



Опыт применения САПР "Альбатрос" в задачах анализа, расчета и моделирования спутниковых систем различного назначения

Гриценко Андрей Аркадьевич

Генеральный директор, кандидат технических наук

**XI Международная конференция
«Satellite Russia & CIS: Цифровые услуги на всех орбитах»**

**отель «Марриотт Новый Арбат»
Москва, ул. Новый Арбат, д. 32
10 - 11 апреля 2019 г.**



АО «Информационный Космический Центр «Северная Корона»

Более 20 лет на рынке высоких технологий!



PH-ИНФОРМ



группа компаний
РУСГАЗИНЖИРИНГ



Акционерное общество
Завод имени С.М. Кирова



ЛУКОЙЛ-ИНФОРМ
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

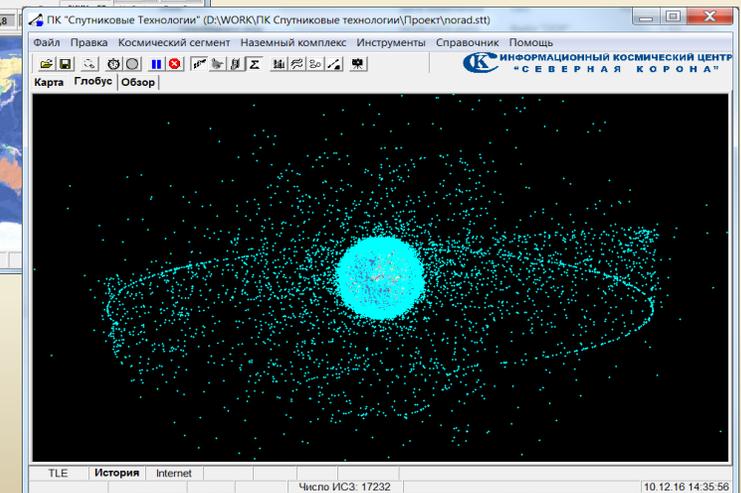
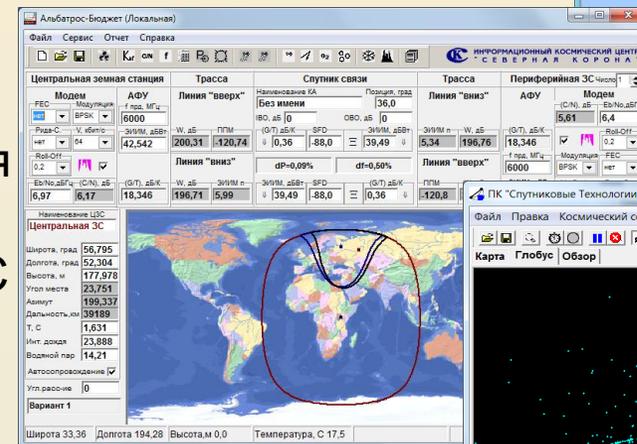
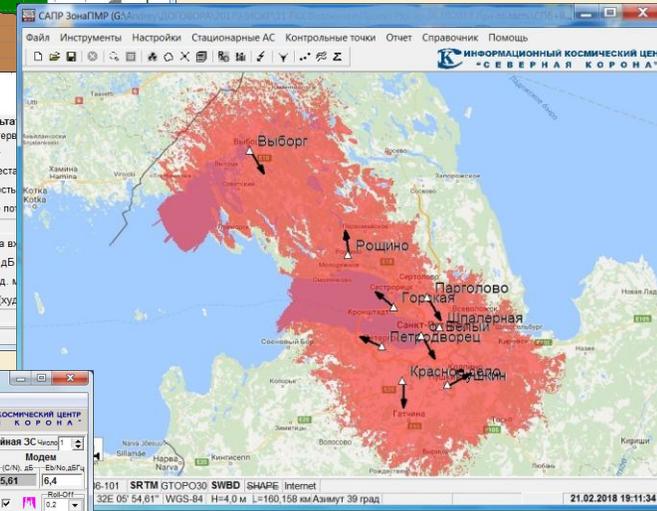
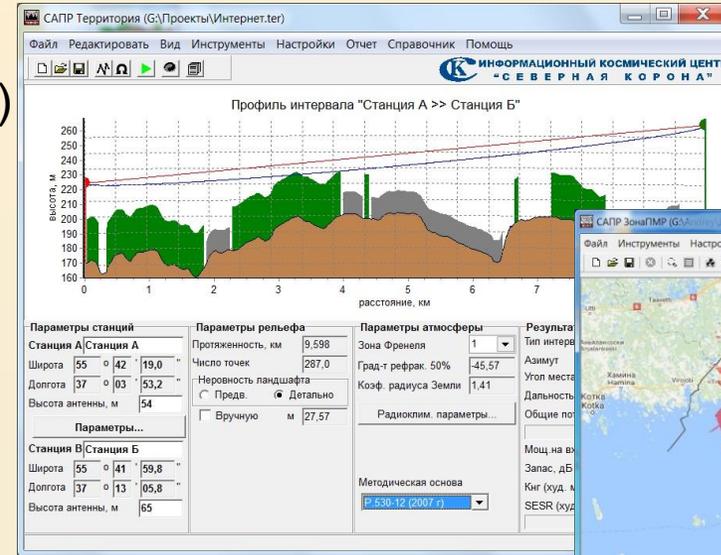
elcomplus





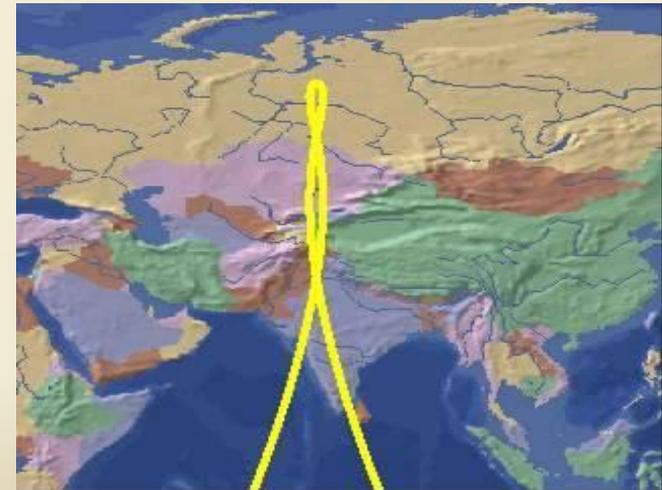
САПР «Альбатрос» - перечень ключевых программных комплексов

- ПК «Территория» - оперативный расчет линий радиосвязи (РРЛ, технологическая связь, ШБД и т.д.) в диапазоне частот от 30 МГц до 120 ГГц;
- ПК «Зона» - расчет зон радиопокрытия сетей мобильной радиосвязи (от 30 МГц);
- ПК «Бюджет» - расчет спутниковых линий радиосвязи;
- ПК «Спутниковые технологии» - экспертный анализ и планирование применения спутниковых систем различного назначения;
- ПК «БРИФИК» - анализ характеристик заявленных в БР МСЭ спутниковых сетей различного назначения
- ПК «ЭМС локальная», «ЭМС РЭС» - анализ ЭМС в локальных и распределенных группировках РЭС любого типа и оперативное принятие решений об исключении помеховых ситуаций.





Проработка спутниковых систем различного целевого назначения Орбита «Кентавр»





ПК «Альбатрос - Бюджет»

Назначение – расчет спутниковых радиолиний в диапазоне от 300 МГц до 120 ГГц для любых типов орбит

Альбатрос-Бюджет (Локальная)

Файл Сервис Отчет Справка

ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
"СЕВЕРНАЯ КОРОНА"

Центральная земная станция		Трасса		Спутник связи		Трасса		Периферийная ЗС	
Модем	АФУ	Линия "вверх"	Наименование КА	Позиция, град	Линия "вниз"	АФУ	Модем	Число	
FEC: нет	Модуляция: BPSK	f прд, МГц: 6000	Без имени	36,0	Линия "вниз"	(C/N), дБ: 5,61	Ев/No, дБГц: 6,4	1	
Ридд-С: нет	V, кбит/с: 64	ЗИИМ, дБВт: 42,542	ИВО, дБ: 0	ОВО, дБ: 0	Линия "вверх"	f прд, МГц: 6000	Roll-Off: 0,2		
Roll-Off: 0,2		W, дБ: 200,31	SFD: -88,0	ЗИИМ, дБВт: 39,49	Линия "вверх"	(G/T), дБ/К: 18,346	Модуляция: BPSK		
		ПГМ: -120,74	df=0,09%	df=0,50%	Линия "вверх"	W, дБ: 196,76	FEC: нет		
					Линия "вверх"	ЗИИМ, дБВт: 42,542	Ридд-С: нет		
Ев/No, дБГц: 6,97	(C/N), дБ: 6,17	W, дБ: 18,346	ЗИИМ, дБВт: 39,49	SFD: -88,0	Линия "вверх"	(G/T), дБ/К: 18,346	V, кбит/с: 64		
		W, дБ: 196,71	ЗИИМ, дБВт: 5,99	(G/T), дБ/К: 0,36	Линия "вверх"	ПГМ: -120,8	Ридд-С: нет		
					Линия "вверх"	W, дБ: 200,36			

Наименование ЦЗС: Центральная ЗС

Широта, град: 56,795
Долгота, град: 52,304
Высота, м: 177,978
Угол места: 23,751
Азимут: 199,337
Дальность, км: 39189
Т, С: 1,631
Инт. дождя: 23,888
Водяной пар: 14,21
Автосопровождение:

Угол места мин, град: 7
КРУ по уровню минус: 3

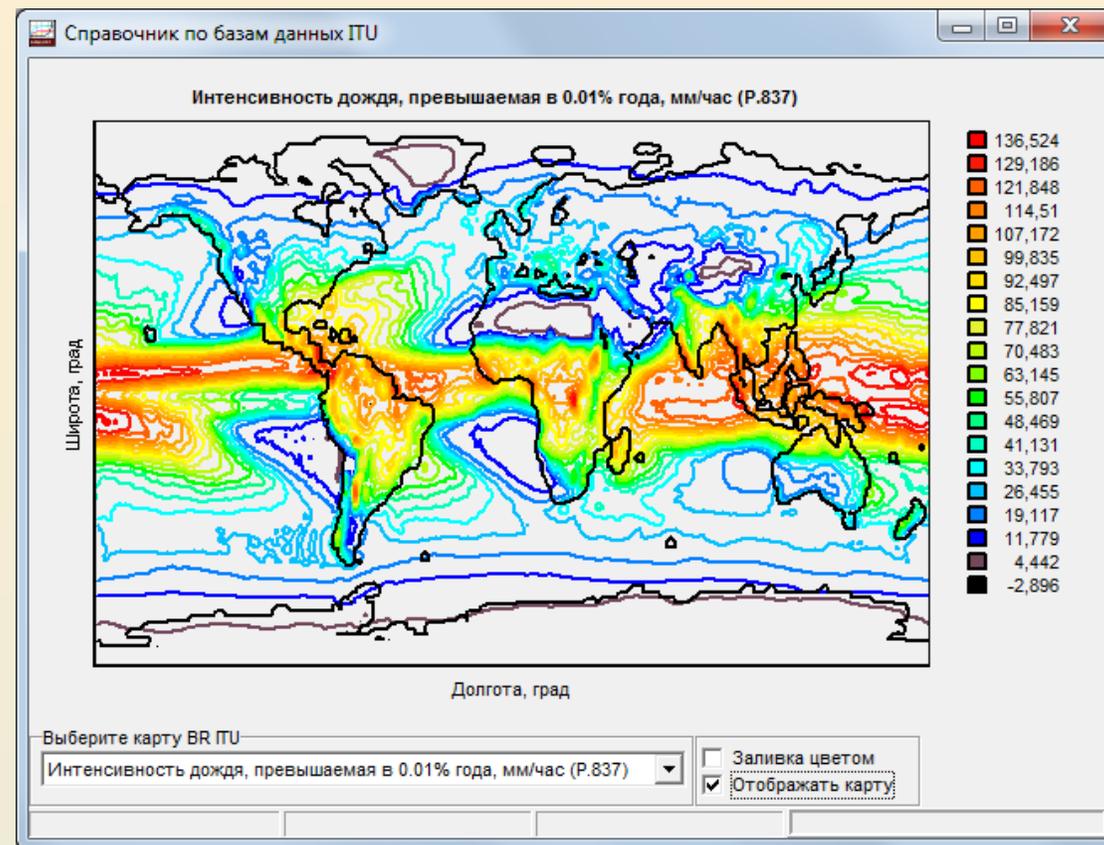
Наименование ПЗС: Периферийная ЗС

Широта, град: 60,0
Долгота, град: 36,0
Высота, м: 162,0
Угол места: 21,933
Азимут: 180,0
Дальность, км: 39364
Т, С: 1,5
Инт. дождя: 24,35
Водяной пар: 13,139
Автосопровождение:

Угл. рас-ие: 0

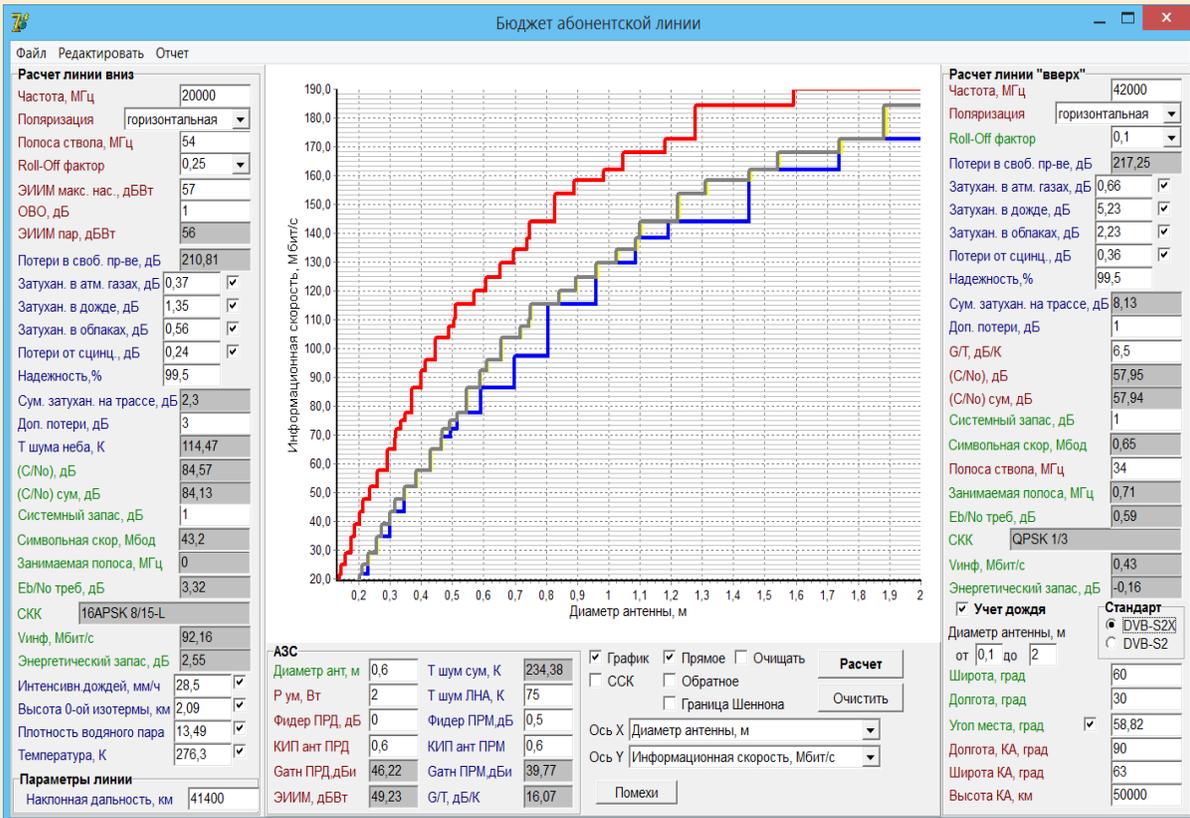
Вариант 1

Широта 33,36 Долгота 194,28 Высота, м 0,0 Температура, С 17,5 25.06.14 18:28:13

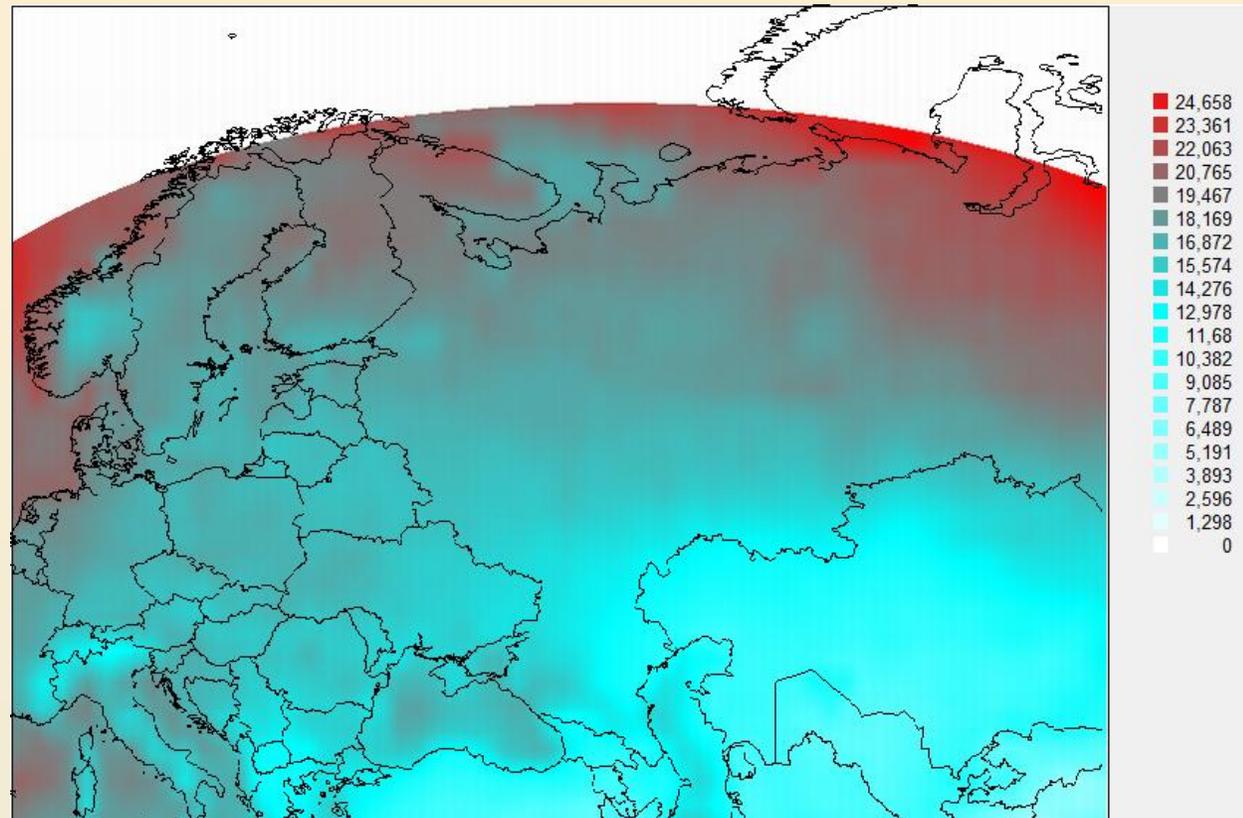




Программный комплекс «Альбатрос - Бюджет» - новая версия!



