

# **Основы построения инфокоммуникационны х систем и сетей**

Шевцов Вячеслав Алексеевич  
д.т.н., профессор

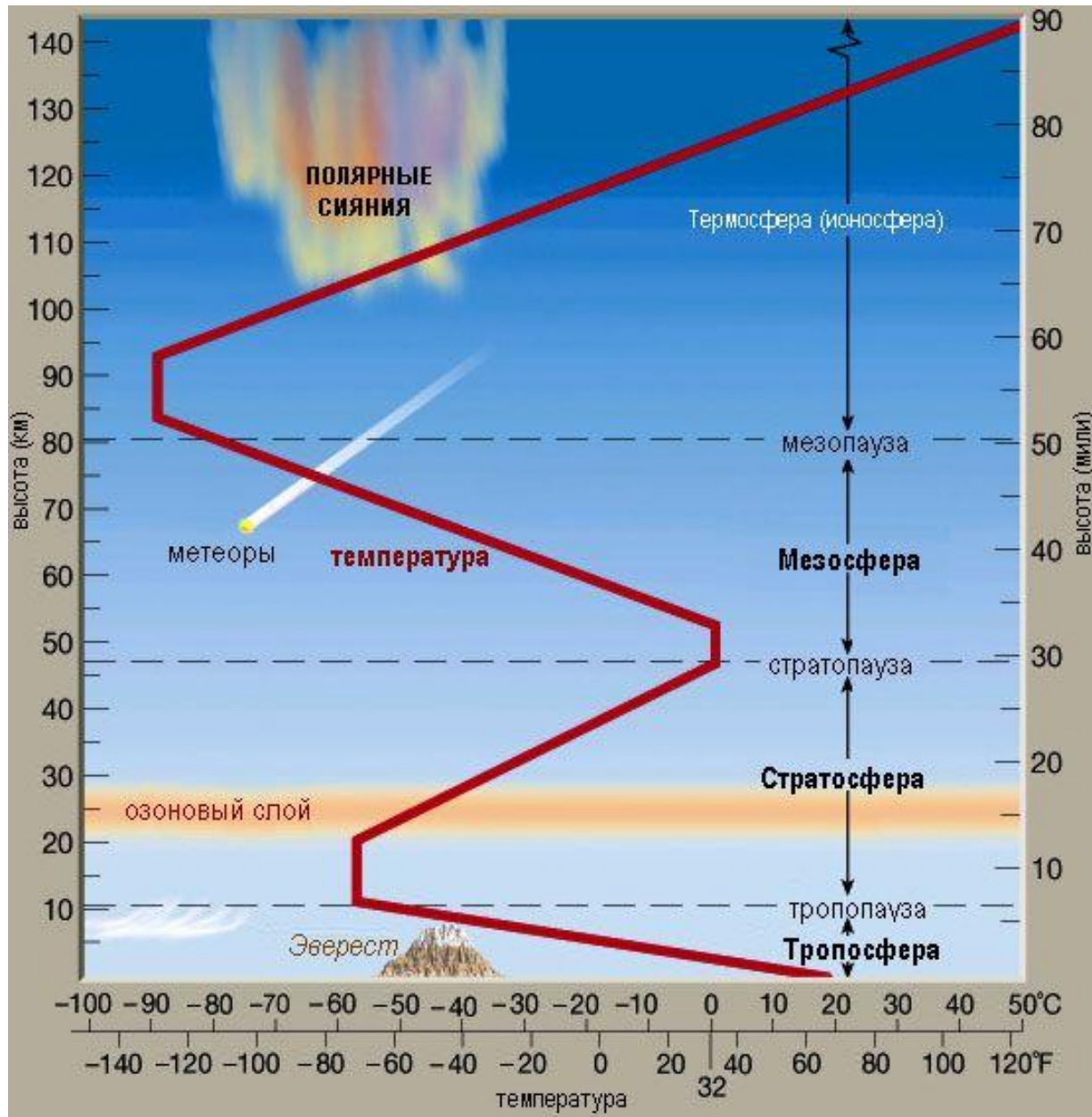
Москва 2018

# Системы и сети спутниковой и космической радиосвязи

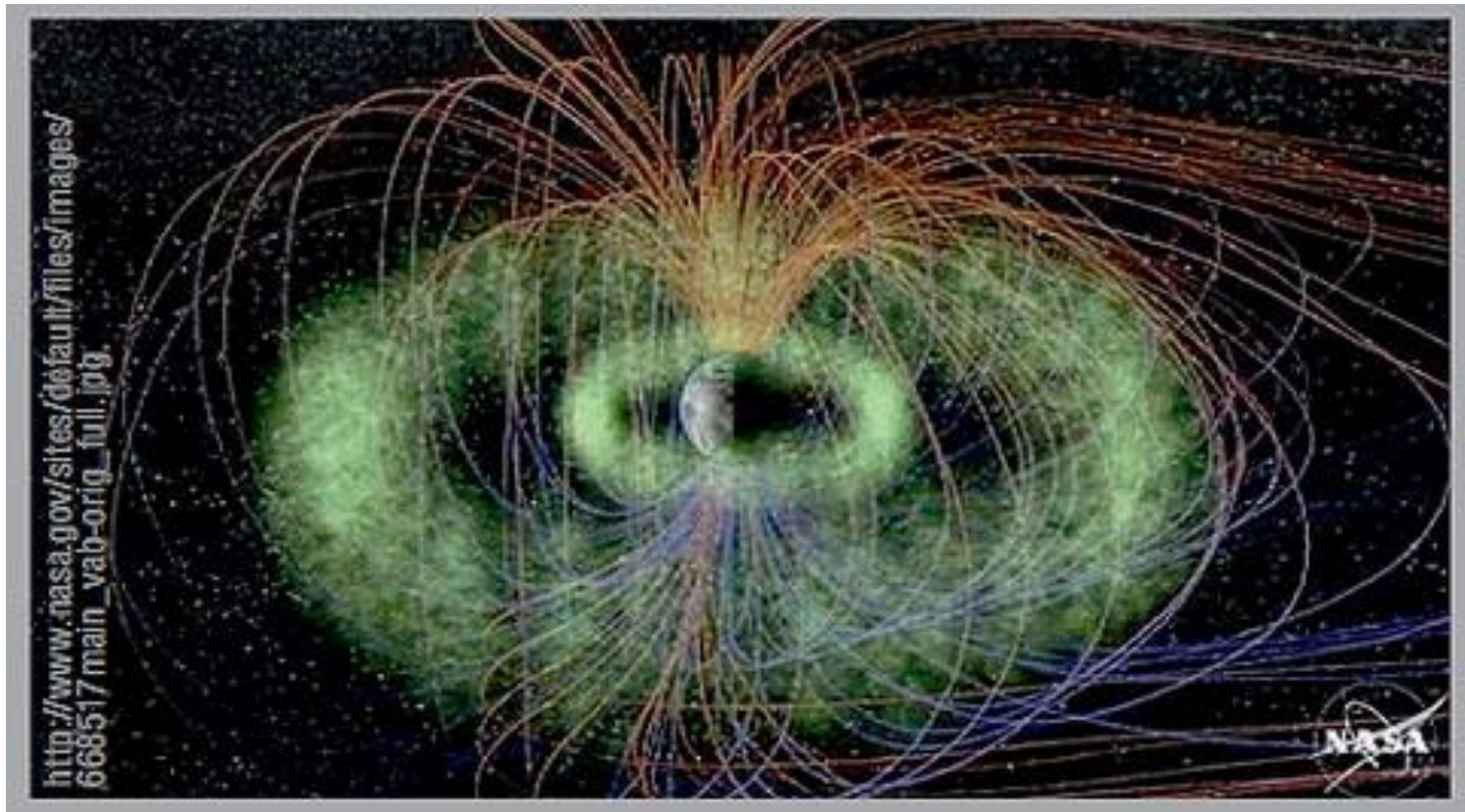
## Лекция 9

- Орбиты спутников связи, характеристики, особенности использования
- Инфраструктура спутниковой системы связи
- Классификация видов спутниковых инфокоммуникационных систем
- Бортовая аппаратура спутниковых систем
- Земные станции спутниковых систем, последняя миля
- Многостанционный доступ в спутниковых сетях связи
- Перспективные проекты в области спутниковых телекоммуникаций

