



**Перспективные спутниковые системы связи, вещания и
передачи данных**

Гриценко Андрей Аркадьевич

Генеральный директор, кандидат технических наук

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЙ САММИТ

отель Ренессанс Москва Монарх Центр

Москва

23 ноября 2021 г

1. Наземные радиосистемы (профессиональные)

Разработка и планирование наземных радиосистем передачи информации (ЧТП сетей ПМР с учетом требований ЭМС, расчет линий и сетей радиосвязи в диапазоне частот от 30 МГц до 120 ГГц и др.).

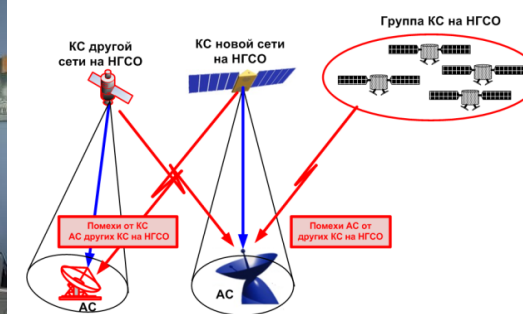
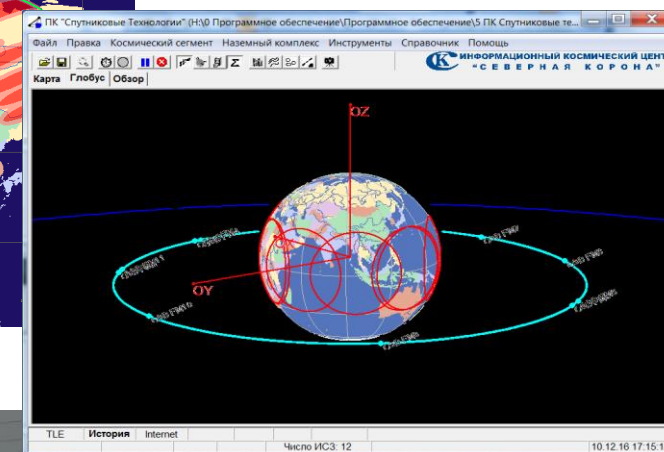
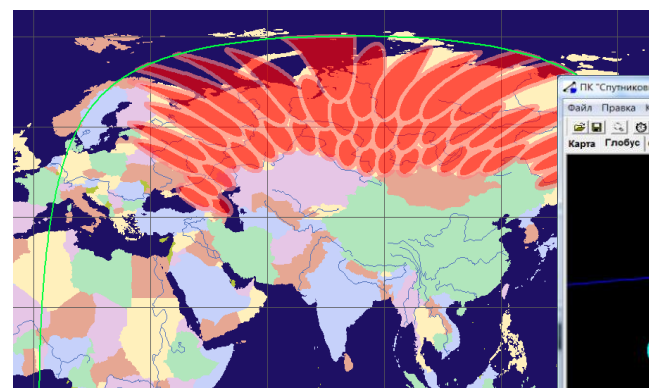
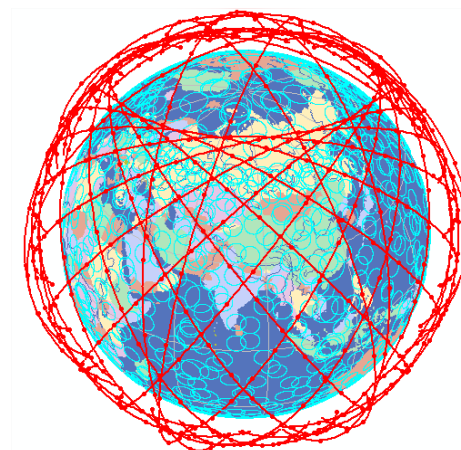
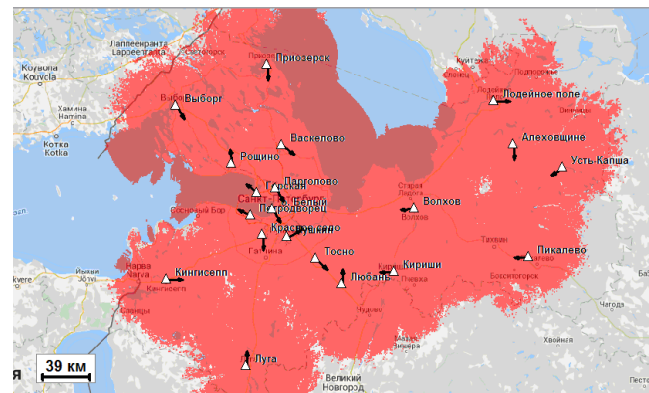
2. Спутниковые системы

Расчет и системно-техническое обоснование спутниковых систем и комплексов различного назначения (связь, навигация, ДЗЗ, системы радиоконтроля, спутниковые сети и др.). Баллистика, энергетика радиолиний, ЭМС, оценка качественных показателей (оперативность, доступность, качество функционирования) и др.

3. Программное обеспечение (САПР «Альбатрос»)

Разработка, модернизация и поставка специализированного программного обеспечения (расчет, имитационное моделирование, анализ ЭМС) по всем ключевым направлениям наземных и спутниковых систем.

4. Учебные курсы повышения квалификации по системам спутниковой связи, вещания и передачи данных (совместно с АНО ДПО «ЦНТИ ПРОГРЕСС»)



Главная цель:

- максимально полная загрузка пропускной способности спутниковой системы;
- снижение себестоимости базовых услуг;
- персонализация, упрощение и удешевление абонентских станций (насколько это возможно).

В классе ГСО:

- переход к спутникам класса HTS и VHTS;
- адаптивные (гибкие) полезные нагрузки, предполагающие:
 - использование большого числа узких лучей (в пределах ширина луча до 0,2 град);
 - высокий коэффициент повторного использования частот;
 - динамическое перенацеливание и группирование лучей (конфликт с высоким коэффициентом использования частот);
 - изменение ширины диаграммы направленности (и усиления) лучей;
 - перераспределение доступной мощности между лучами;
 - перераспределение трафика между лучами;
- возможность динамического изменения позиции на ГСО.

В классе НГСО:

- все, что указано «В классе ГСО»
- узкоспециализированные системы, адаптированные под «свой» вид трафика и абонентов (ШПД, интернет вещей, персональная связь ...);
- оптимизация этапа развертывания.

1. Система OneWeb

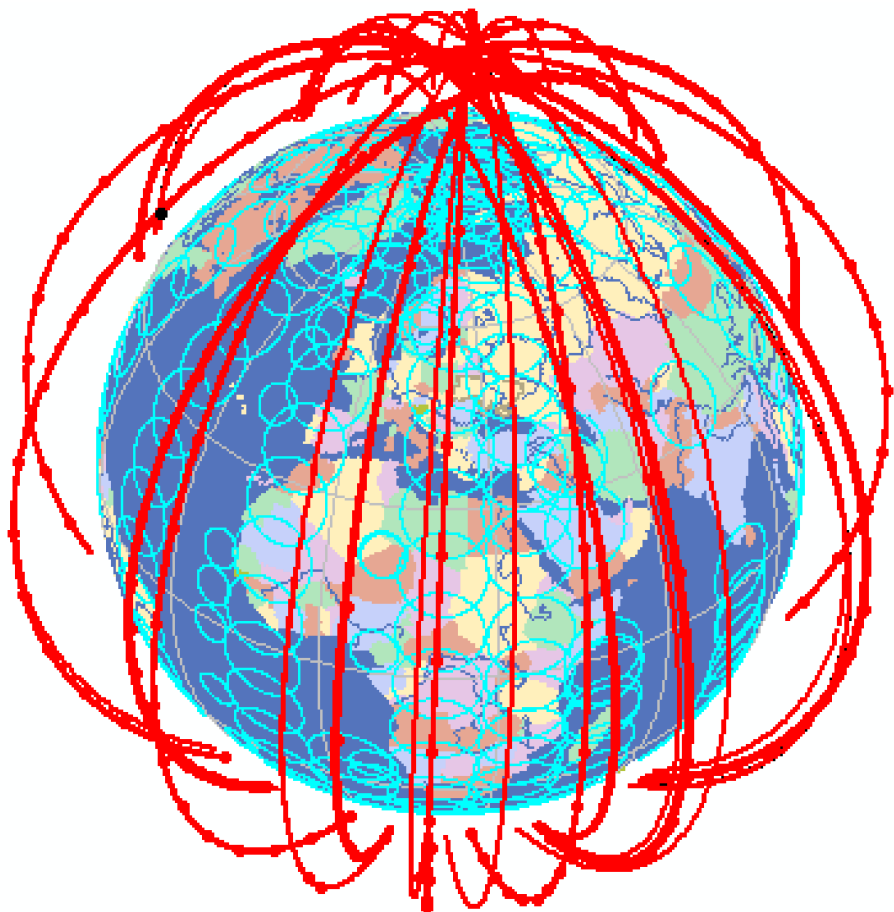


Рис.1. ОГ в составе 322 КА
(по данным каталога NORAD)

2. Система StarLink

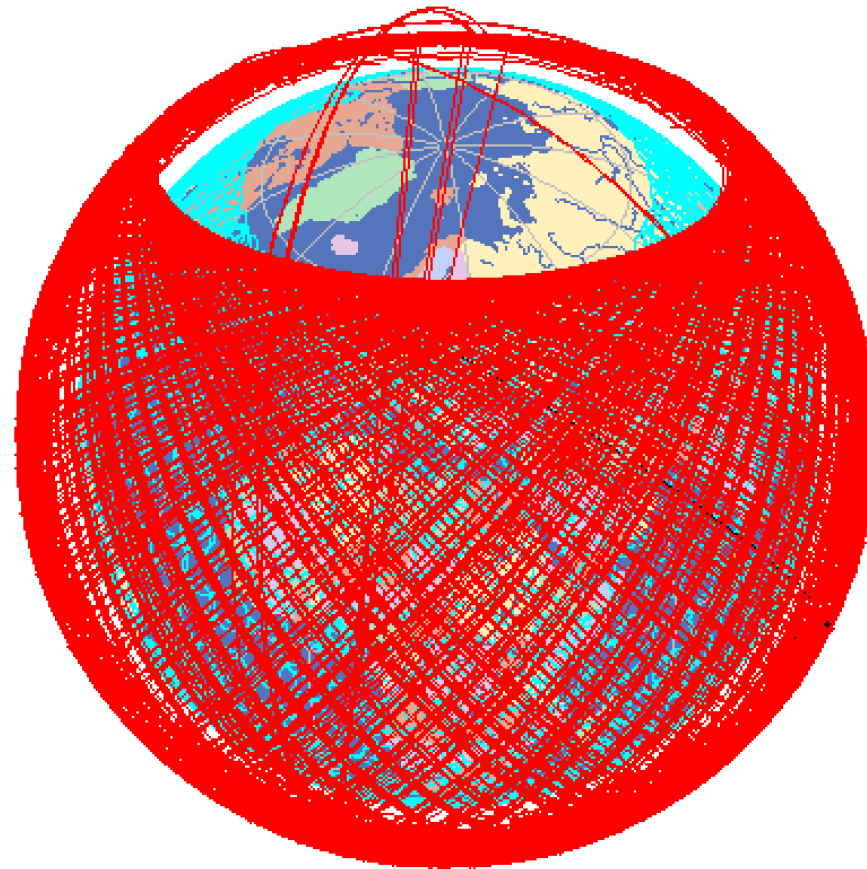


Рис.2. ОГ в составе более 1700 КА
(по данным NORAD)