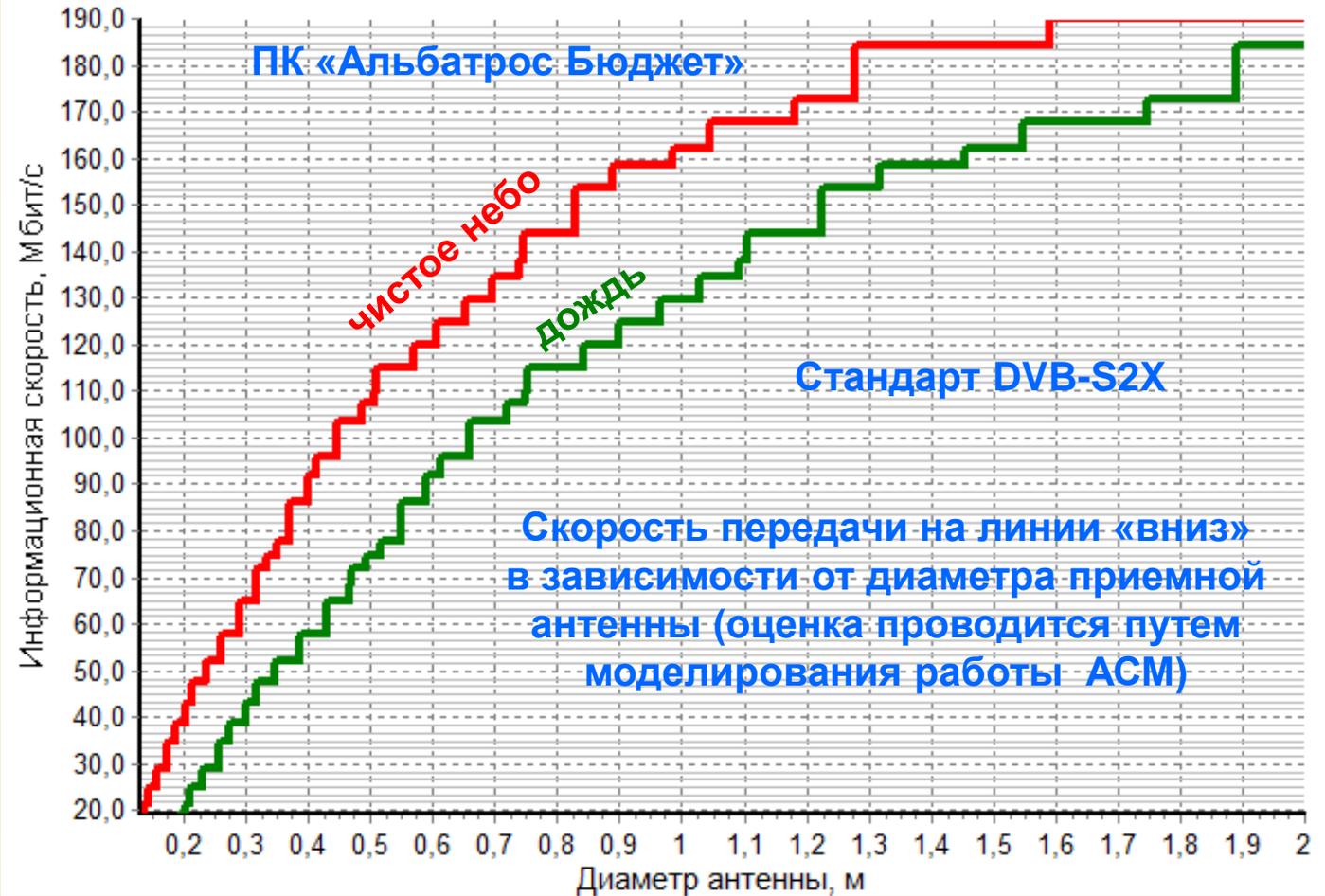
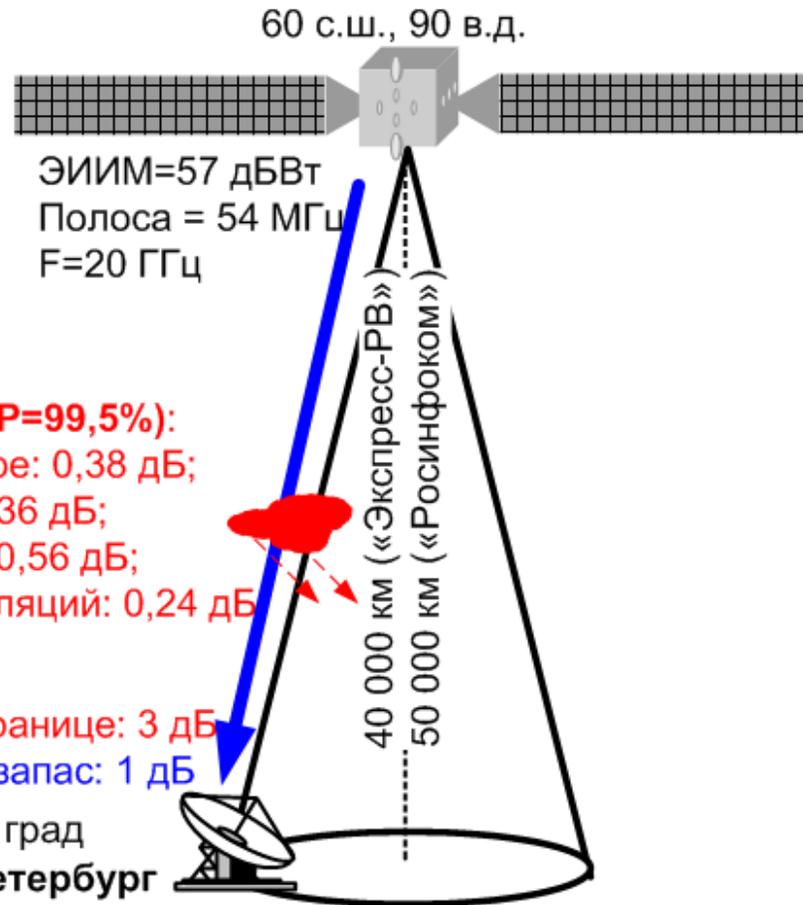
Доступная скорость потока на линии «вниз» в функции диаметра антенны абонентского терминала в условиях «чистое небо» и «дождь» для КА «Экспресс-RV»



Карта суммарных потерь (атмосферные газы, дождь, облака, сцинтилляции) на участке «Земля-Космос» для КА в позиции 45 град в.д. в диапазоне частот 43 ГГц при ограничении на угол места в 10 град и коэффициенте готовности 0.995



Оценка пропускной способности «Экспресс-РВ» и «Росинфоком ВЭО»



Вывод: пропускная способность одного луча спутников системы «Экспресс-РВ»/ «Росинфоком ВЭО» при диаметре антенн приемных станций от 0.3 м до 0.7 м составит от 40 до 100 Мбит/с в условиях дождя и от 60 до 130 Мбит/с в условиях «чистое небо».



Оценка пропускной способности системы «СКИФ»



Вывод: пропускная способность одного луча спутников системы «СКИФ» при диаметре антенн приемных станций от 1.0 до 1.8 м составит от 200 до 450 Мбит/с в условиях дождя и от 900 до 1100 Мбит/с в условиях «чистое небо»



Цифровые карты

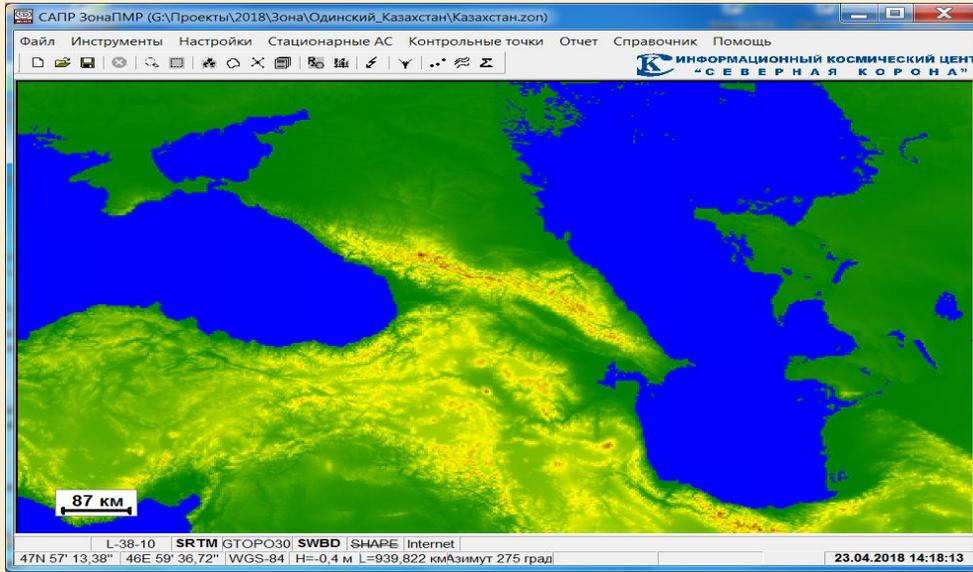


Рис.1 Цифровые карты местности (SRTM3)

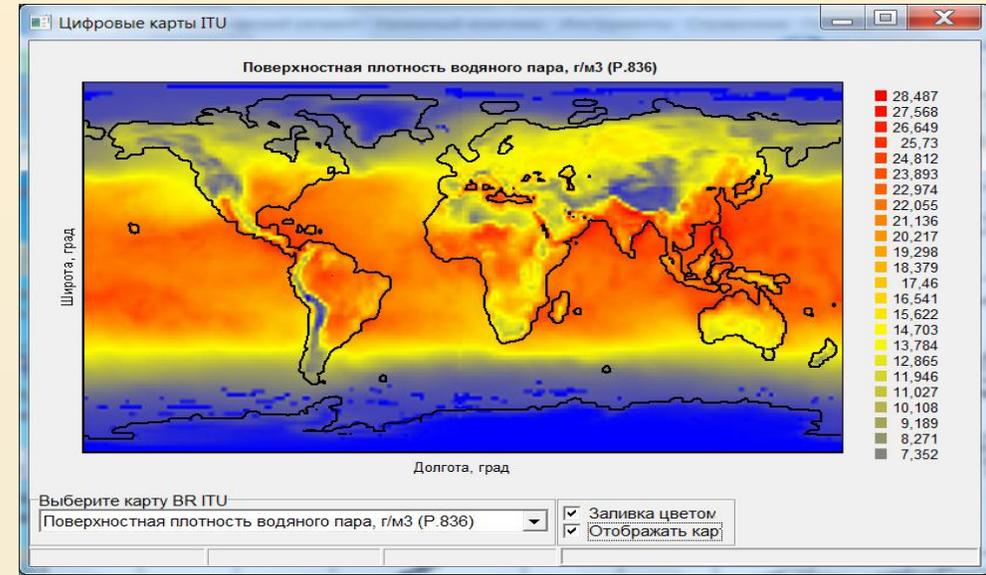


Рис.2 Плотность водяного пара

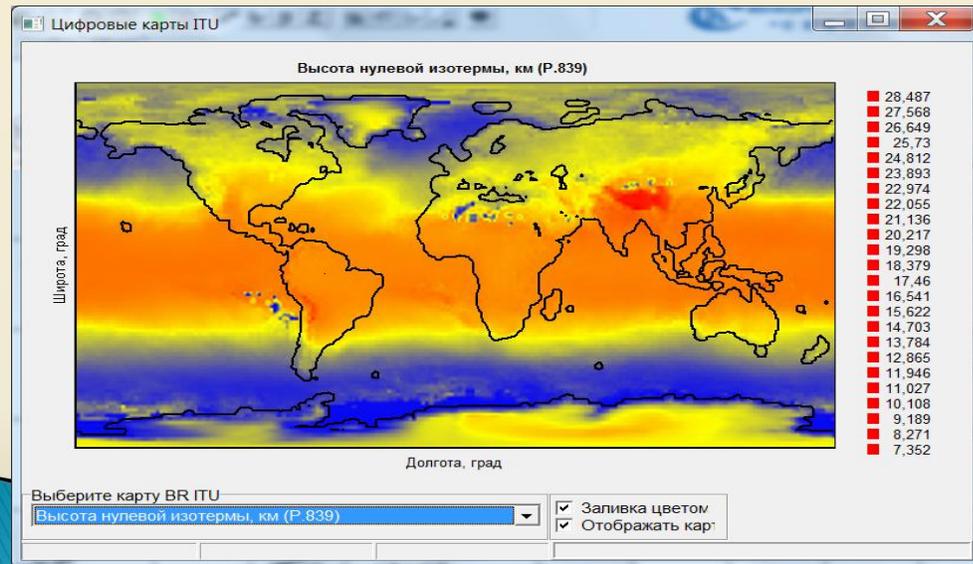


Рис.3 Высота нулевой изотермы

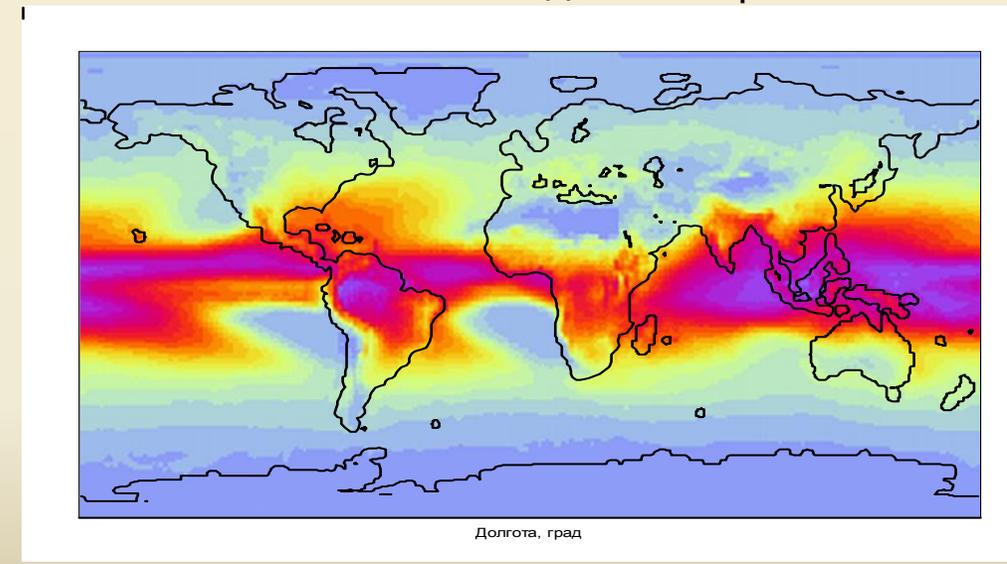
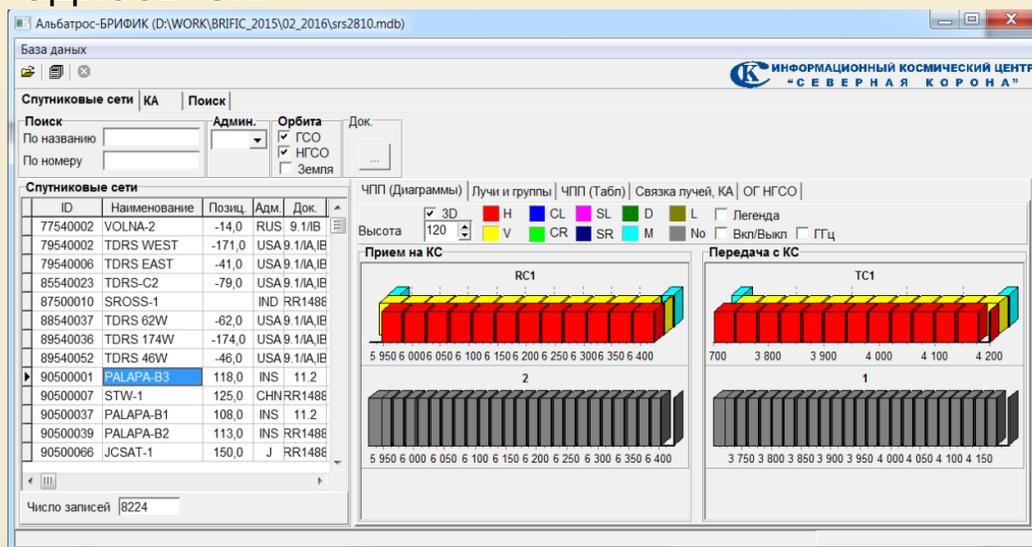


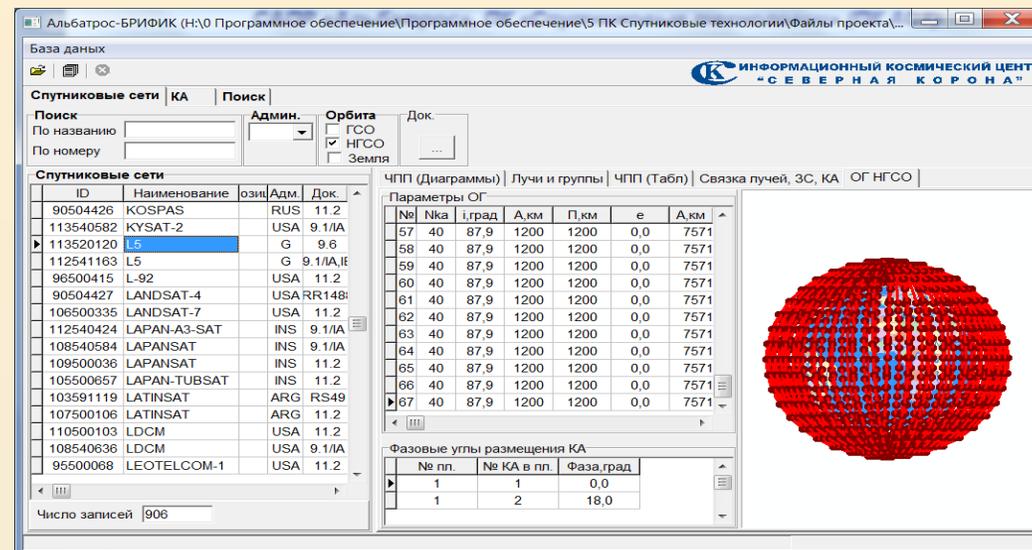
Рис.4 Карта потерь на участке «К-3» (УМ=90 град, P=99.5%)

Программный комплекс «Альбатрос - БРИФИК»

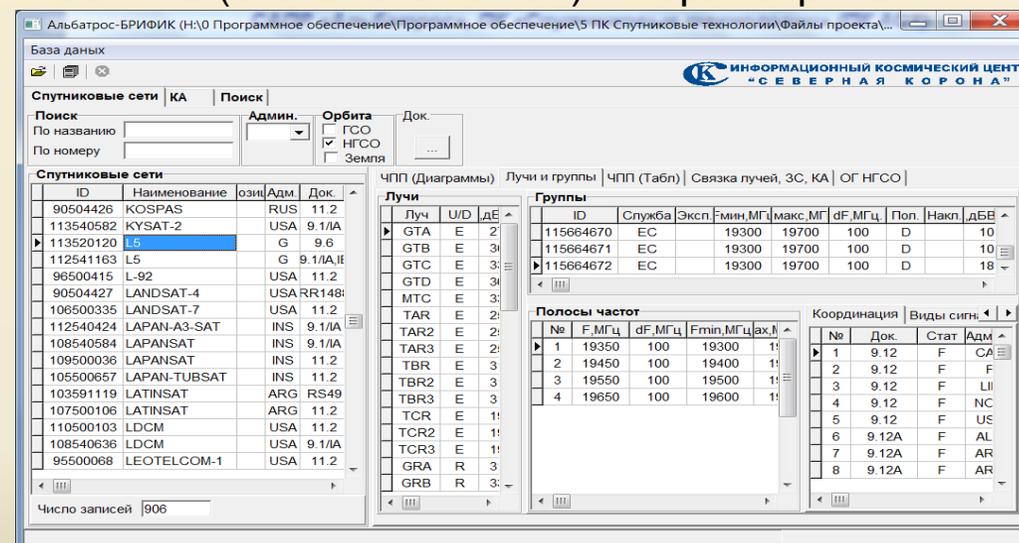
Назначение - оперативный анализ действующих и перспективных систем и сетей спутниковой связи, вещания, навигации, ДЗЗ по информации, представленной в Международном Справочном Регистре Частот (МСРЧ, BRIFIC), в Международных Информационных Частотных Циркулярах (IFIC), в Приложениях 30 и 30A (Appendices 30&30A BSS Plan) и в Приложении 30B (Appendix 30B FSS Plan) к Регламенту Радиосвязи.