# Атмосфера Земли



# Пространственная структура радиационных поясов Земли

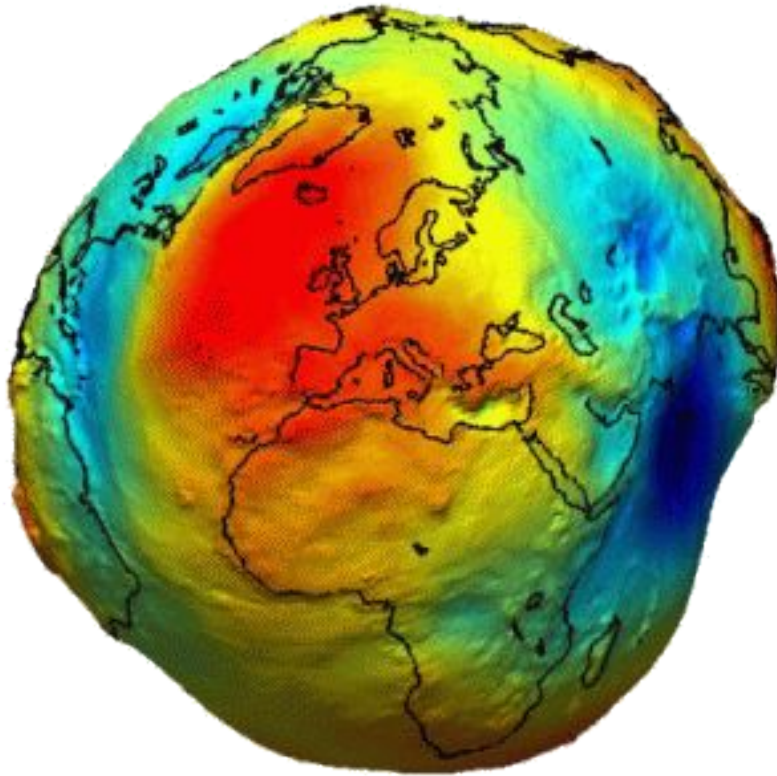


Около Земли расположены три радиационных пояса:

- Внутренний (протонный) находится в области высот примерно от 2 до 6,5 тыс. км.
- Внешний (электронный) находится в области высот примерно от 13 до 42 тыс. км.

Во внешнем поясе обнаружен максимум радиационного воздействия,

