



**Evaluation of the quality characteristics of satellite systems by
mathematical modeling**

**Оценка качественных характеристик спутниковых систем
путем математического моделирования**

Гриценко Андрей Аркадьевич

Генеральный директор, кандидат технических наук

The First Aerospace Symposium "The Silk Road«

06-08 December

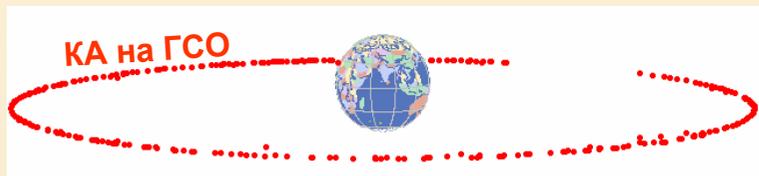
Dolgoprudny, Moscow Region, Russia

MIPT

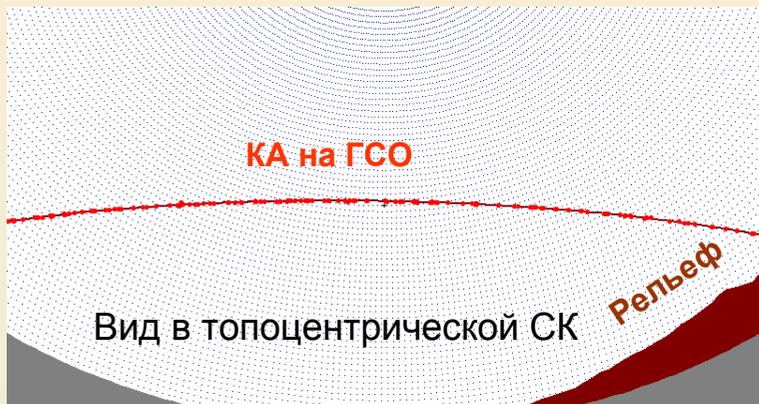


Моделирование работы спутниковых систем

А. Геостационарные спутниковые системы (GEO) – все статично



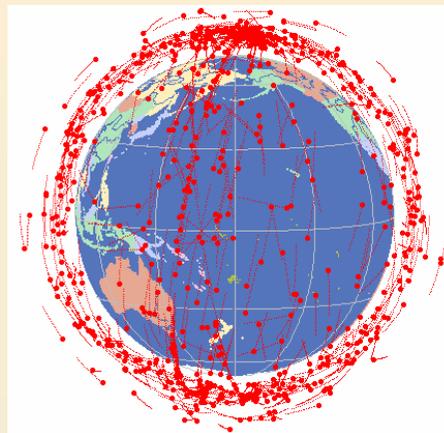
Вид в земной системе координат



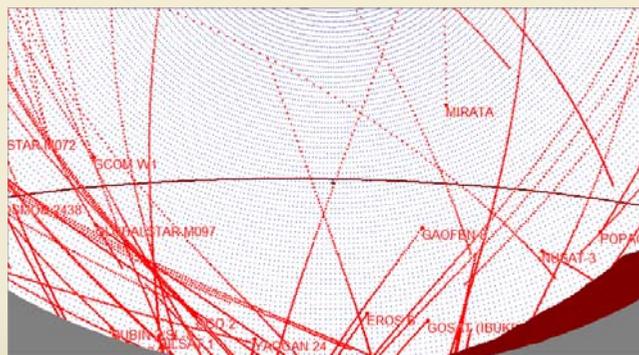
Вид в топоцентрической СК

Параметры любой GEO системы могут быть определены аналитически (расчетом)

В. Негеостационарные спутниковые системы (NGEO) – все динамично



Земная система координат



Топоцентрическая система координат

Детальная оценка параметров NГEO системы даже в составе одного КА может быть проведена практически только путем моделирования



Объект интереса

Объект интереса – спутниковые системы различного целевого назначения

Этапы жизненного цикла: разработка, развертывание, эксплуатация, захоронение

Приоритетные направления:

- Телекоммуникационные системы
- Навигационные системы
- Системы ДЗЗ
- «Связь + навигация + ДЗЗ»
(комбинированные системы)

Структура спутниковых систем:

1. Космический сегмент
2. Наземный сегмент управления и контроля
3. Дополнительные подсистемы и службы
(повышение эффективности целевого применения)
4. Пользовательский сегмент (наземный и/или космический)

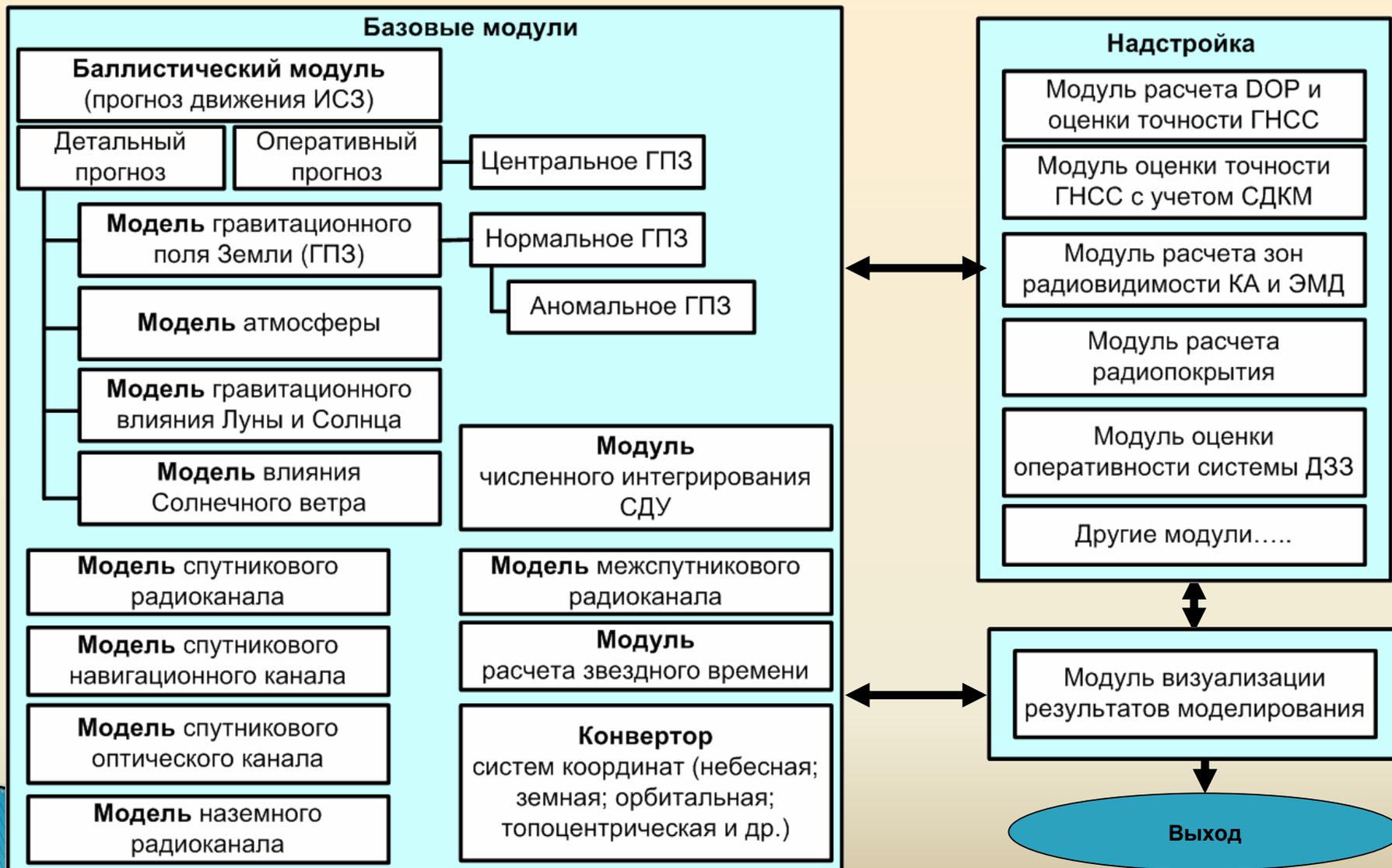


Требования к программно-методическому обеспечению

- 1. Универсальность** - учет специфики работы систем связи, навигации и ДЗЗ
- 2. Оперативность:**
 - в подготовке исходных данных;
 - при моделировании работы (нужны «быстрые алгоритмы»);
 - при отображении протекающих процессов
- 3. Комплексность** – учет всех сегментов и компонентов системы (космический, наземный, дополнительные подсистемы, включающие наземный и космический сегменты)
- 4. Достоверность** – современные апробированные модели, возможна градация уровней сложности
- 5. Компактность** – реализация всех возможностей на простых персональных компьютерах, в том числе ноутбуках.
- 6. Простота интерфейса** – простой интуитивно понятный интерфейс