Частотно-поляризационный план (ЧПП)



Сеть L5 (система OneWeb) – параметры ОГ



Сеть L5 (система OneWeb): ЧПП в табличной форме



САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

В состав ПК АСТ входят:

- частный каталог ИСЗ (более 40 тыс. объектов) ;
- пользовательская БД ИСЗ;
- пользовательская БД наземных РЭС.

Частный каталог ИСЗ включает как текущие актуальные данные (обновляемые online) по всем ИСЗ, так и историю изменения баллистических данных по каждому ИСЗ.

Пользовательская БД ИСЗ ведется и наполняется оператором. Поддерживается перенос данных из частного каталога ИСЗ, а также автоматическое формирование орбитальных структур с использованием встроенного сервиса «синтез орбитальных группировок»

Объект	NORAD	COSPAR	Дата запуска	ДВУ АГСК	ДВУ ОГСК	N об/сутки	Наклонение	Эксцентриситет	Аргумент пер. ния	н
NOAA 16 DEB	41664	2000-055PD	21.09.2000	269.908	-11.329	14.16284264	98.9205	0.0023142	132.7691	2
NOAA 16 DEB	41665	2000-055PE	21.09.2000	264.4897	-32.286	14.04435246	98.9108	0.0040839	309.8742	4
TBA - TO BE ASSIGNED	41666	2000-055PF	01.01.2000	262.8133	97.804	14.18137895	98.9043	0.0031754	213.6957	1
NOAA 16 DEB	41667	2000-055PG	21.09.2000	271.3317	-17.11	14.17786209	98.8973	0.0033653	138.1569	2
NOAA 16 DEB	41668	2000-055PH	21.09.2000	271.1513	-174.767	14.20218901	98.9289	0.0055369	193.7589	1
NOAA 16 DEB	41669	2000-055PI	21.09.2000	268.2793	178.012	14.36236339	98.8305	0.00322	213.0331	1
PROGRESS MS-03	41671									
SL-4 R/B	4167									
TBA - TO BE ASSIGNED	41674									
TBA - TO BE ASSIGNED	41675									
TBA - TO BE ASSIGNED	41676									

Текущая ситуация в Космосе (более 20 тыс. ИСЗ)

КА	A, км	i, град	e	ДВУ, град	Apr. пер. град	Мср. град	Эпоха
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	252	24.04.2016 16
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	261	24.04.2016 16
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	270	24.04.2016 16
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	279	24.04.2016 16
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	288	24.04.2016 16
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	297	24.04.2016 16
OneWeb_720	7571	87,9	0	-173,4	0	306	24.04.2016 16

Система OneWeb (проект)



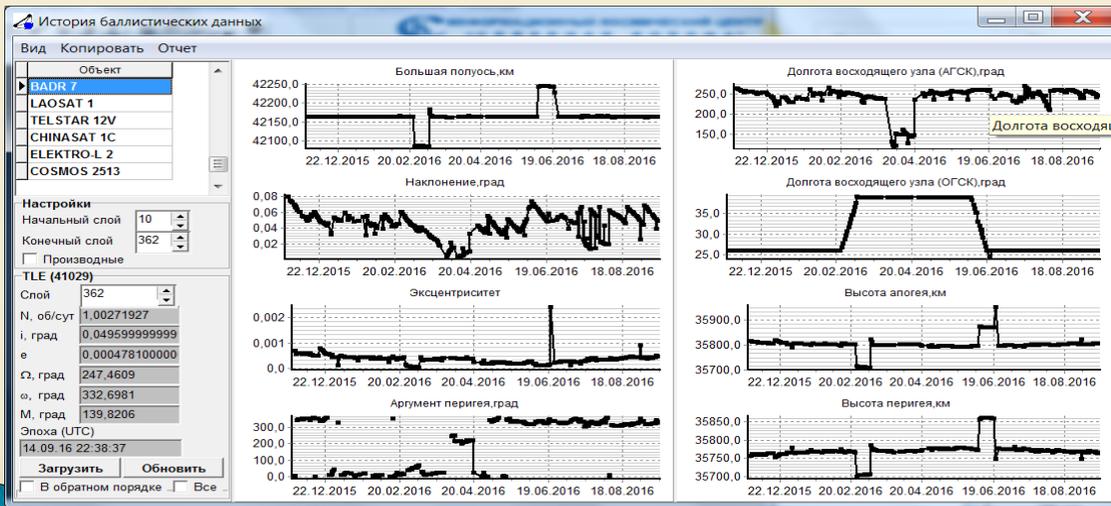
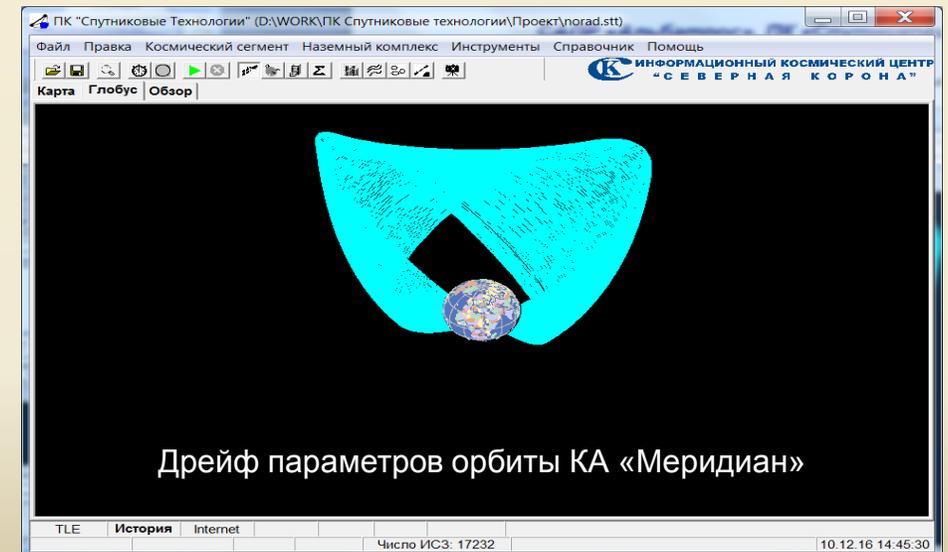
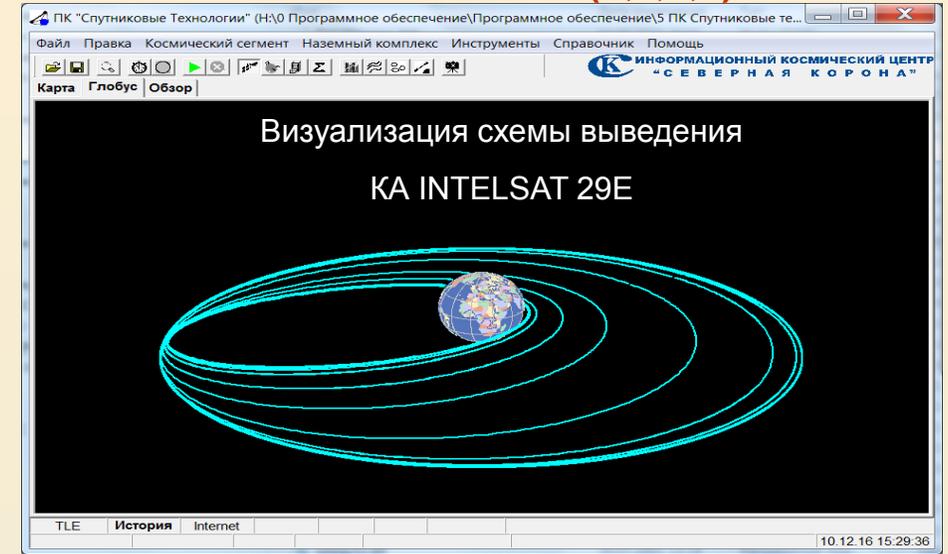
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Частный каталог содержит данные истории изменения параметров орбит ИСЗ (полученных по результатам траекторных измерений)

Это позволяет проводить:

- анализ деградации параметров орбит вследствие внешних возмущающих факторов;
- анализ работы систем коррекции орбит КА;
- анализ схем выведения КА, а также развертывания, восполнения и захоронения КА многоспутниковых группировок;
- верификацию моделей возмущенного движения;
- анализ изменения состояния орбитальных группировок;
- оценку потребного запаса характеристической скорости/или рабочего тела на удержании параметров орбит и др.

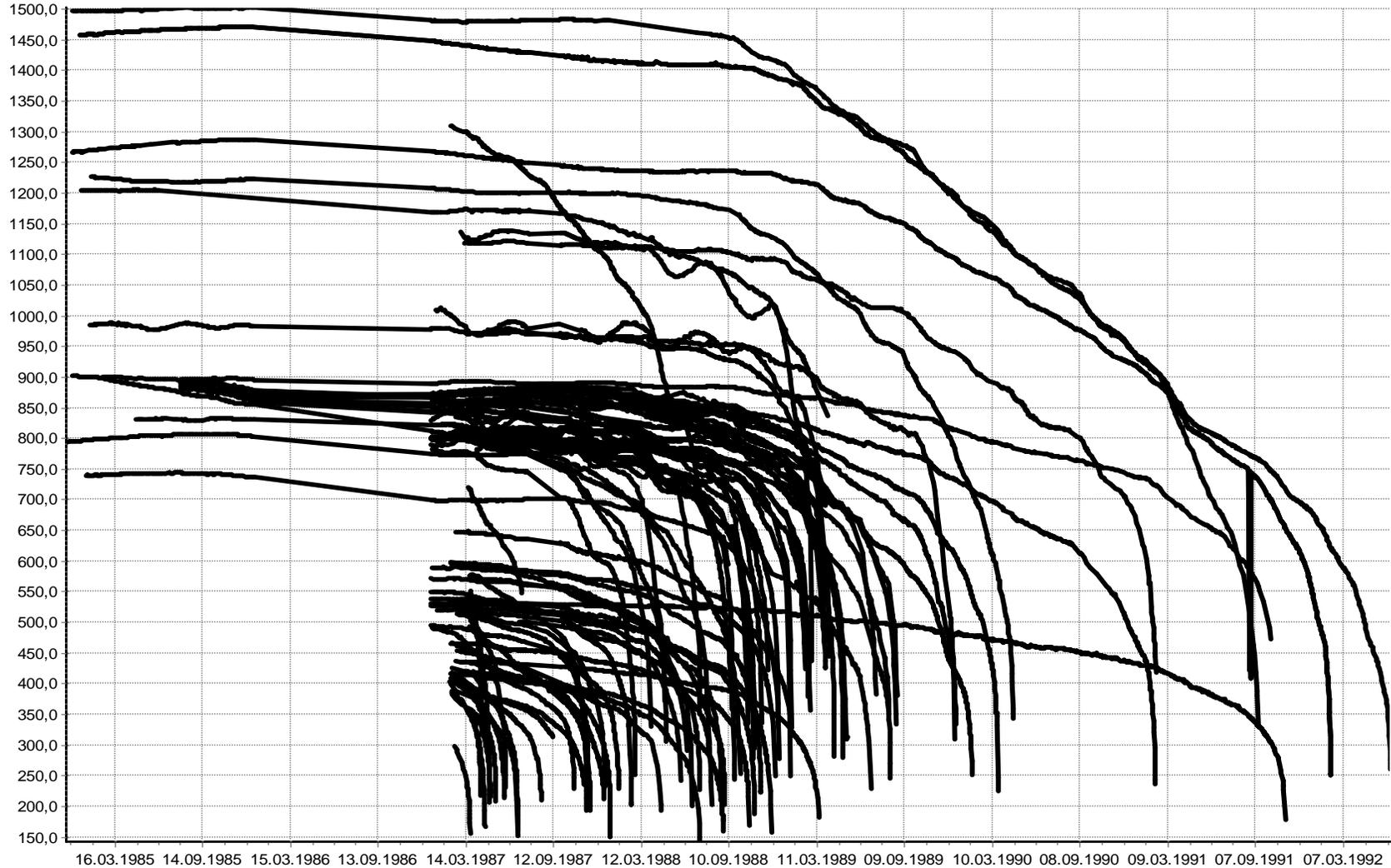
Технология 4D (X,Y,Z,T)



Графики изменения параметров орбит – перевод КА BADR-7 из позиции 26 в.д. в позицию 39 в.д. и обратно



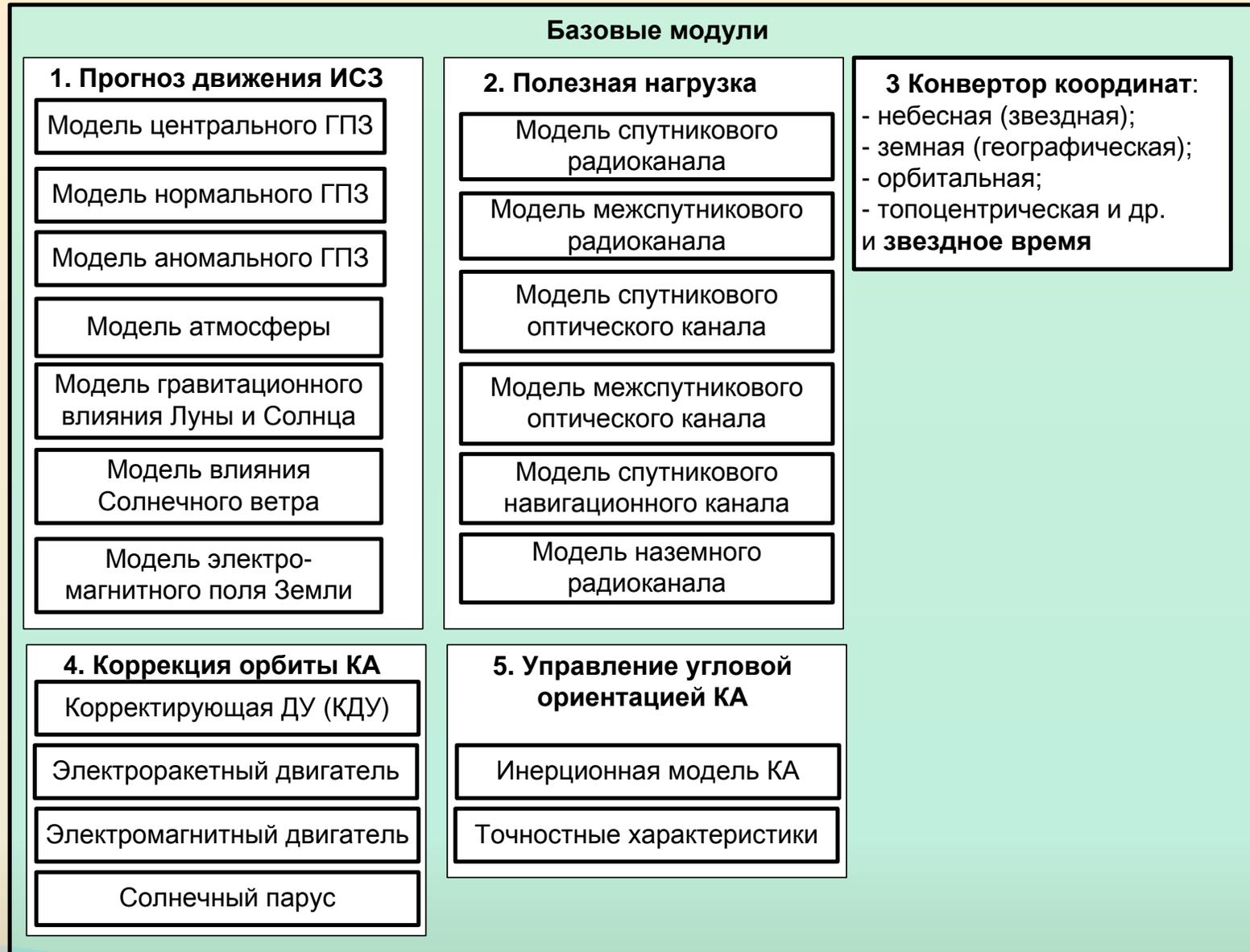
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)



Графики изменения высоты орбиты неуправляемых космических объектов на интервале 1985 г – 1992 г

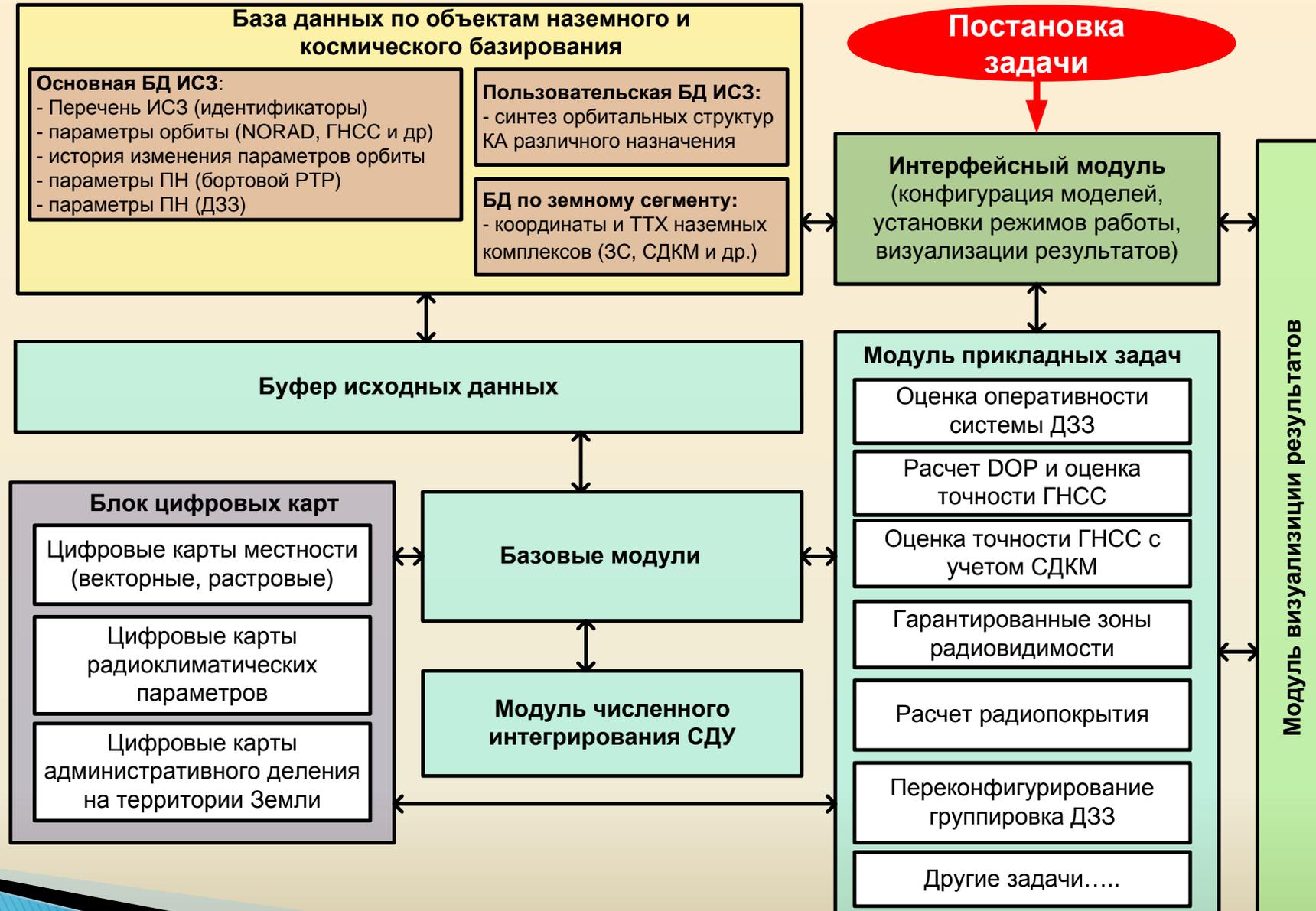


САПР «Альбатрос» - структура ПК «Спутниковые технологии»