# Формирование спутниковых орбит



Диаметр Земли равен - 12 700 км.

Расстояние до Луны - 384 400км

## **Первый закон Кеплера:**

Орбита спутника Земли лежит в плоскости, проходящий через центр Земли, и является

эллипсом, в одном из фокусов которого находится центр Земли.

## **Второй закон Кеплера:**

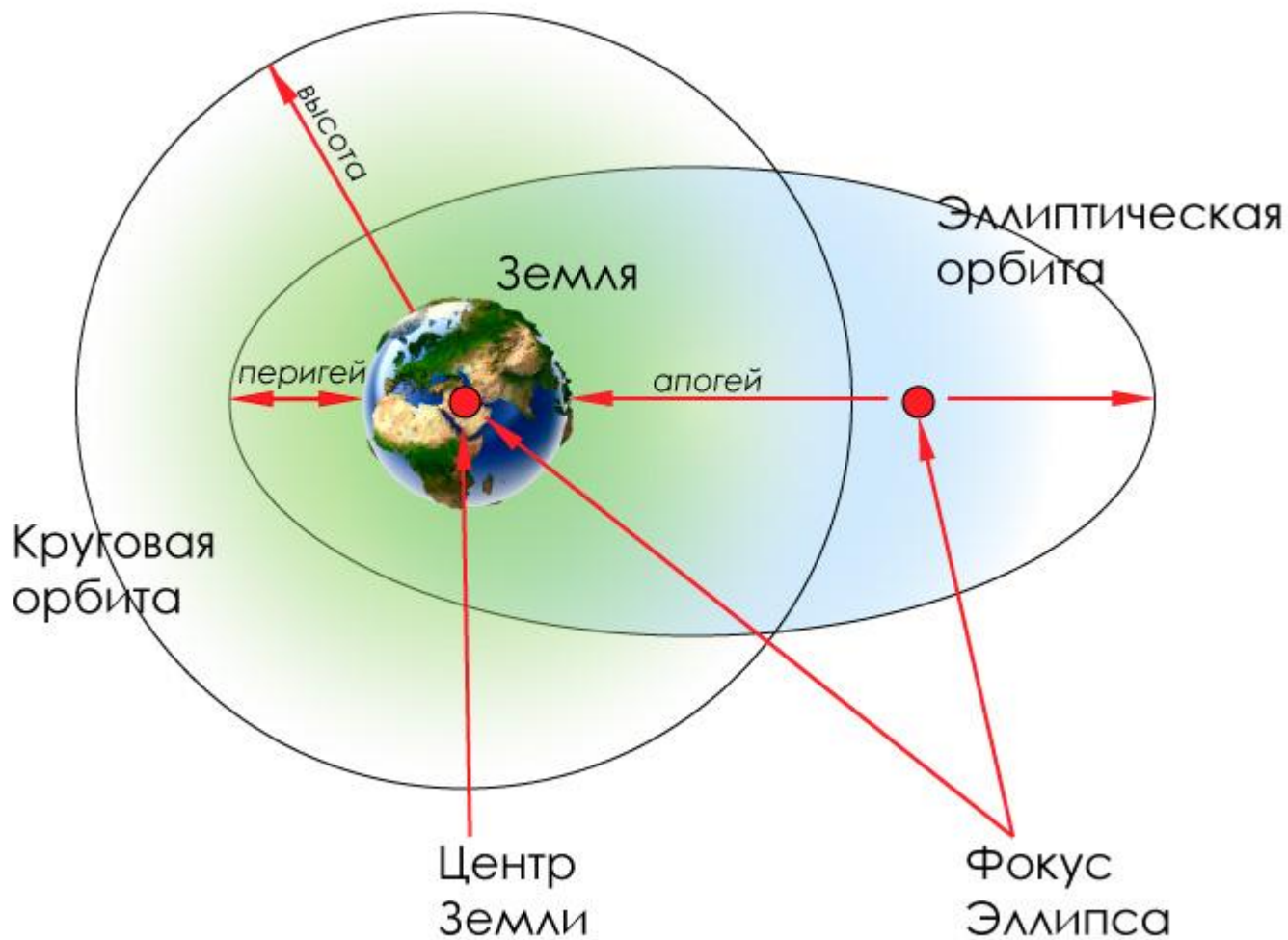
Радиус-вектор спутника в равные промежутки времени описывает равные площади.