САПР «Альбатрос» - основные модули





САПР «Альбатрос» - модель затуханий в спутниковом радиоканале

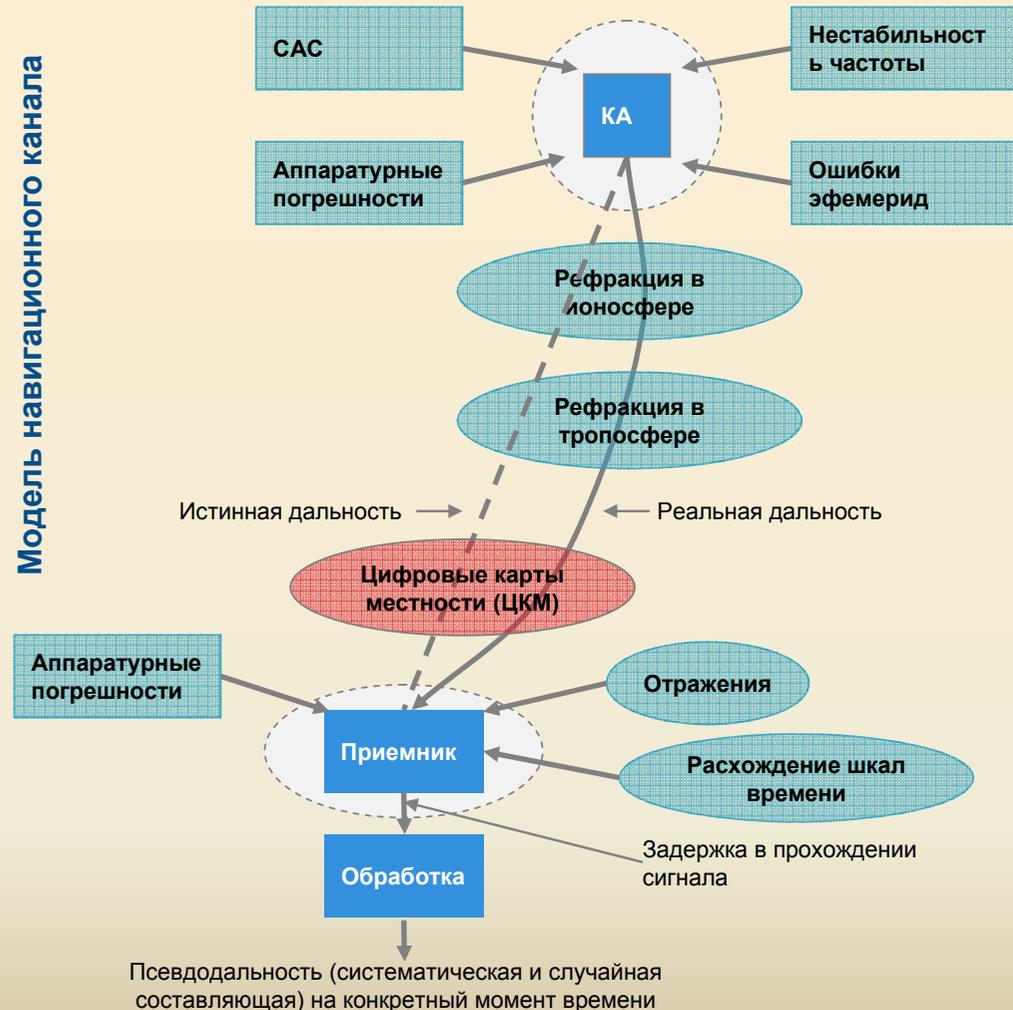


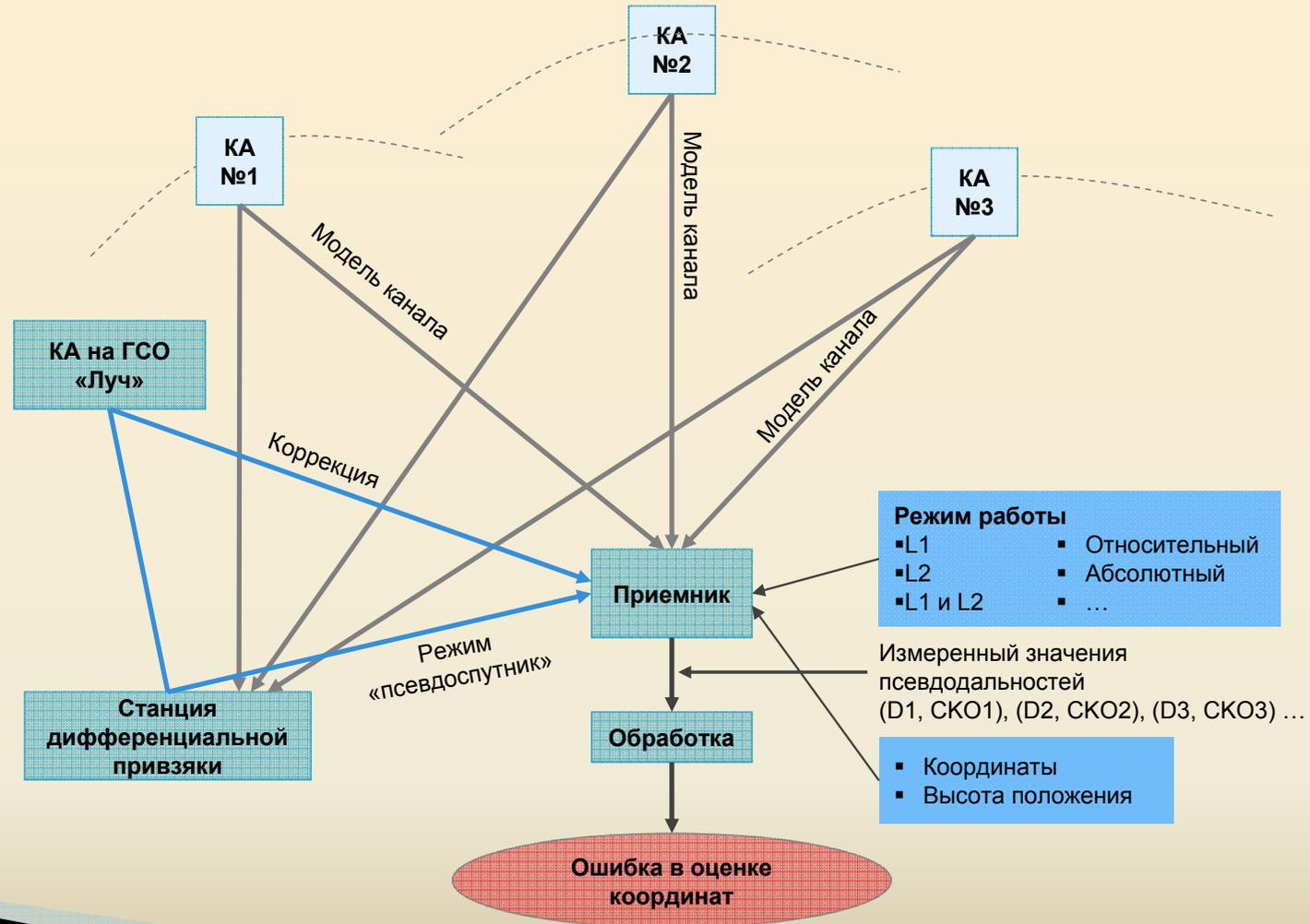
Методический аппарат - Rec. BR ITU

Особенности

- Учет всех основных составляющих суммарной ошибки измерения псевдодальности
- Учет детальных характеристик каждого КА
- Учет режимов работы аппаратуры потребителя