3. Проект Kuiper

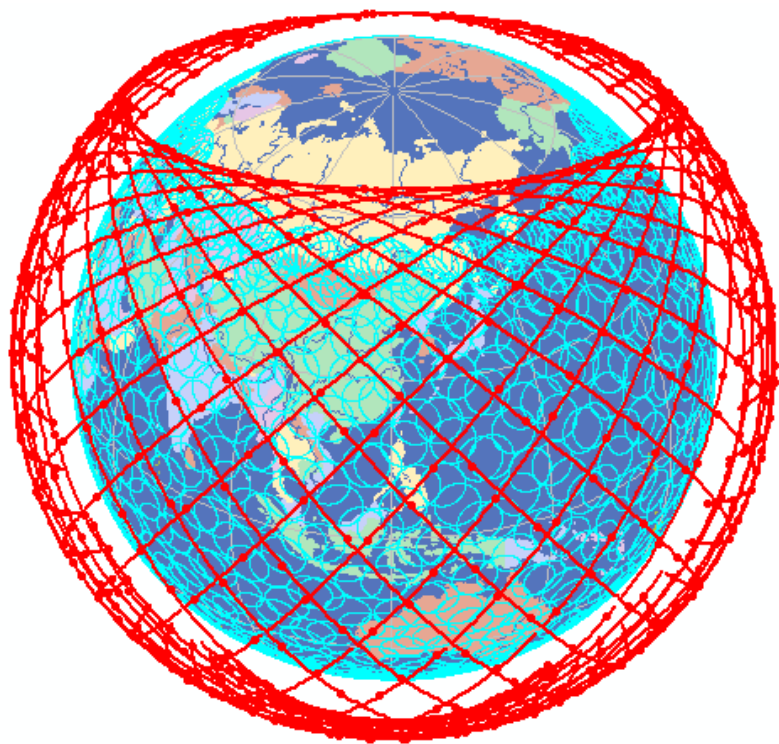


Рис.3. Проект Kuiper (1156 КА, $i=51,9$ град)

4. Система «ОЗВ»

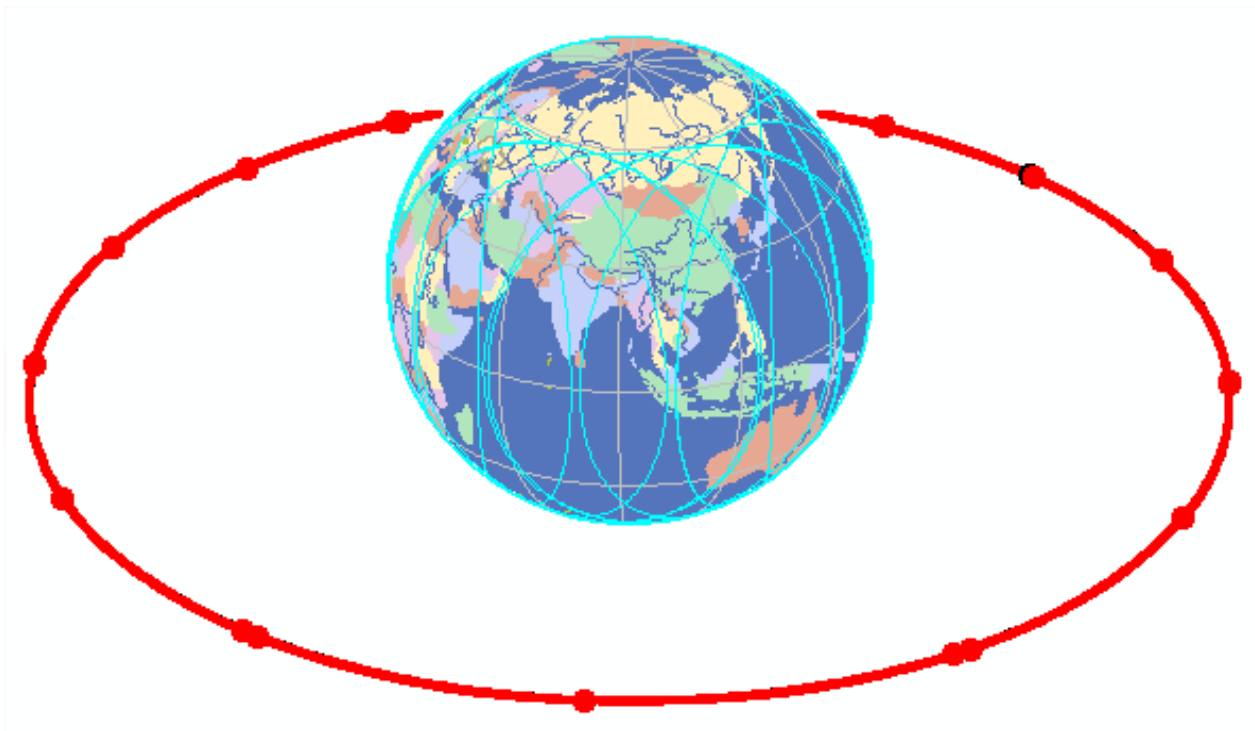


Рис.4. ОГ в составе 20 КА (по данным каталога NORAD)

Зарубежные проекты: OneWeb

фиксированный и подвижный широкополосный доступ

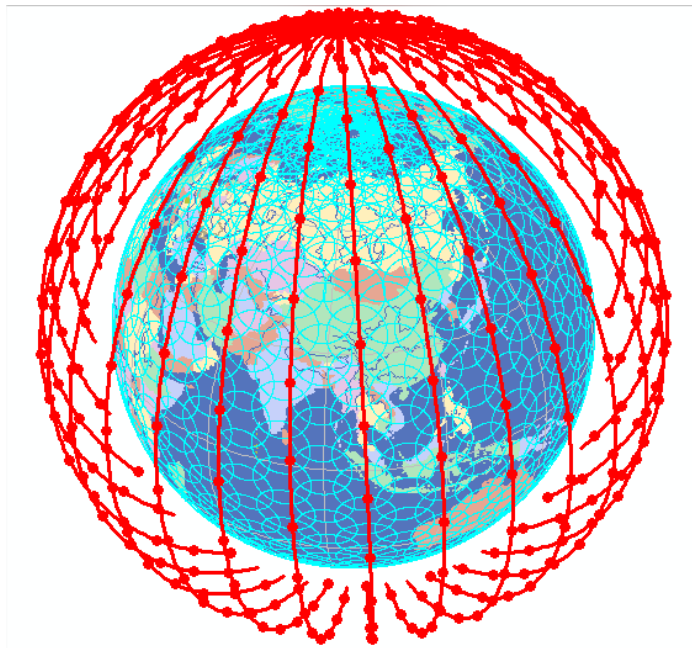


Рис.1. ОГ в составе 648 КА

Основные параметры:

- тип орбиты: LEO 1220 км;
- 18 плоскостей по 36 спутников (всего 648)
- межспутниковые линии: нет
- полное развертывание: до 2027 г
- в дальнейшем число КА в плоскостях увеличат до 49 (всего 882);
- диапазон частот: Ku

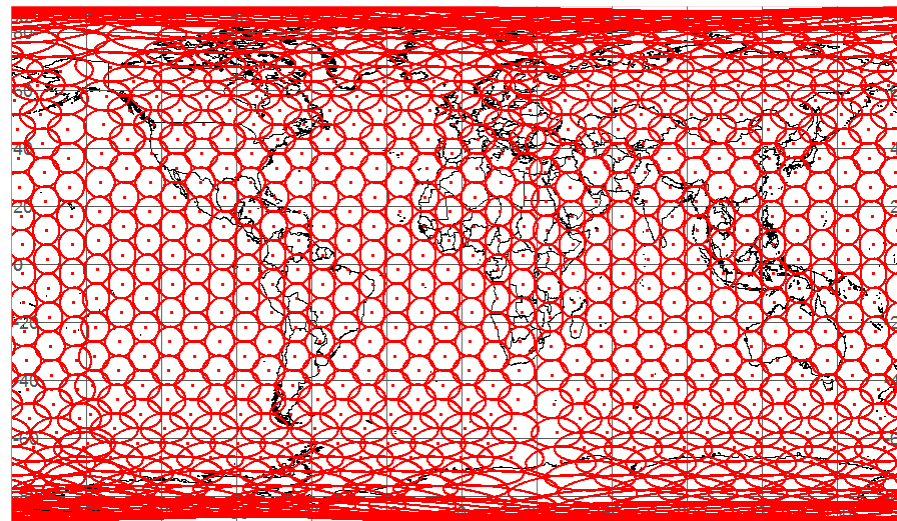


Рис.2. Мгновенные зоны радиовидимости (УМ=60 град)

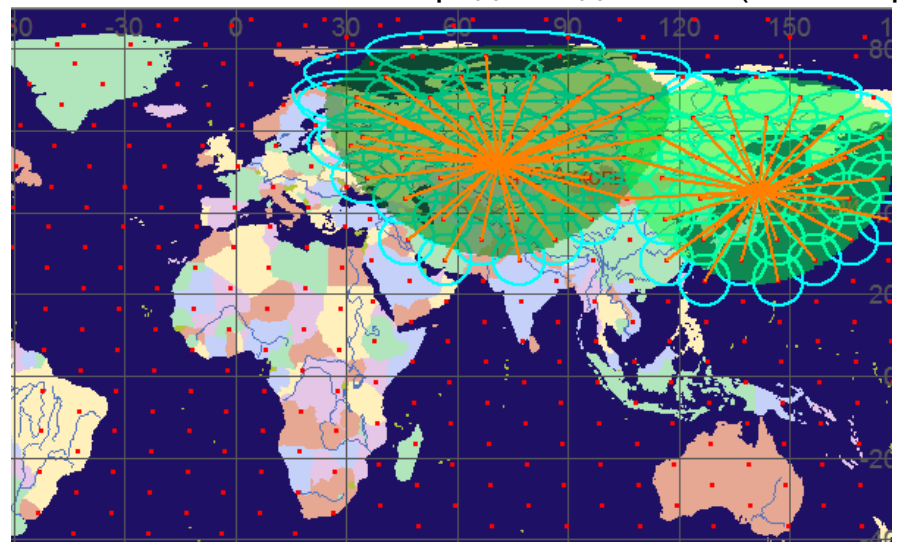


Рис.3. Зона обслуживания при размещении шлюзов на территории ЦКС Акколь (Казахстан) и Вакканай (Япония)

Первый этап

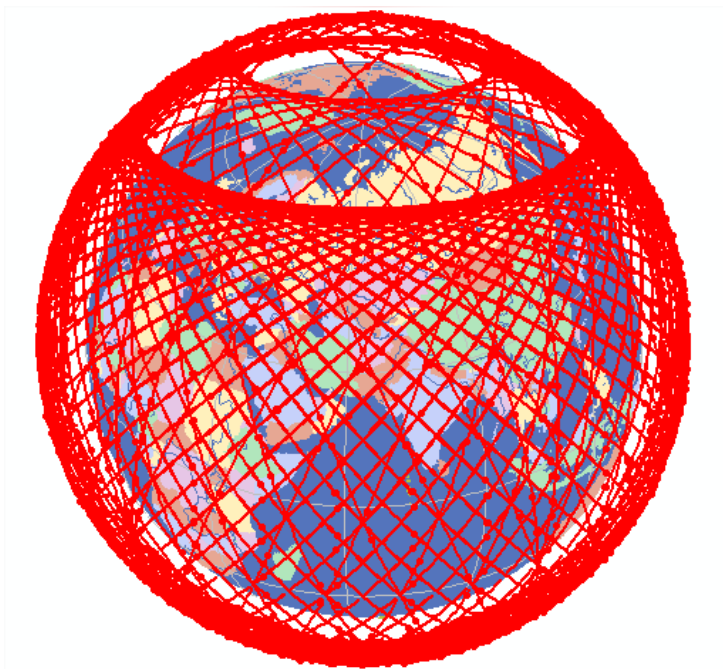


Рис.1. Первый этап, 5 эшелонов, 4408 КА
(моделирование на САПР «Альбатрос»)

Основные параметры:

- тип орбиты: LEO 300 – 550 км;
- эшелонирование группировки по высоте и наклонению
- межспутниковые линии: нет
- диапазон частот: Ku, Ka
- абонентские станции: 0,7 м
- развернуто более 1700 спутников

Второй этап

Конфигурация 1 (использование PH Starship)

№	Высота, км	Наклонение, град	Число плоскостей	Число спутников в плоскости	Всего спутников
1	340	53	48	110	5 280
2	345	46	48	110	5 280
3	350	38	48	110	5 280
4	360	96,9	30	120	3 600
5	525	53	28	120	3 360
6	530	43	28	120	3 360
7	535	33	28	120	3 360
8	604	148	12	12	144
9	614	115,7	18	18	324
				Всего	29 988

Конфигурация 2 (использование PH Falcon 9)

№	Высота, км	Наклонение, град	Число плоскостей	Число спутников в плоскости	Всего спутников
1	328	30	5 816	1	5 816
2	334	40	5 816	1	5 816
3	346	53	5 816	1	5 816
4	360	96,9	40	50	2 000
5	510	14	72	23	1 656
6	515	22	72	23	1 656
7	520	30	72	23	1 656
8	525	53	72	23	1 656
9	530	45	72	24	1 728
10	535	38	72	24	1 728
11	604	148	12	12	144
12	614	115,7	18	18	324
					29 996

