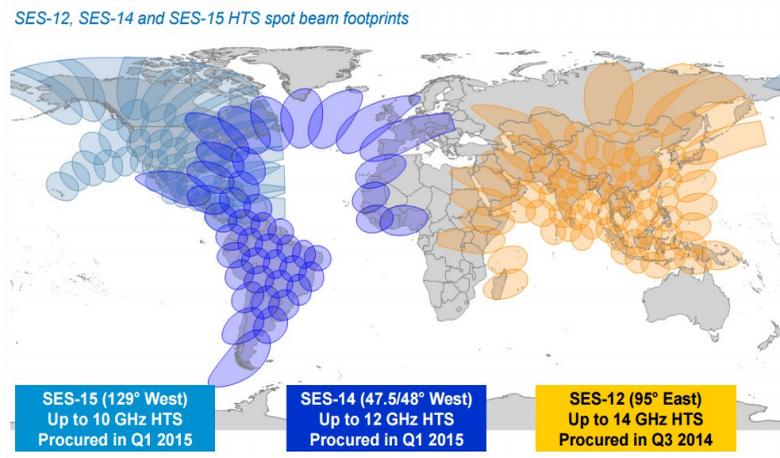


# GEO HTS системы

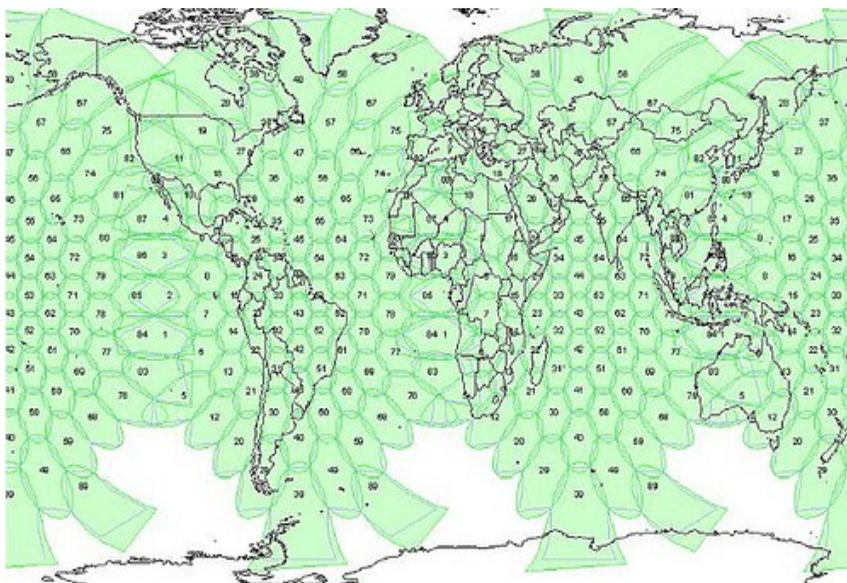
Текущее состояние – развернут ряд HTS спутников на ГСО, ведется разработка новых.



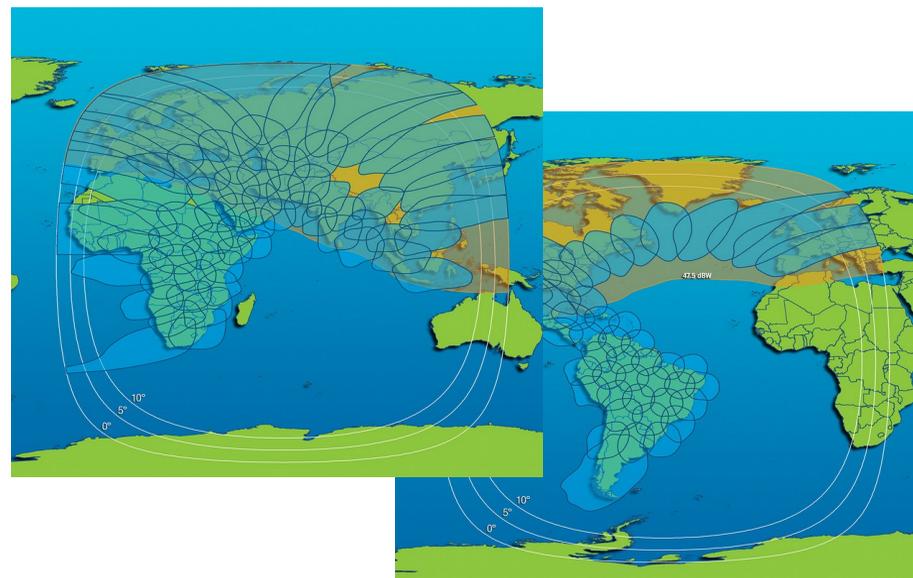
Viasat-3



SES-12, -14, -15



Inmarsat-5 Global Xpress



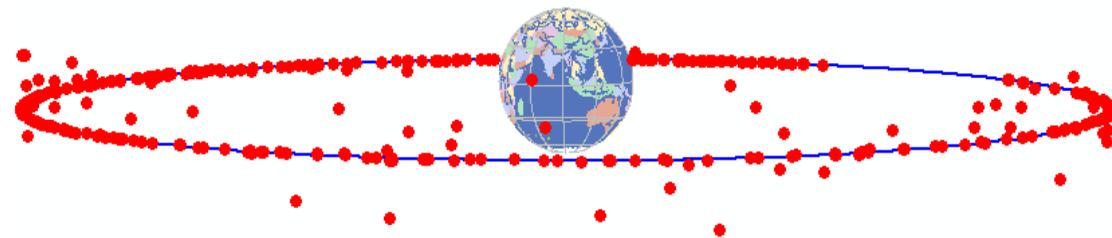
Intelsat Epic (29e в 310°E и 33e в 60°E)



# Специфика использования GEO HTS на территории России

## Характерные черты GEO HTS:

- узкие лучи (около 1 град);
- десятки, в ряде случаев сотни лучей от КА;
- отдельный усилитель на луч;
- огромные излучаемые мощности;
- мощная СЭС, наличие больших СБ;
- спутник тяжелого класса.

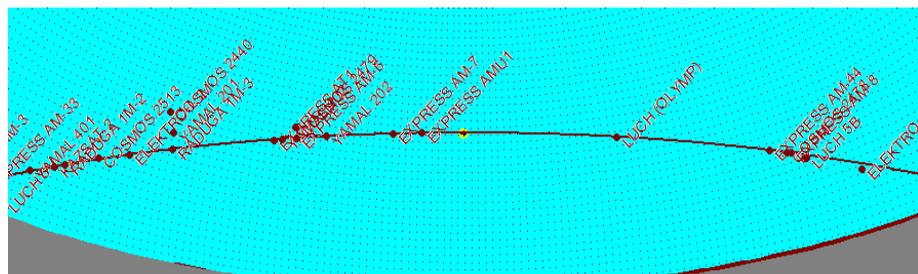


Геостационарная орбита (ГСО или GEO)

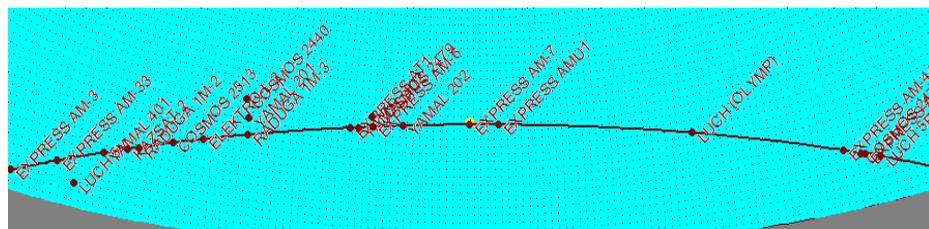
## «Узкие места» GEO HTS для РФ

### 1. Малые углы места

На значительной части территории РФ углы места на спутник составляют менее 20 град



Вид на ГСО из Санкт-Петербурга (УМ=21 град)



Вид на ГСО из Мурманска (УМ=17 град)

### 2. Значительные дальности до КА

Дальность от КА до абонента составляет около 40 тыс. км.

## Выводы:

- системы на ГСО могут проигрывать «по энергетике»;
- малые углы места – значит перекрытие прямой видимости на КА рельефом местности и местными предметами;
- необходимость выбирать площадку для установки ЗС;
- сложность реализации систем для подвижных абонентов.

## Целевая задача:

- обеспечить более высокие углы места;
- сократить дальность.

## Основные поисковые направления:

- типы орбит;
- диапазоны частот;
- структуры орбитальных группировок.



# Основные факторы, влияющие на энергетику радиоканала

## 1. Одно из основных условий:

$$E_b/N_0 > (E_b/N_0)_{\text{тр}}$$

где  $(E_b/N_0)_{\text{тр}}$  – требуемое значение, дБ

## 2. $E_b/N_0$ определяется:

$$E_b/N_0 = (P_c - N_0) - V_{\text{инф}}$$

где

$P_c$  – мощность сигнала на входе приемника, дБВт;

$N_0$  – спектральная мощность шума, дБВт/Гц;

$V_{\text{инф}}$  – информационная скорость передачи, дБ(Бит/с)

## 3. Мощность сигнала на входе приемника:

$$P_c = \text{EIRP} - L_o - L_a + G$$

где

$\text{EIRP}$  – ЭИИМ, дБВт;

$L_o$  – потери в свободном пространстве, дБ;

$L_a$  – затухания в атмосфере и дожде, дБ;

$G_a$  – усиление антенны абонентской станции (АЗС), дБ.

## Потери в свободном пространстве, дБ:

$$L_o = 92.45 + 20 \lg(F_{\text{ghz}}) + 20 \lg(D_{\text{км}})$$

$F_{\text{ghz}}$  – частота, ГГц;

$D_{\text{км}}$  – радиальная дальность, км

## Основные факторы, влияющие на энергетику радиолинии:

1. Потери в свободном пространстве;
2. Потери в атмосфере и дожде;
3. Усиление антенн КА и АЗС.