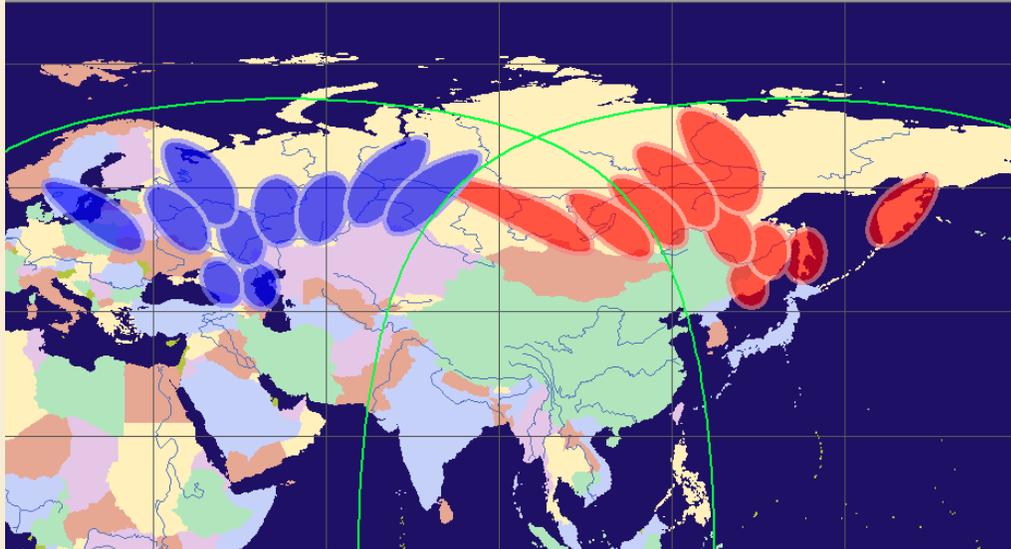
САПР «Альбатрос» - структура ПК «Спутниковые технологии»



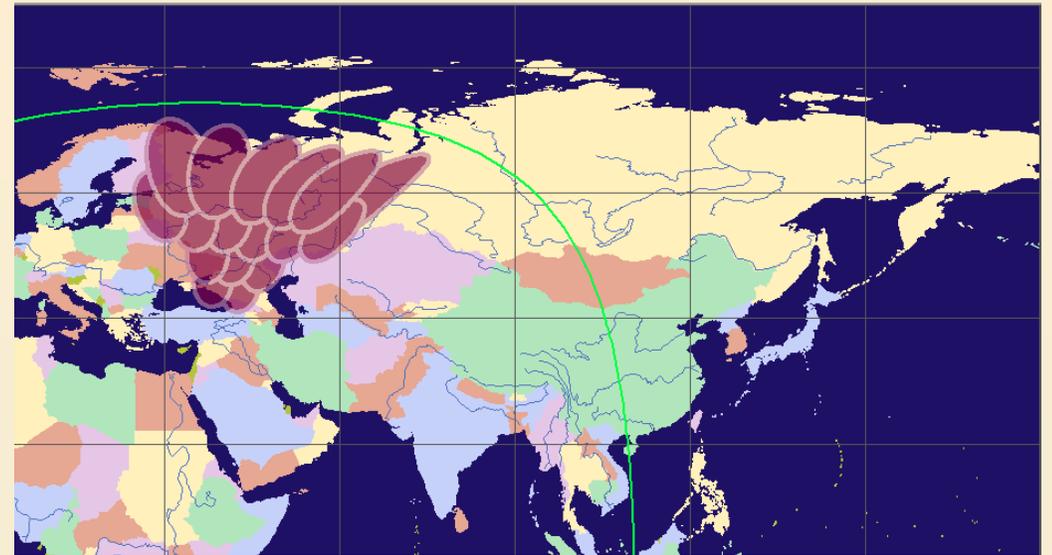


Российская орбитальная группировка GEO HTS KA «Экспресс» и «Ямал»

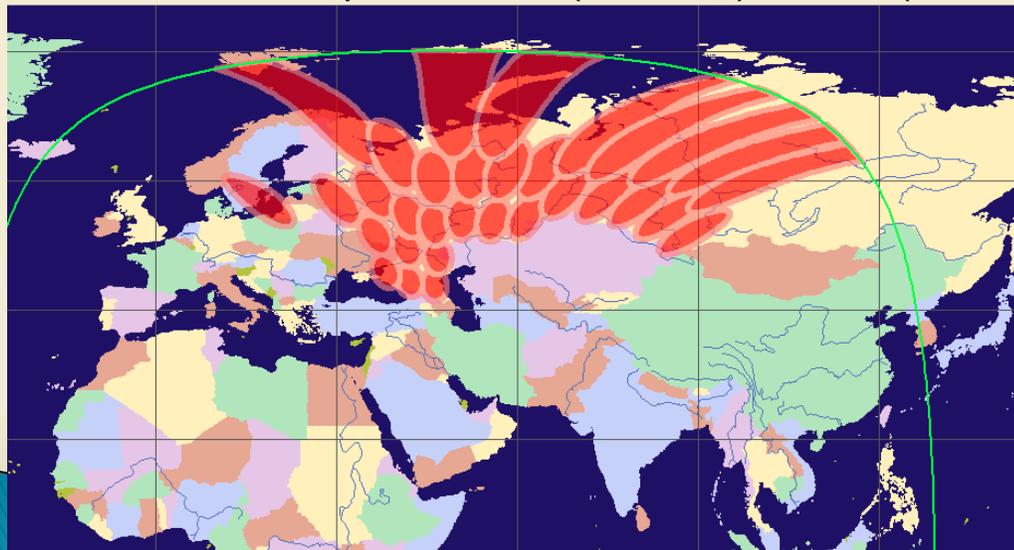
Ка-диапазон, ЭИИМ макс 61 дБВт



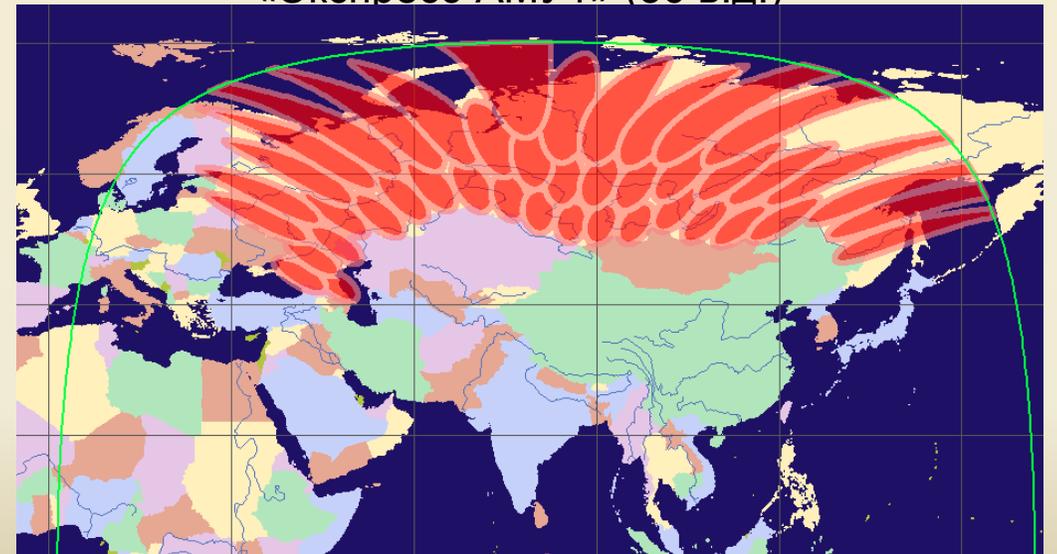
КА «Экспресс» AM5 (140 в.д.) и AM6 (53



«Экспресс-АМУ1» (36 в.д.)



«Ямал 601» (19 в.д.) запуск в 2019 г

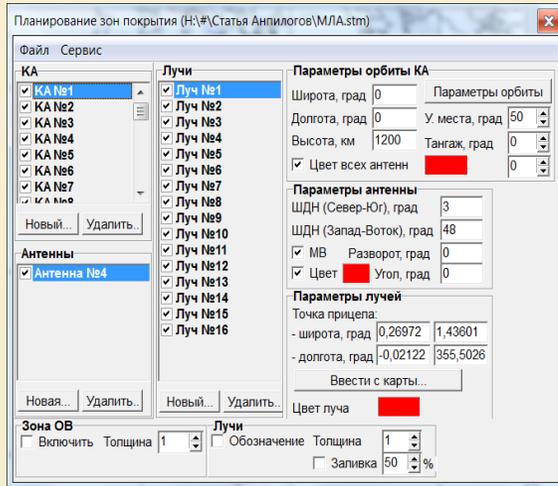


«Ямал-501» 81.75° в.д., запуск в 2020 г

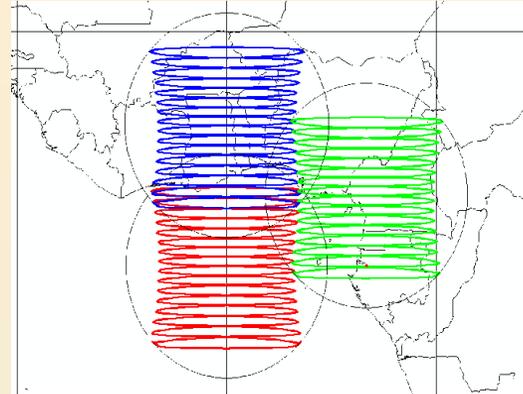


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

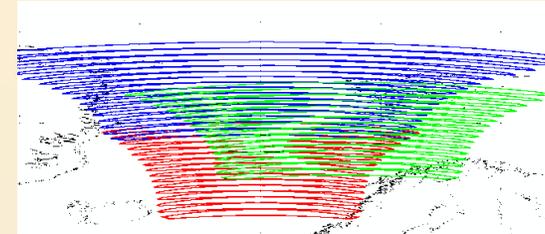
Система OneWeb – формирование многолучевого покрытия



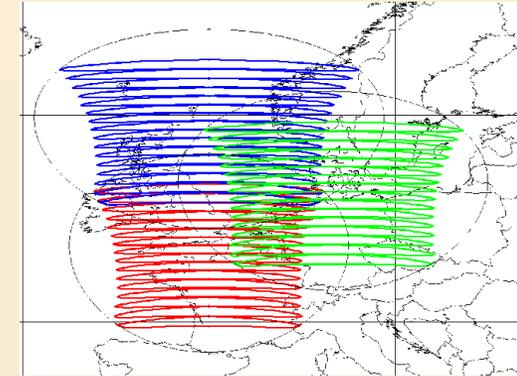
Ввод исходных данных для анализа многолучевого покрытия



Тройка спутников на экваторе

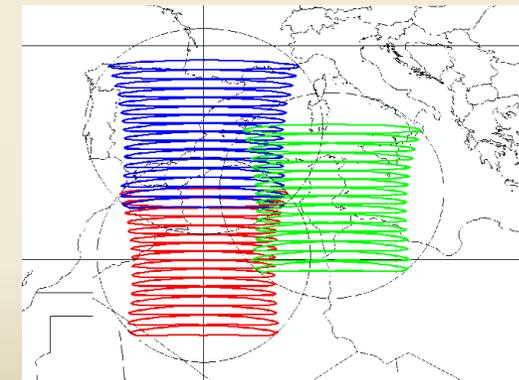
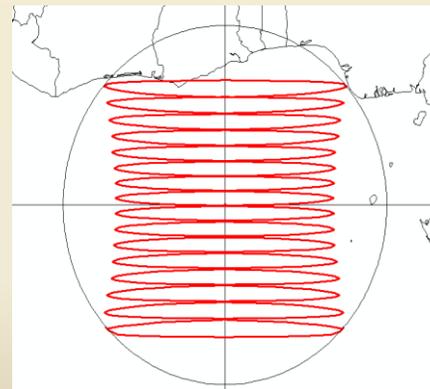


Тройка спутников на широте 70 град

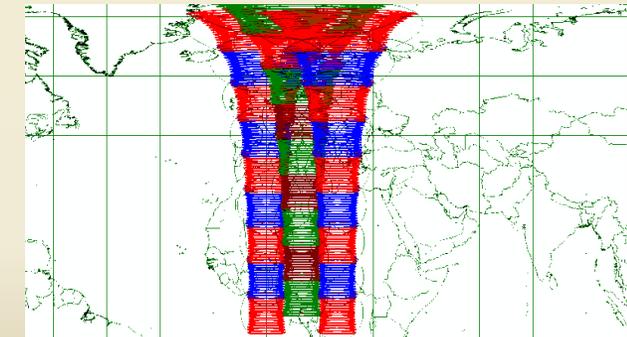


Тройка спутников на широте 50 град

Многолучевое покрытие в пределах зоны радиовидимости по УМ=55 град



Тройка спутников на широте 30 град



Три плоскости

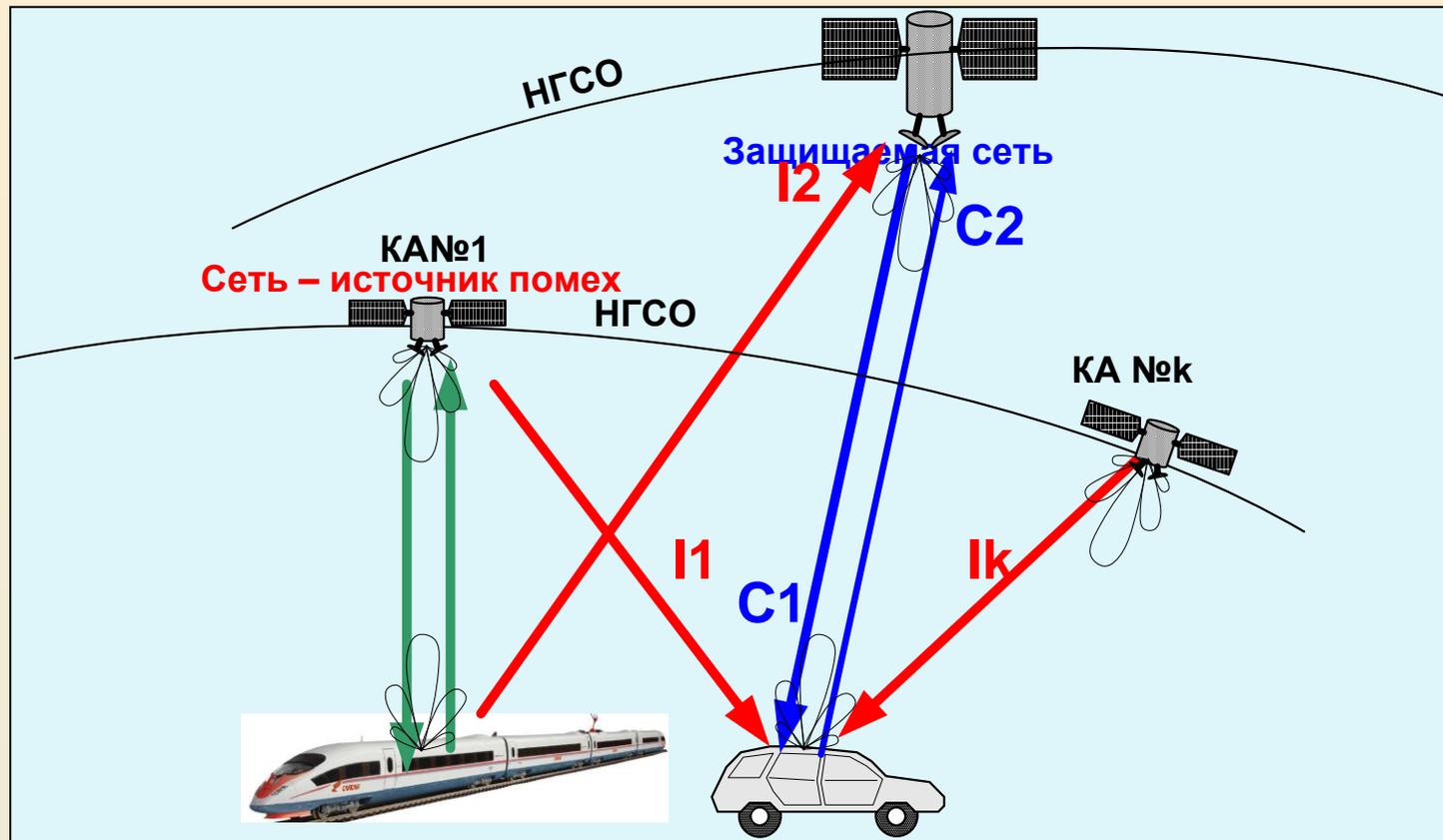
Оценка ЭМС НГСО – РЭС ФСС, РСС и ФС и других служб радиосвязи:

- 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

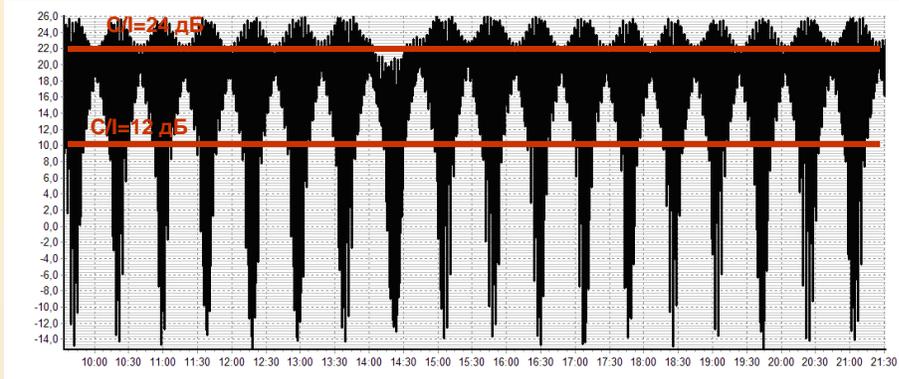
Обеспечение ЭМС НГСО – НГСО ???