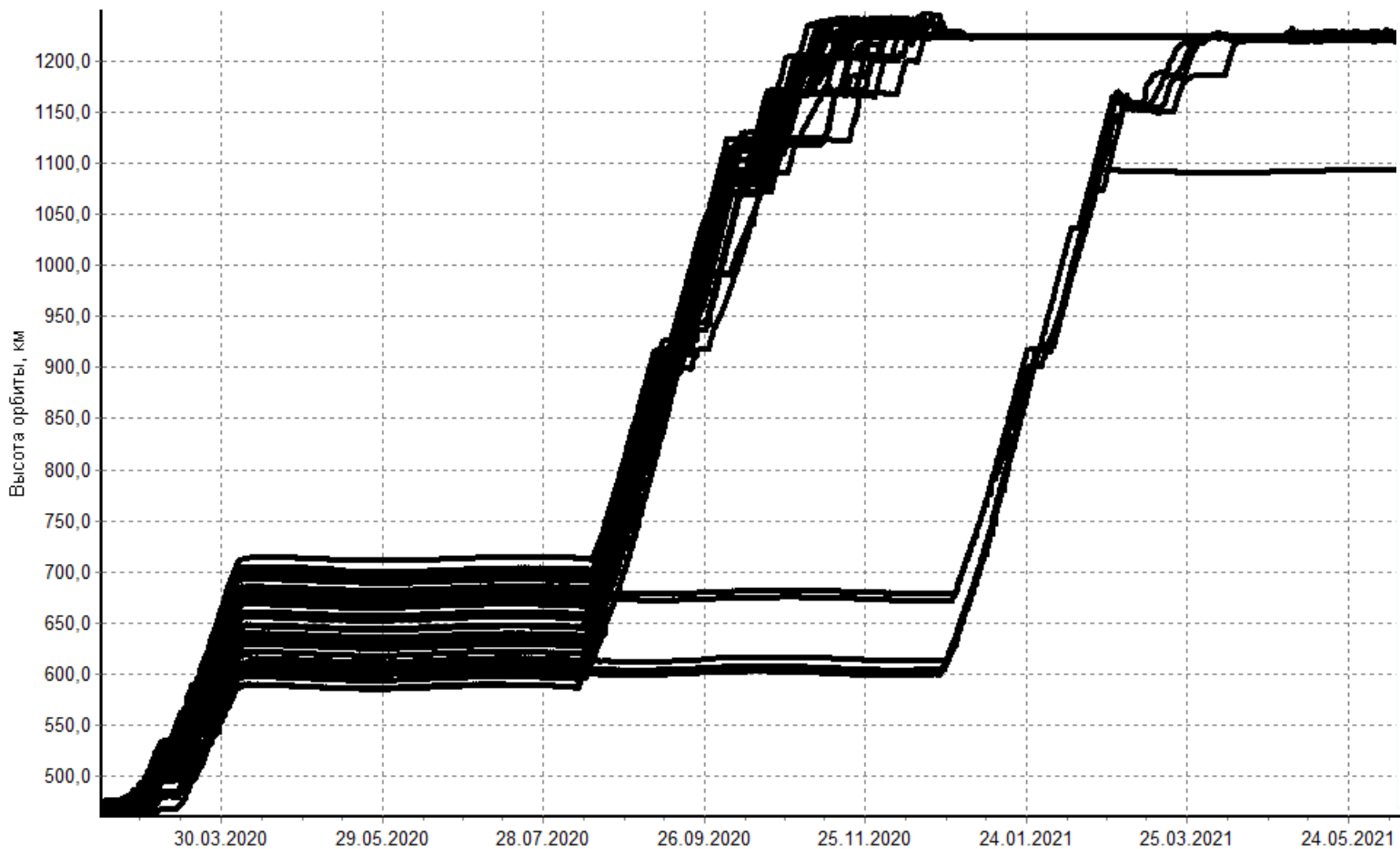


Рис.1 Графики изменения высоты КА из состава группового запуска (31 КА) системы OneWeb от 06.02.2020 г ($i=87.5$ град, время развертывания 8...12 мес.)

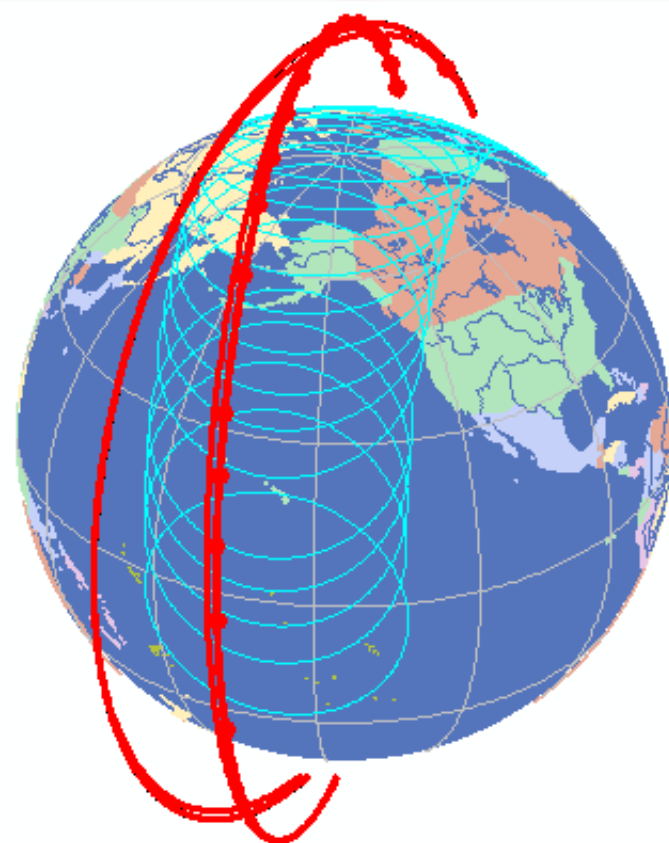


Рис.2 Результат – через год сформированы две плоскости

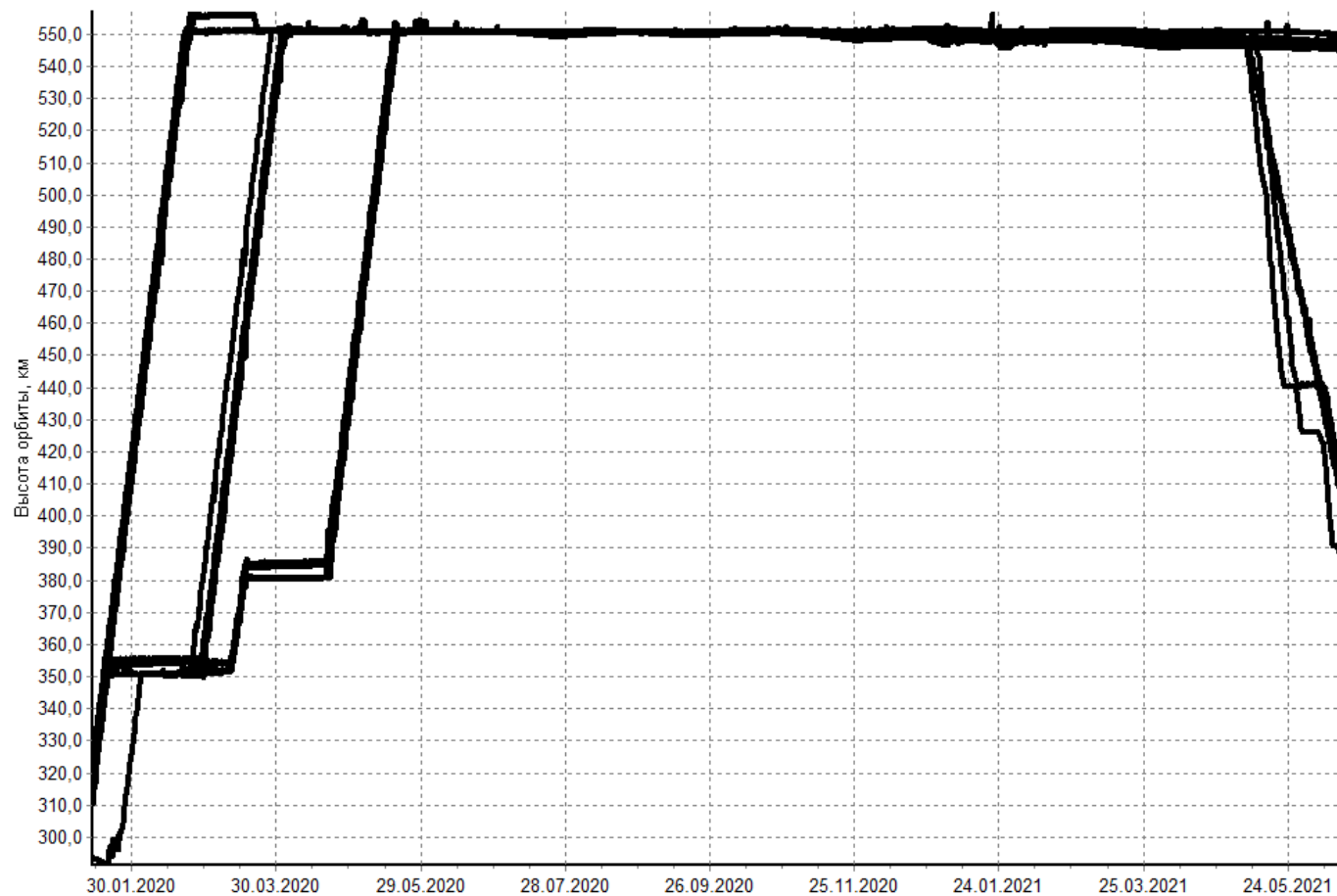


Рис.1 Графики изменения высоты КА из состава группового запуска (57 КА) системы StarLink от 07.01.2020 ($i=53$ град, время развертывания в рабочих плоскостях: 1,5 мес+1,5 мес + 1.5 мес.)