## Эталонная система:

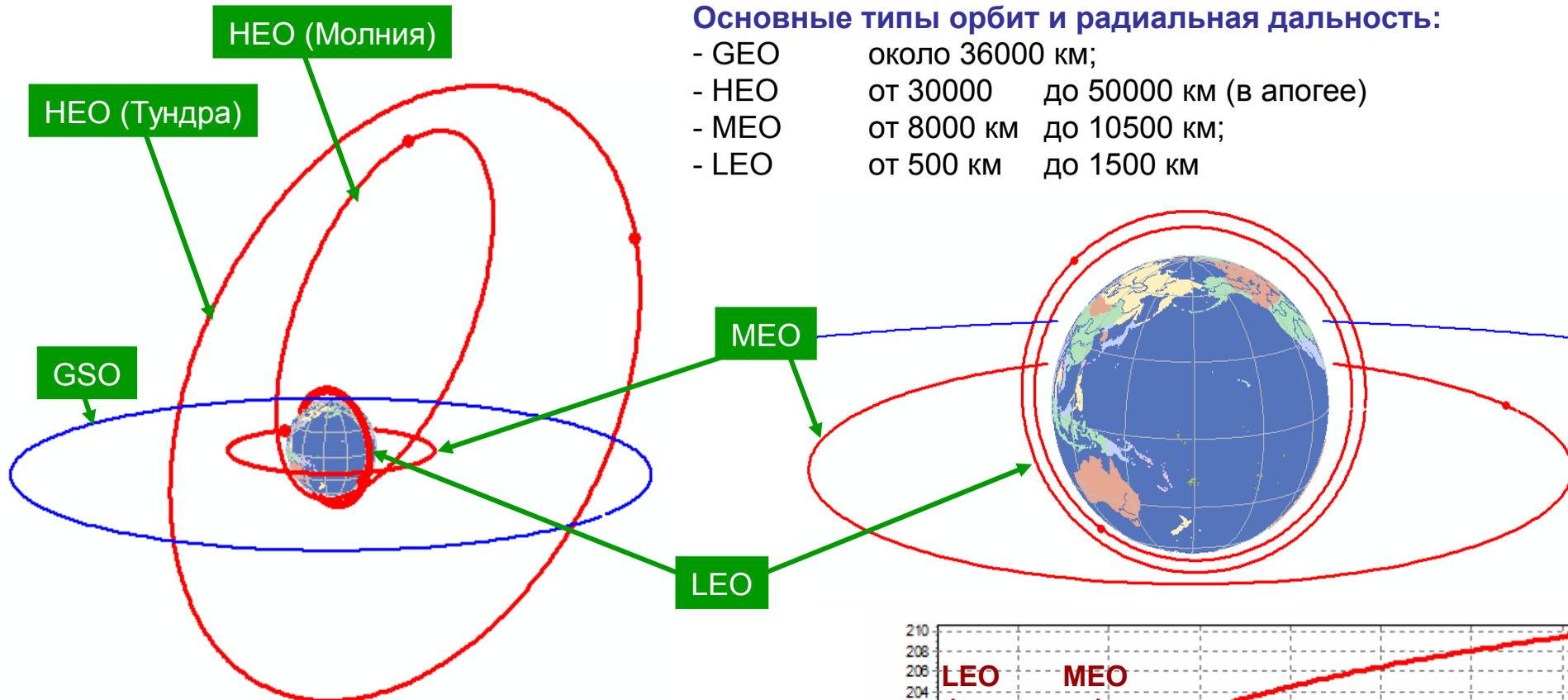
1. Мощность передатчика: КА 1 Вт;
2. Диаметр антенны КА: 1 м;
3. Диаметр антенны ЗС: 1 м;
4. Т шума на прием: 300 К;
5. Требуемое отношение  $E_b/N_0$ : 10 дБ.

## Пример для ГСО:

- частота: 20 ГГц;
  - ЭИИМ КА:  $44 - 0 = 44$  дБВт;
  - G/T ЗС:  $44 - 24 = 20$  дБ/К;
  - дальность от КА: 40 тыс. км;
- тогда  **$V_{\text{инф}} = 16$  Мбит/с**  
(учтены только потери в свободном пространстве)



# Типы орбит и потери в свободном пространстве



## Основные типы орбит и радиальная дальность:

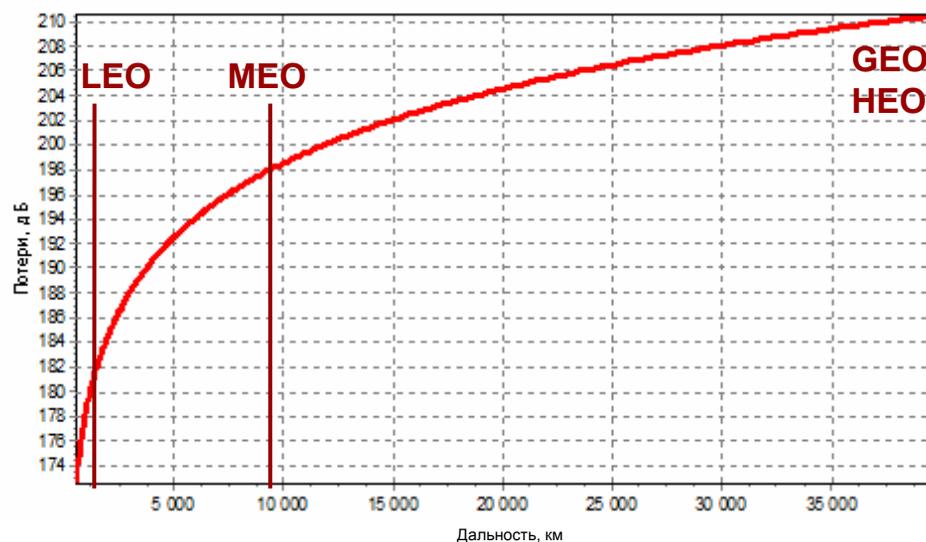
- GEO около 36000 км;
- НЕО от 30000 до 50000 км (в апогее)
- МЕО от 8000 км до 10500 км;
- ЛЕО от 500 км до 1500 км

## Выигрыш при переходе энергетика

- GEO 0 дБ
- с GEO/HEO на МЕО 10 дБ
- с МЕО на ЛЕО 15 дБ
- с GEO/HEO на ЛЕО 25 дБ

## скорость

- 16 Мбит/с
- 160 Мбит/с
- 500 Мбит/с
- 5 Гбит/с

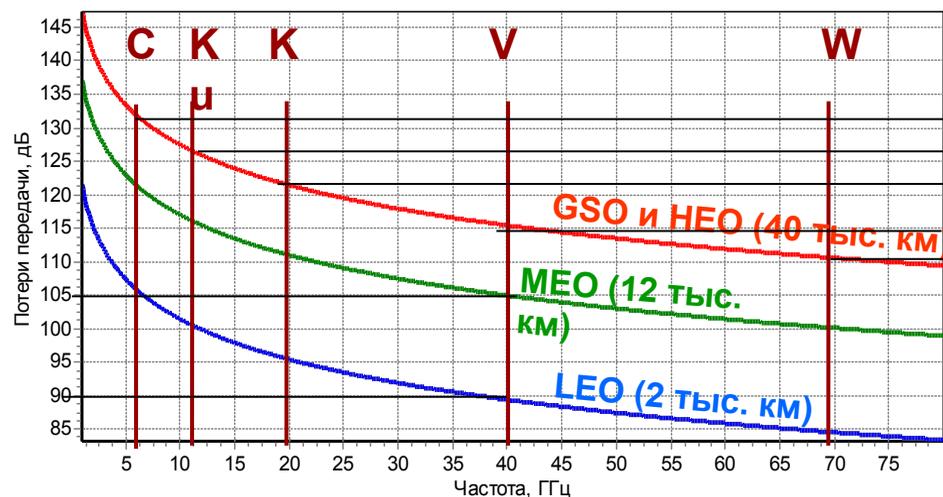
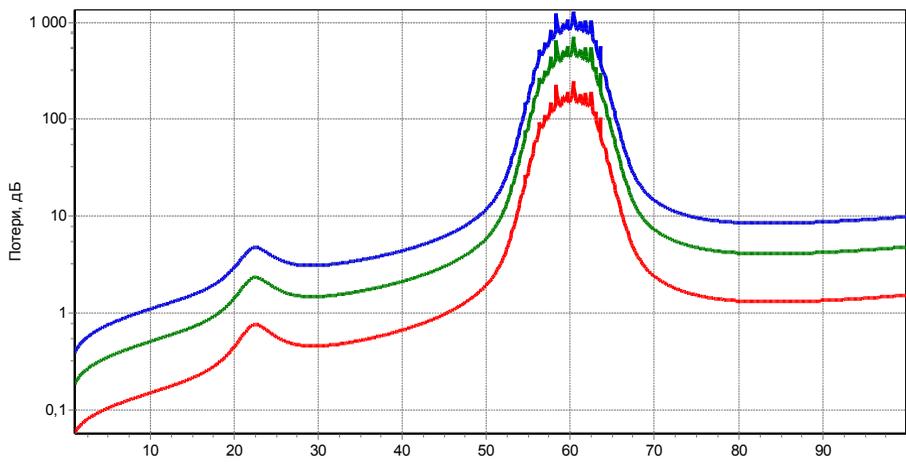


Потери в свободном пространстве на дальности от 500 до 40 тыс. км (при 20 ГГц) 6



# Основные факторы, влияющие на энергетику радиолинии

## Переход в более высокочастотную часть спектра



Потери в атмосфере в полосе от 1 до 100 ГГц, на углах места 10, 20 и 90 град при положении ЗС в г. СПб

Потери передачи (потери в свободном пространстве за минусом усиления двух антенн)

## Заявленные полосы частот НГСО систем (по материалам BRIFIC)

### Диапазоны частот:

### Линия «вверх»

### Линия «вниз»

L	1.5 ГГц
S	2.5 ГГц
C	6/4 ГГц
Ku	14/11-12 ГГц
K	20 ГГц
Ka	30 ГГц
V	40 ГГц
W	70 ГГц

42,5 – 43,5 ГГц	37,5 – 42,5 ГГц
43,5 – 47,0 ГГц	43,5 – 47,0 ГГц
47,2 – 50,2 ГГц	66,0 – 74,0 ГГц
50,4 – 51,4 ГГц	71,0 – 76,0 ГГц
66,0 – 71,0 ГГц	
81,0 – 86,0 ГГц	