## **Третий закон Кеплера:**

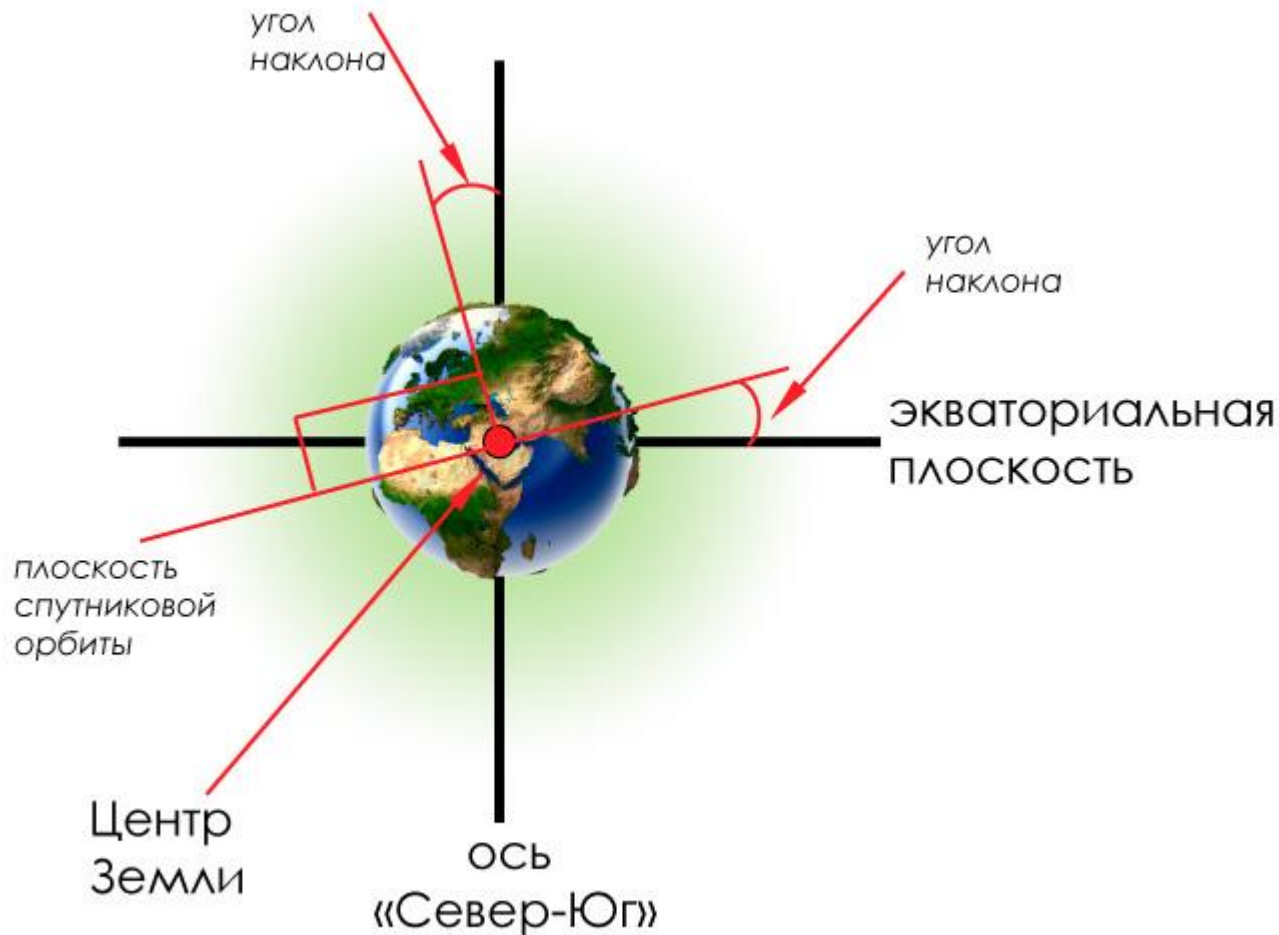
Отношение квадратов периодов обращения

спутников равен отношению кубов больших полуосей орбит.

# Классификация орбит



# Классификация орбит

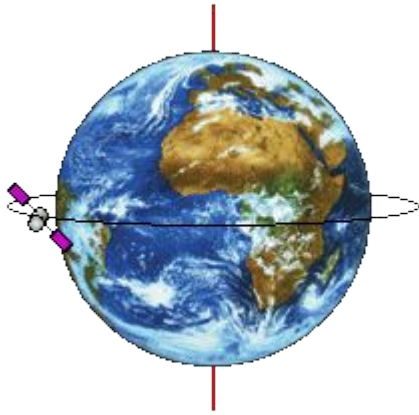


# Классификация орбит

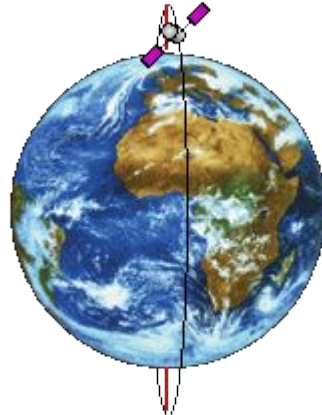
Название орбиты	Аббревиатура названия орбиты	Высота орбиты (в километрах над поверхностью Земли)	Детали / комментарии	
Низкая околоземная орбита	LEO	200 - 1200		
Средняя околоземная орбита	MEO	1200 - 35790		
Геосинхронная орбита	GSO	35790		Период обращения вокруг Земли равен одним суткам, но обращение не обязательно идёт в направлении вращения Земли – спутник не обязательно висит стационарно над одной точкой.
Геостационарная орбита	GEO	35790		Период обращения вокруг Земли равен одним суткам, спутник движется в том же направлении, в котором вращается Земля, и поэтому «стационарно висит» над одной точкой планеты. Может находиться лишь над экватором.
Высокая околоземная орбита	HEO	Выше чем 35790		