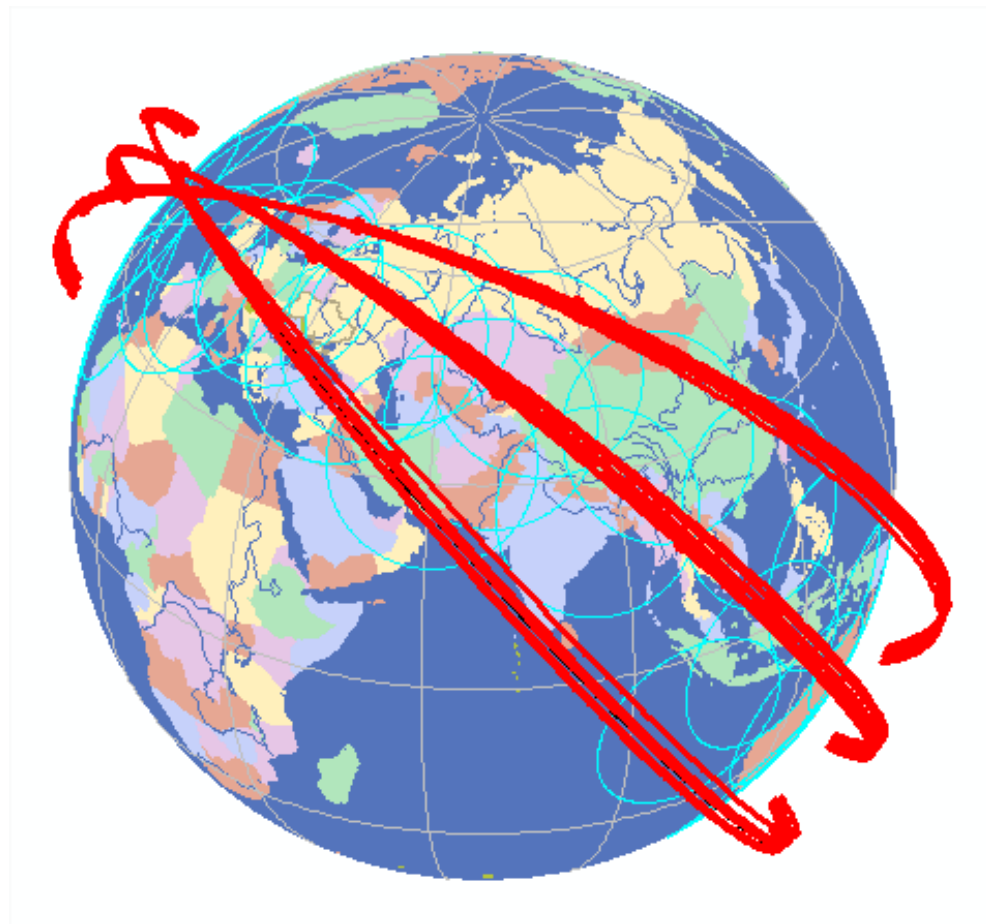


Рис.2 Результат : через 4,5 мес сформированы три плоскости ОГ системы StarLink

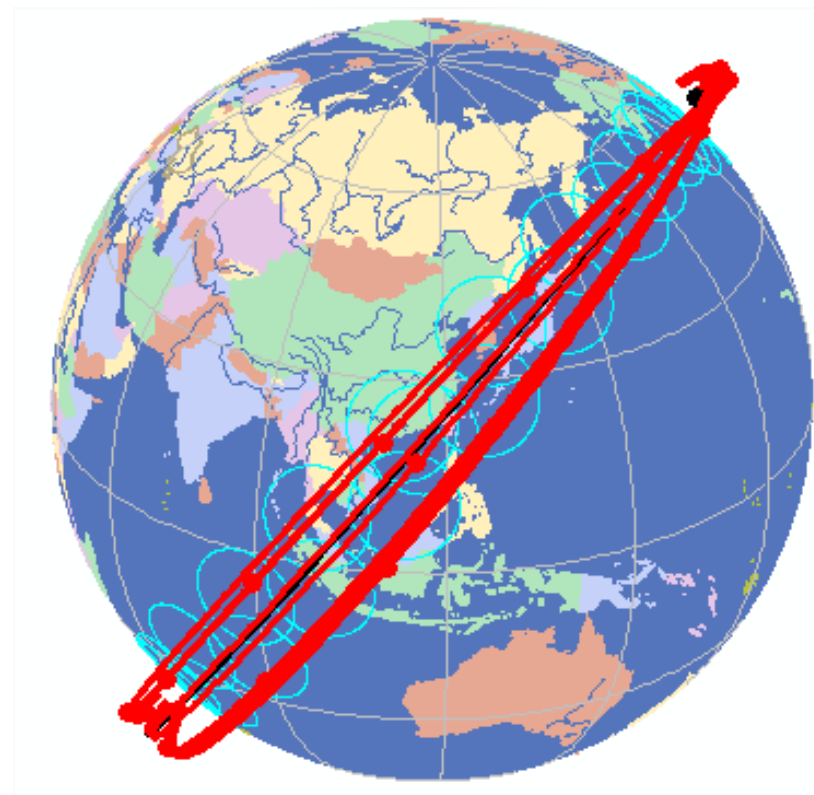
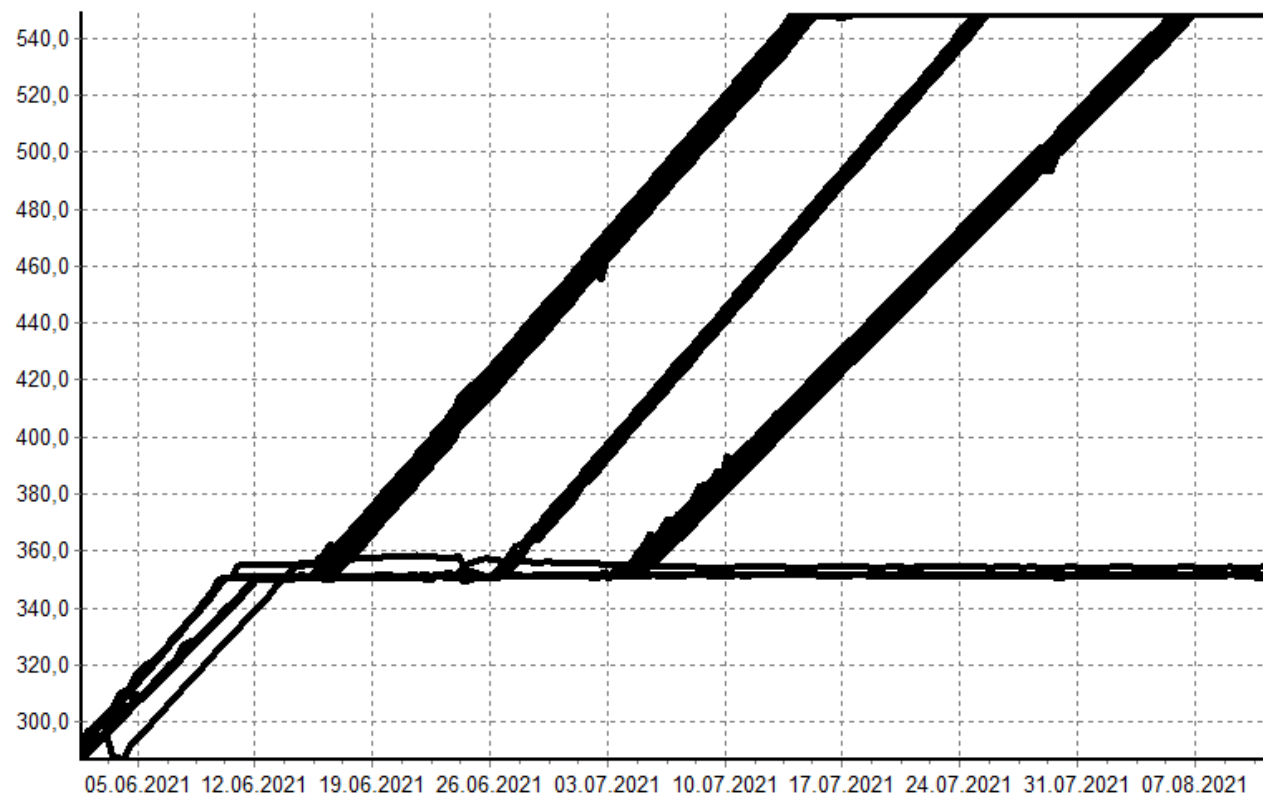


Рис.1. Запуск 2021-044 от 26.05.2021, 43 спутника на высоте 550 км, 17 спутников на высоте 355 км

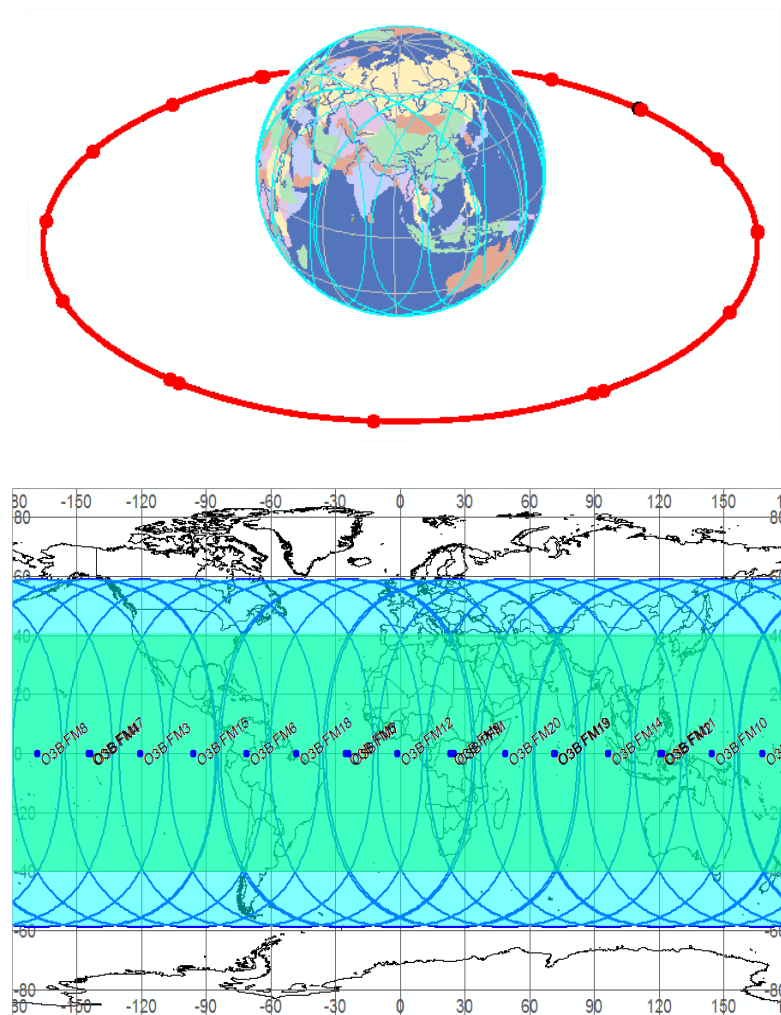


Рис.1. Гарантированная зона радиовидимости (ГЗРВ) при УМ=5°



А) КА ОЗВ в позиции 45° в.д.



Б) КА ОЗВ в позиции 70° в.д.

Рис.2. Покрытие лучами шириной 3,5° территории Казахстана системой ОЗВ при ограничении на УМ=5°

Зарубежные проекты: Lynk Smallsat System

подвижная спутниковая связь

Краткая характеристика:

- зона обслуживания глобально
- число спутников 10
- диапазоны частот 617.0 МГц -960.0 МГц
663.0 МГц -915.0 МГц
2483.5 МГц -2500.0 МГц
1615.65 МГц -1616.88 МГц
- число управл. лучей на КА 1
- есть угловой разворот КА для управления лучем

На земле задаются координаты центра зон обслуживания. Задача спутника – обеспечить обслуживание в этой зоне.