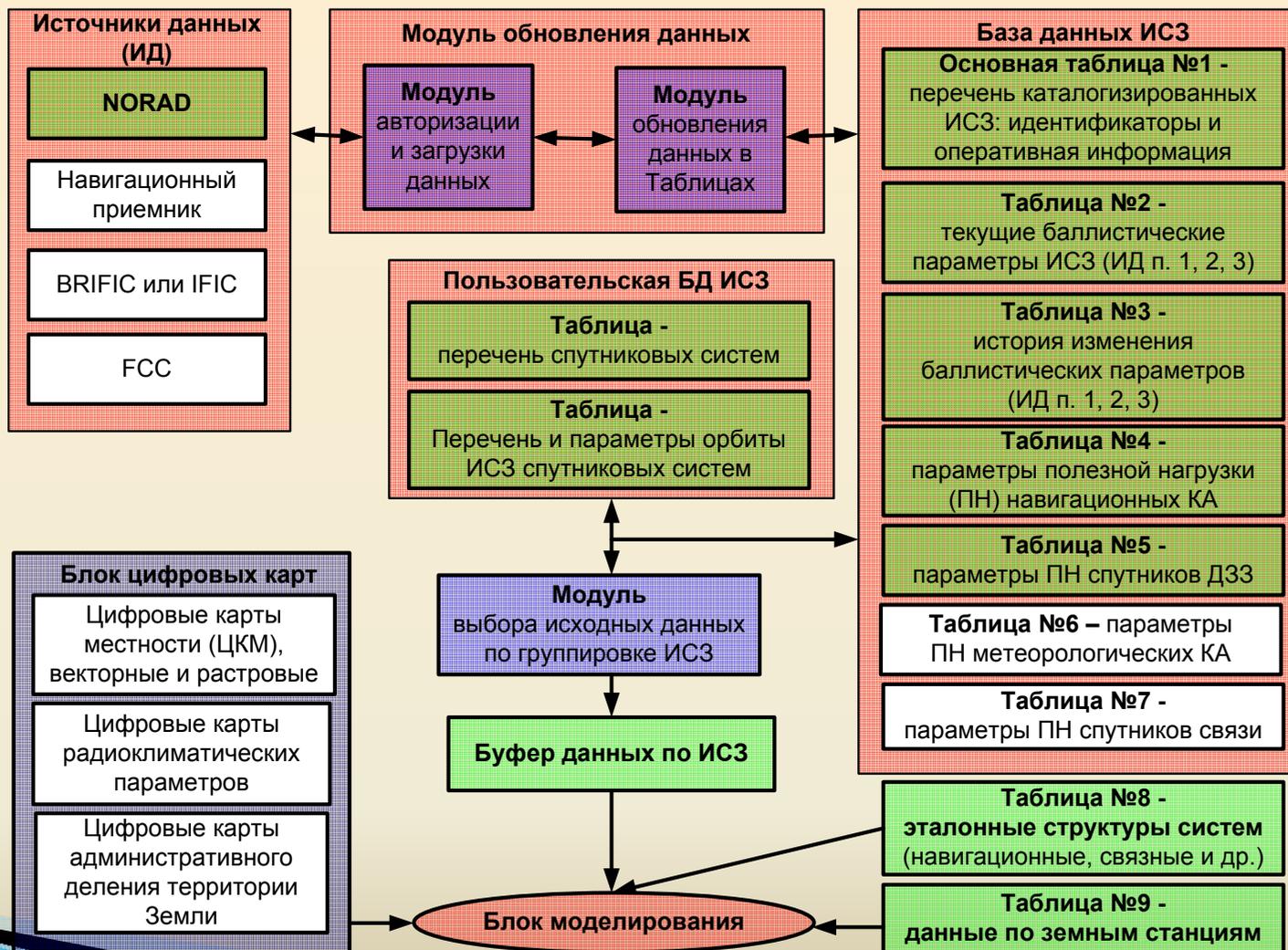
Модель навигационного канала



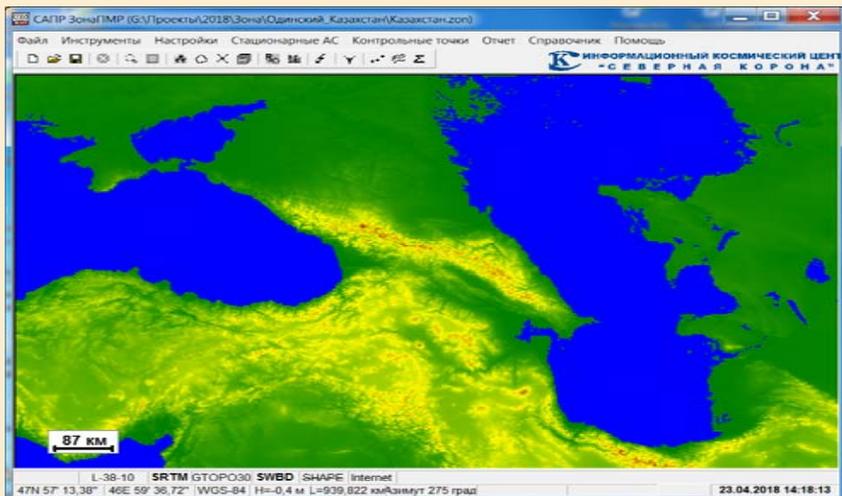




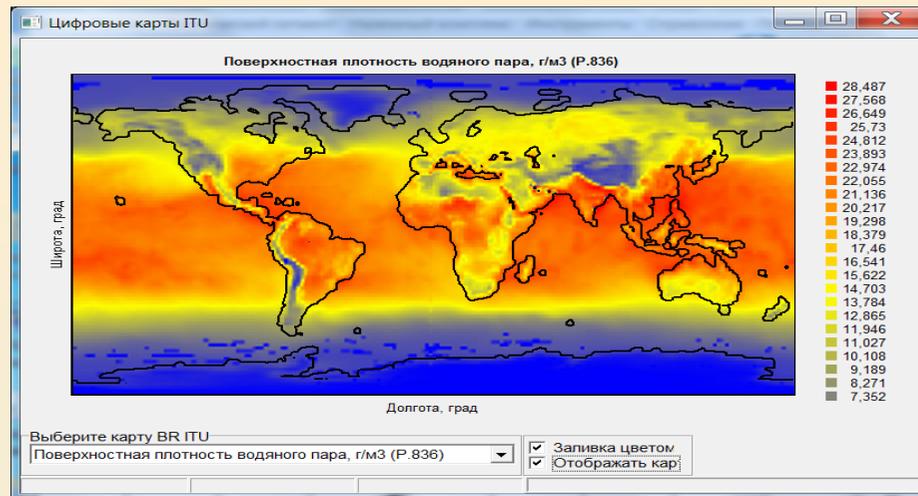
САПР «Альбатрос» - база данных



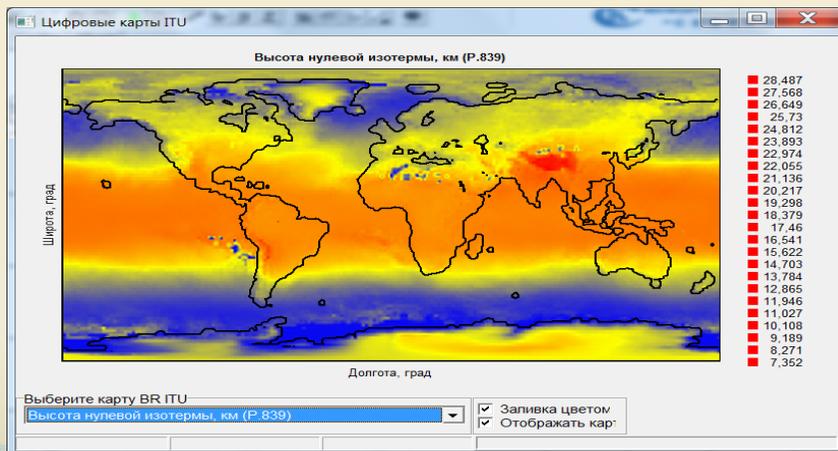
САПР «Альбатрос» - цифровые карты



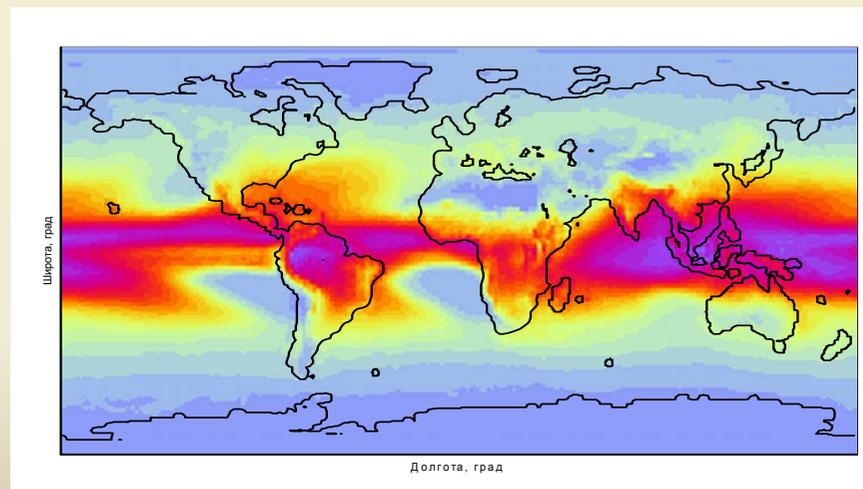
Цифровые карты местности (SRTM3)



Плотность водяного пара



Высота нулевой изотермы



Карта потерь на участке «К-3» (УМ=90 град, P=99.5%)

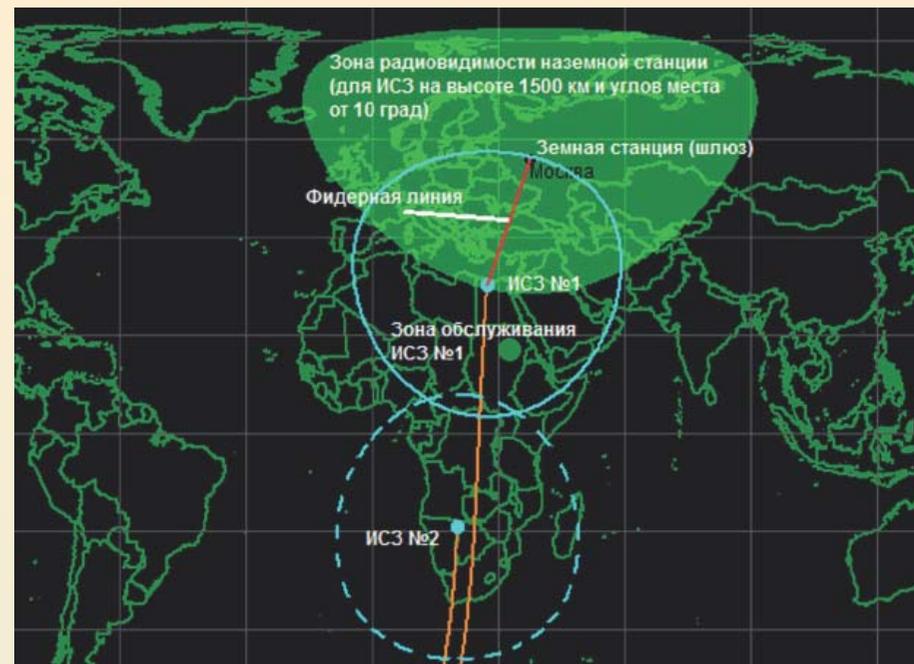
Условия формирования зоны радиовидимости КА:

- есть межспутниковые линии связи, либо;
- угол места направления на КА со стороны наземного шлюза выше минимального значения (т.е. зона обслуживания зависит от сети шлюзов)

Гарантированная зона радиовидимости (ГЗРВ) – часть поверхности Земли, в любой точке которой на углах места (УМ), не ниже требуемого, наблюдается N число КА в течение P процента времени года.