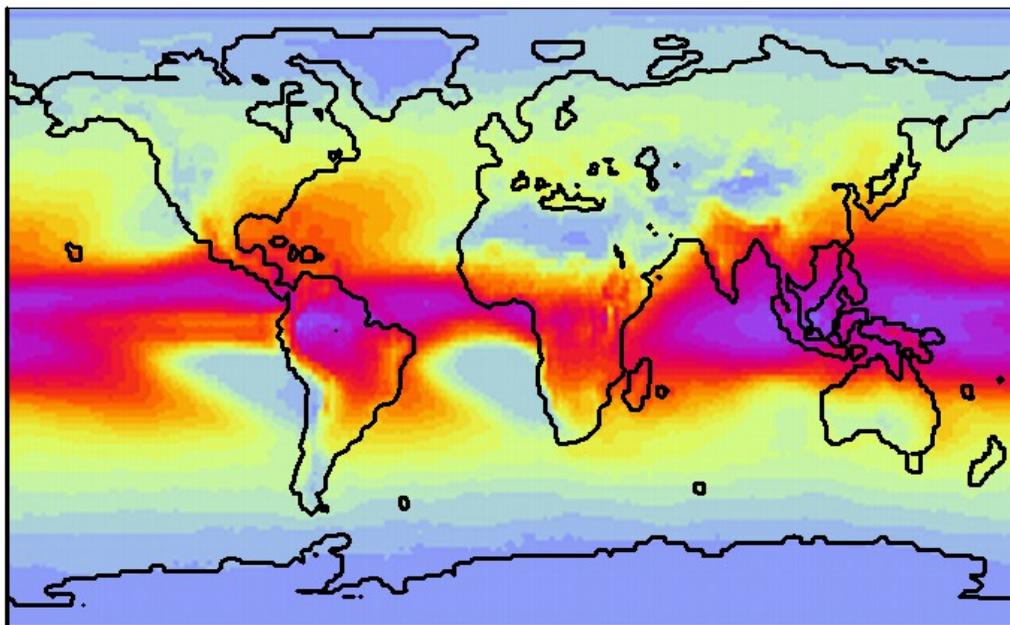
### Выигрыш при переходе:

	энергетика, дБ	V, Мбит/с
- из С в Ku	10	0.5
- из Ku в K	5	5
- K (20 ГГц)	0	16
- из K в V	5	50
- из V в W	5	161



# Основные факторы, влияющие на энергетику радиолинии

## Влияние граничного угла места



Карта затуханий в атмосфере, дожде, облаках и от сцинтилляций (P=99.5%)

### Проигрыш при переходе (дБ):

глобально

для РФ

#### УМ=10 град

из К в V	20	10
из V в W	58	30

#### УМ=50 град

из К в V	7	4
из V в W	24	12

### Выигрыш (глобально) при увеличении граничного угла места с 10 до 50 град:

- до 10 дБ в К-диапазоне;
- до 23 дБ в V-диапазоне;
- до 55 дБ в W-диапазоне.

	К	V	W	
УМ=10 град	13,729	33,092	91,163	
	12,655	30,536	83,865	
	11,581	27,979	76,566	
	10,506	25,422	69,268	
	9,432	22,865	61,969	
	8,357	20,309	54,67	
	7,283	17,752	47,372	
	6,209	15,195	40,073	
	5,134	12,638	32,775	
	4,06	10,082	25,476	
	2,985	7,525	18,178	
	1,911	4,968	10,879	
	0,837	2,411	3,58	
	УМ=50 град	3,509	10,794	34,974
		3,231	9,937	32,123
2,952		9,081	29,272	
2,673		8,224	26,421	
2,394		7,367	23,57	
2,115		6,511	20,719	
1,837		5,654	17,868	
1,558		4,797	15,017	
1,279		3,941	12,166	
1		3,084	9,315	
0,722		2,227	6,464	
0,443		1,37	3,613	
0,164		0,514	0,762	

### Пример экспресс - оценки НГСО системы для РФ:

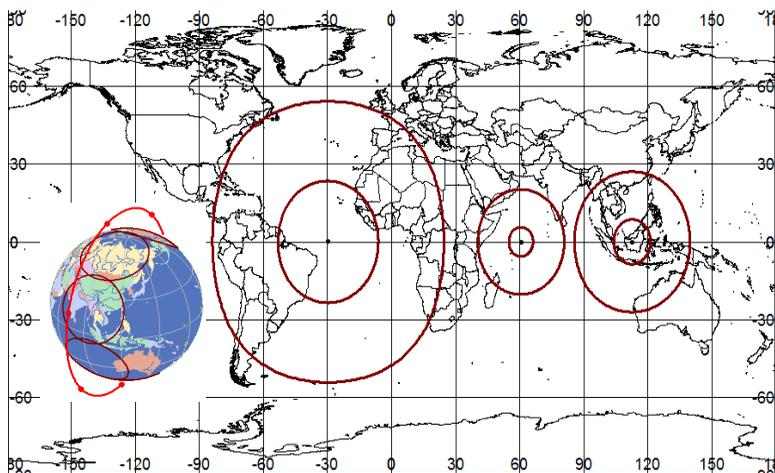
- исходное состояние: GEO HTS система, Ku-диапазон (12 ГГц), работа на углах места до 10 град;
- перешли с GEO на LEO 1500 км: +25 дБ;
- перешли в К-диапазон (20 ГГц) : +5 дБ;
- затухания в дожде и атмосфере (на 10 град): - 3 дБ;
- поднимаем угол места с 10 до 50 град: +10 дБ;
- **суммарный выигрыш: 37 дБ**

**Примечание:** существенное влияние на результат оказывают требования по надежности и зоне охвата

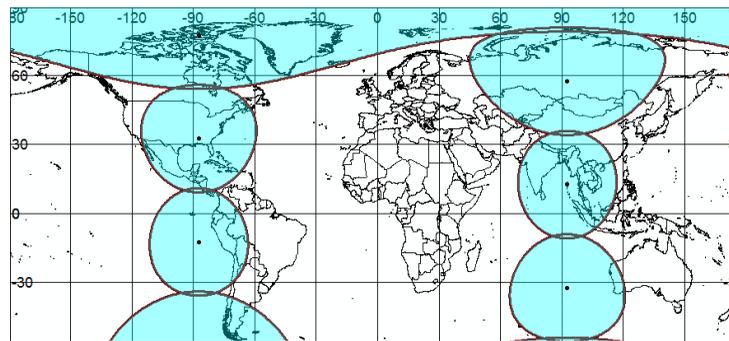


# Основные факторы, влияющие на энергетику радиолинии

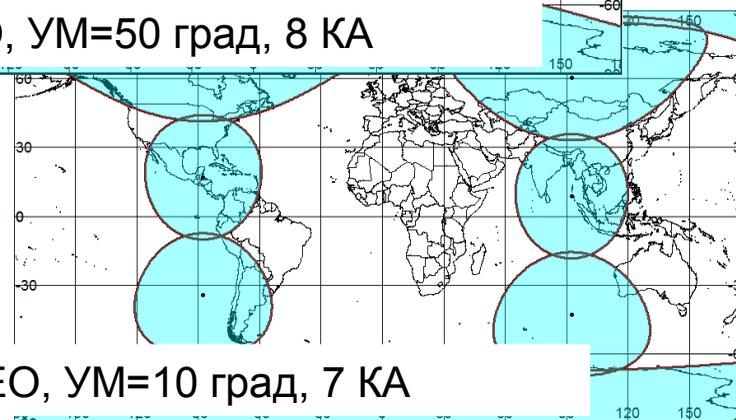
## Влияние типа орбиты и угла места на мощность ОГ НГСО систем



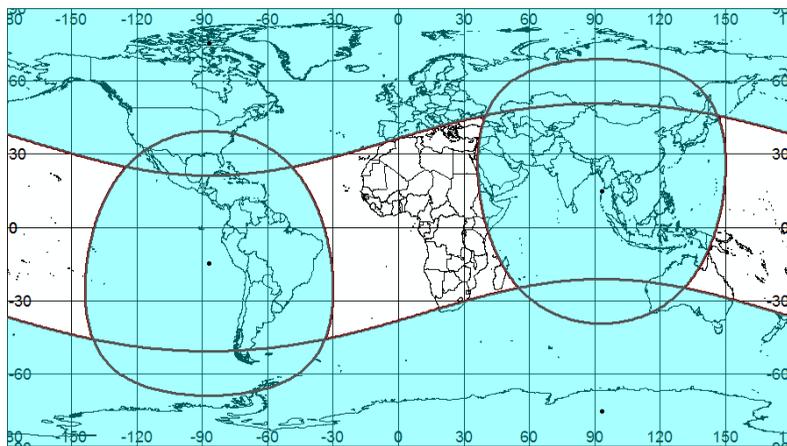
Зоны радиовидимости КА на высотах 8000, 1500 и 900 км при углах места 10 и 50 град