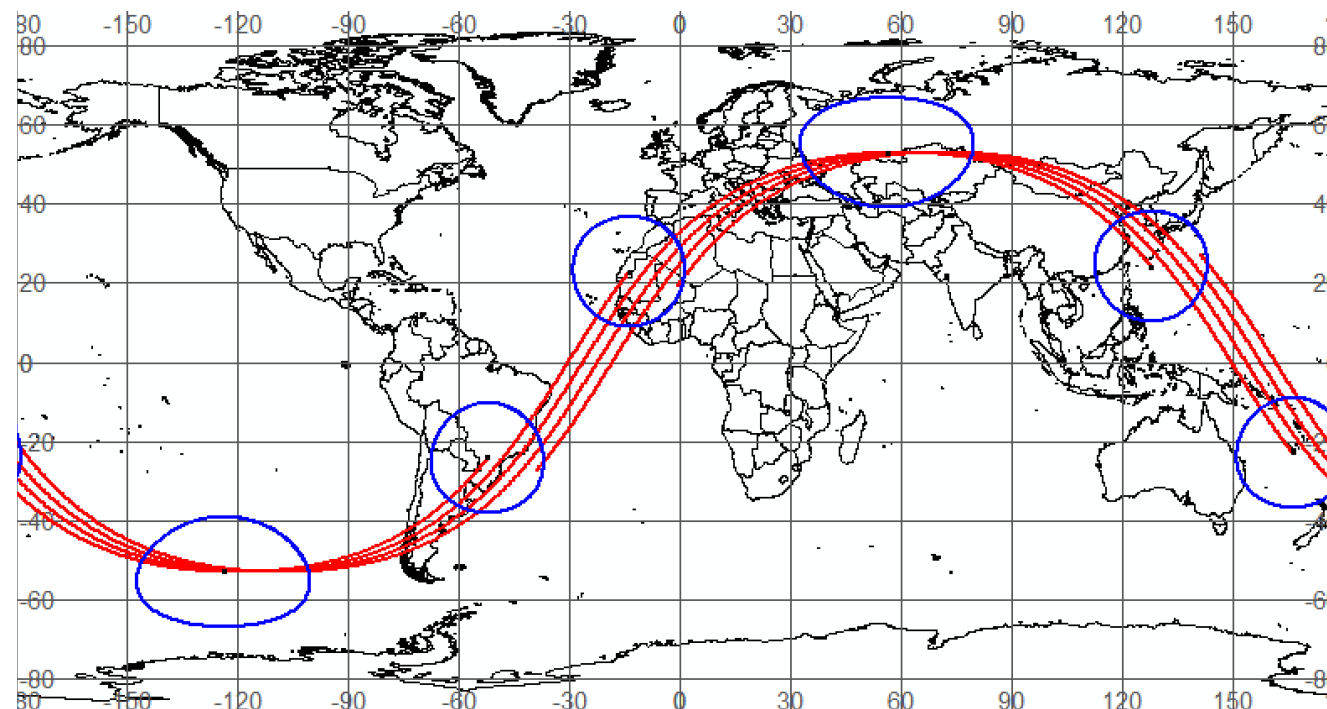
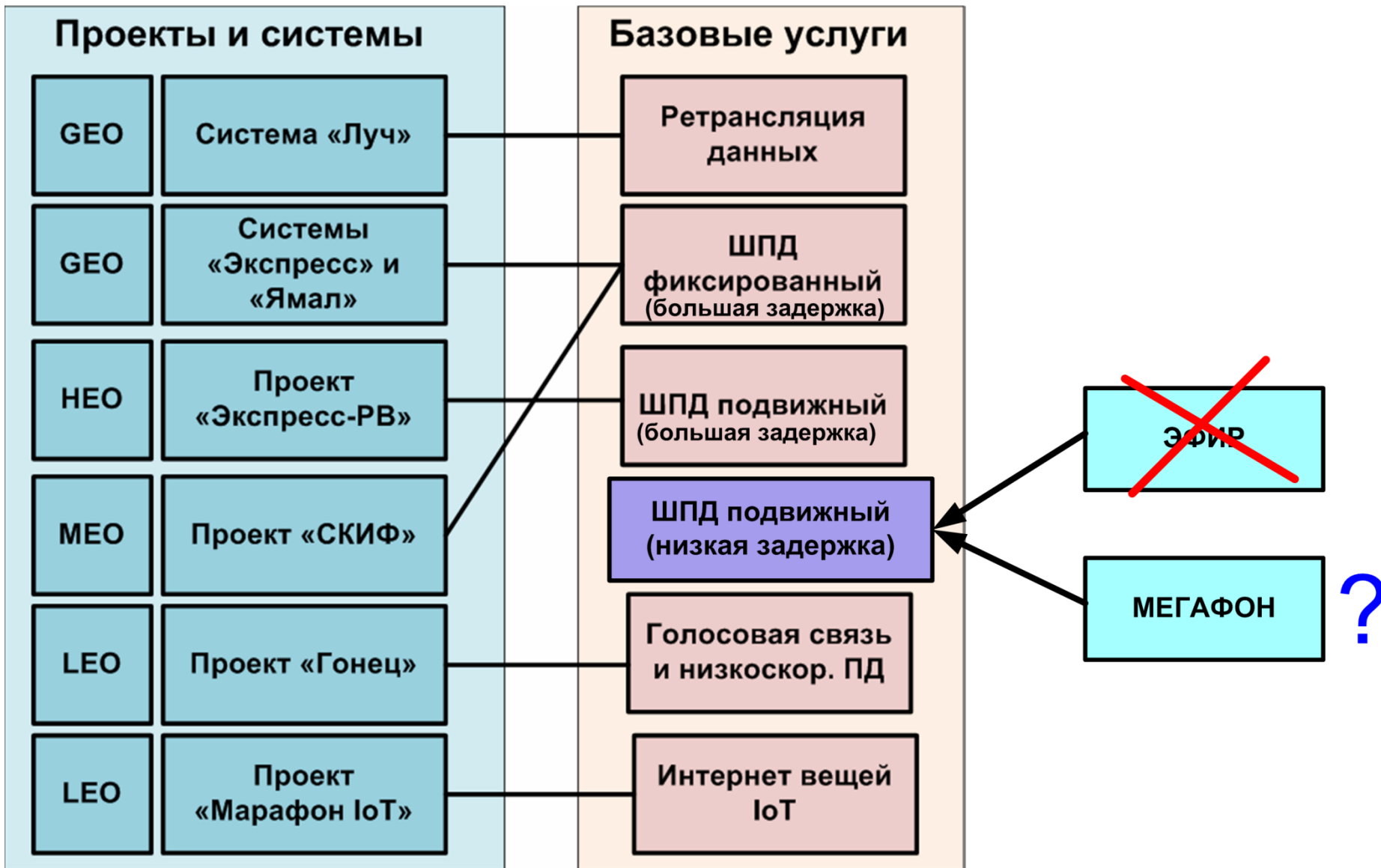


Рис.1. Зоны радиовидимости (УМ=10 град)



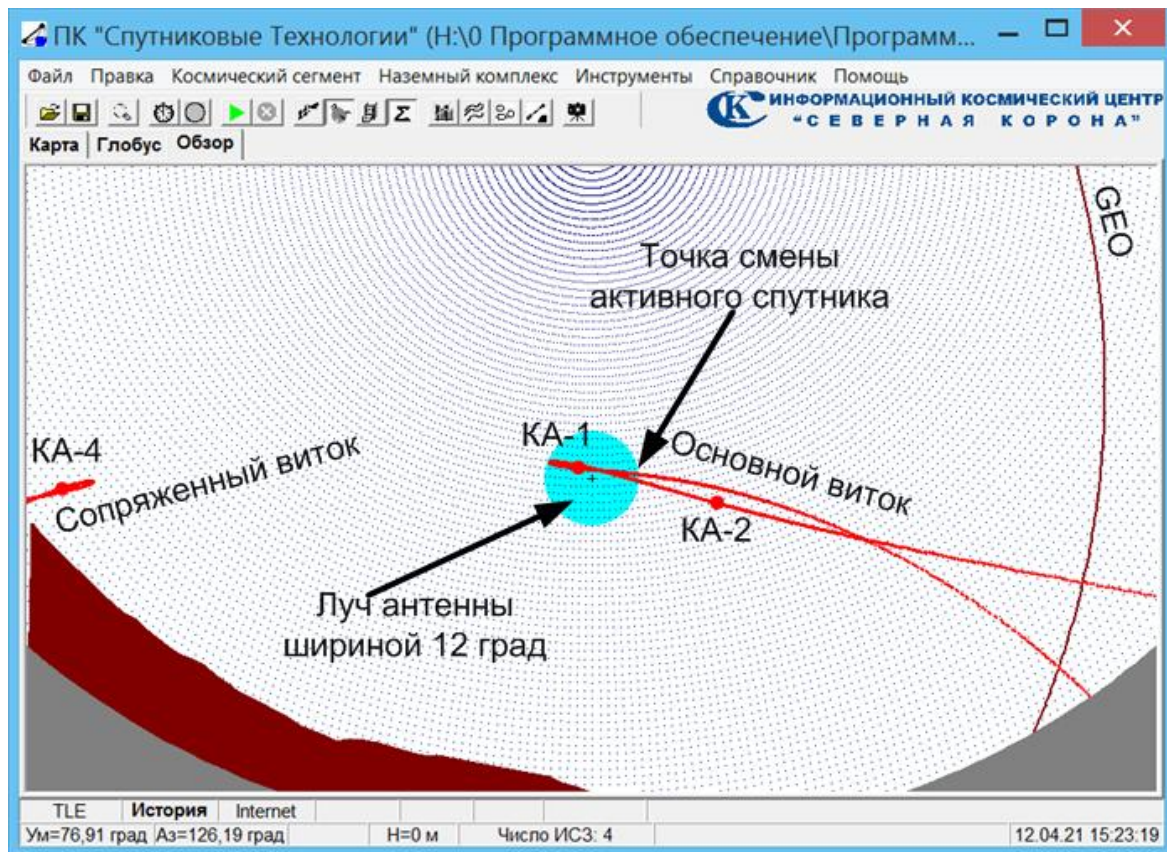


Рис.1. Вид со стороны антенны 3С

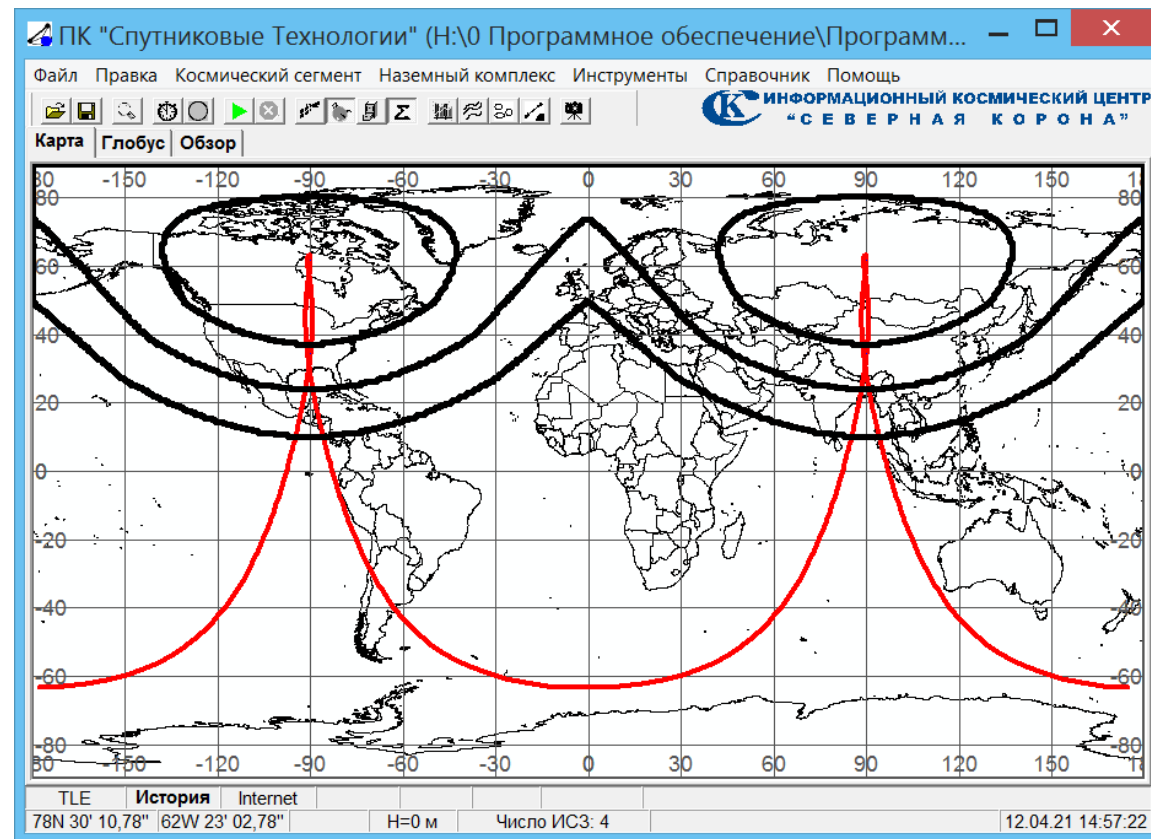


Рис.2. ГЗРВ системы «Экспресс-РВ» (УМ=30, 45 и 60 град)

Основные характеристики:

- Тип орбиты – ВЭО (Кентавр)
- Число КА: 4
- Диапазон частот: Ки
- Число лучей на одном КА: 12
- Ширина луча: 2,75 град
- Диаметр антенны АС: 70 см
- Пропускная способность до 110 Мбит/с на канал 54 МГц

Российские проекты: «СКИФ» (АО «Зонд-Холдинг») система фиксированного широкополосного доступа

Краткая характеристика:

- зона обслуживания
- число орбитальных плоскостей
- число КА в плоскости
- высота орбиты
- наклонение
- диапазон частот
- количество лучей
- антенная система
- пропускная способность КА
- пропускная способность в РФ
- запуск двух КА «Скиф-Д»
- запуск шести штатных КА

РФ
2
5+1(резерв)
8070 км (МЕО)
около 90 град
Ka
до 2048
АФАР
200 Гбит/с
320 Гбит/с
2022 г
2024 – 2027 г