Примеры для систем:

- **узкополосной связи:** УМ=10 град, N=1, P=100%
- **подвижной связи:** УМ=45 град, N=1, P=100%
- **навигационных:** УМ=10 град, N=4, P=100%
- **передачи сообщений:** УМ=10 град, N=1, P=60%

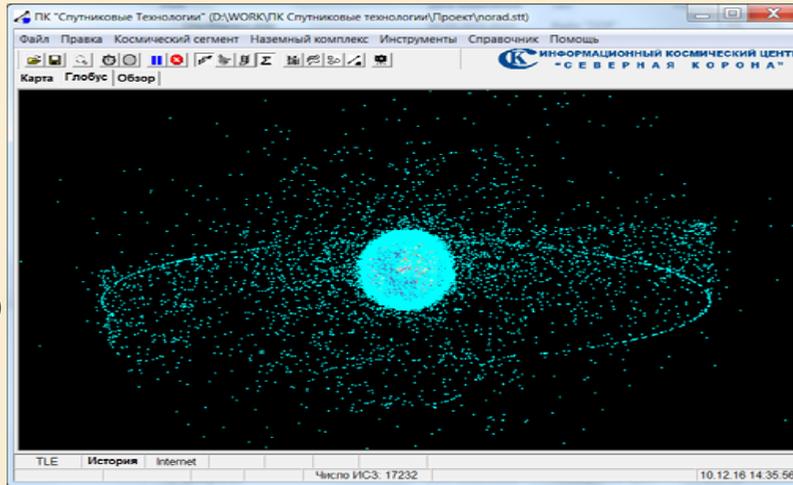


КА №1 – есть зона обслуживания,
КА №2 – нет зоны обслуживания, так как
УМ направления от шлюза меньше
допустимого

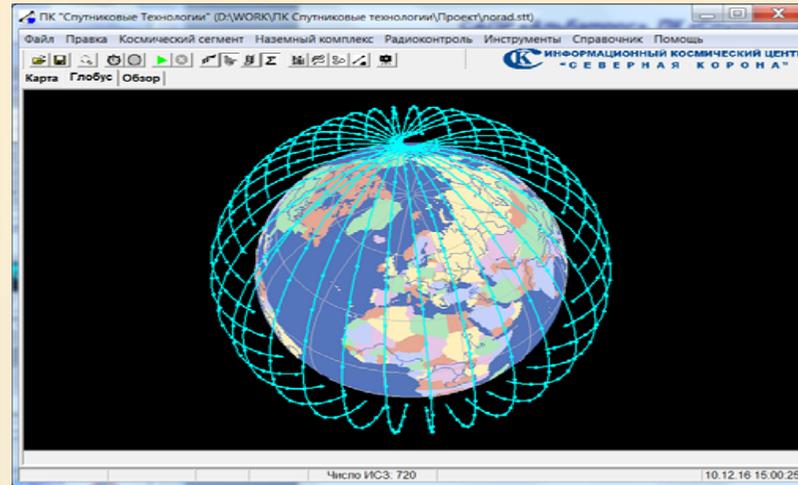


САПР «Альбатрос» - визуализация информации

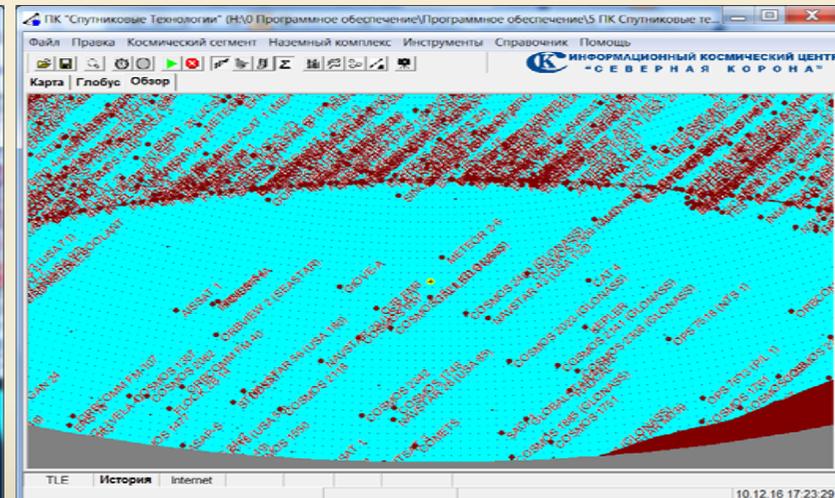
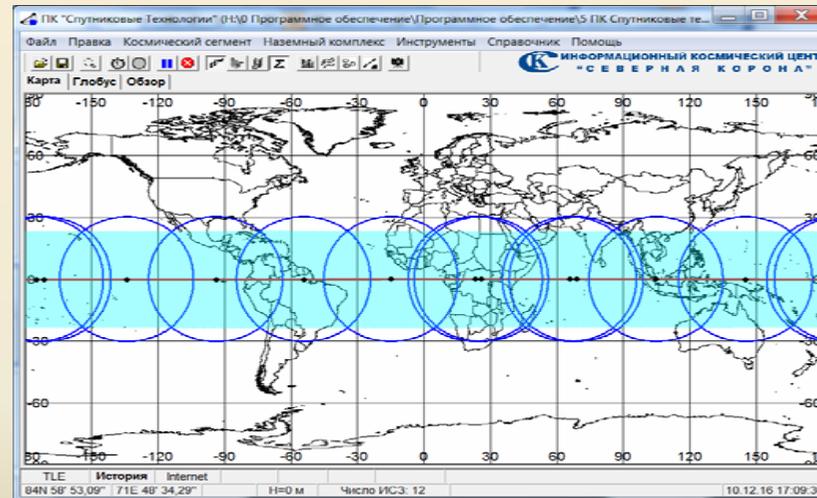
Текущая ситуация
в Космосе
(около 20 тыс. ИСЗ)



Система
OneWeb (проект)



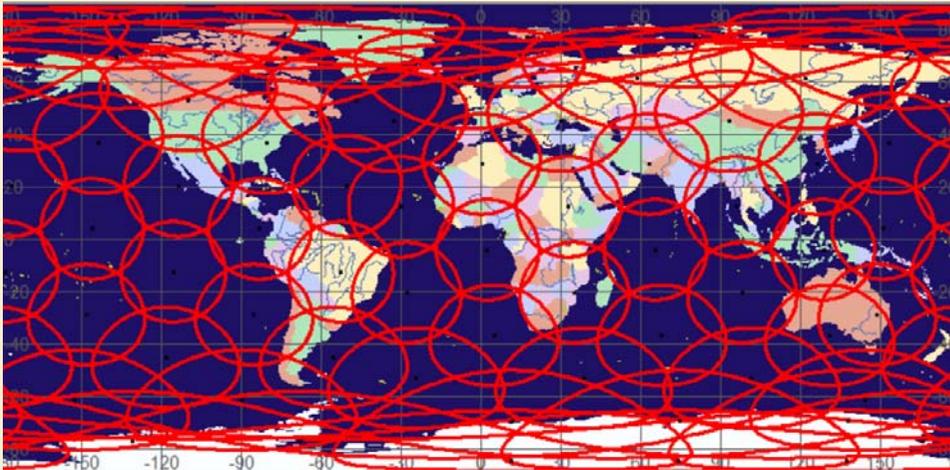
Система ОЗВ



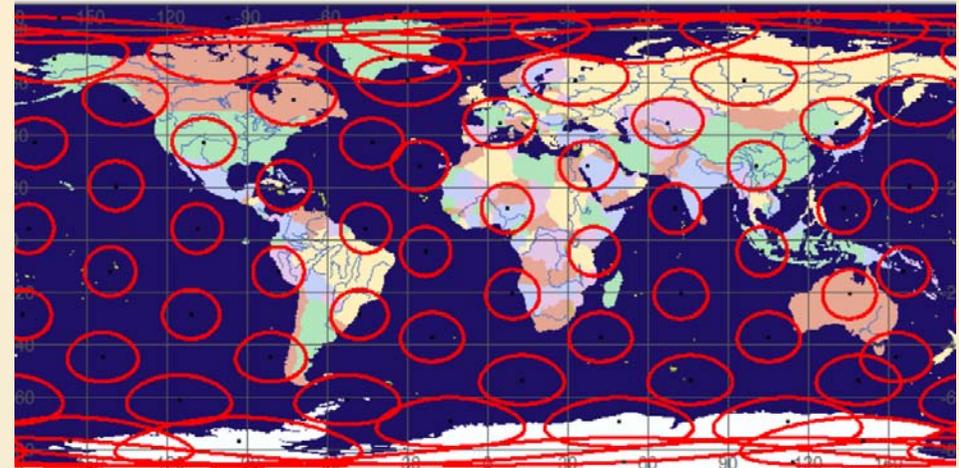
Вид на небо в топоцентрической СК



Система глобальной подвижной спутниковой связи Iridium

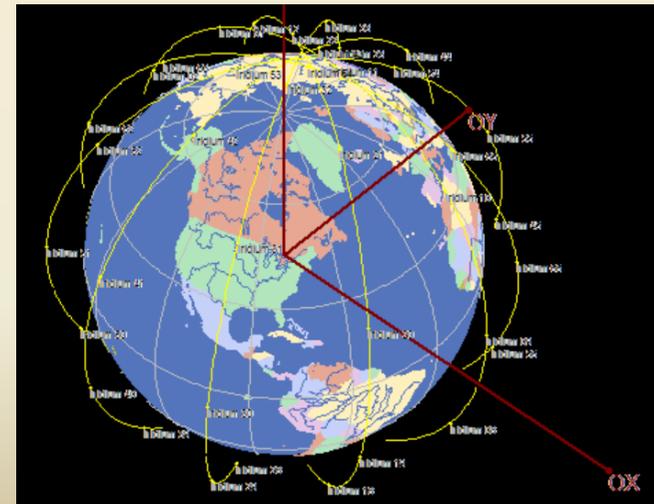


Мгновенная ЗРВ, УМ=30 град
(глобальность обеспечивается)



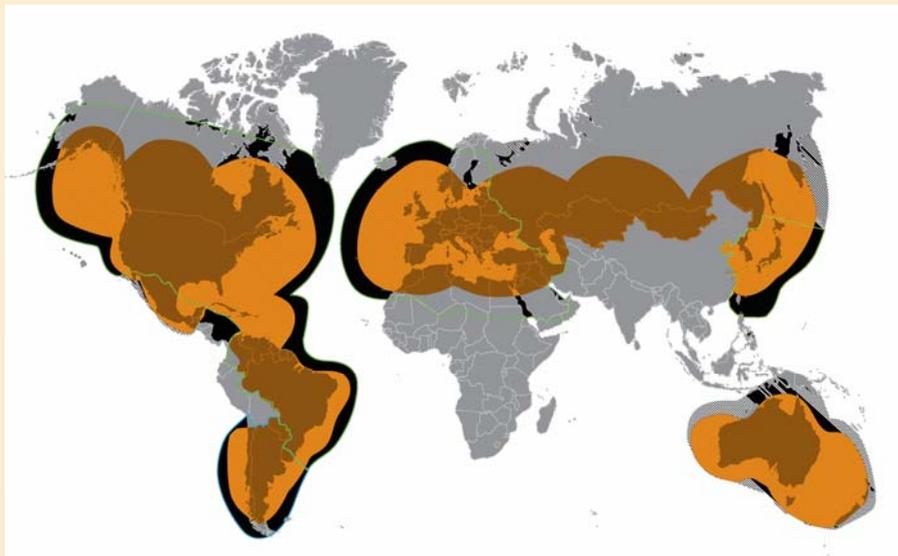
Мгновенная ЗРВ, УМ=8 град
(глобальность не обеспечивается)