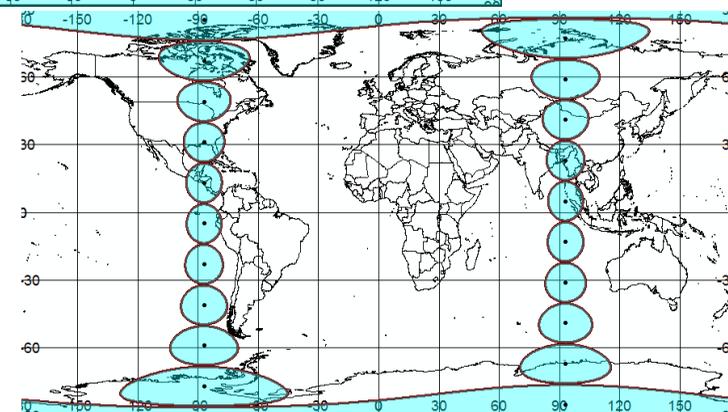
МЕО, УМ=50 град, 8 КА



ЛЕО, УМ=10 град, 7 КА



МЕО, УМ=10 град, 4 КА

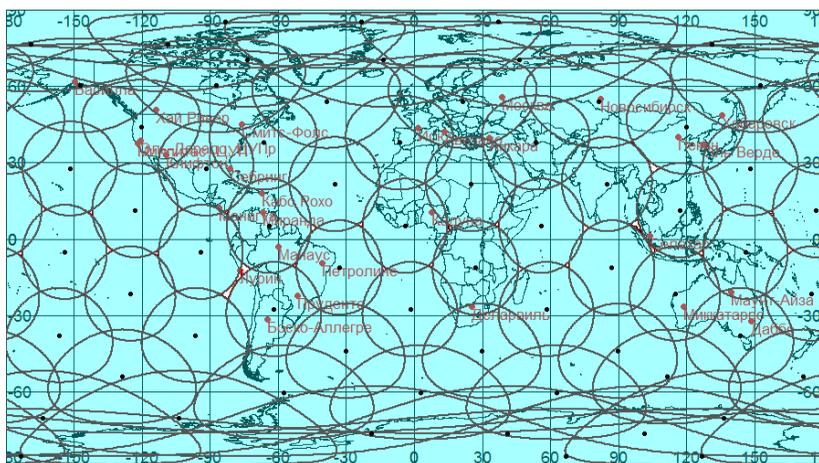


ЛЕО, УМ=50 град, 20 КА

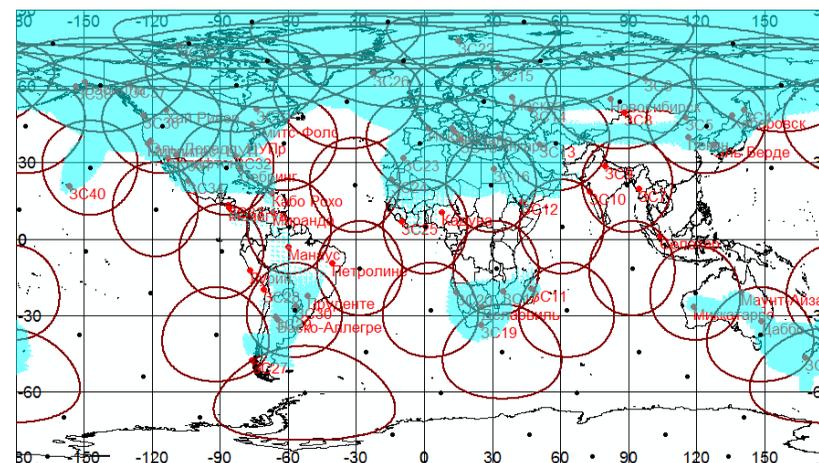


# Основные факторы, влияющие на энергетику радиолинии

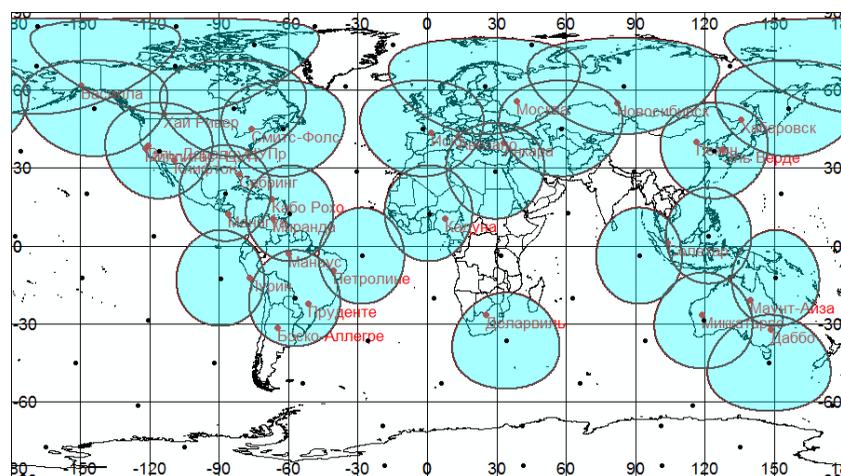
## Гарантированные зоны радиовидимости (ГЗРВ)



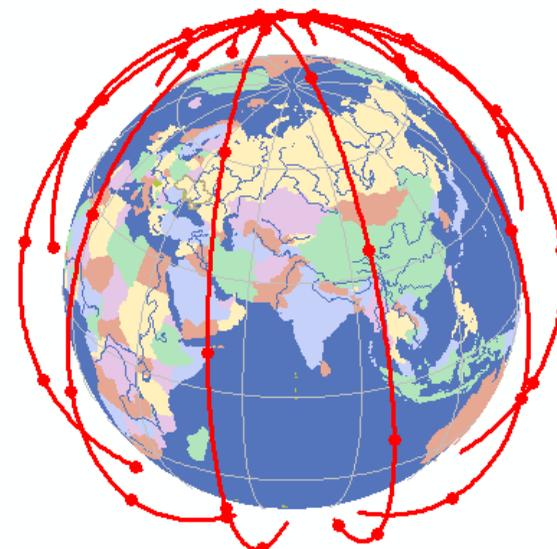
IRIDIUM – гарантированная/мгновенная зоны радиовидимости системы (есть межспутниковые линии)



IRIDIUM – гарантированная зона радиовидимости системы (нет межспутниковых линий, но есть шлюзы)



IRIDIUM – мгновенная зона радиовидимости системы (нет межспутниковых линии, но есть сеть шлюзов)



IRIDIUM – структура ОГ



## Основные проекты LEO/MEO/HEO HTS

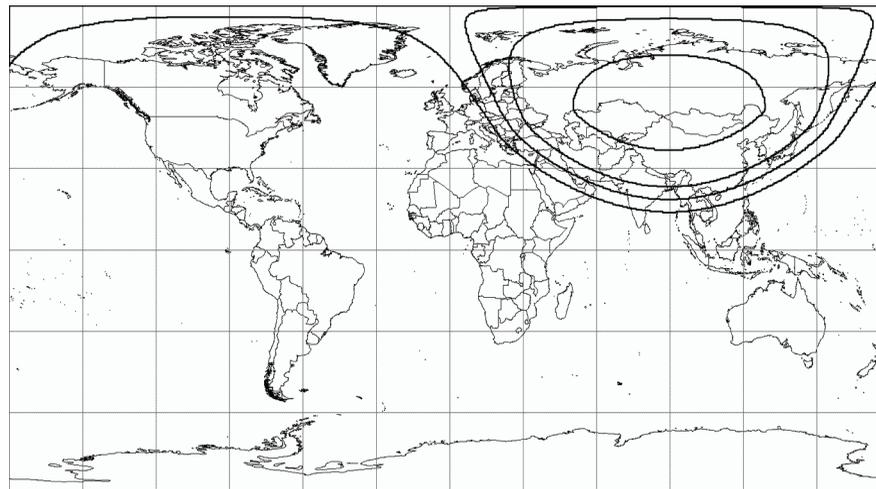
- ❖ **HEO** – «Экспресс-РВ/Росинфоком», CANPOL-2;
- ❖ **MEO** - ОЗВ, Скиф, Laser Light;
- ❖ **LEO** - OneWeb, SpaceX, LeoSat, COMMStellation и др.;



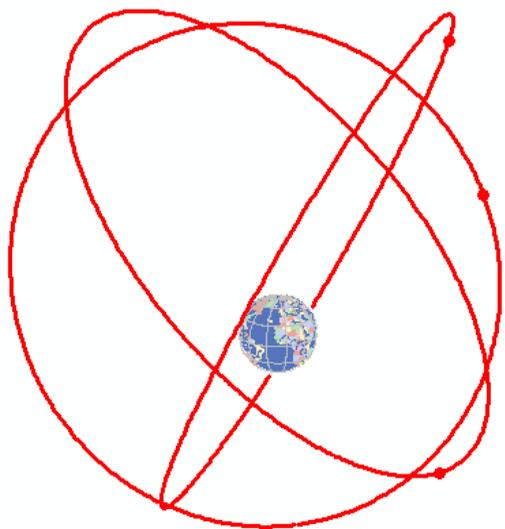
## «Экспресс-РВ/Росинфоком» Российский проект НЕО HTS системы

### Основные характеристики системы:

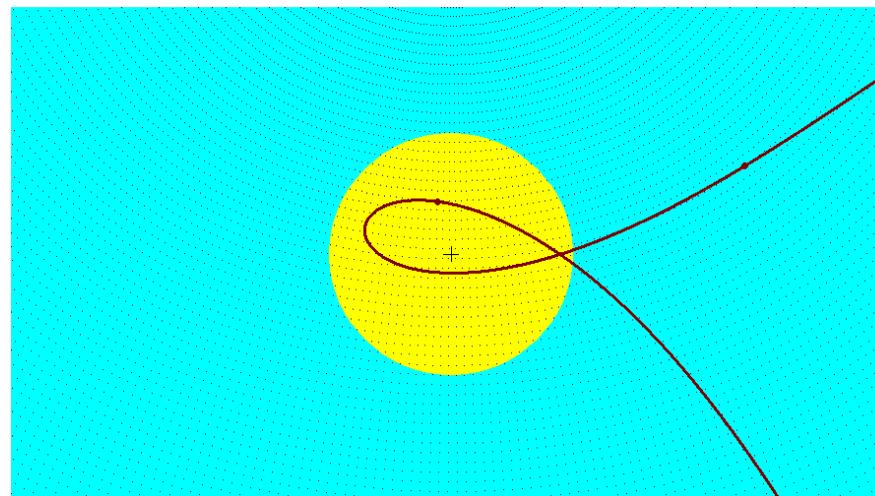
- Орбита: НЕО Тундра, высота 47000/24400, наклонение 63 град;
- ОГ: 3 или 4 плоскости по 1 КА, всего 3-4 КА;
- минимальный угол места от 30 град;
- диапазон частот абонентских линий Ku;
- межспутниковые линии: нет
- Спутник – тяжелого класса 3600 кг
- САС 15 лет
- пропускная способность КА: 3.8 Гбит/с;
- скорость передачи КА – АЗС: до 60 Мбит/с



ГЗРВ системы (УМ=30, 40, 45 и 60 град)



Структура ОГ системы «Экспресс-РВ/Росинфоком»



Трек спутников в «луче» антенны АЗС (ШДН 25 град)