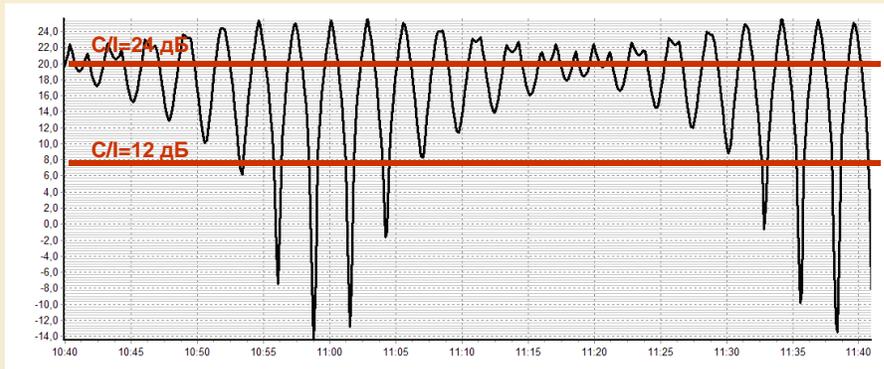
Типовой сценарий возникновения помеховых ситуаций НГСО-НГСО



Анализ ЭМС спутниковых сетей (проблема помех НГСО систем)



А) на интервале 12 ч



Б) на интервале 1 ч

Рис.1 Отношение C/I (дБ) на входе приемника абонентской станции (с антенной 40 см) системы «Экспресс-РВ» от спутников системы OneWeb при работе в сопряженной полосе частот

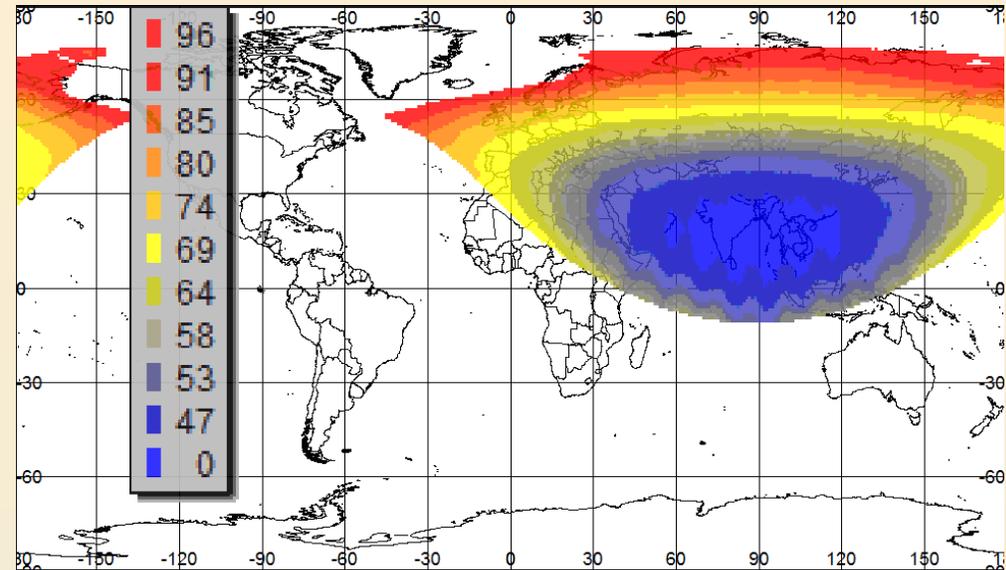


Рис.2 Распределение вероятности помех для абонентской станции с антенной 40 см системы «Экспресс-РВ»

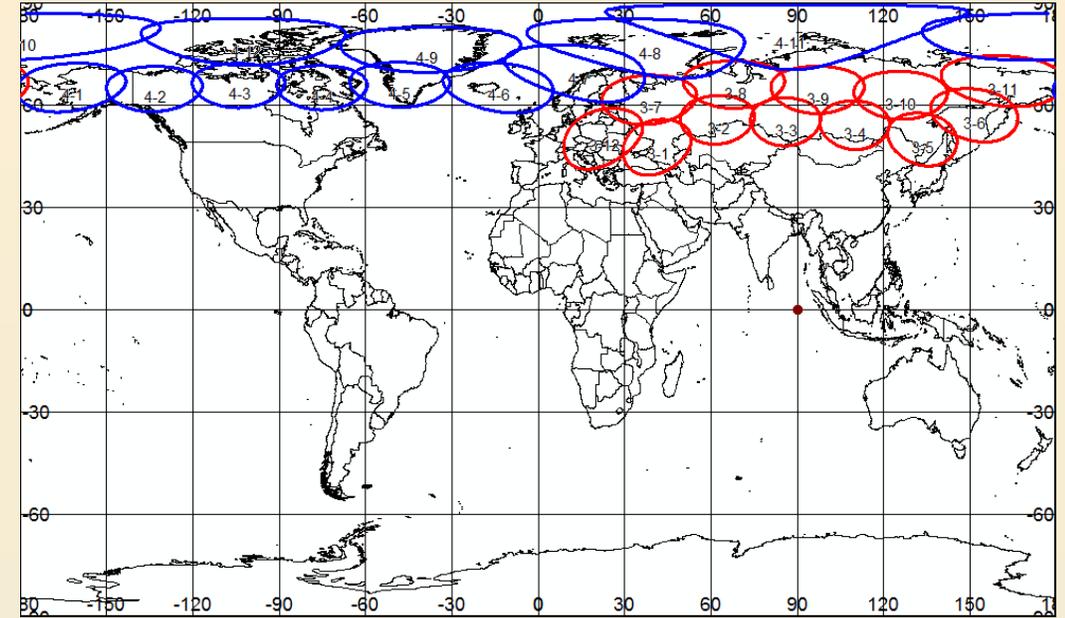
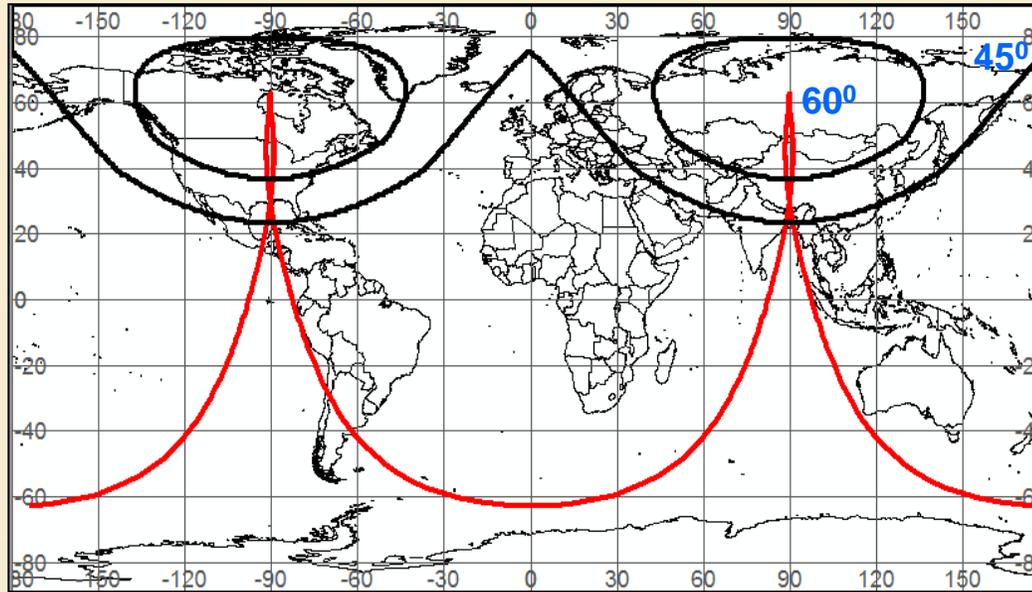
Некоторые выводы:

- НГСО системы, работающие в сопряженной полосе частот, будут/могут создавать недопустимые помехи друг другу;
- обеспечение ЭМС НГСО 2-х систем возможно при детальной проработке возможных условий их совместного функционирования;
- обеспечение ЭМС нескольких НГСО систем, работающих в сопряженной полосе частот, трудно реализуемо.



Проект «Экспресс-РВ» ФЦП «СФЕРА»

Базовая орбита – «Молния», рабочий диапазон - Ки

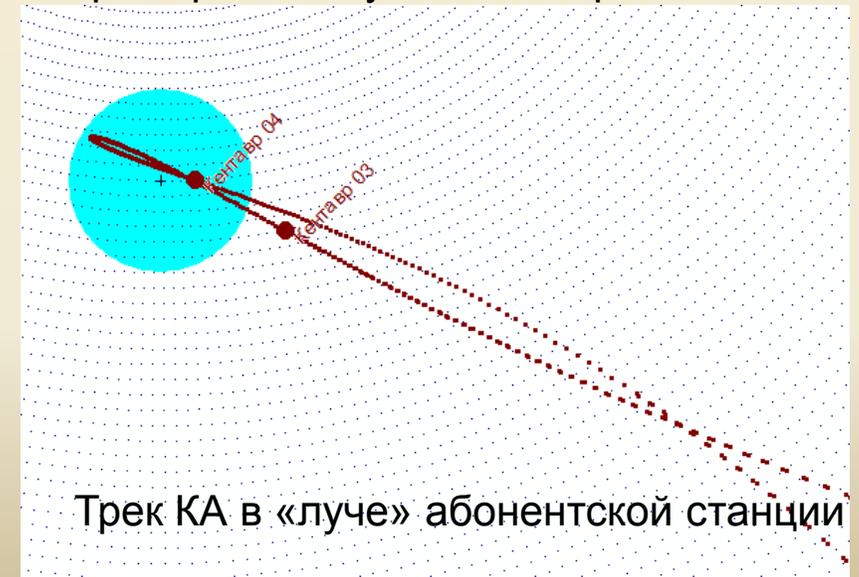


ГЗРВ системы (УМ=45 и 60 град)

Пример многолучевого покрытия

Система «Экспресс-РВ»:

- 12-ть Ки-лучей 2.75x2.75 град
- ЭИИМ макс луча: 57 дБВт;
- полоса 54 МГц
- диаметр антенны АС: 0.7 м

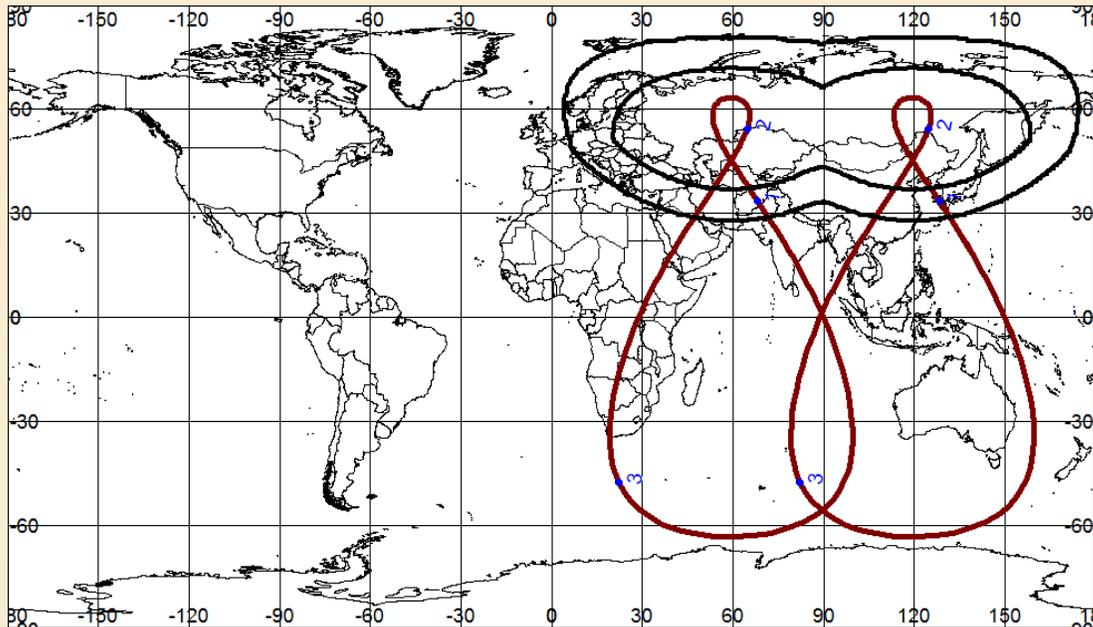


Трек КА в «луче» абонентской станции



Проект «Росинфоком ВЭО»

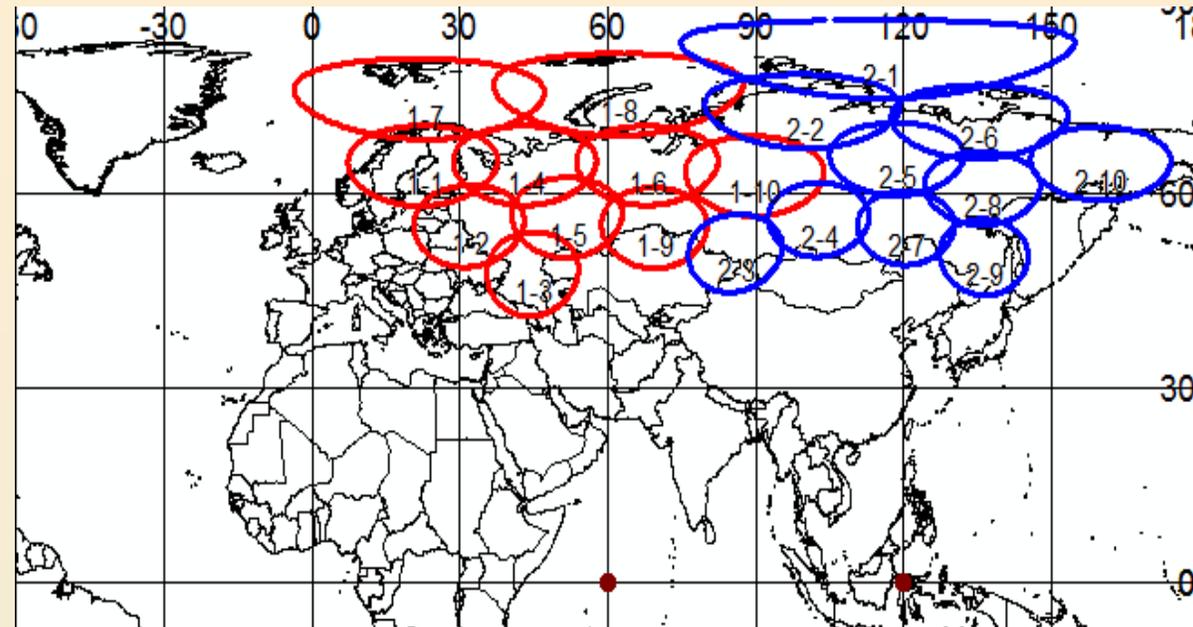
Базовая орбита – «Тундра», рабочий диапазон - Ки



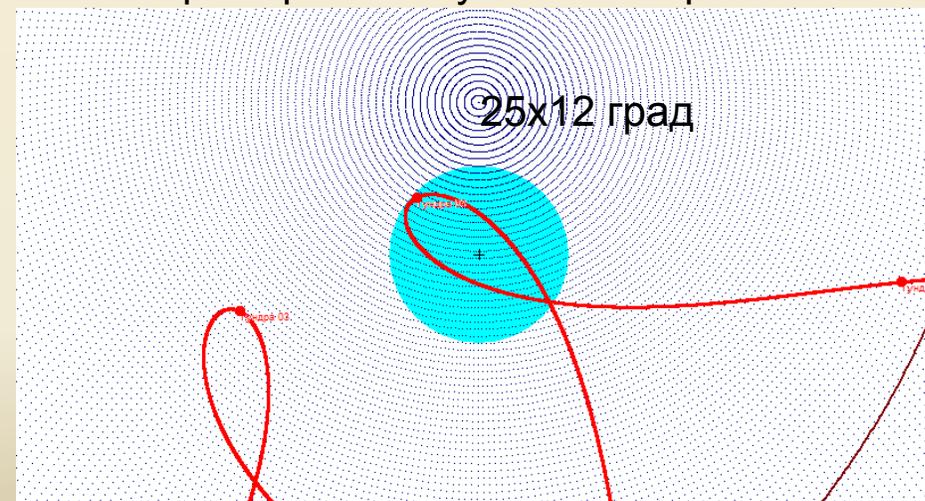
ГЗРВ системы (УМ=50 и 60 град)

Параметры БРТК:

- 10-ть Ки-лучей (2x2 град)
- ЭИИМ макс луча 57 дБВт;
- полоса ствола 54 МГц



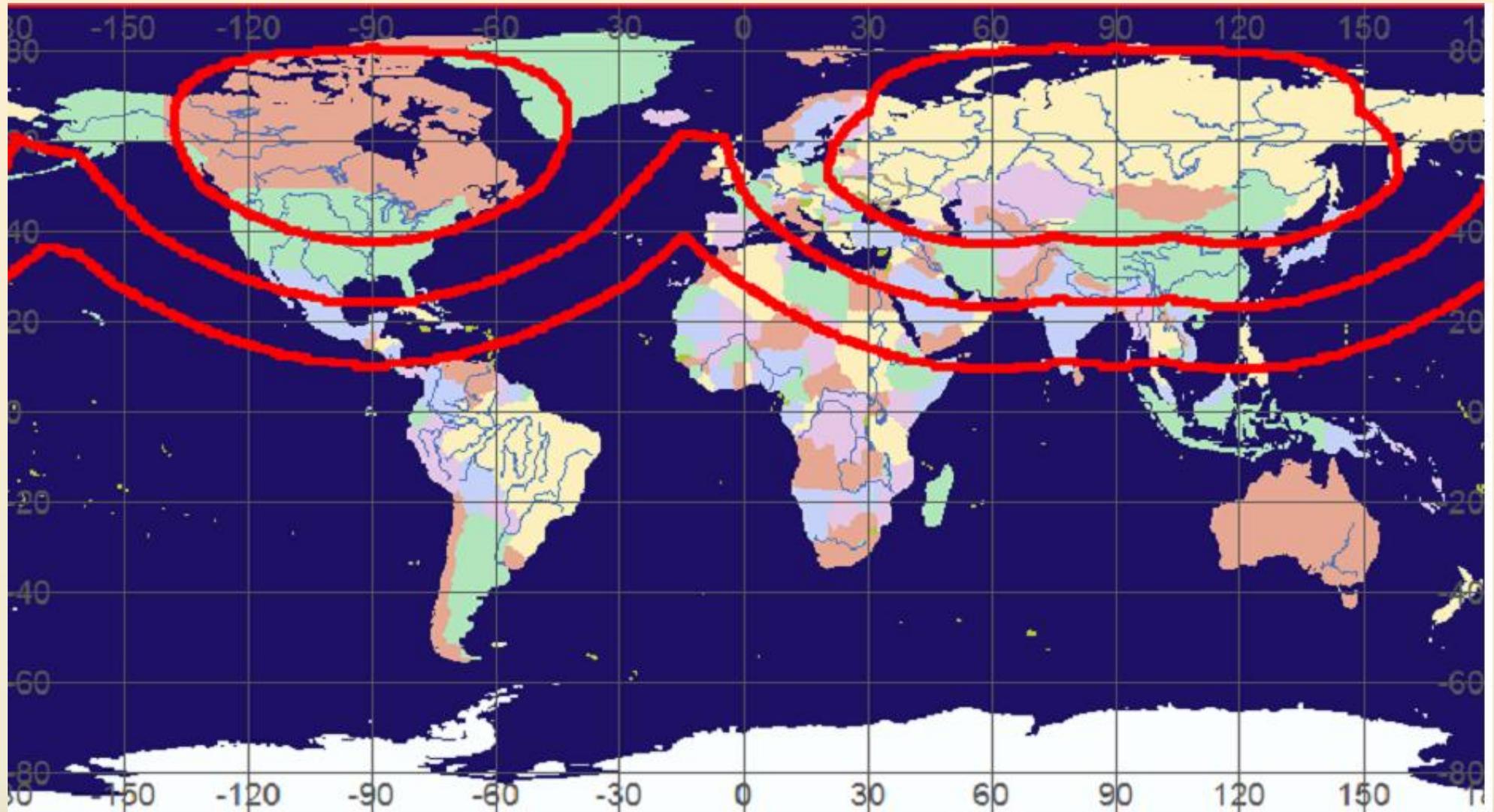
Пример многолучевого покрытия



Трек КА в «луче» абонентской станции



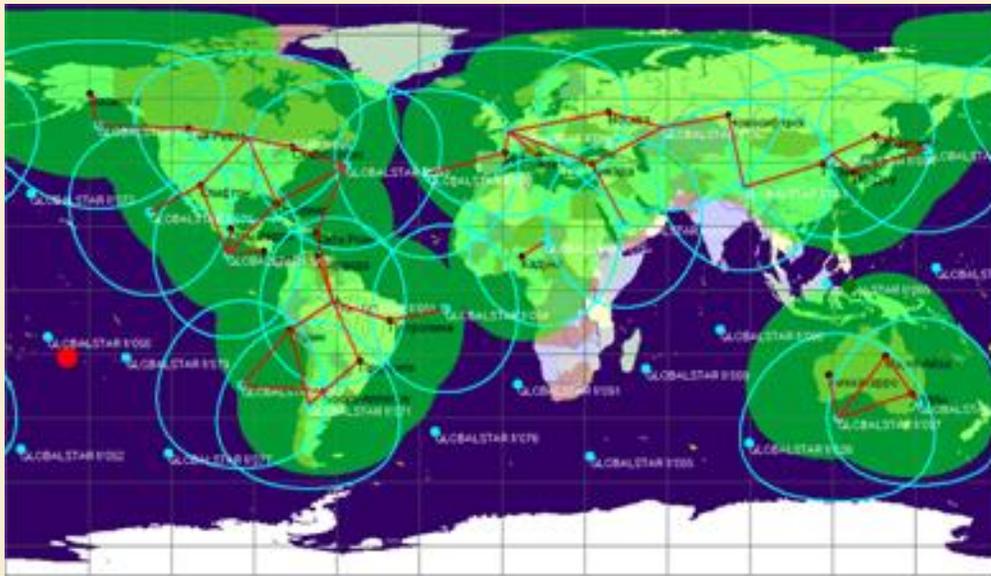
Проект «Экспресс-РВ» + «Росинфоком ВЭО»



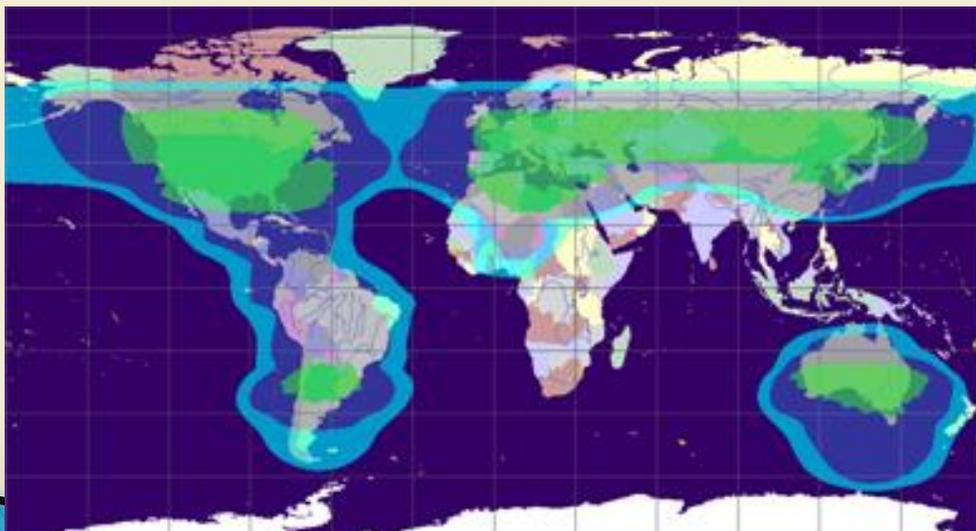
ГЗРВ системы «Экспресс-РВ» и «Росинфоком-ВЭО» для УМ=60, 45 и 30 град



GLOBALSTAR



Зоны радиовидимости станций сопряжения



Зоны обслуживания с надежностью 95, 99, и 99.9%



Достоинства: простые портативные абонентские станции.