Орбитальная группировка

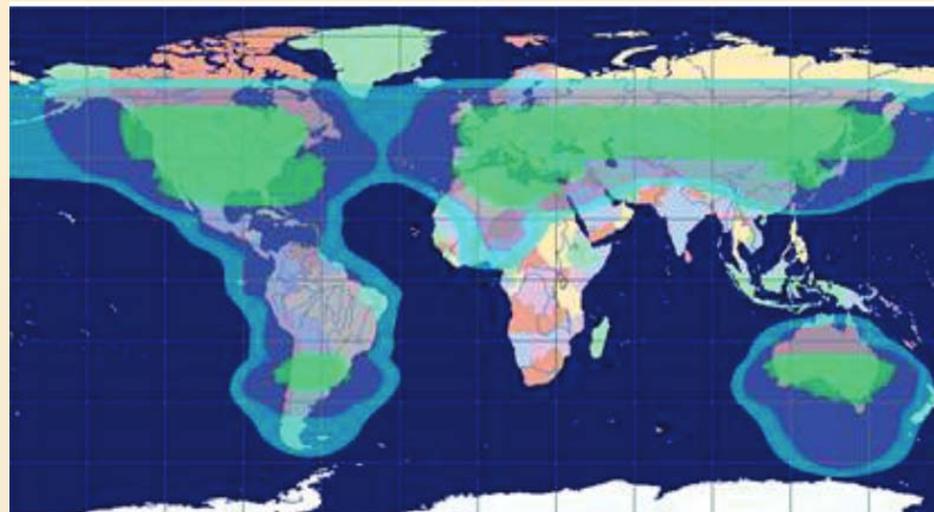




Система подвижной спутниковой связи Globalstar



ГЗРВ (источник: web-сайт компании)



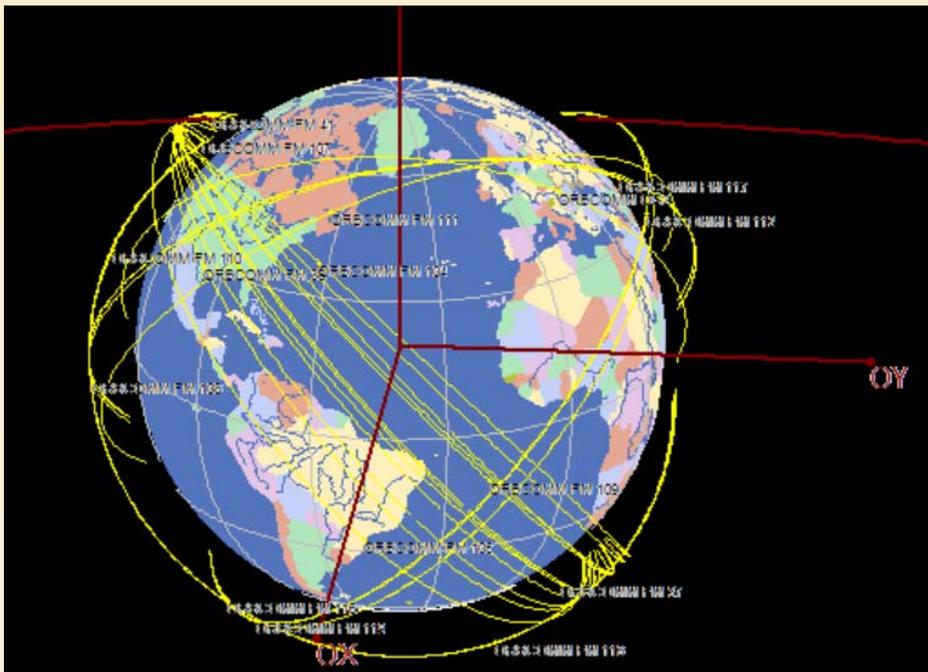
ГЗРВ путем моделирования
(надежность 95, 99 и 99.999%)

Мгновенная зона радиовидимости спутников системы

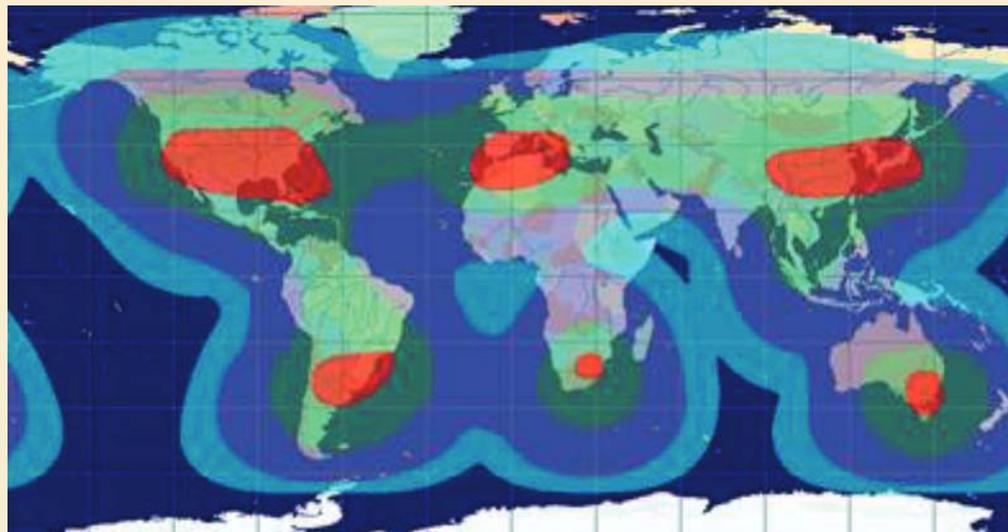




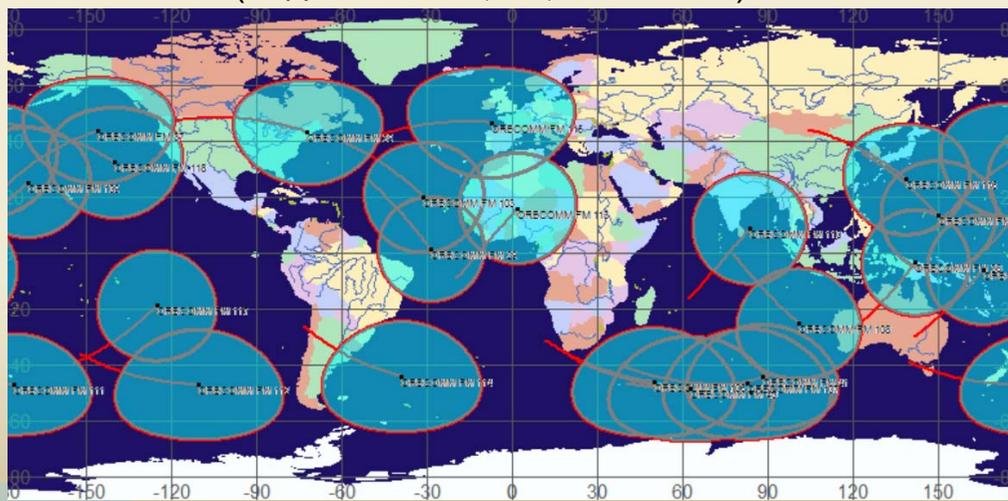
Спутниковая система передачи сообщений Orbcomm



Орбитальная группировка



ГЗРВ путем моделирования
(надежность 1, 20, 50 и 70%)



Мгновенная зона
радиовидимости
системы



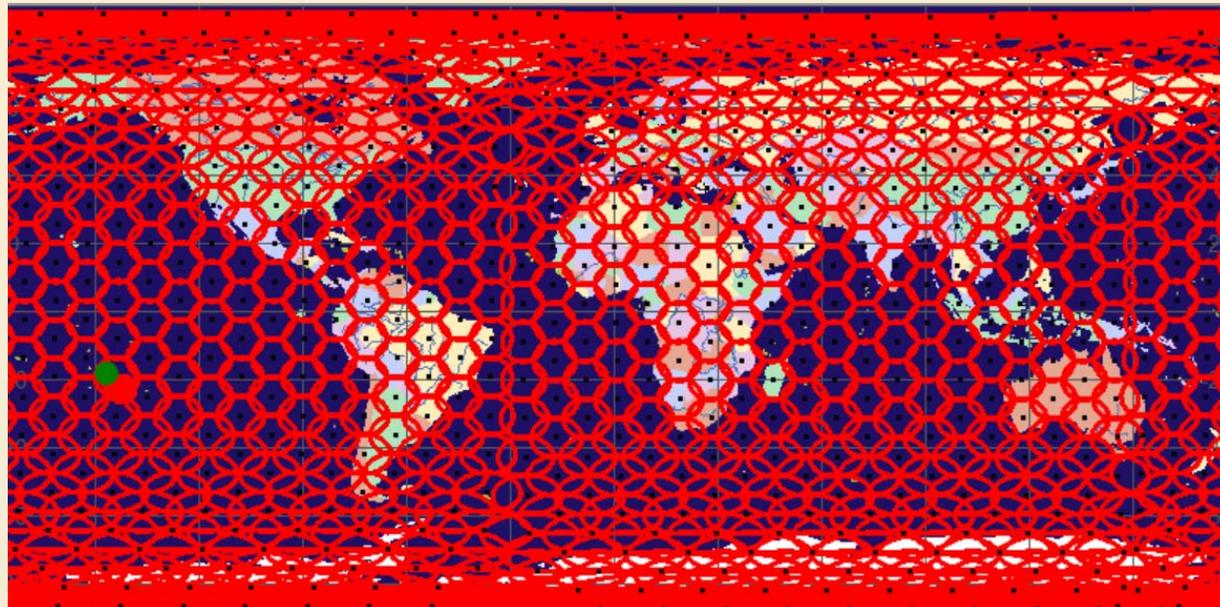
Система спутниковой связи, вещания и передачи данных «ГМИСС» («Эфир»)