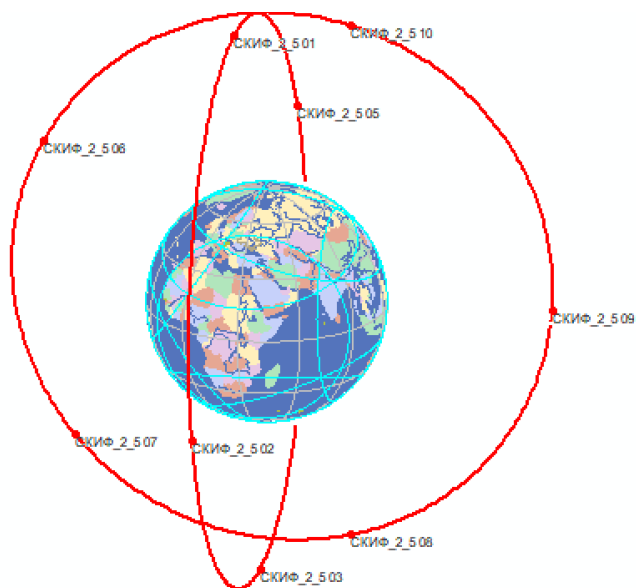


Рис.1. ОГ проекта системы «СКИФ» (10 КА)

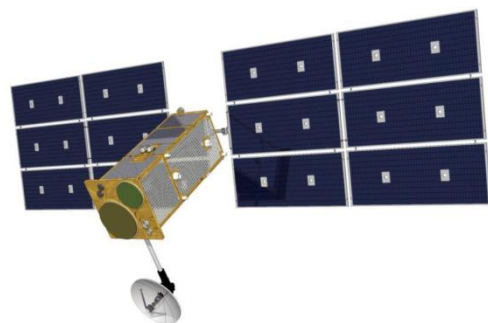


Рис.2. Проектный облик КА «Скиф»

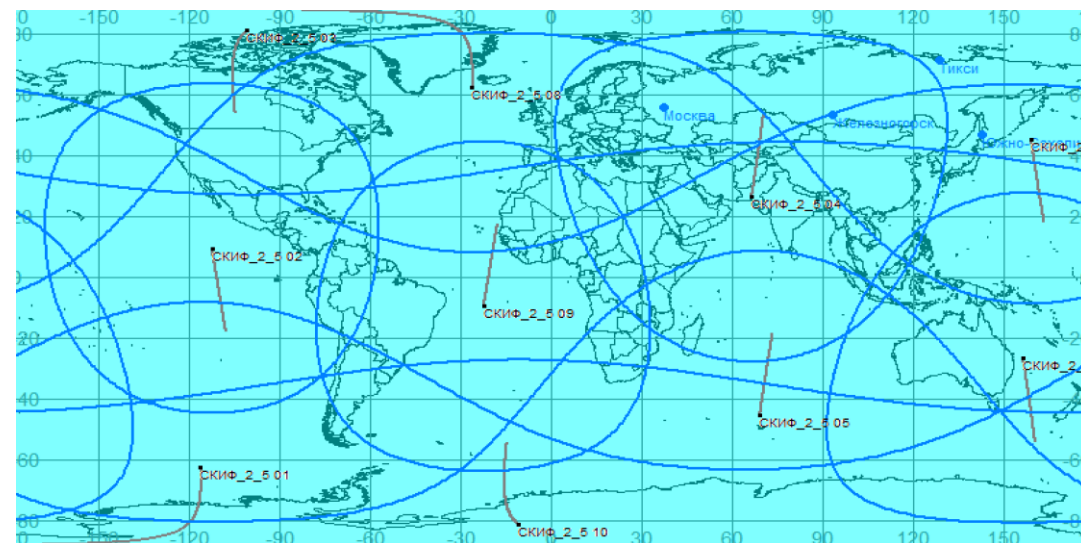


Рис.3. Мгновенная зона радиовидимости системы (УМ=10 град)

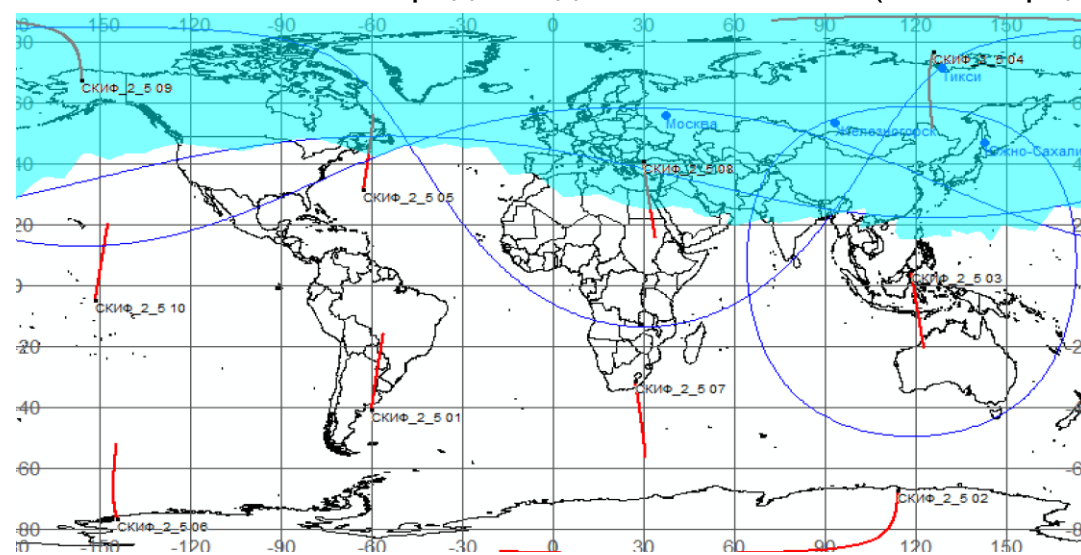


Рис.4. Зона обслуживания системы (российский сегмент шлюзов)

Российские проекты: «Гонец» (АО «Гонец») система подвижной персональной спутниковой связи

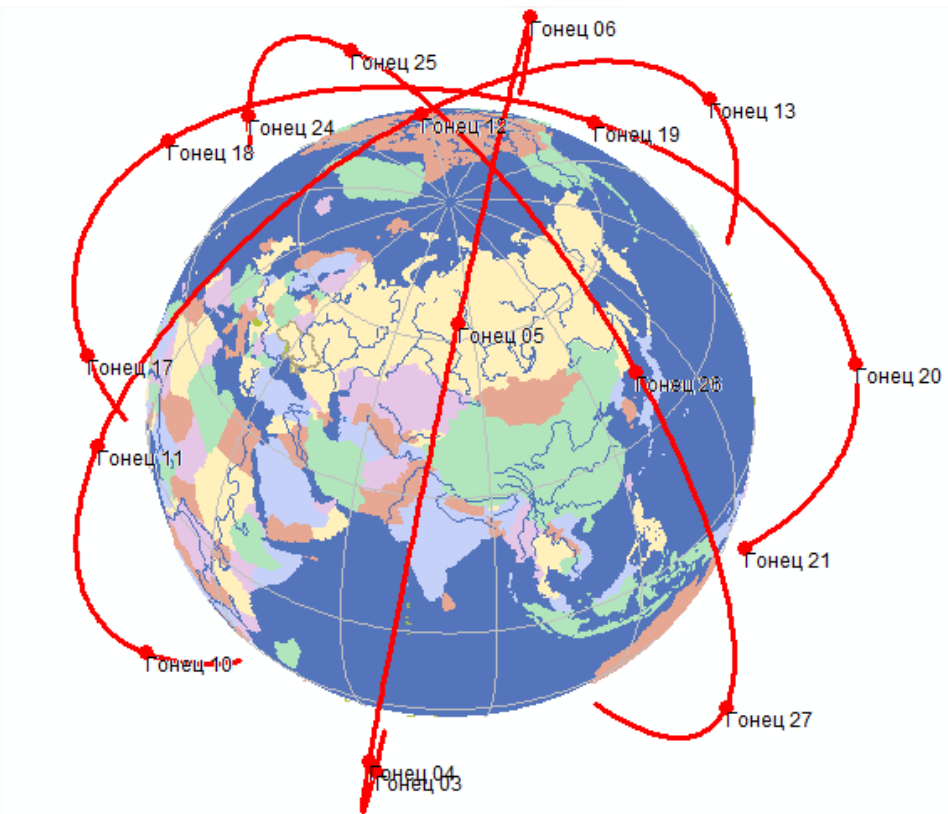


Рис.1. Орбитальная группировка

Космический сегмент:

- Тип орбиты – LEO, 1500 км
- Наклонение 82,5 град
- Число КА – 28
- Диапазон частот – ПСС

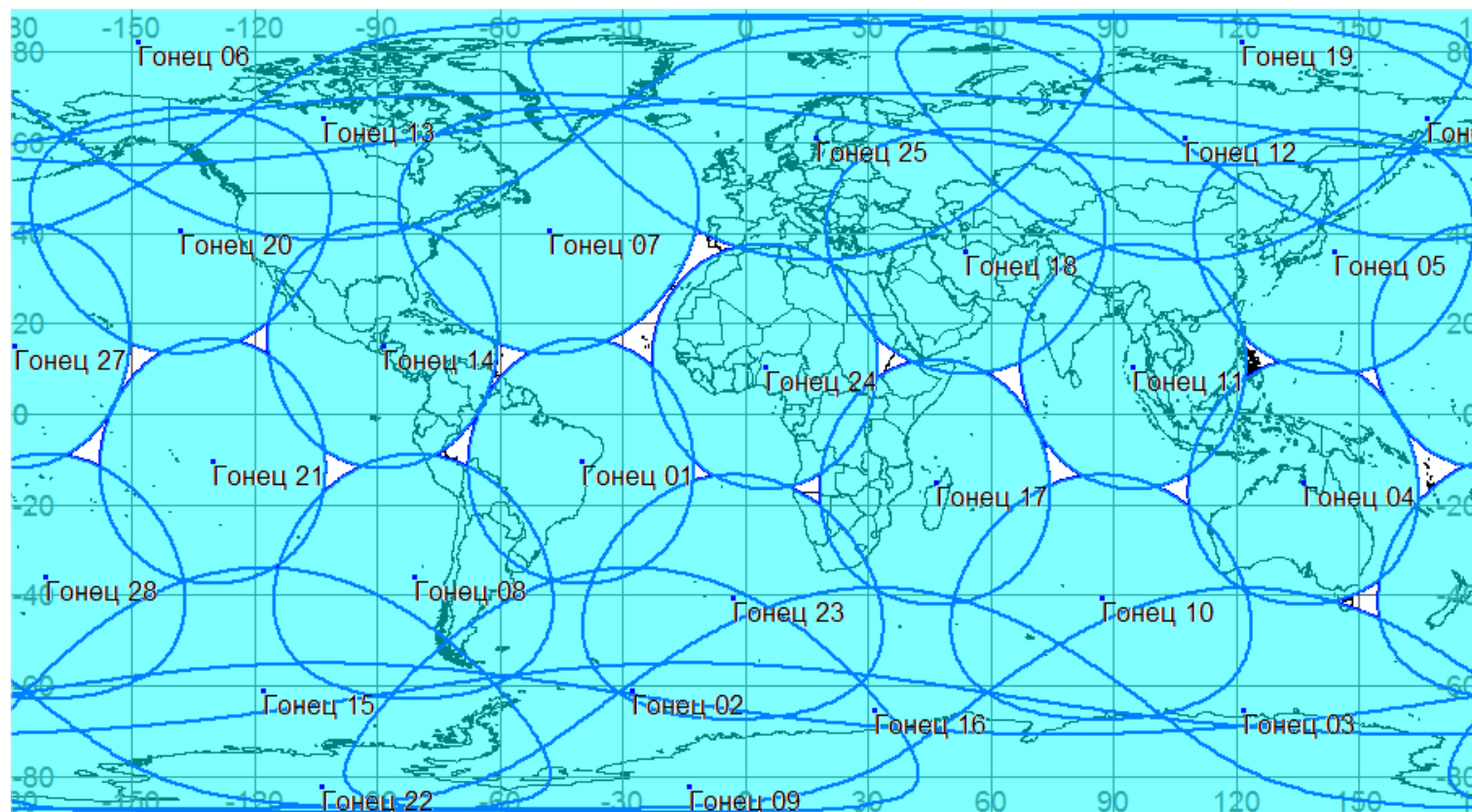


Рис.2. Мгновенные зоны радиовидимости спутников системы
при УМ $\geq$ 10 град

Российские проекты: «Гонец» (АО «Гонец») система подвижной персональной спутниковой связи