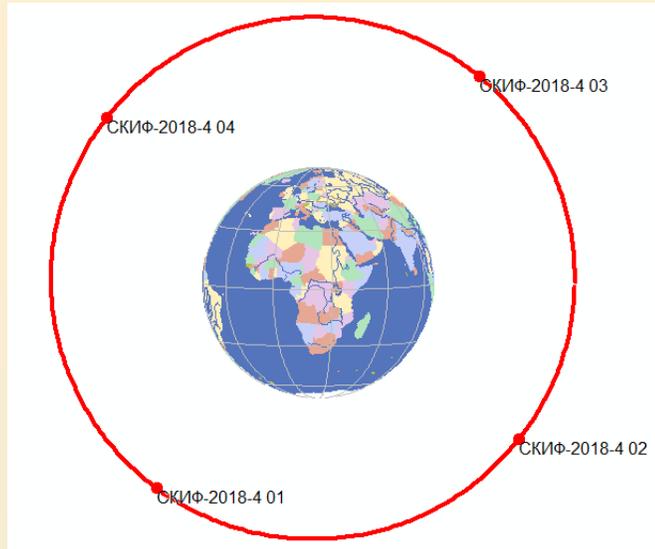
Специфика: узкополосная система, в н.в. обеспечивает V до 9.6 Кбит/с.

Недостатки:

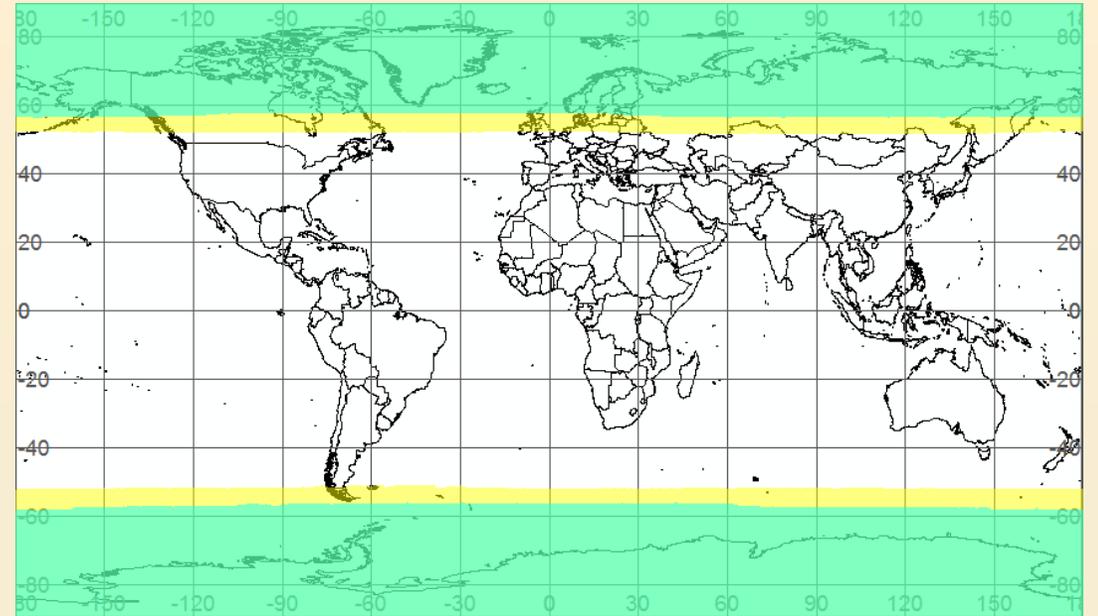
- зона обслуживания (надежность 99%) ограничена широтой 65 град, система не способна обеспечить покрытие в Арктике;
- для формирования зоны обслуживания необходимо большое число шлюзовых станций



Спутниковая МЕО HTS система «СКИФ»



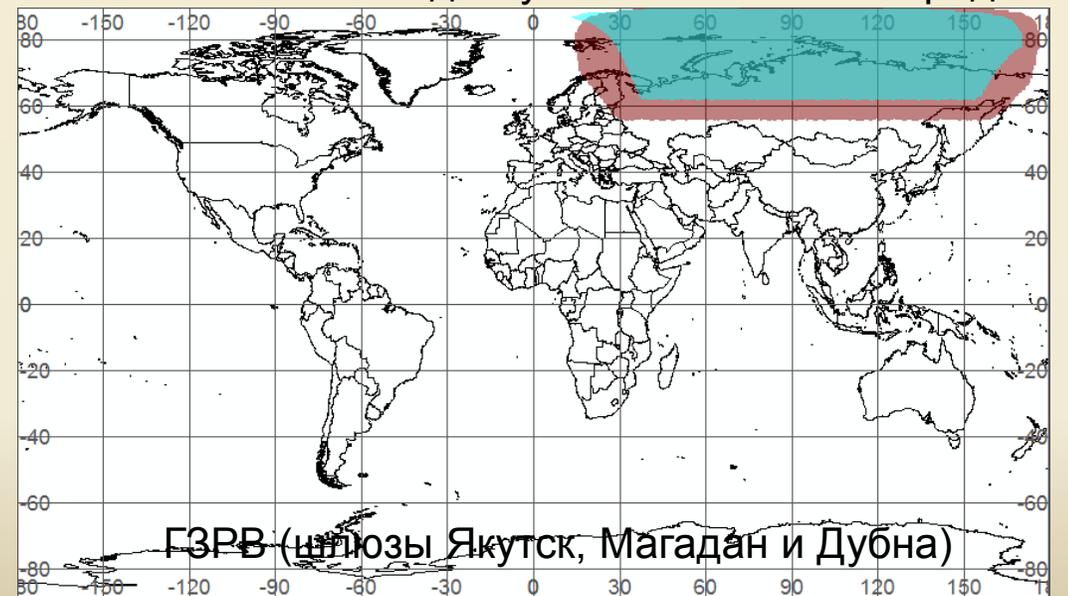
Структура ОГ (4 КА, высота 8070 км)



Максимально доступная ГЗРВ УМ=10 град



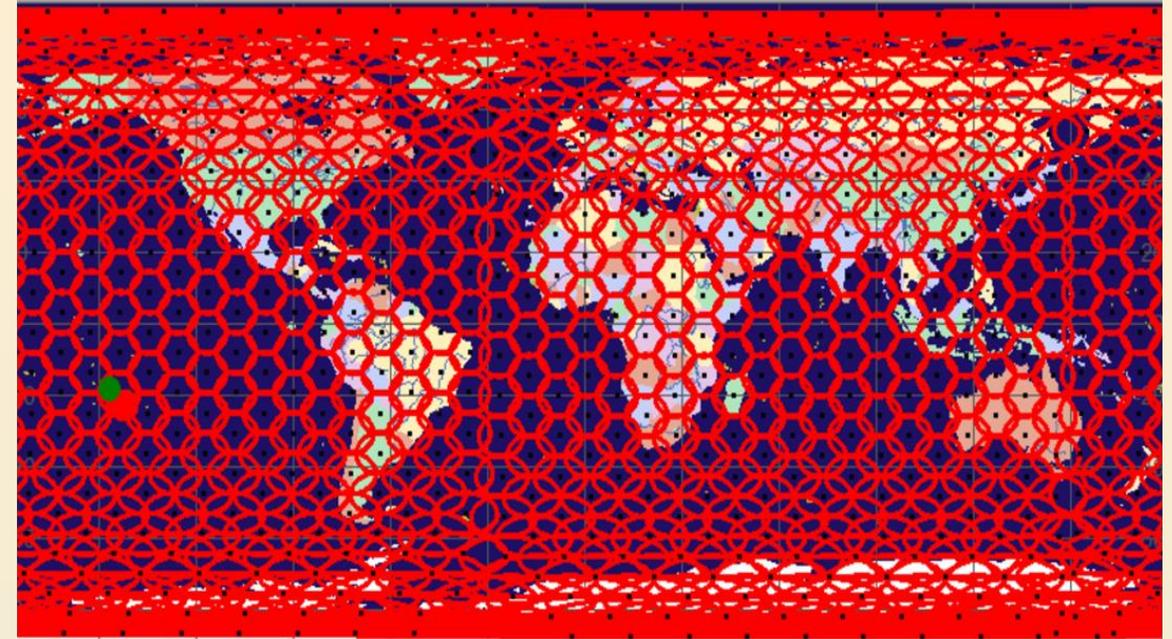
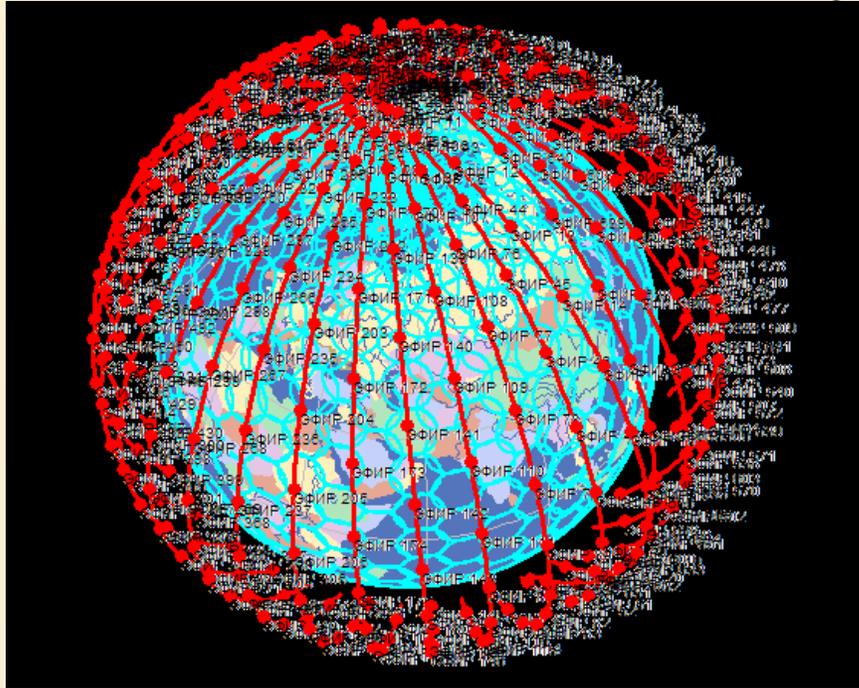
Пример многолучевого покрытия



ГЗРВ (станции Якутск, Магадан и Дубна)



Спутниковая LEO HTS система «ЭФИР» (ГМИСС) (инициативный проект АО «РКС»)



Зона радиовидимости системы (УМ=54 град)

Синтез орбитальной группировки

Системы Орбиты	
Параметры орбиты	Структура ОГ
A, 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 ОГ

Основные характеристики:

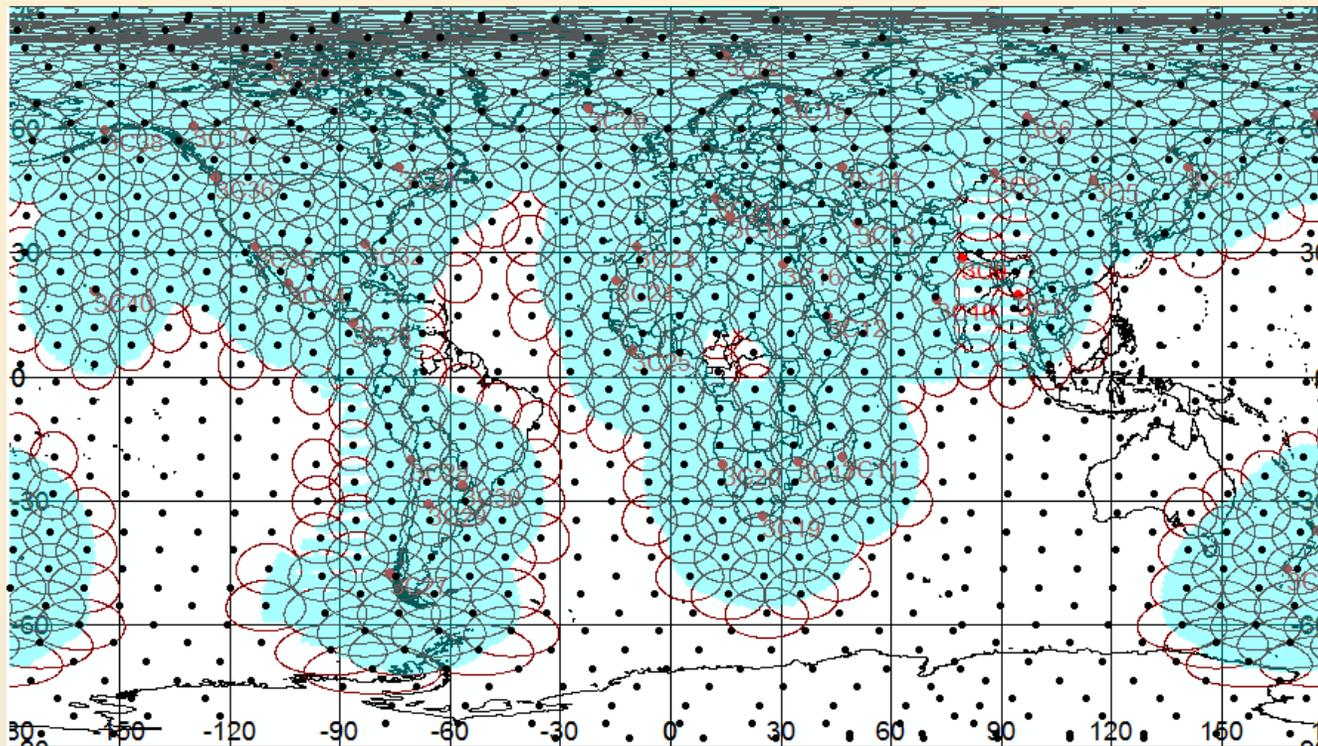
- высота орбиты 1100 км;
- 640 спутников (20 плоскостей по 32 КА);
- рабочие диапазоны частот: S, Ka;
- межспутниковые линии – есть;
- вес КА 350..40 кг; СЭС 1500 Вт, САС 7 лет
- заявленные услуги:
 - персональная связь;
 - интернет вещей IoT;
 - управление БПЛА;
 - высокоскоростной беспроводный доступ на персональные и мобильные терминалы;
 - ADS-B и т.д.



LEO HTS система OneWeb

Космический сегмент

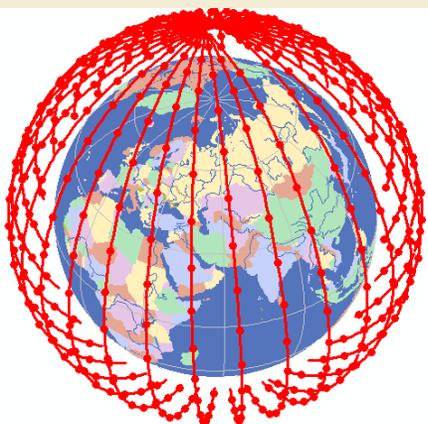
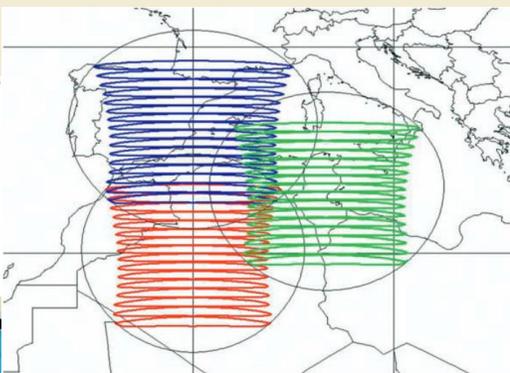
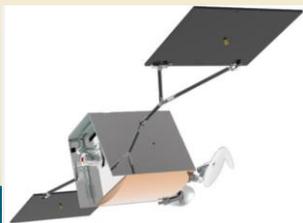
- Орбита: LEO, высота 1200 км, наклонение 87.9 град;
- ОГ: 18 плоскостей по 36 (с увеличением до 40 и до 49) КА, всего 648/720/882 КА;
- первый запуск – начало 2018 г;
- полное развертывание – 2020 г;
- изготовитель КА – Airbus;
- масса КА 150 кг;
- используется орбита захоронения;
- групповой вывод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



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

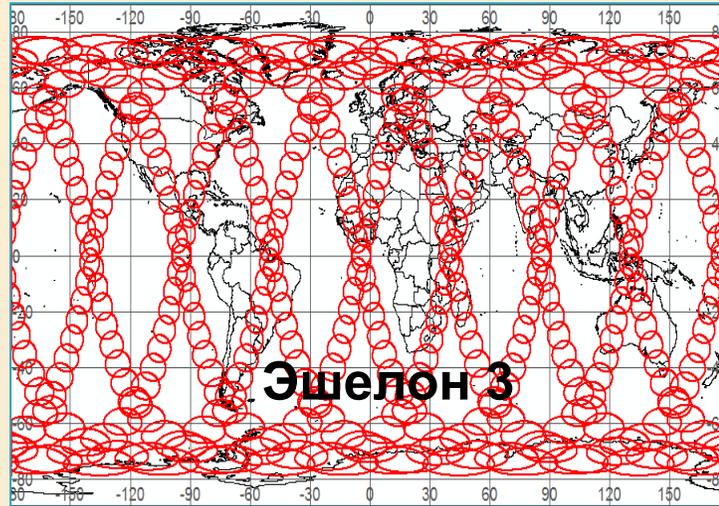
Наземный сегмент

- 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.