Синтез орбитальной группировки

Системы Орбиты	
Параметры орбиты	Структура ОГ
А, км: 7471	Число плоскостей: 20
i, град: 89	Число КА в одной пл-ти: 32
e: 0	Всего КА: 640
ω , град: 0	Ω 1-ой пл-ти, град: 0
На, км: 1100	Углов. разнос пл-тей, град: 9
Нп, км: 1100	<input checked="" type="checkbox"/> Расстановка - на дуге 180 град
T, час: 1,78516	Углов. разнос КА в пл., град: 11,25
	dM в смежн. пл-ях, град: 5,625

Закреть Создать

Исходные данные по орбитальной группировке



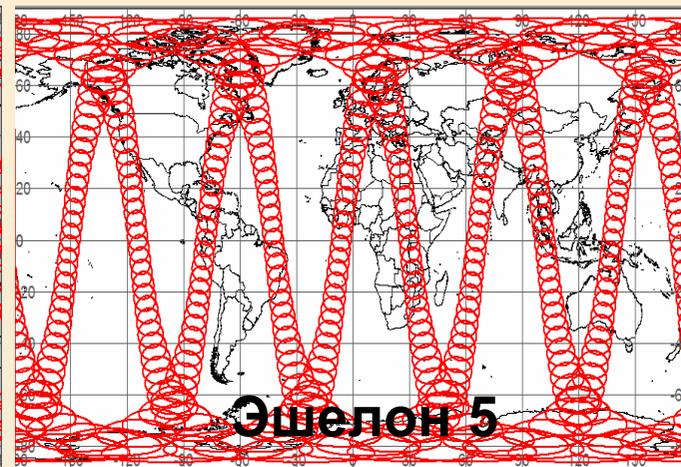
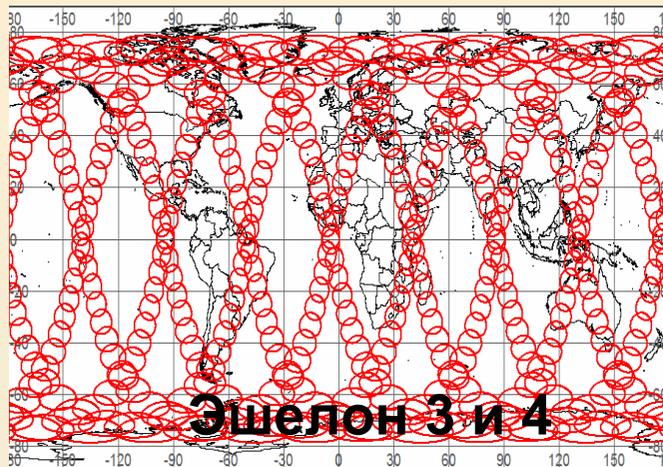
Мгновенная зона радиовидимости системы при УМ=54 град



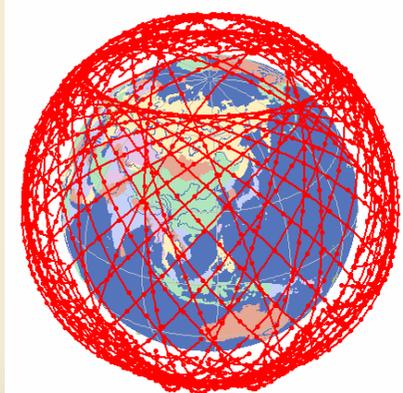
Проект спутниковой системы ШПД компании SpaceX

Орбитальная группировка

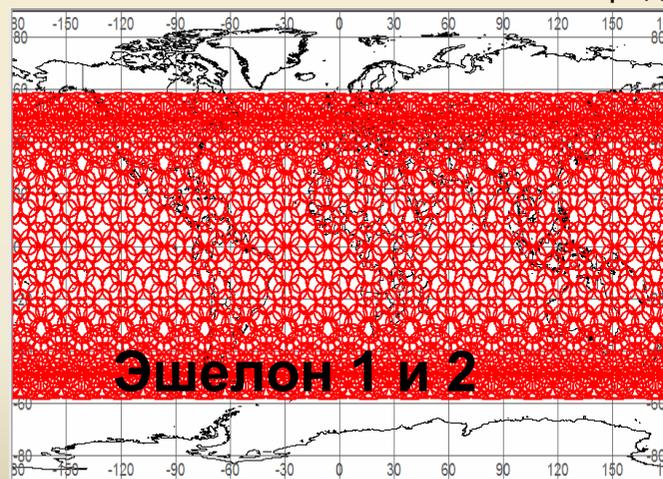
№ эш.	N пл-ей	N КА в пл	Всего КА	Орбита	
				i, град	h, км
1	32	50	1600	53,0	1150
2	32	50	1600	53,8	1110
3	8	50	400	74,0	1130
4	6	75	450	70,0	1325
5	5	75	375	81,0	1275
Всего	83	-	4425	-	-



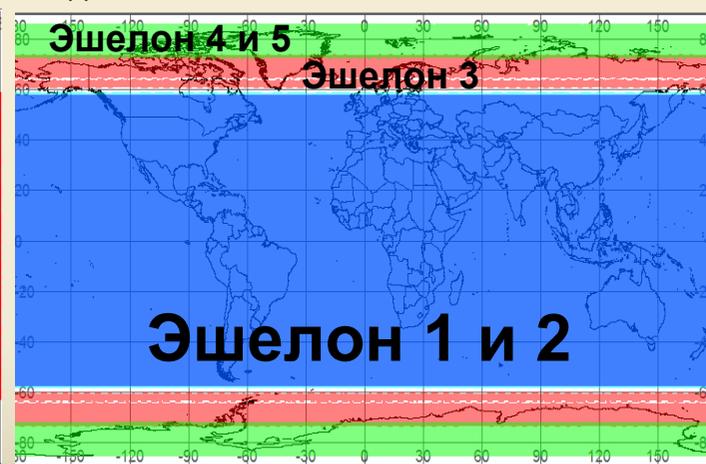
Мгновенная зона радиовидимости эшелонов



Структура ОГ (все эшелоны)



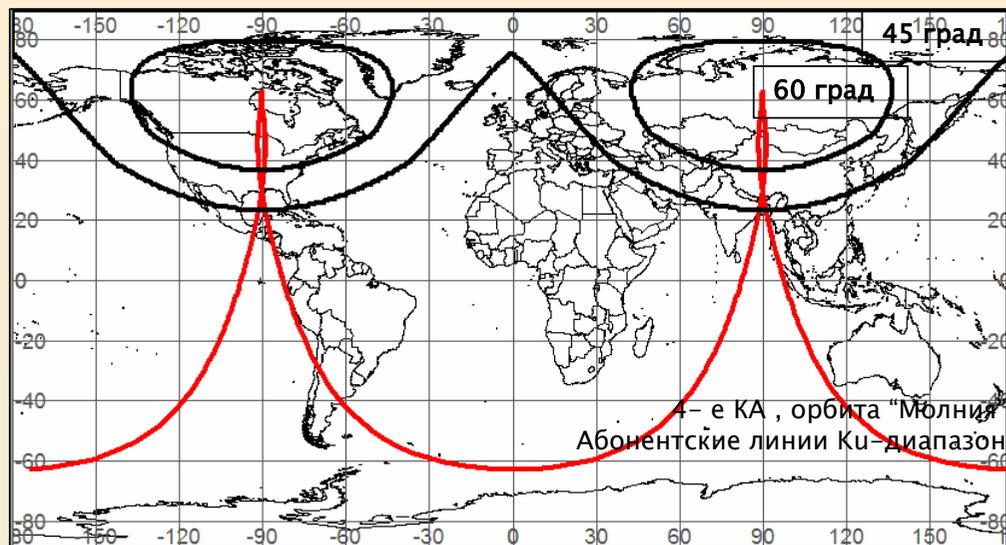
Мгновенная зона радиовидимости эшелона



ГЗРВ системы SpaceX, УМ=60 град.

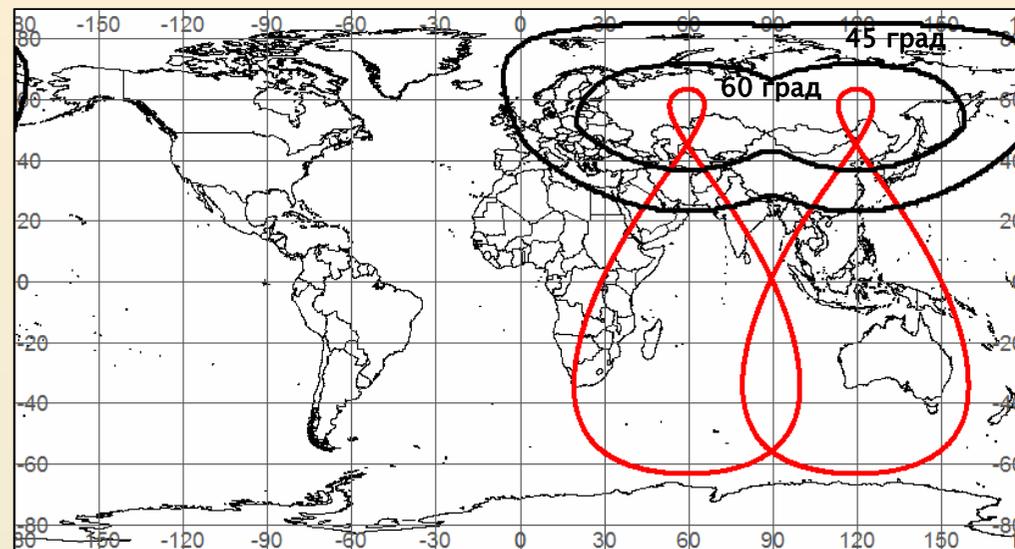
Системы «Экспресс-РВ» и «Росинфоком»