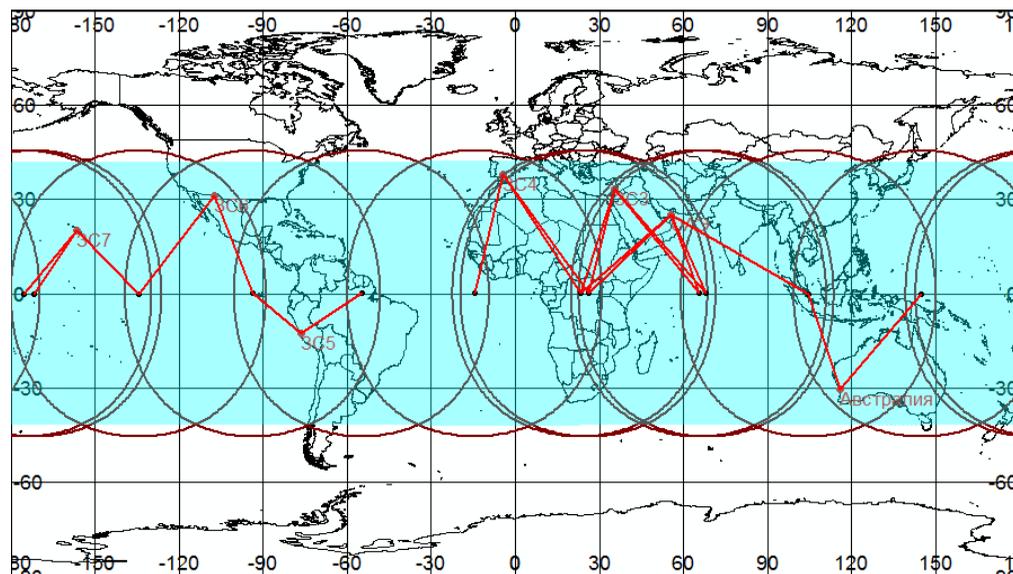


## ОЗВ

### первая действующая НГСО HTS система

#### Космический сегмент

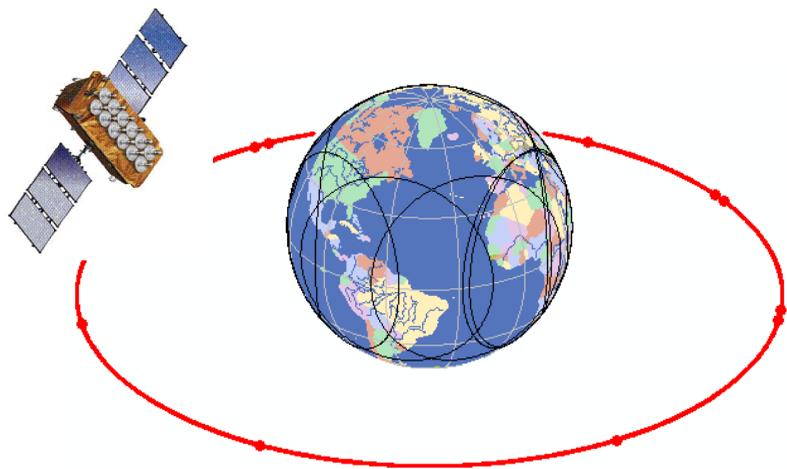
- Орбита: высота 8070 км, наклонение 0 град;
- ОГ: 1 плоскость и 10 КА (+2 резервных КА);
- планируются дополнительные КА в экваториальной плоскости + наклонные орбиты;
- зона обслуживания в широтной полосе до 45 град (граничный угол места 20 град);
- масса КА 700 кг, САС 10 лет,
- 10 абонентских и 2 для фидерных линий антенн в карданном подвесе (+-26 град);
- диаметр зоны 500 км;
- Полоса луча: 216 МГц на прием и 216 МГц на передачу; пропускная способность КА до 12 Гбит/с;
- обработка на борту - нет;
- межспутниковые линии – нет;
- изготовитель КА Thales Alenia Space



ГЗРВ системы (7 станций сопряжения, УМ=20 град)

#### Наземный сегмент

- диапазон частот Ка: вверх 27.6 – 29.1, вниз 17.8 – 19.3 ГГц;
- 7 станций сопряжения;
- поляризация – круговая (левая и правая);
- время работы через 1 КА – около 45 мин с последующим перенацеливанием антенны на следующий КА, либо использование 2-х антенных систем;
- используется стандарт DVB-S2 ACM.



Структура ОГ системы ОЗВ

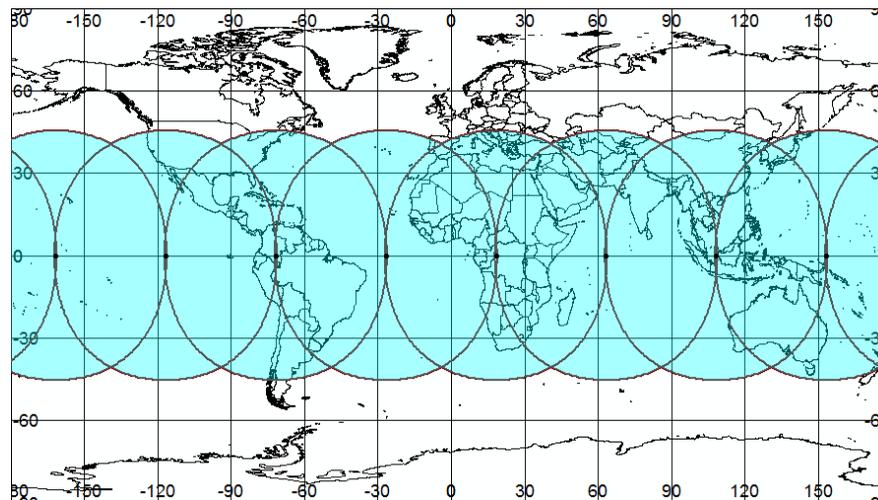


# Laser Light

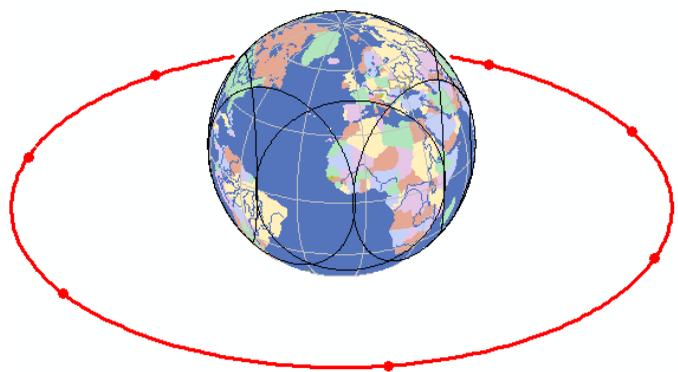
## первая система спутниковой лазерной связи

### Космический сегмент

- Орбита: высота 8050 км, наклонение 0 град;
- ОГ: 1 плоскость и 8 - 12 КА;
- межспутниковая связь: лазерная;
- перенацеливаемые лучи на КА;
- 72 лазерных абонентских линии на скоростях до 100..200 Гбит/с в направлении К-З и З-К (верх и вниз);
- 48 межспутниковых лазерных линий по 200 Гбит/с;
- пропускная способность системы 6 Тбит/с;
- запуск первых 2-х КА для тестирования – в 2017-2018 г.



Мгновенная зона видимости системы (УМ=20 град)



Структура ОГ системы Laser Light

### Наземный сегмент

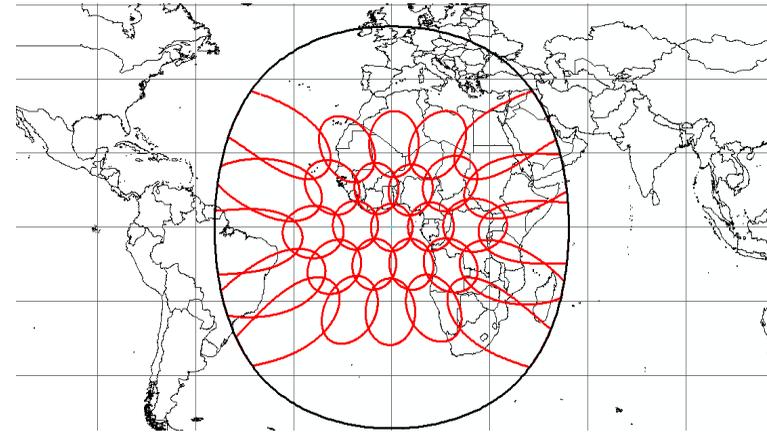
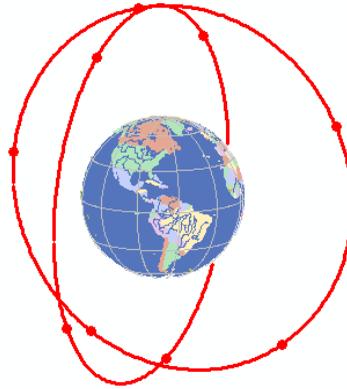
- диапазон частот: 191.6 – 196.5 ТГц (1525–1565 нм);
- РЧ спектр - не используется;
- число шлюзовых станций: 48 – 96;
- интеграция спутниковой и наземной лазерной сети;
- доступность канала - от 20% до 99% в зависимости от местности и числа станций сопряжения;
- влияние облаков и турбулентности атмосферы.



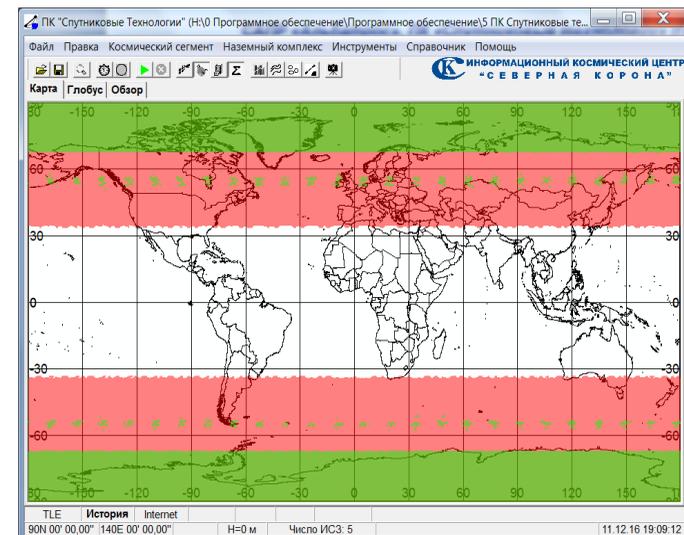
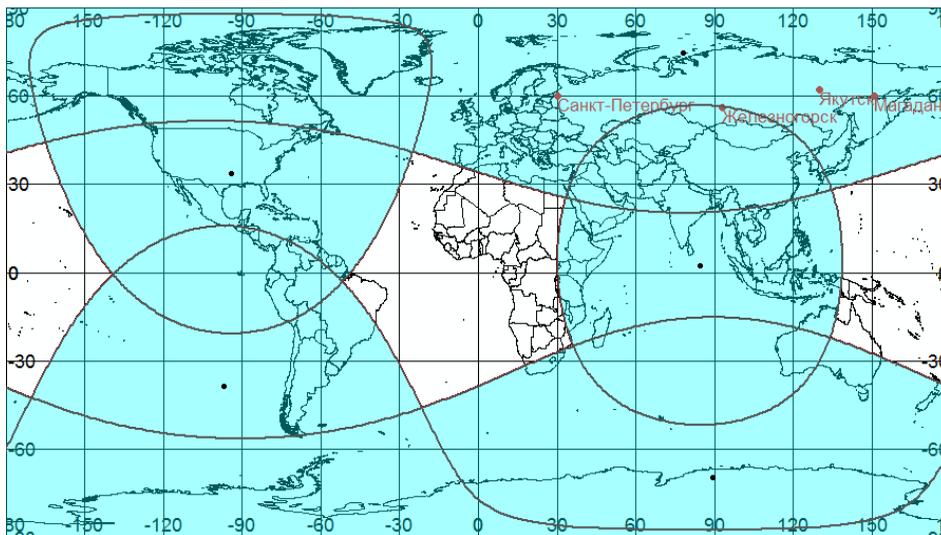
# «Скиф» Российский проект МЕО HTS системы