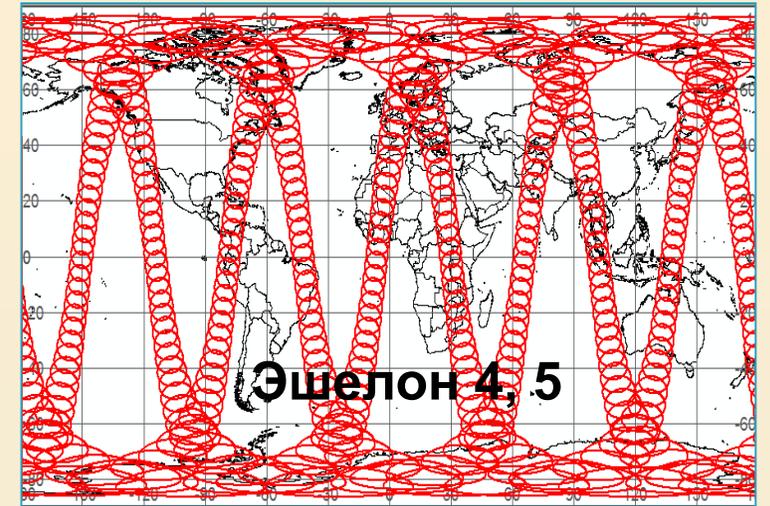


Орбитальная группировка

№ 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	-	-

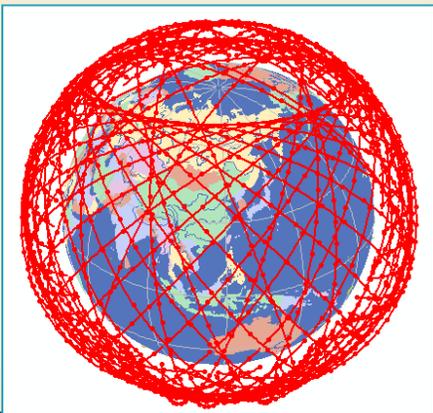


Эшелон 3

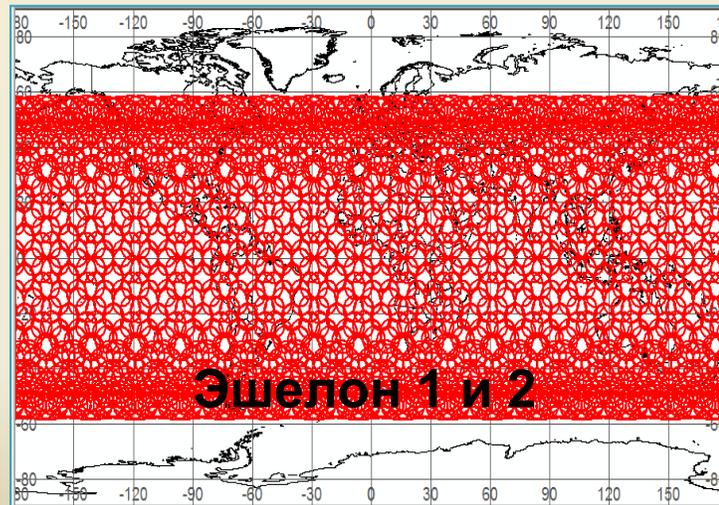


Эшелон 4, 5

Мгновенная зона радиовидимости эшелонов

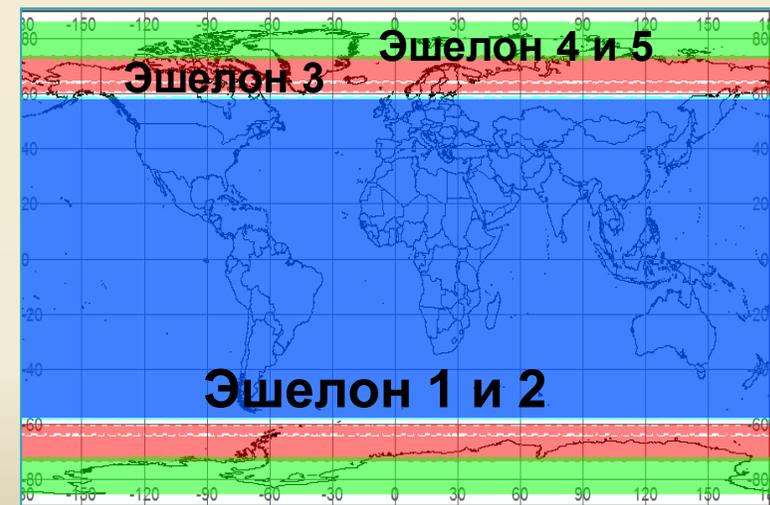


Структура ОГ
(все эшелоны)



Эшелон 1 и 2

Мгновенная зона радиовидимости



Эшелон 1 и 2

ГЗРВ системы SpaceX, УМ=60 град,



Ситуационно-аналитический центр (САЦ) – цели и задачи

Назначение – поддержка принятия решений на этапах разработки, развертывания, эксплуатации, реконфигурации и модернизации, а также захоронения спутниковых систем различного назначения.

Цель создания – повышение эффективности организационно-технических и управленческих решений в области спутниковых систем различного целевого назначения

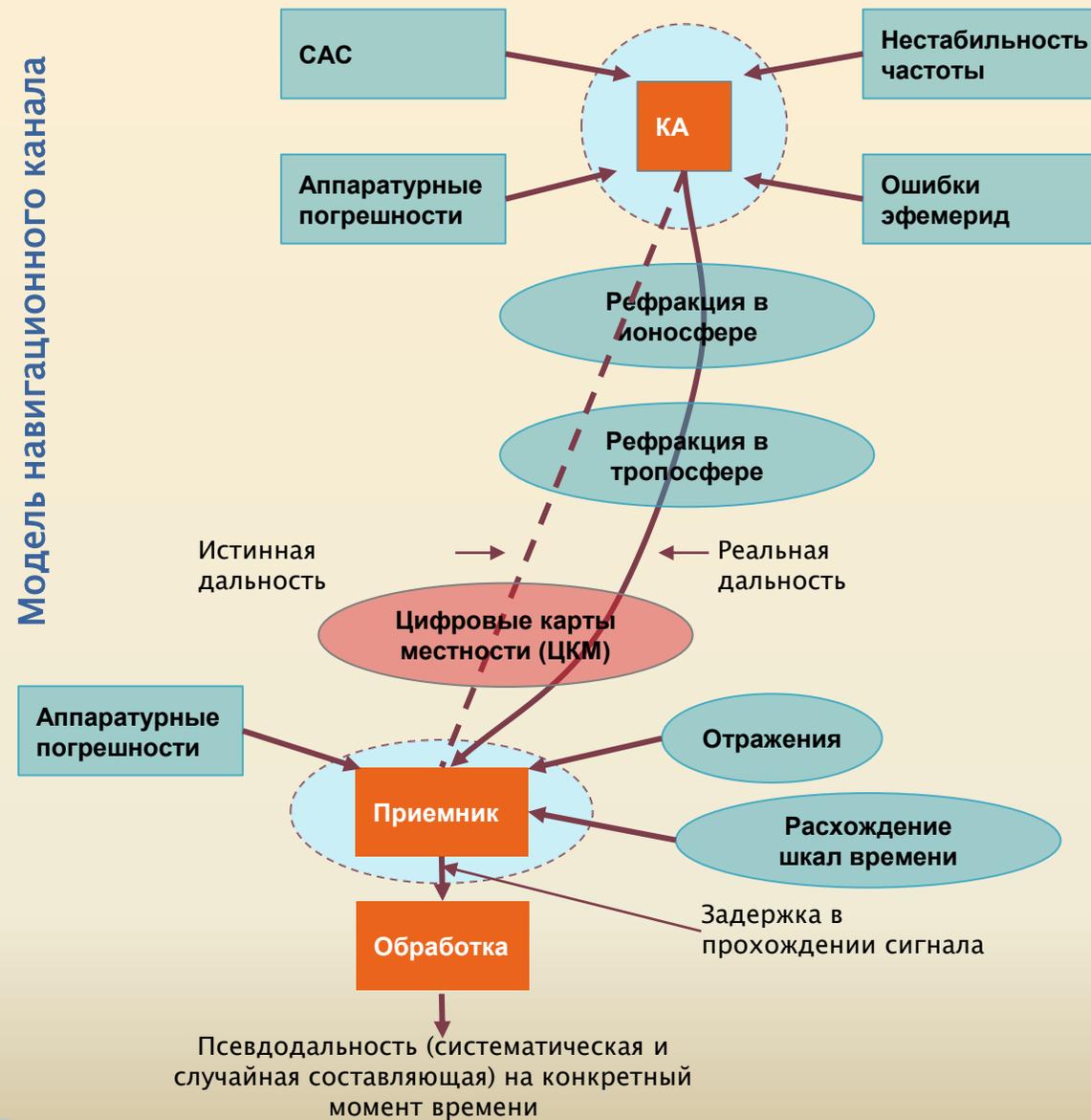
Объект анализа – спутниковые системы различного целевого назначения, включающие космический сегмент, наземный сегмент и дополнительные подсистемы и службы, обеспечивающие повышение эффективности их целевого применения

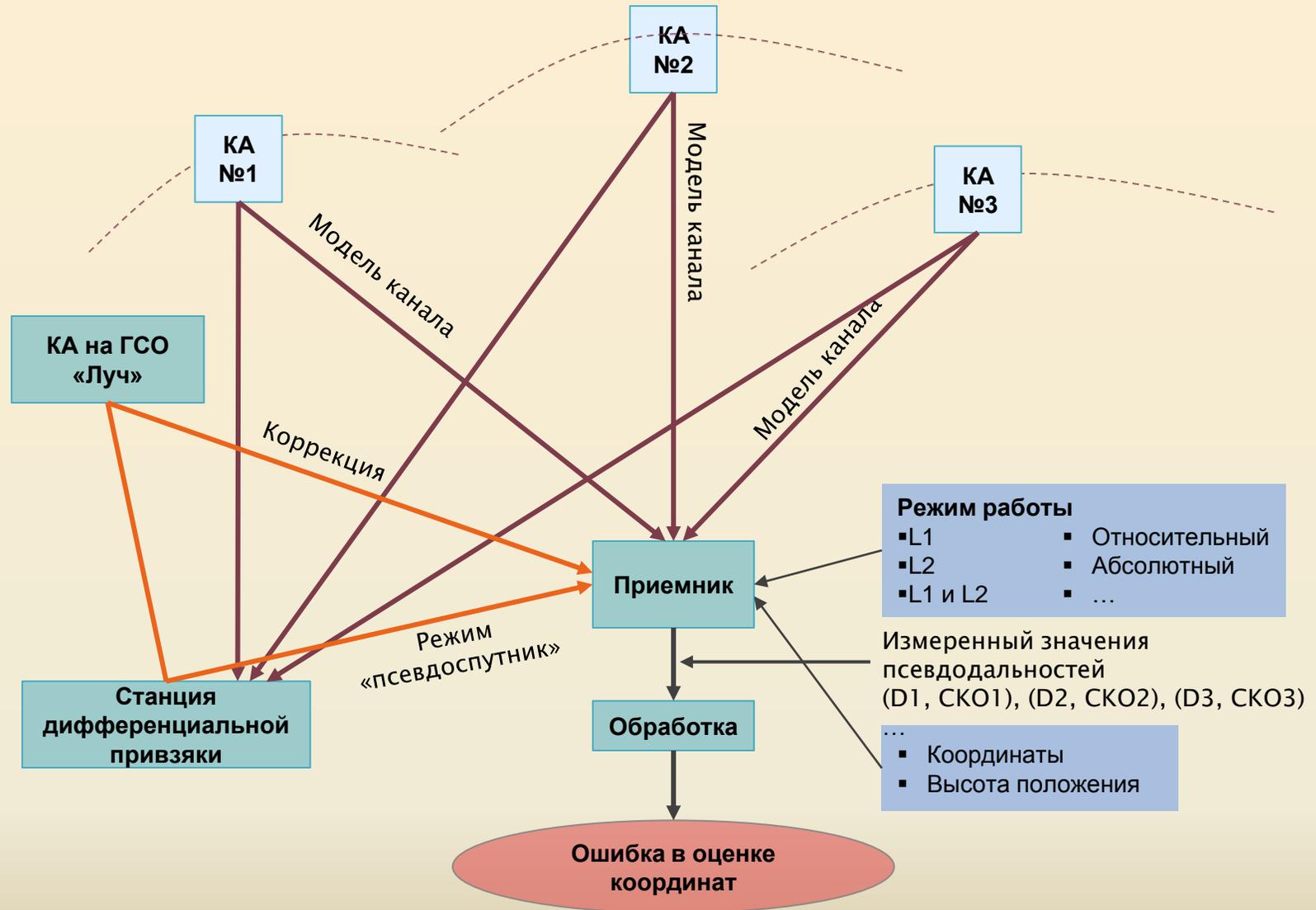
Основные функциональные возможности СЦ:

- а) получение (в том числе по электронным каналам, в автоматическом и/или ручном режимах), обработка и представление в наиболее удобном виде значительных массивов данных, связанных с целевой деятельностью СЦ;
- б) выполнение различных расчетных процедур с целью получения дополнительной информации об интересующем объекте и его свойствах;
- в) моделирование работы спутниковых систем с целью получения исчерпывающей информации по текущему и предшествовавшему их состоянию, прогнозу изменения состояния в краткосрочной и долгосрочной перспективе; анализу их поведения в различных ситуациях; поиска и подтверждения эффективности принятых организационно-технических решений
- г) визуализация информации, представление ее в наиболее удобном виде (карты, таблицы, диаграммы и графики и др.)

Особенности

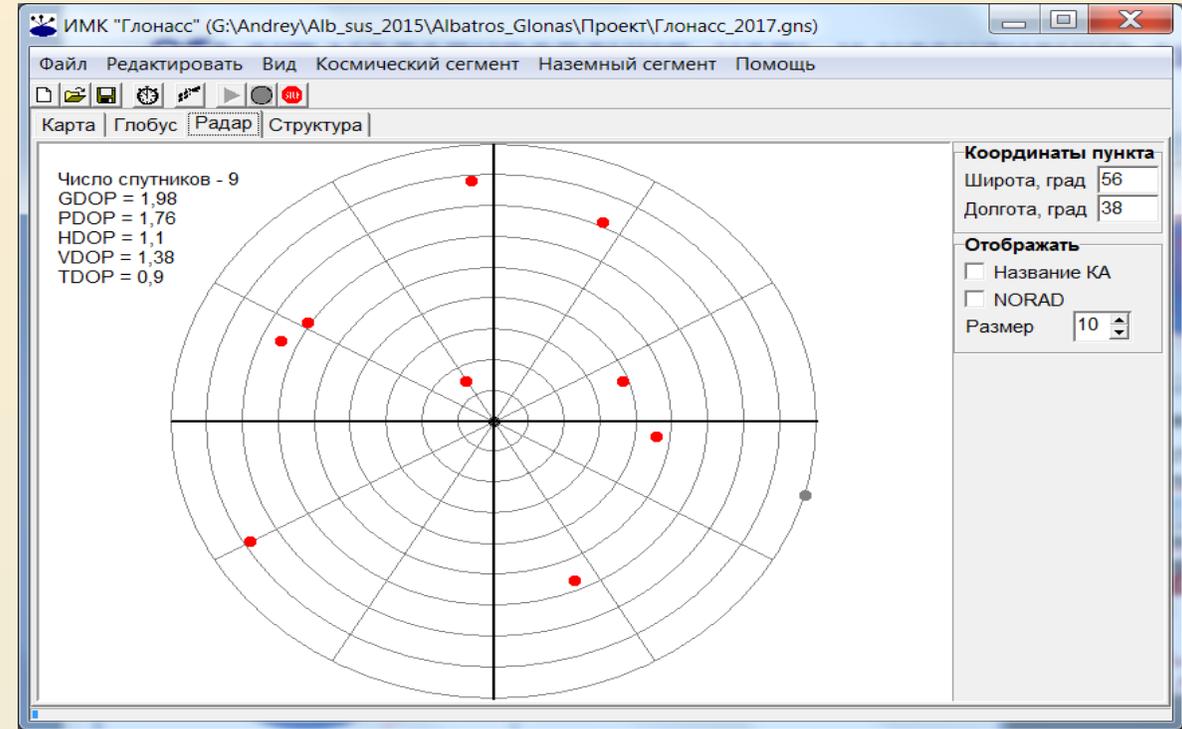
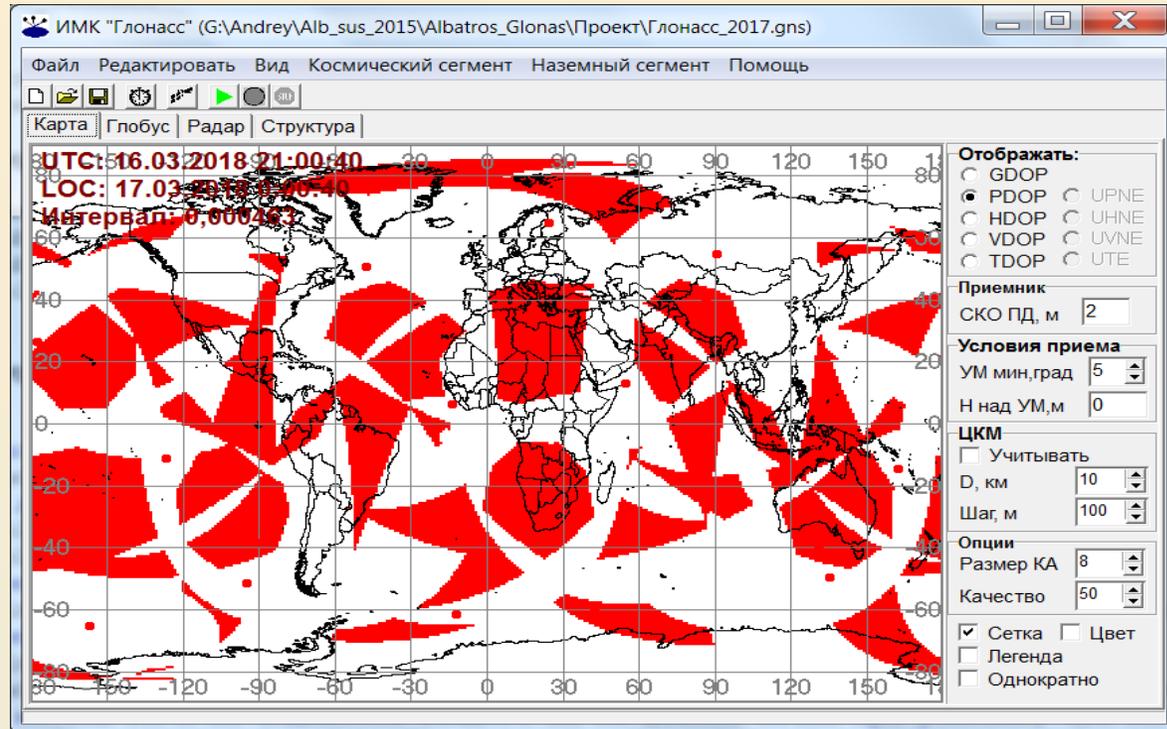
- Учет всех основных составляющих суммарной ошибки измерения псевдодальности
- Учет детальных характеристик каждого КА
- Учет режимов работы аппаратуры потребителя