Проект «Экспресс-РВ»



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

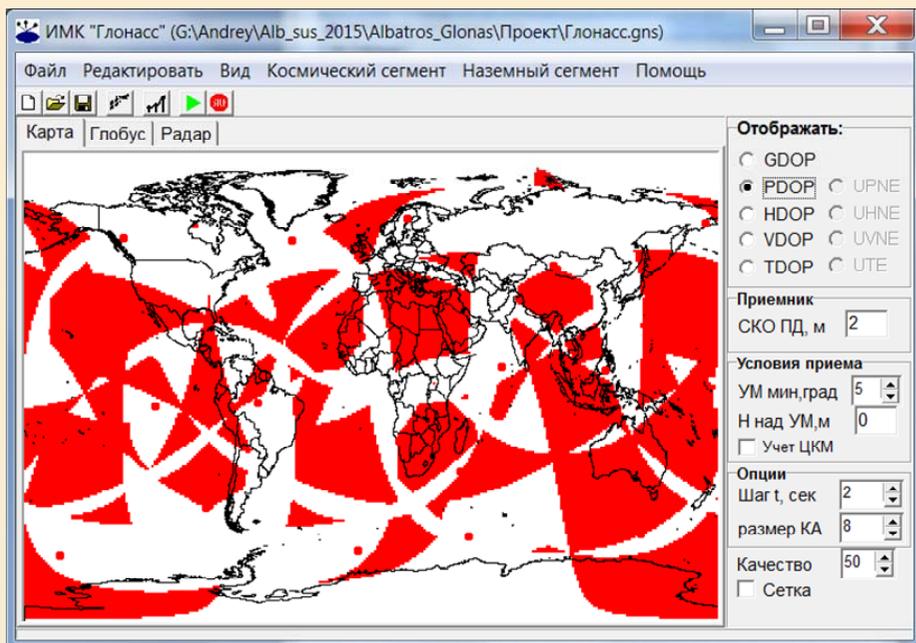
Проект «Росинфоком»



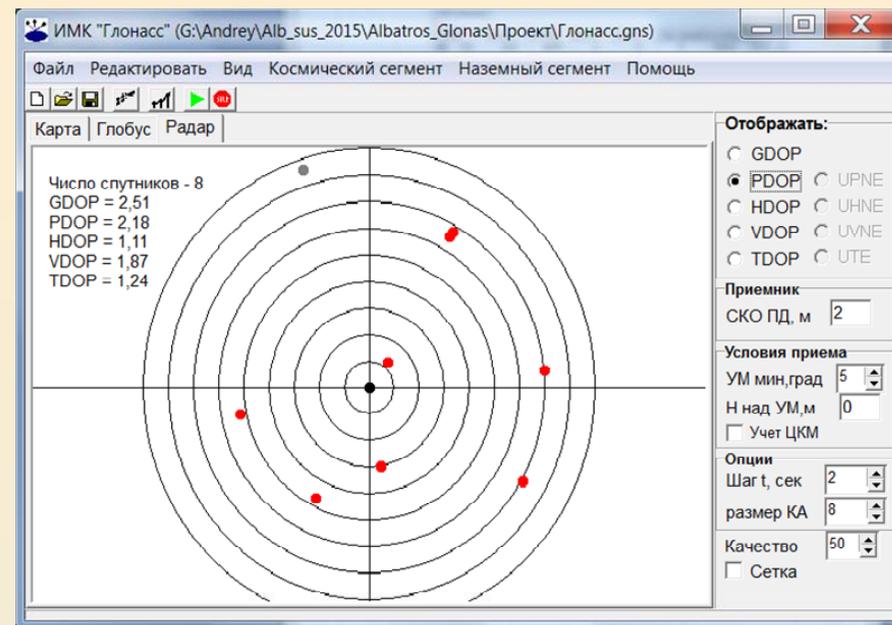
Две группировки по 3-и КА, орбита «Тундра»
Абонентские линии, Ку-диапазон



Спутниковые навигационные системы

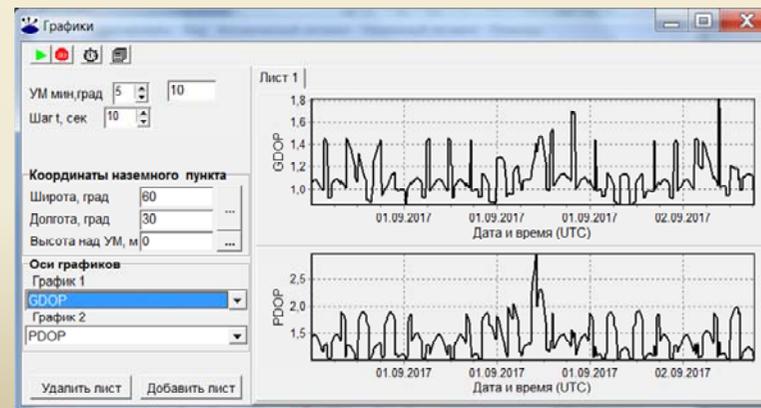


Карта мгновенного распределения значений параметра «геометрический фактор» (DOP)

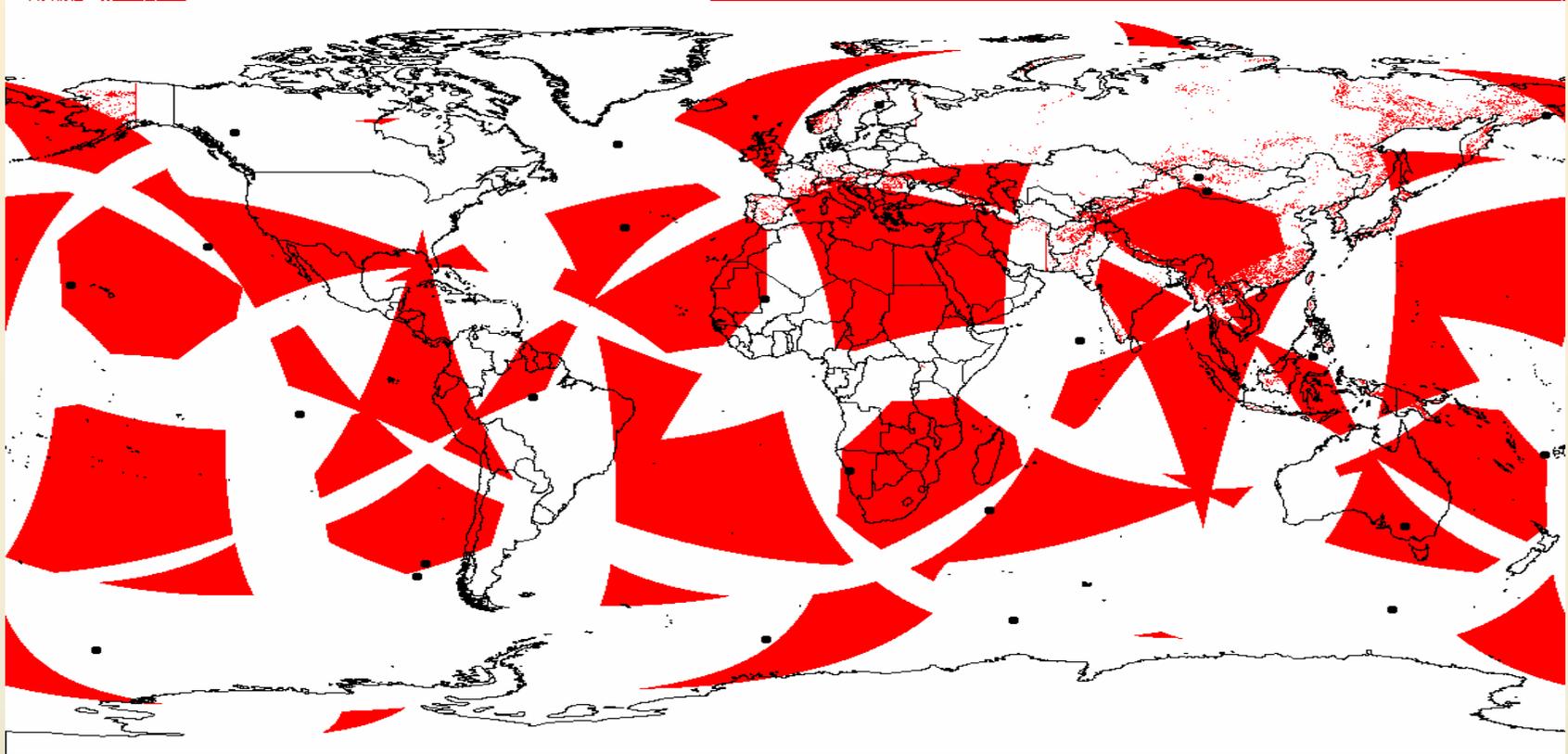


Отображение КА в режиме «Радар»