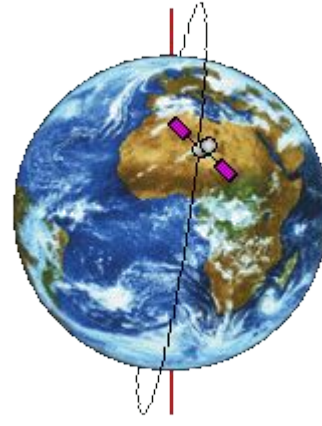
# Классификация орбит



**Экваториальная**

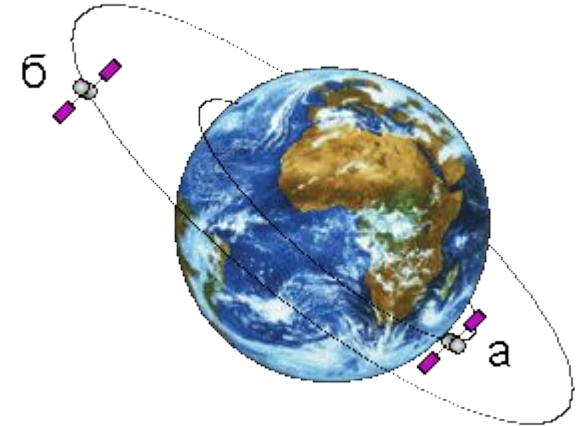


**Полярная**

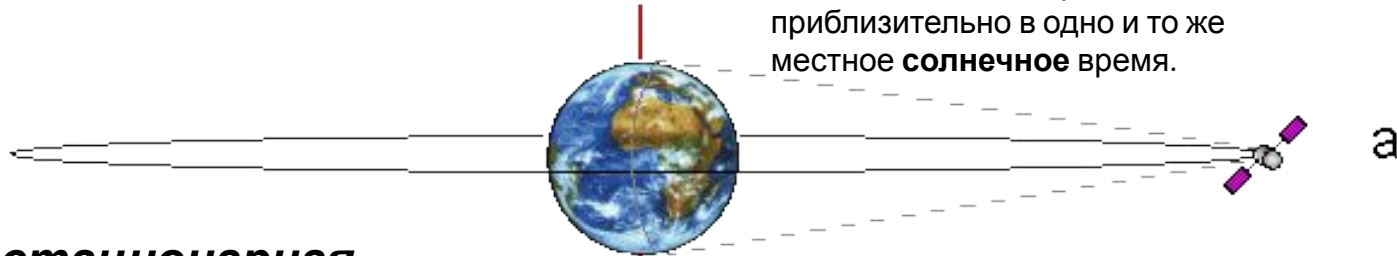


**Солнечно синхронная**

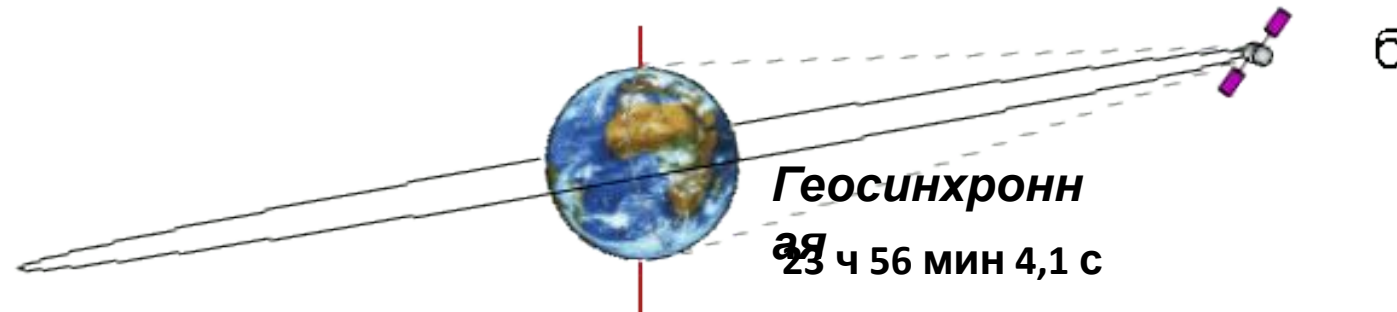
Объект проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное **солнечное** время.