## Основные характеристики системы:

- Орбита: МЕО, высота 8070 км, наклонение 88,2 град;
- ОГ: 1 или 2 плоскости по 5 КА, всего 5-10 КА;
- минимальный угол места 10 град;
- диапазон частот Ка;
- межспутниковые линии: нет
- обработка на борту: да
- принадлежность: Россия



Пример покрытия (29 лучей шириной 10x10 град)



ГЗРВ (УМ=20 и 30 град),

Мгновенная зона радиовидимости системы (УМ=10 град)

при 10 град – ГЗРВ глобальная

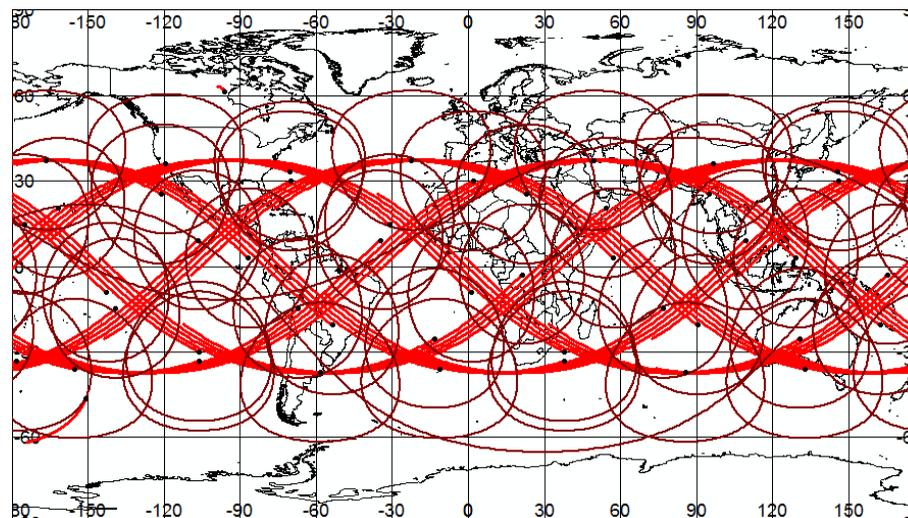


# CANPOL-2

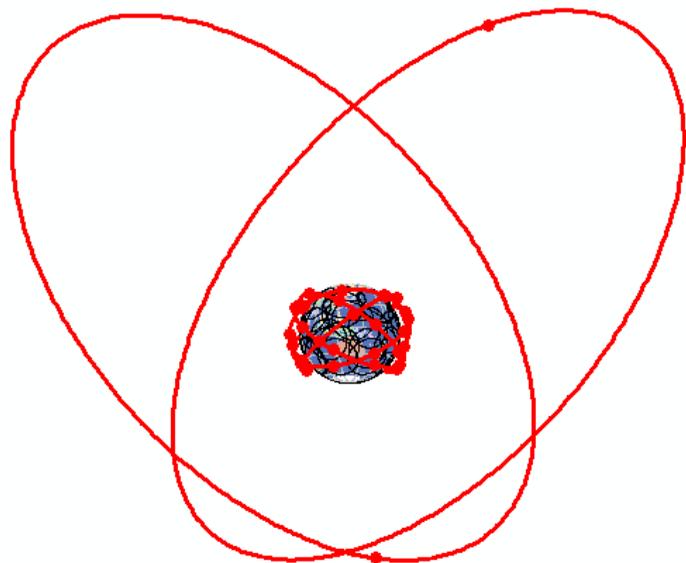
## 2-х эшелонная система

### Космический сегмент

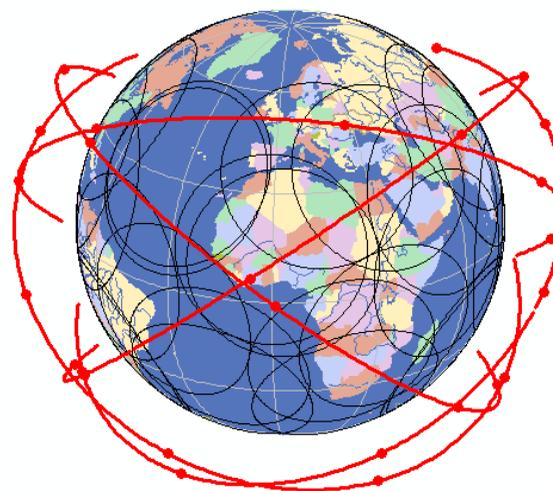
- число эшелонов - 2
- Эшелон 1
- орбита: LEO, высота 1248 км, наклонение 37.4 град;
- ОГ: 5 плоскостей по 9 КА (45 КА)
- Эшелон 2
- орбита: НЕО Тундра, наклонение 90 град;
- 2 плоскости по 1 КА (2 КА);
- диапазон частот - Ка
- конкурирует с системой COMMStellation
- принадлежность - Канада



Мгновенная зона радиовидимости системы (УМ=10 град)



Структура ОГ



Эшелон на LEO

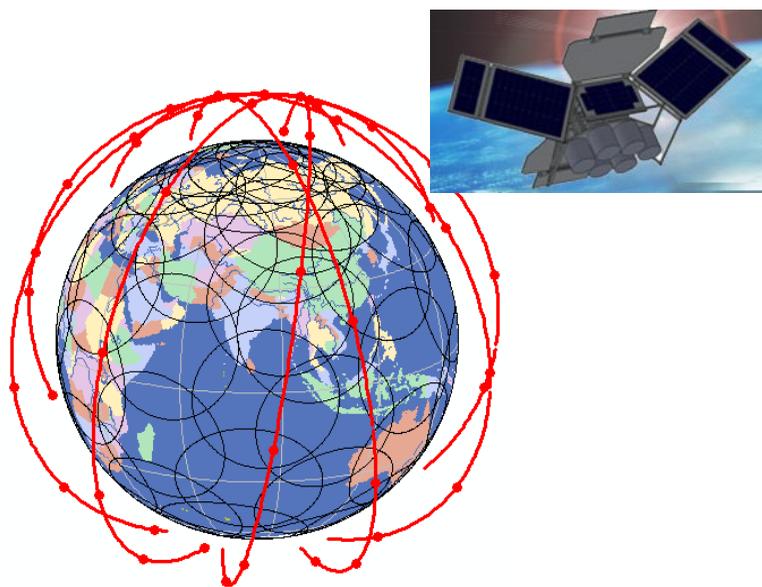


# COMMStellation

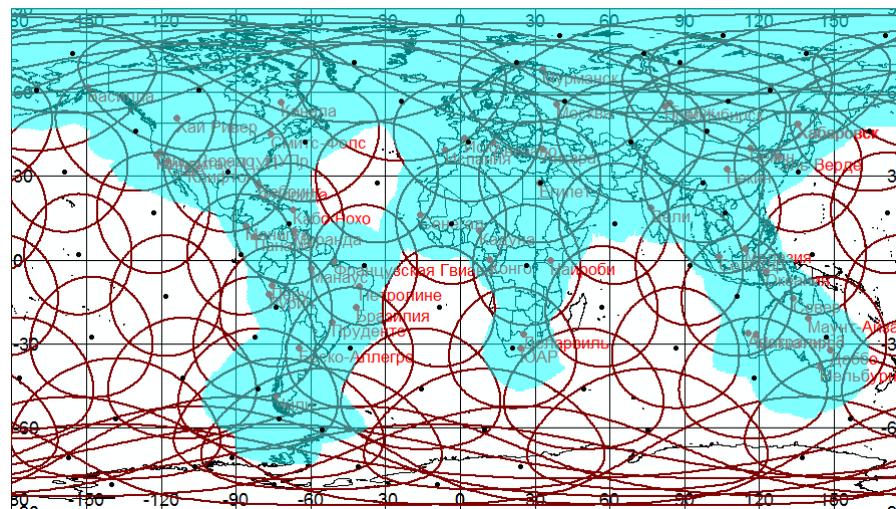
## LEO система на солнечно-синхронных орбитах

### Космический сегмент

- Орбита: солнечно-синхронная, высота 1000 км, наклонение 99.5 град;
- ОГ: 6 плоскостей (через 30 град) по 12 КА (+2 резервных в каждой плоскости), всего 84 КА;
- граничный угол места 10 град;
- масса КА 250 кг, САС 10 лет;
- развертывание – 6 запусков РН;
- предусмотрен режим захоронения КА;
- первый запуск – 2018 г;
- принадлежность – Канада.