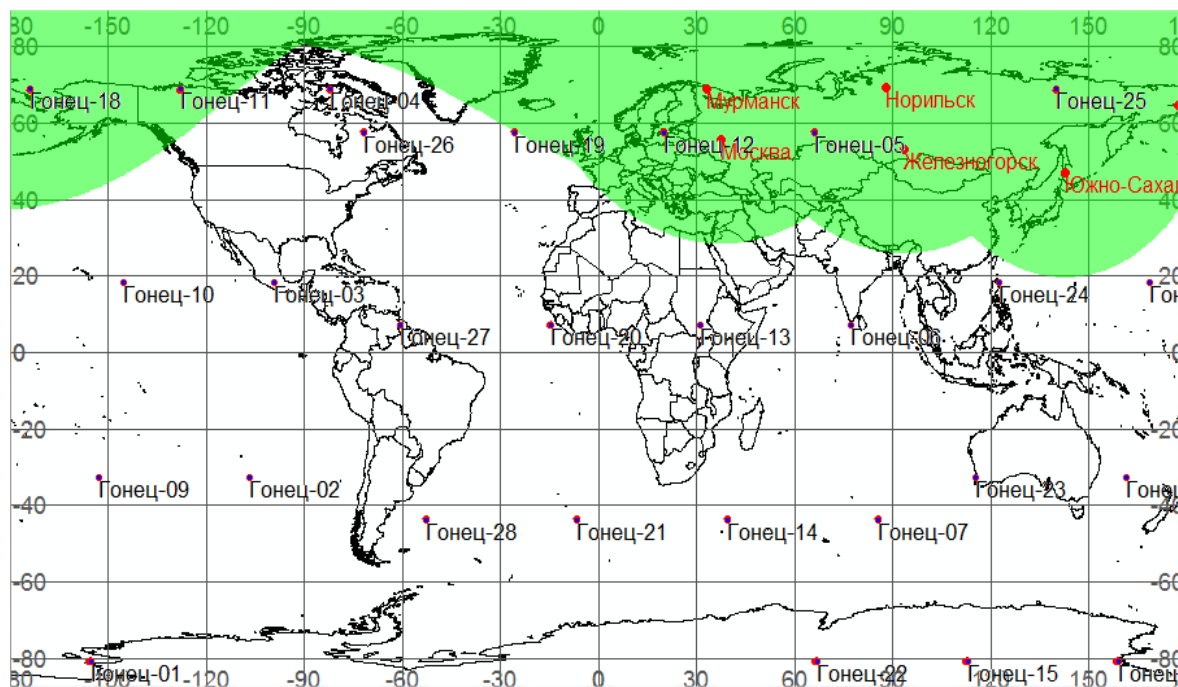


Рис.1. Зона радиовидимости наземных станций сопряжения (Москва, Мурманск, Норильск, Железногорск, Южно-Сахалинск, Анадырь)

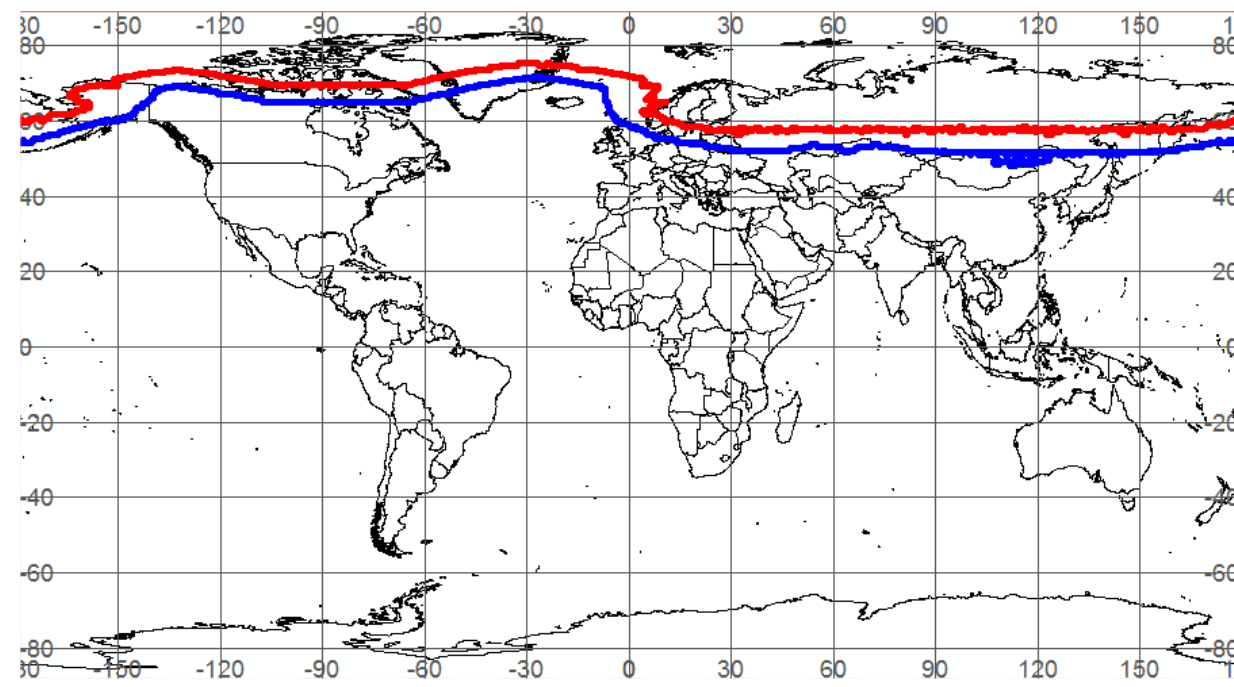


Рис.2. ГЗРВ системы для 100% времени года при УМ=10 град (красная линия) и 5 град (синяя линия)

Выводы:

1. Зона радиовидимости наземных шлюзов практически не несет для потенциальных пользователей полезную информацию. Более того, вводит в заблуждение в части территории и надежности обслуживания.

2. ГЗРВ системы полностью определяет для потенциальных пользователей понимание о качественных характеристиках и зонах обслуживания системы и позволяет планировать ее использование

Российские проекты: «Марафон IoT» (АО «Висат-Тел»): глобальное предоставление услуг передачи данных и сервисов IoT

Краткая характеристика:

- зона обслуживания	глобально
- число орбитальных пл-тей	12
- число КА в плоскости	21+1(резерв)
- всего КА	252+12 (резерв)
- высота орбиты	750 км (LEO)
- наклонение	87,5 град
- диапазон частот	ISM, S-, C-
- масса КА	50 кг

Земной сегмент:

1. Абонентские средства потребителей ISM Lora (модемы LoRa, многообразие датчиков физических величин)
2. Абонентские средства потребителей S-диапазона (системы телеметрии и управления, навигационные системы потребителей)
3. Типовые АС АЗН-В, АИС, ГЛОНАСС

Основные этапы:

- 2018-2019 г разработана Концепция системы
- 2020-2021 г. разработан аванпроект системы
- 2023-2024 г. - создание опытной зоны
- 2024-2027 г. – развертывание штатной ОГ

Дополнительные сервисы:

- создание поля контроля и подачи команд для беспилотных систем;
- создание поля контроля (трекинга) авиационных систем (АЗН-В);
- создание поля контроля морских и речных судов (АИС);
- создание поля трансляции дифференциальных поправок к сигналам ГЛОНАСС

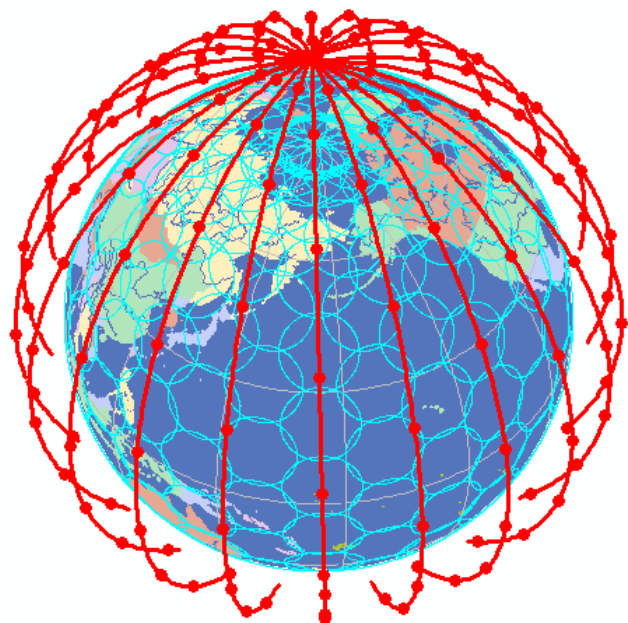


Рис.1. ОГ «Марафон»

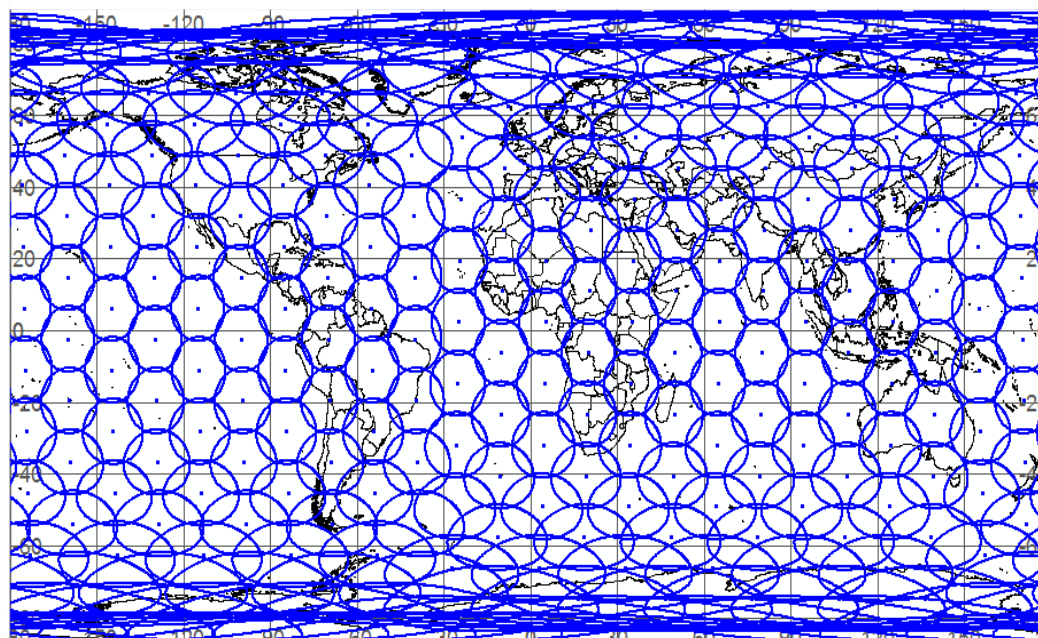


Рис.2. Мгновенные зоны радиовидимости КА (УМ=30 град)