Моделирование работы спутниковых навигационных систем



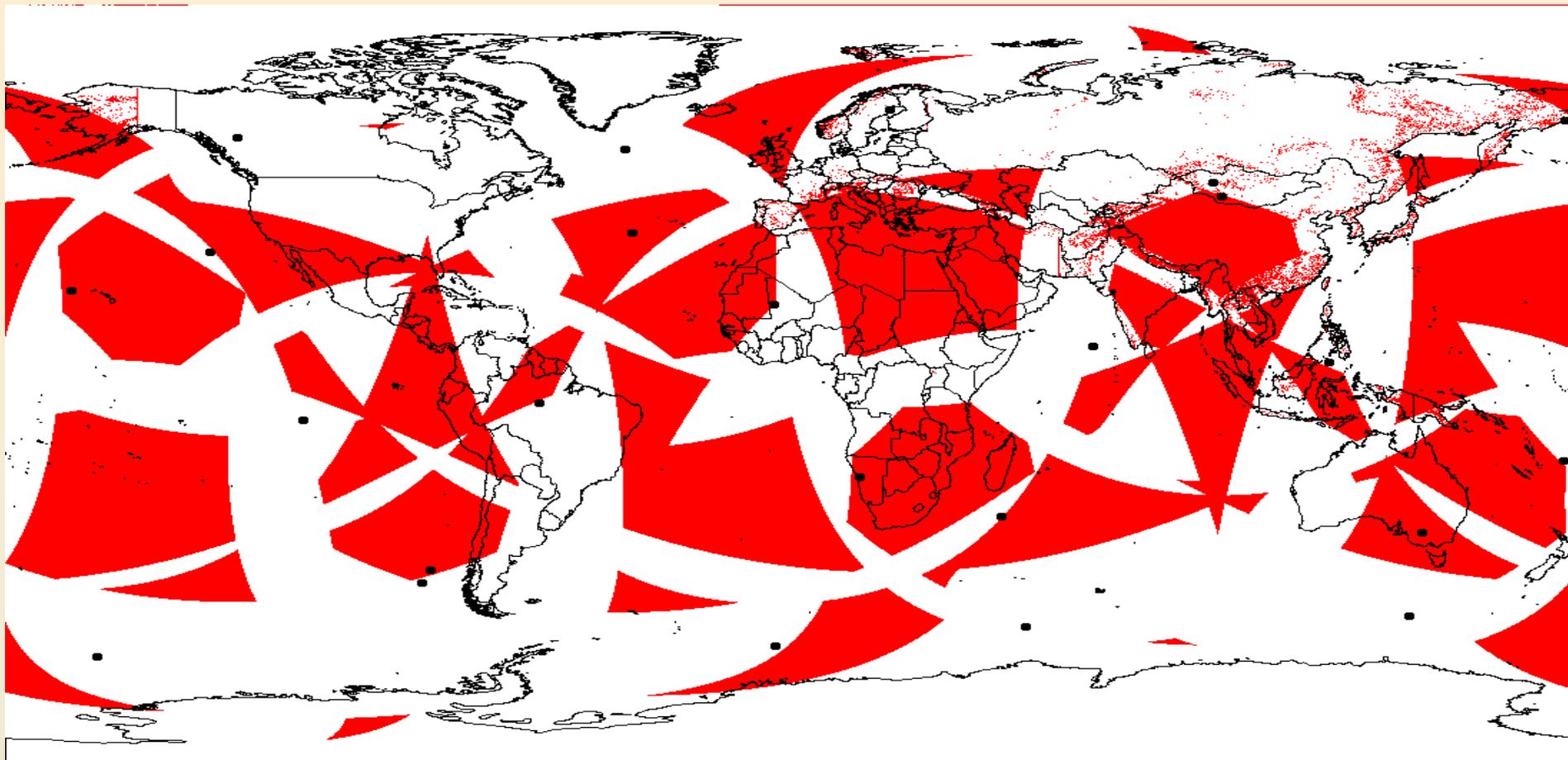
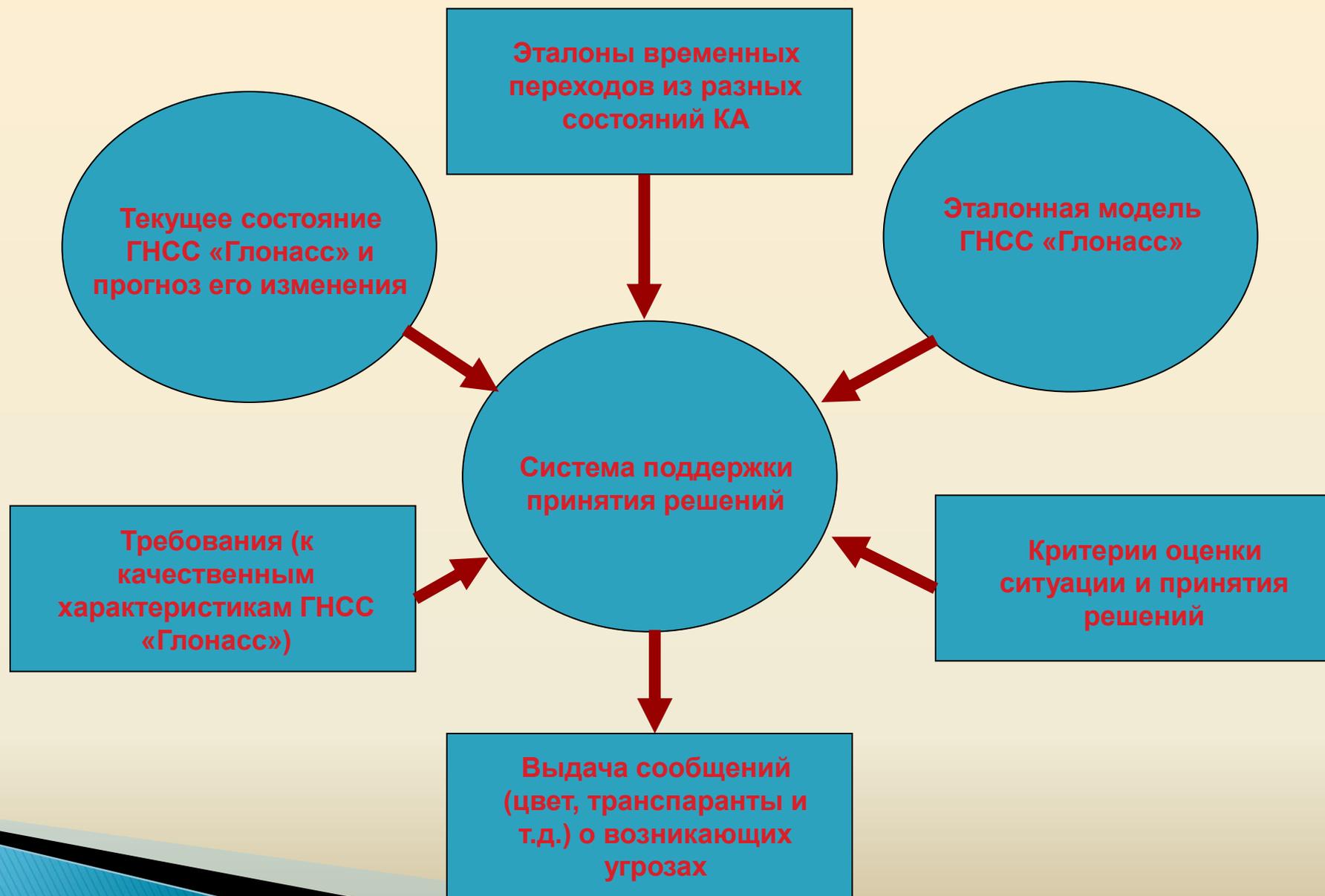
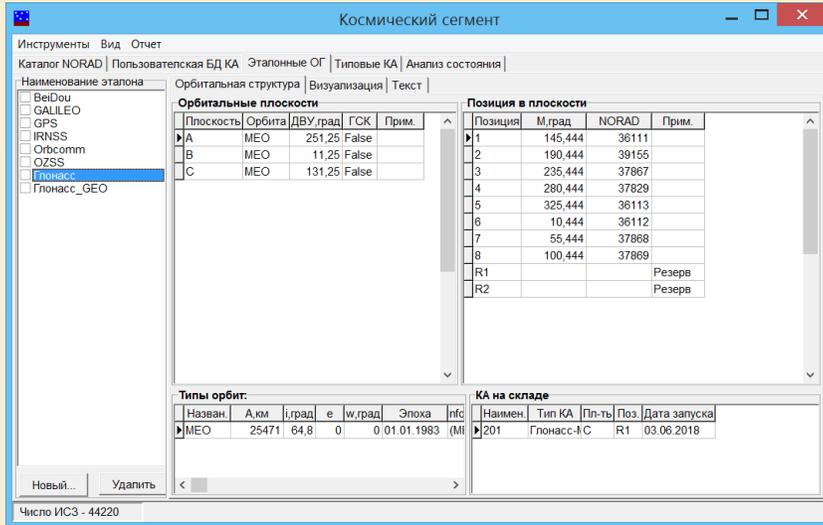
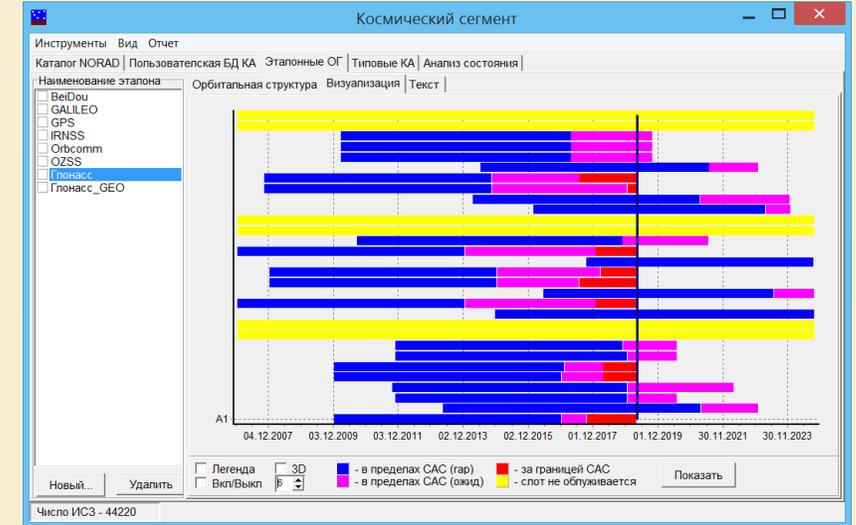


Рис.1 Минимальный УМ > 5 град, учет перекрытий КА рельефом местности

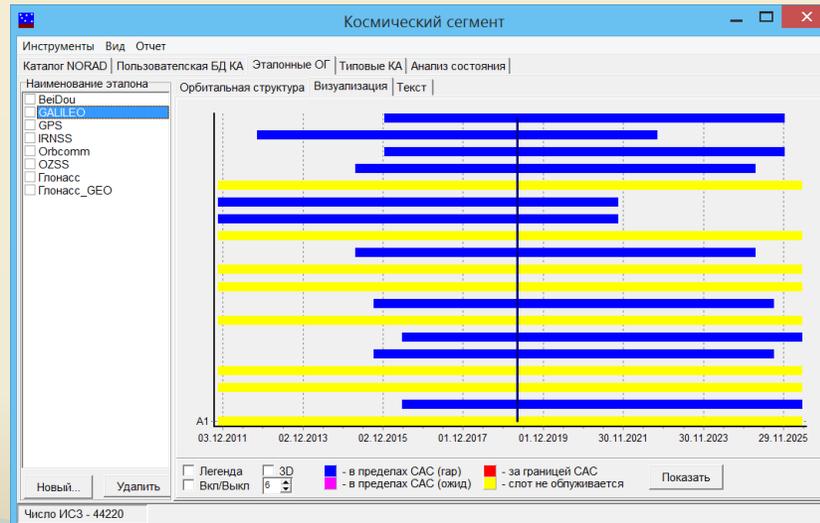




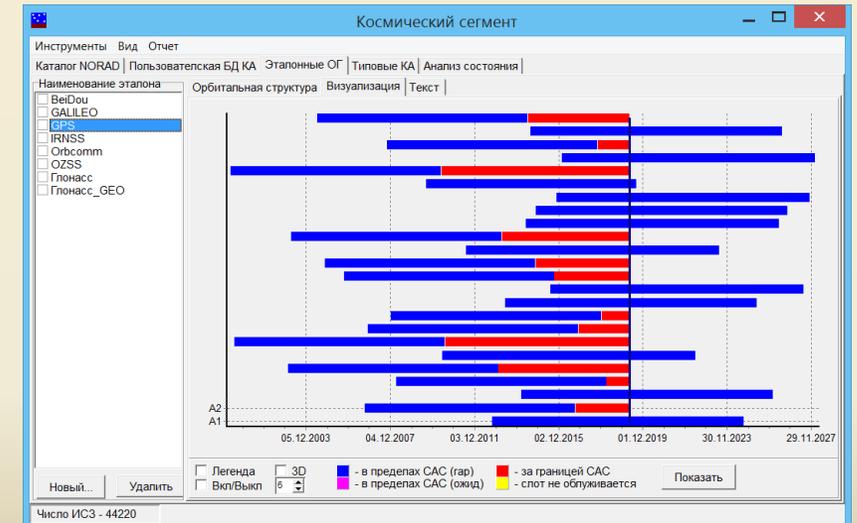
Эталонная структура



Глонасс



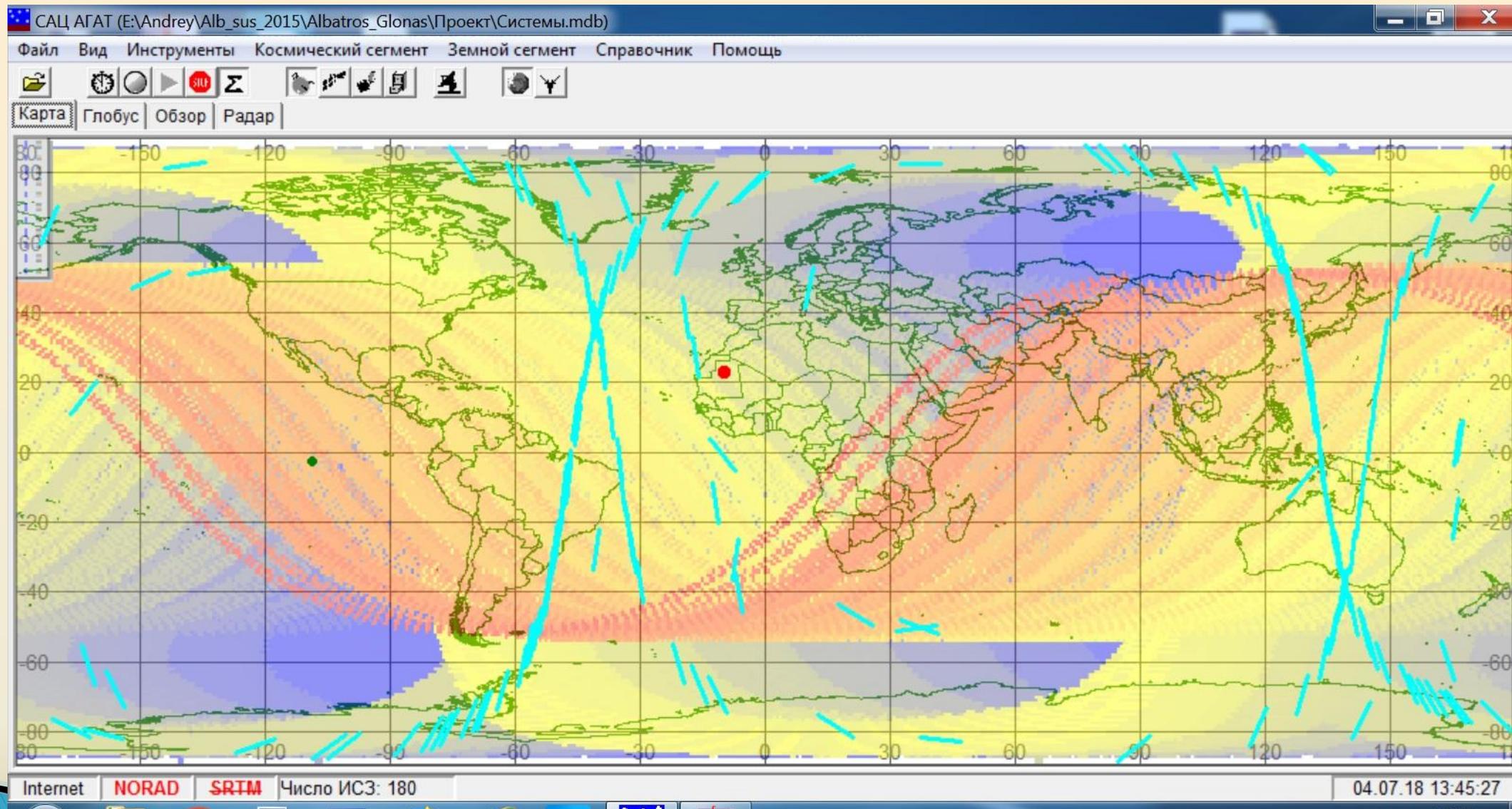
GALILEO



GPS



Моделирование работы разнородной группировки КА ДЗЗ



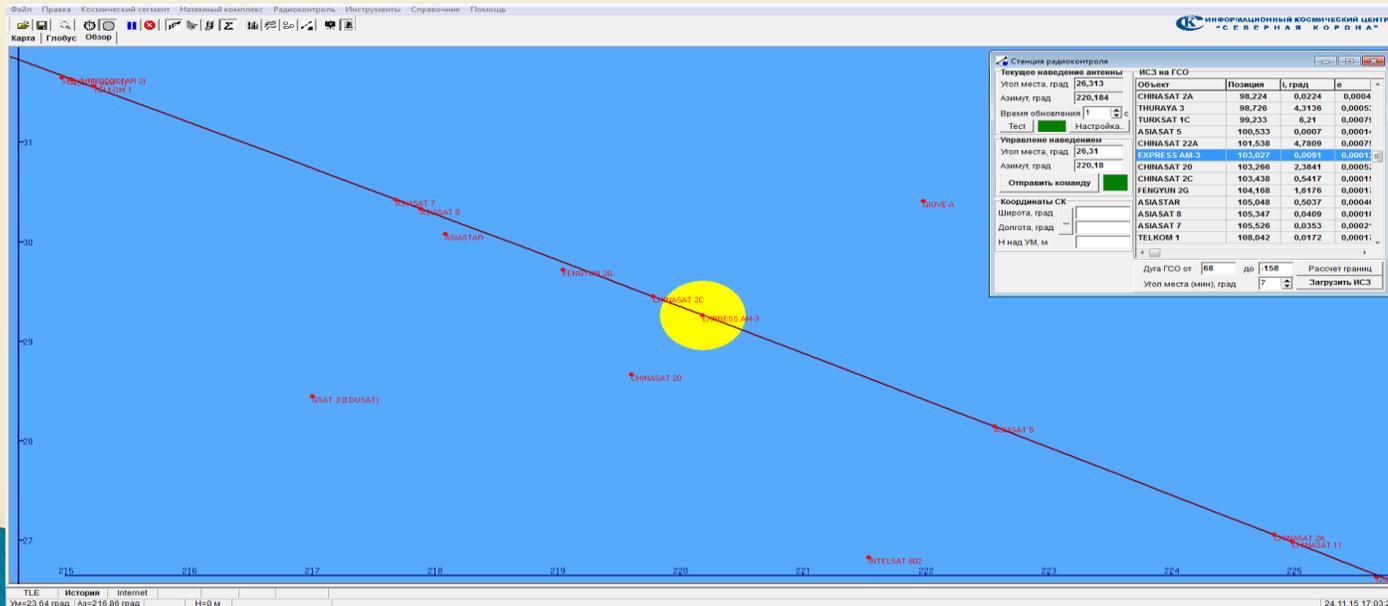


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

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)



АО «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