Структура ОГ системы



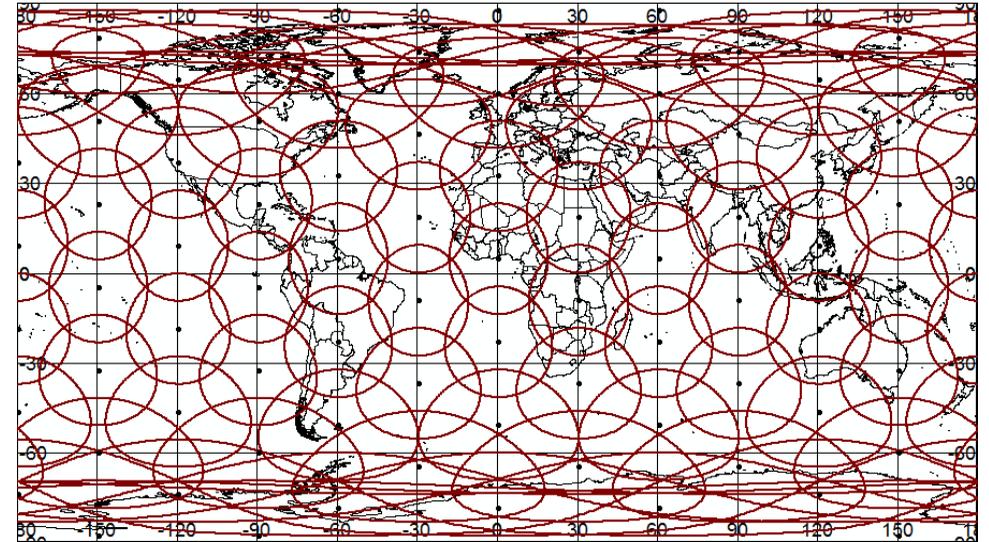
Вероятная ГЗРВ (с учетом шлюзов) и мгновенная зона радиовидимости системы (УМ=10 град)

### Наземный сегмент

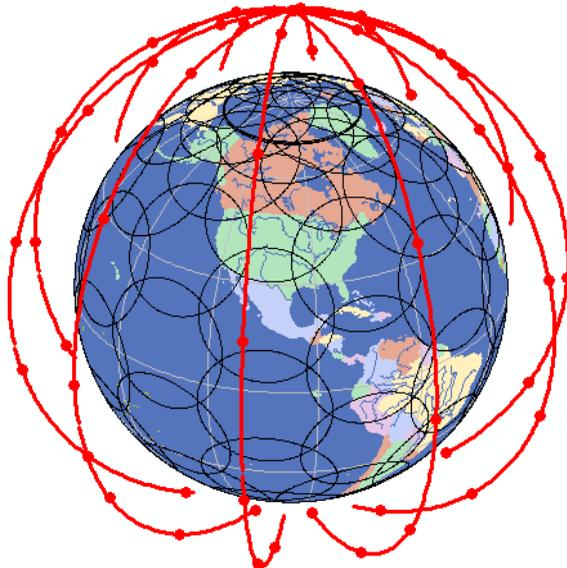
- диапазон частот - Ка;
- число шлюзовых станций – 35;
- диаметр зоны обслуживания КА: 4800 км
- пропускная способность КА – 8.8 Гбит/с;
- пропускная способность луча – 1.1 Гбит/с;
- ожидается 7 млн мобильных абонентов к 2020 г
- время работы через один КА – 10..12 мин.

## Космический сегмент

- Орбита: LEO, высота 1400 км, наклонение 90 град;
- ОГ: 6 плоскостей по 13 КА (+1 резервный в каждой плоскости), всего 78+6 КА;
  - межспутниковые линии – есть;
  - граничный угол места 10 град;
  - не образуют космический мусор;
  - изготовитель КА - Thales Alenia Space;
  - принадлежность: Франция;
  - запуск первых 2-х КА – начало 2018 г;
  - полное развертывание системы – 2020 г.



Зона радиовидимости системы (УМ=22 град)



Структура ОГ системы

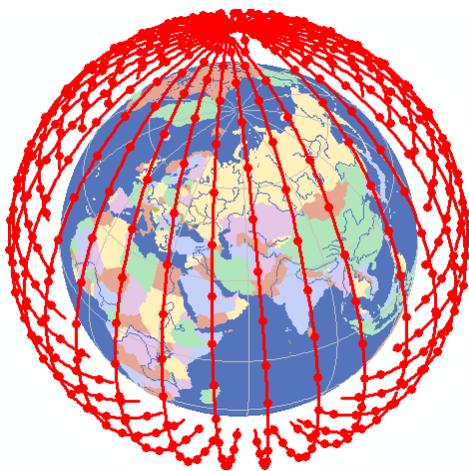
## Наземный сегмент

- диапазон частот – Ka;
- 7 базовых шлюзов, 2 из них в США;
- узкие лучи на спутнике с разной поляризацией;
- скорость в абонентской линии: от 50 Мбит/с до 1.2 Гбит/с;
- пропускная способность КА – 20 Гбит/с.

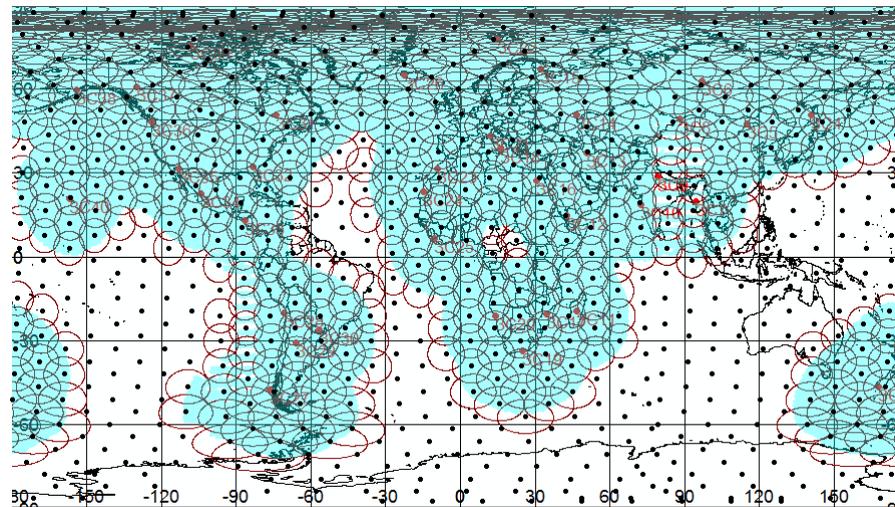
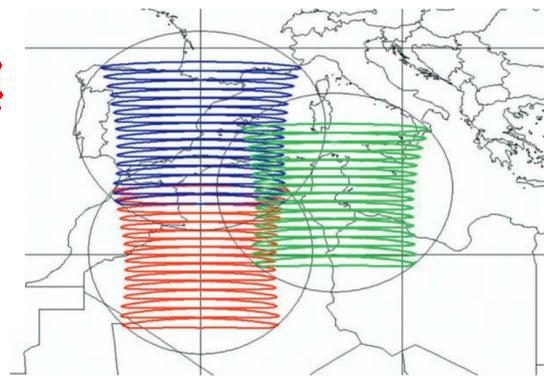


## Космический сегмент

- Орбита: LEO, высота 1200 км, наклонение 87.9 град;
- ОГ: 18 плоскостей по 36 (с увеличением до 40 и до 49) КА, всего 648/720/882 КА;
- первый запуск – начало 2018 г;
- полное развертывание – 2020 г;
- изготовитель КА – Airbus;
- масса КА 150 кг;
- используется орбита захоронения;
- групповой вывод 30 КА одной РН
- граничный угол места: 55 град.



Структура ОГ системы



Вероятная ГЗРВ (с учетом 40 шлюзов) и мгновенная зона радиовидимости системы (УМ=55 град)

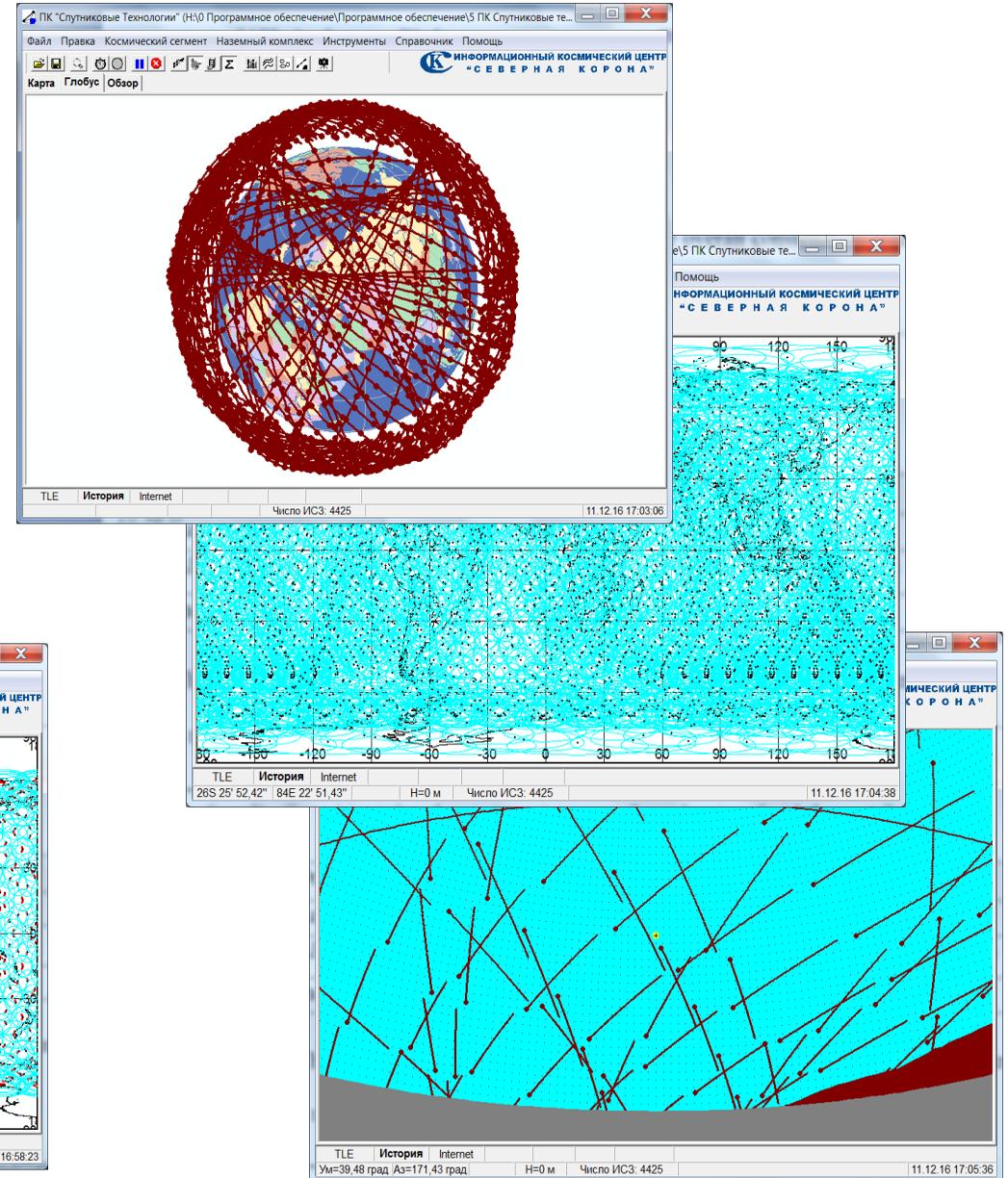
## Наземный сегмент

- диапазон частот Ku (14/11-12 ГГц)
- число шлюзов – от 55 до 75;
- покрытие – глобальное с учетом шлюзов, не обеспечивается на экваторе из за помех ГСО;
- скорости в абонентских линиях до 50 Мбит/с;
- 16 эллиптических абонентских лучей на КА 3x48 град;
- пропускная способность на луч 225 Мбит/с.