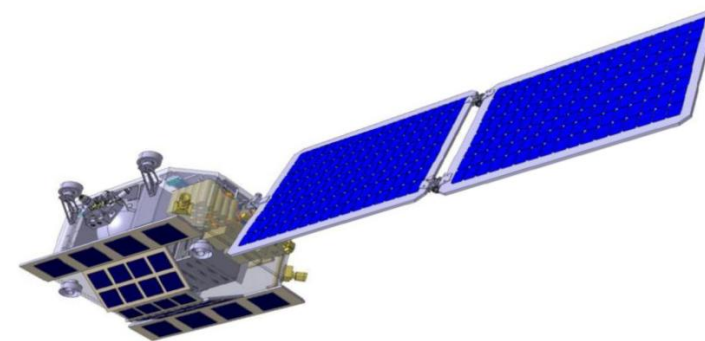
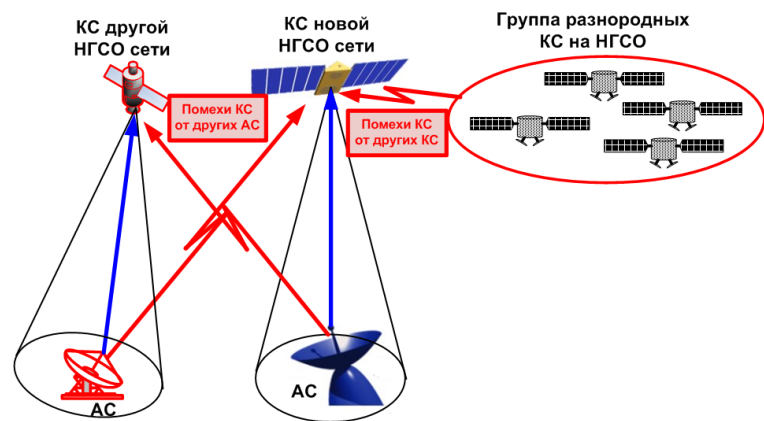
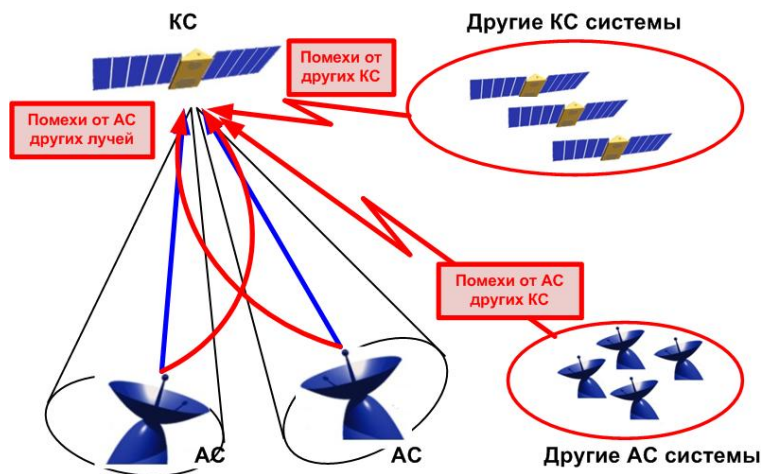


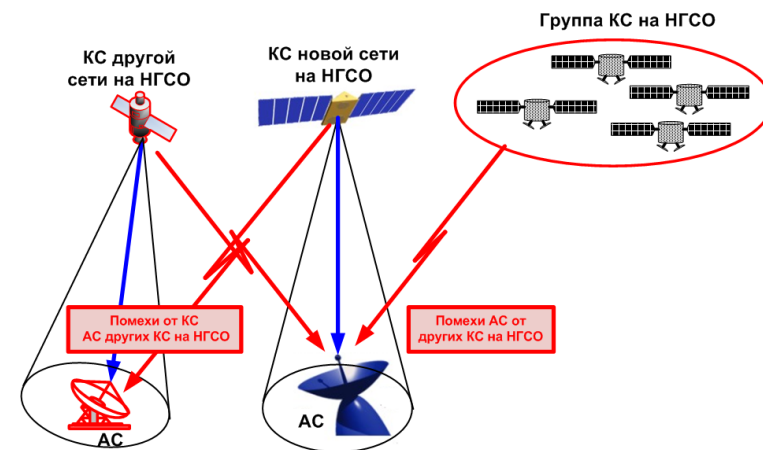
Рис.3. Проектный облик КА «Марафон»



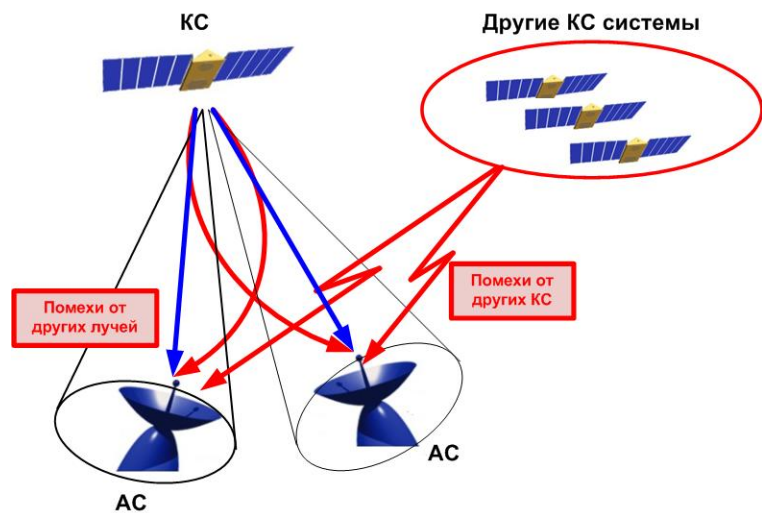
Межсистемная ЭМС,
помехи по входу космической станции



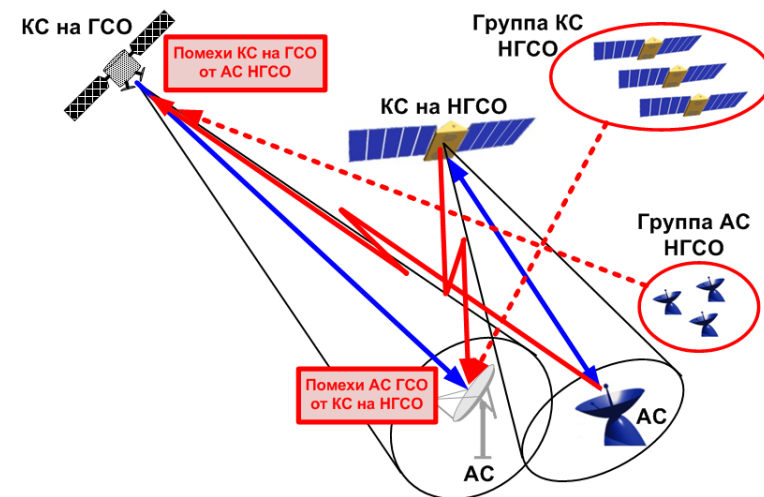
Внутрисистемная ЭМС,
помехи по входу космической станции



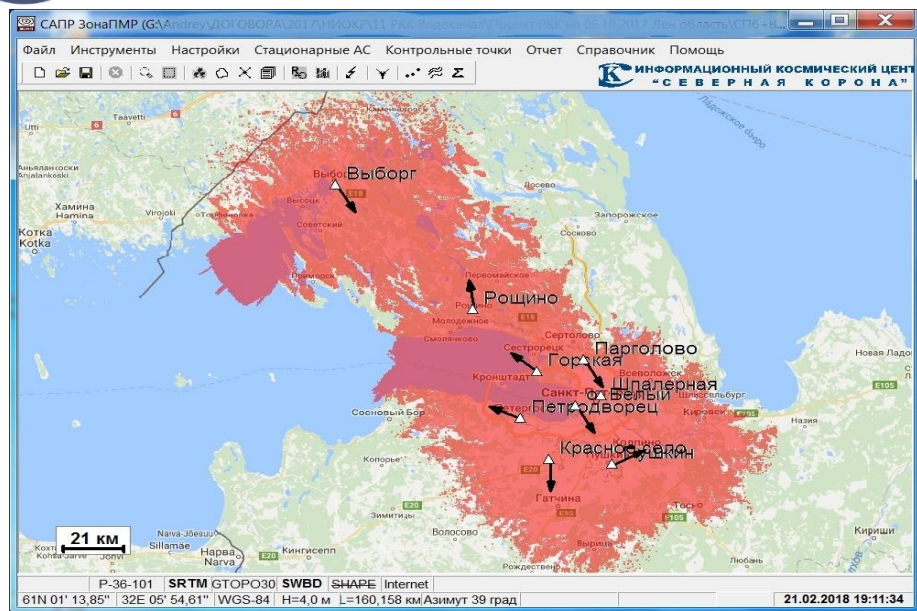
Межсистемная ЭМС,
помехи по входу абонентских станций



Внутрисистемная ЭМС,
помехи по входу абонентских станций

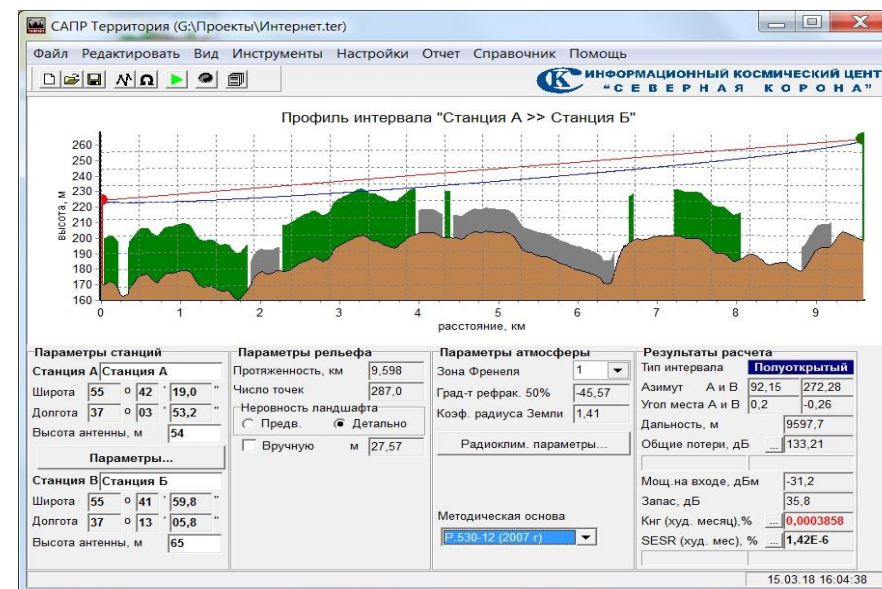


Межсистемная ЭМС,
помехи сетям с КС на ГСО

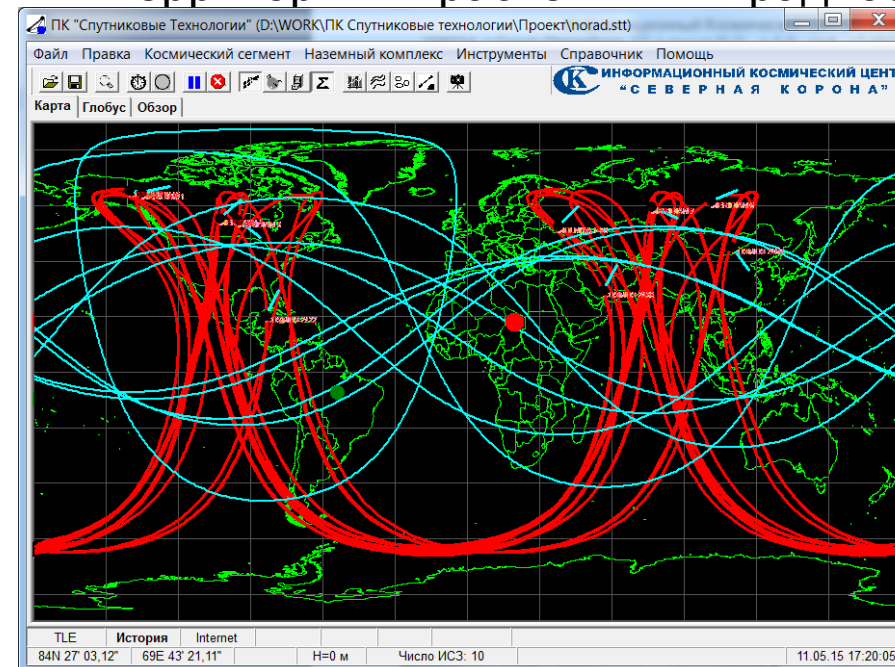


ПК «Зона» - ЧТП сетей ПМР с учетом ЭМС

САПР «Альбатрос» - современная система для проектирования радиосистем различного целевого назначения, удовлетворяющая требованиям систем ПМР



ПК «Территория» - расчет линий радиосвязи



1. Движущей силой развития перспективных спутниковых систем является конкуренция в части максимальной реализации выделенных ресурсов пропускной способности, снижения себестоимости услуг, персонализация (упрощение и удешевление) абонентских станций.
2. Данная тенденция определяет развитие HTS и VHTS спутников на ГСО с адаптивной полезной нагрузкой
3. Данная тенденция определяет интенсивный поиск технических решений по оптимизации выведения, развертывания и эксплуатации многоспутниковых систем на НГСО.
4. К основным известным техническим решениям в классе НГСО можно отнести:
 - минимизация затрат на выведение группировки, автономный (за счет собственных ресурсов) выход спутников в заданные позиции НГСО;
 - обеспечение максимальной загрузки, в том числе использованием на борту узких перенацеливаемых лучей, формирующих динамическую зону обслуживания;
 - оптимизация построения и управления орбитальной группировки и др.
5. Существенной проблемой в развитии систем на НГСО является проблема ЭМС



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