Построение графика изменения PDOP для конкретной точки

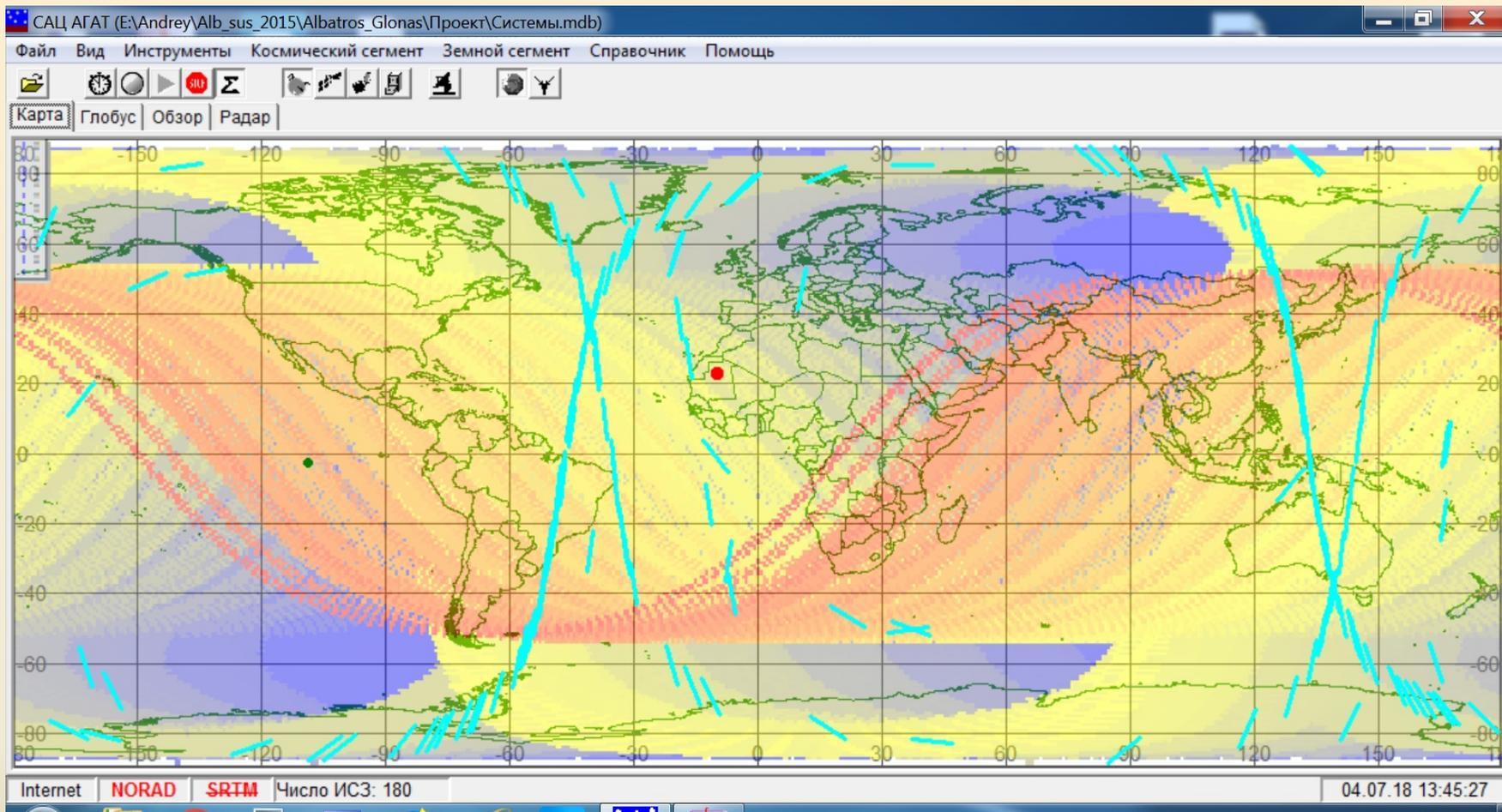


Результаты моделирования работы ГНСС с учетом цифровых карт местности

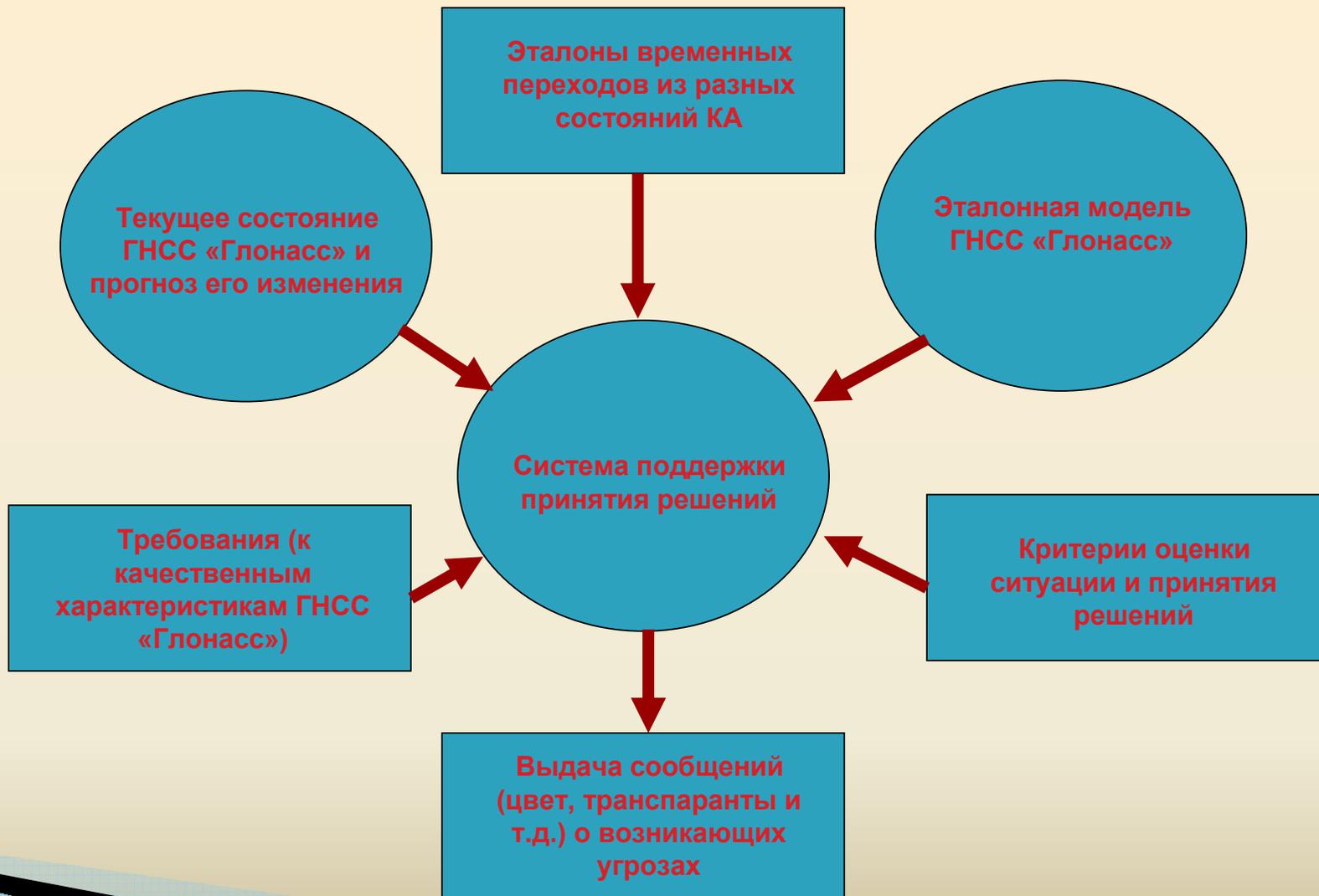


Минимальный УМ > 5 град, учет перекрытий КА рельефом местности

Пример: оценка минимального, максимального и среднего временных интервалов прохода КА разнородной группировки ДЗЗ территории Земли с учетом углов захвата целевой аппаратуры. Цвет – значение интервала времени



Моделирование в задачах поддержки принятия решений:
принципы формирования предупреждающих сообщений



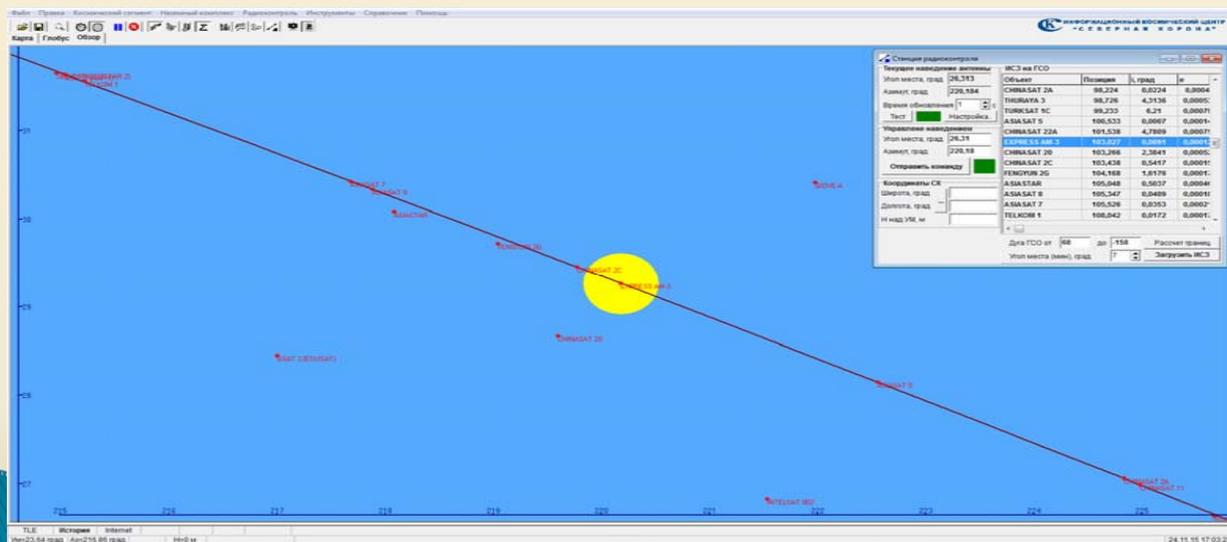


Моделирование в задачах радиоконтроля спутниковых служб

Опыт проработки ситуационного центра в составе РЧЦ ЦФО (СРК г. Хабаровск)

Ситуационный центр в составе СК «Хабаровск» обеспечивает:

- интерактивное отображение ситуации «в луче» антенны, в том числе при изменении ее углового положения;
- оперативный расчет данных целеуказания и выдачу команды наведения;
- автоматическое формирование команды наведения путем указания мышкой на плане объекта контроля (КА);
- ситуационное представление обстановки при планировании и проведении процедур радиоконтроля;
- информационная поддержка (частотно-поляризационный планы, допустимое положение на ГСО и т.д.)



Вид экрана в ситуационном центре



Станция радиоконтроля (г.Хабаровск)



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