## Основные характеристики системы:

- Орбита: LEO, высота 1150 км, наклонение 53 град;
- ОГ: 32 плоскости по 50 КА (+2 КА резерв в каждой плоскости), всего 1600 КА;
- минимальный угол места от 40 град;
- диапазон частот абонентских линий Ku, шлюзы Ka;
- лазерные межспутниковые линии.



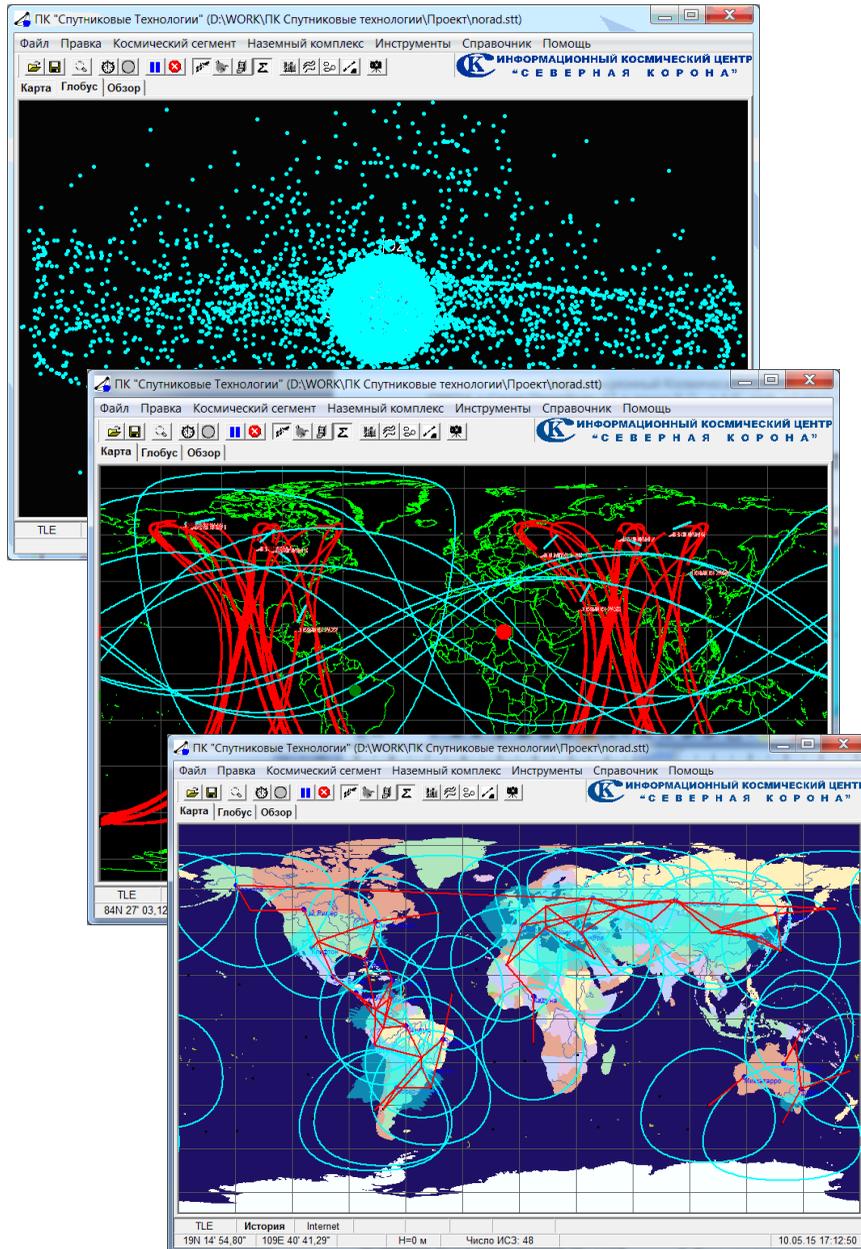
Начальная конфигурация (1 эшелон, 32 плоскости по 50 КА, всего 1600 КА)

Финишная конфигурация (4 эшелона, всего 4425 КА) 20

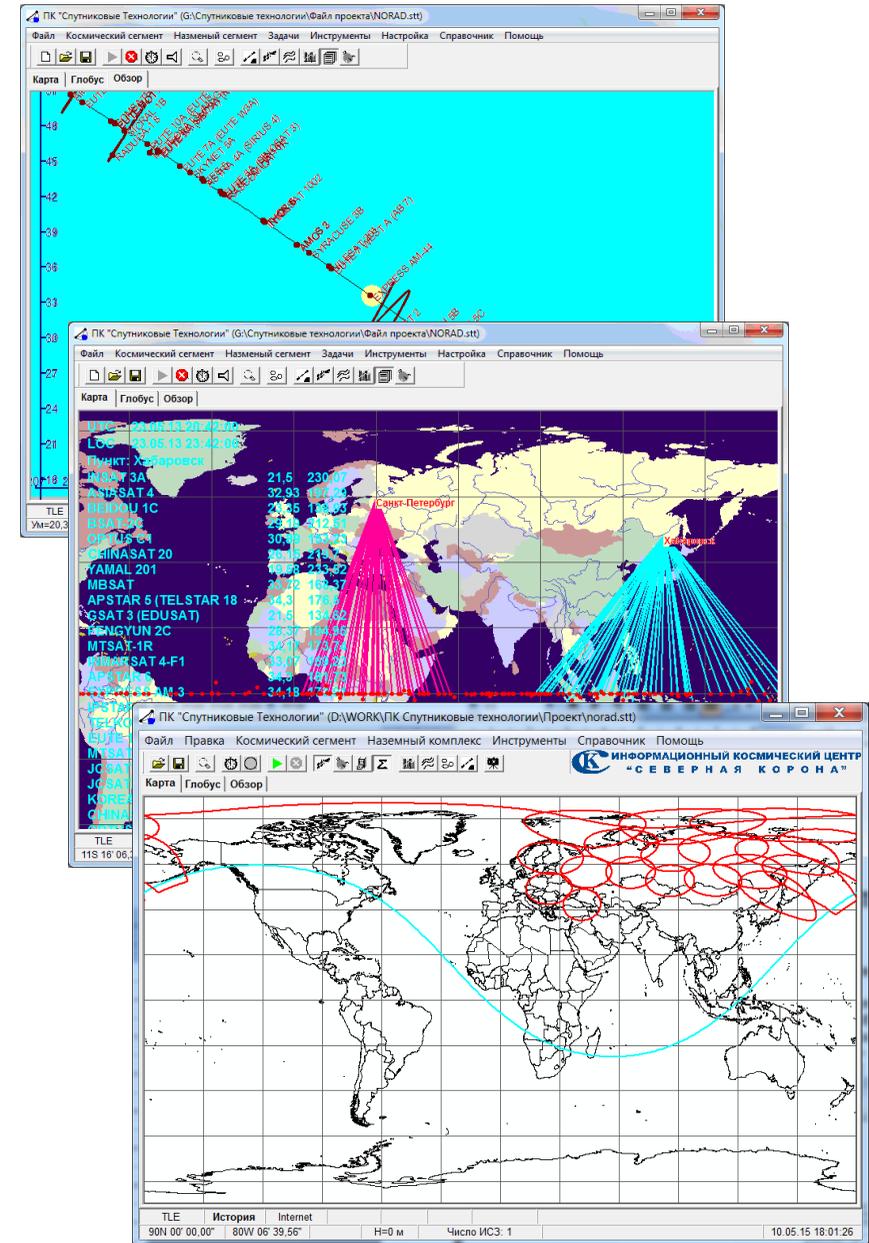


# ПК АСТ

## программный комплекс Альбатрос - «Спутниковые технологии» моделирование и решение целевых задач в области спутниковых систем различного назначения



- частный актуальный каталог ИСЗ;
- моделирование работы группировок (тысячи) КА;
- отображение в различных системах координат;
- работа в составе ситуационных центров;
- анализ динамики изменения многолучевого покрытия;
- Генерация отчетов.





# Основные выводы и рекомендации

1. Характерный тренд настоящего времени – резкий всплеск интереса к HTS НГСО системам;
2. Большинство HTS НГСО систем заявляются как глобальные, включающие десятки, сотни и даже тысячи КА и используют Ku- и Ka- диапазоны частот;
3. В классе НЕО HTS проработан российский проект «Экспресс-РВ/Росинфоком», использующий Ku-диапазон и обеспечивающий работу абонентских станций на больших углах места на территории России и в зоне Арктики;
4. В классе МЕО HTS развернута и успешно эксплуатируется первая НГСО HTS система ОЗВ, использующая Ka-диапазон и «прикрывающая» территорию до широты 45 град, а также ведутся работы над российским проектом «СКИФ» (Ka-диапазон) с гарантированной зоной обслуживания, «накрывающей» территорию России и зону Арктики;
5. В классе LEO HTS анонсированы и заявлены в БР МСЭ десятки проектов Ku-, Ka- и даже V- и W-диапазонов, которые включают десятки, сотни и тысячи КА в составе многоэшелонных орбитальных группировок;
6. Моделирование и анализ работы перспективных НГСО систем показывает, что существует оптимальная комбинация «диапазон частот – высота орбиты – структура и эшелонирование орбитальной группировки», которая обеспечивает «лучшее» решение на массиве предъявляемых требований;
7. Закладываемые в проектах технические решения постоянно уточняются, наблюдается «борьба технологий» в желании выиграть эту гонку. На выходе – реализованы будут единицы.



**Информационный Космический Центр «Северная Корона»**

**Спасибо за внимание!**



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  
сайт:      www.spacecenter.ru