**Наклоненная**



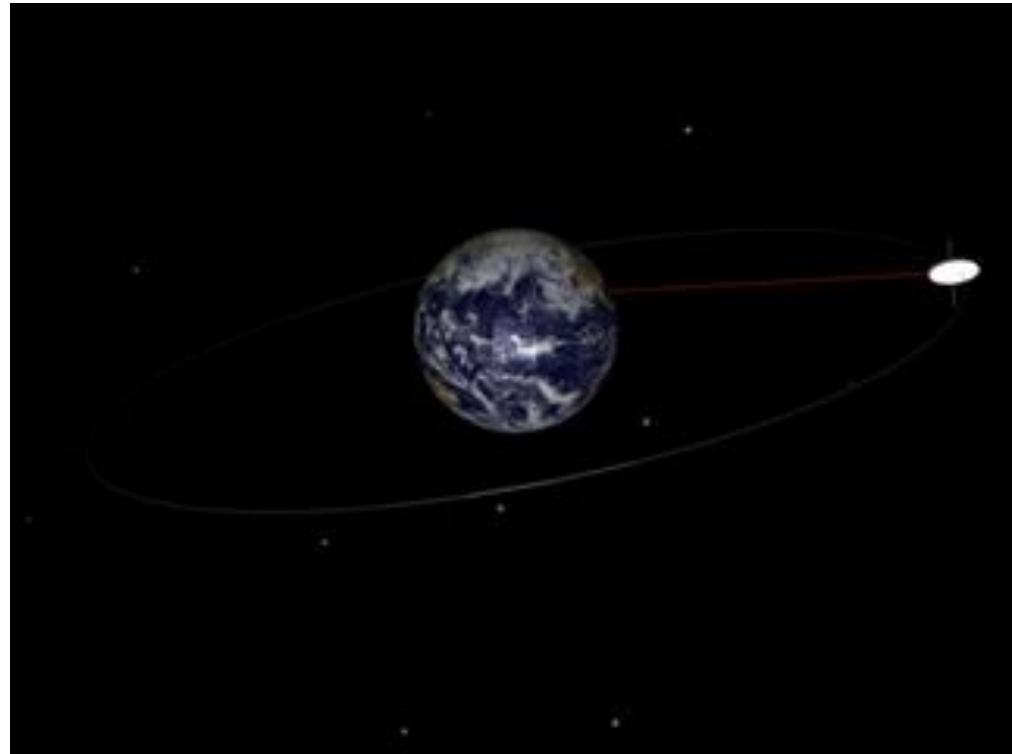
**Геостационарная**



**Геосинхронная**  
23 ч 56 мин 4,1 с

# Геостационарная орбита

**радиус 42 164 км с центром, совпадающим с центром Земли, что соответствует высоте над уровнем моря 35 786 км.**



# Геостационарная орбита

## Спутники телевизионного вещания

(57)

### Восточное полушарие

### Западное полушарие

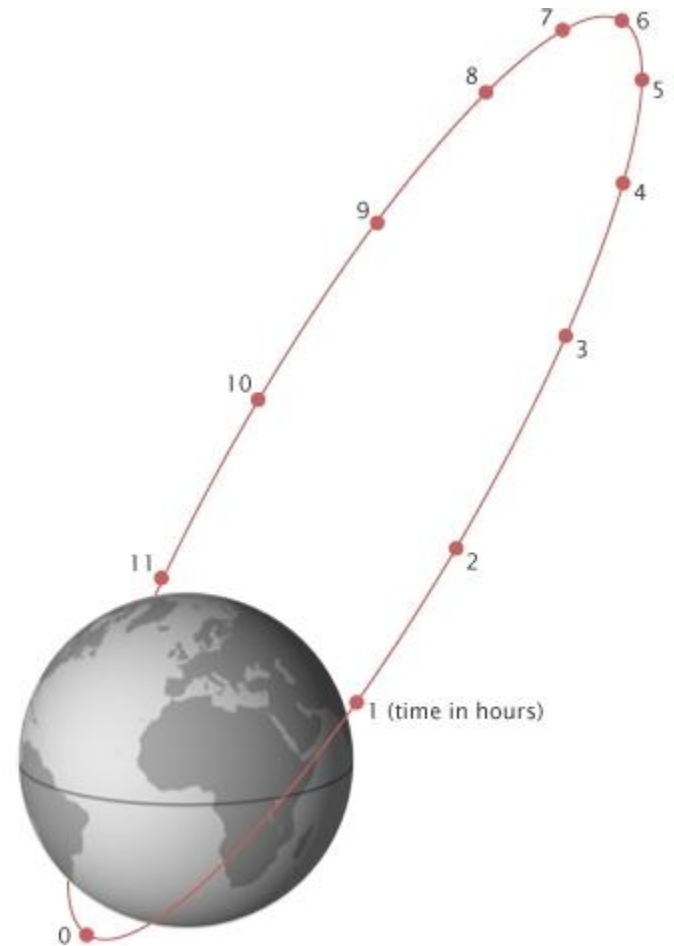
- Горизонт - 4
- Эксперсс - 4
- Астра - 4
- Telkom - 1
- Экран - 1
- Vsat - 1
- Ямал - 2
- Интелсат - 6
- ABS - 1
- Бонум - 1
- Турксат - 1
- Eutelsat - 2
- Радуга - 4
- Хот Бёрд - 1
- Сириус - 3
  
- Thor - 1

## 218 Активных спутников



# Орбита типа «Молния»

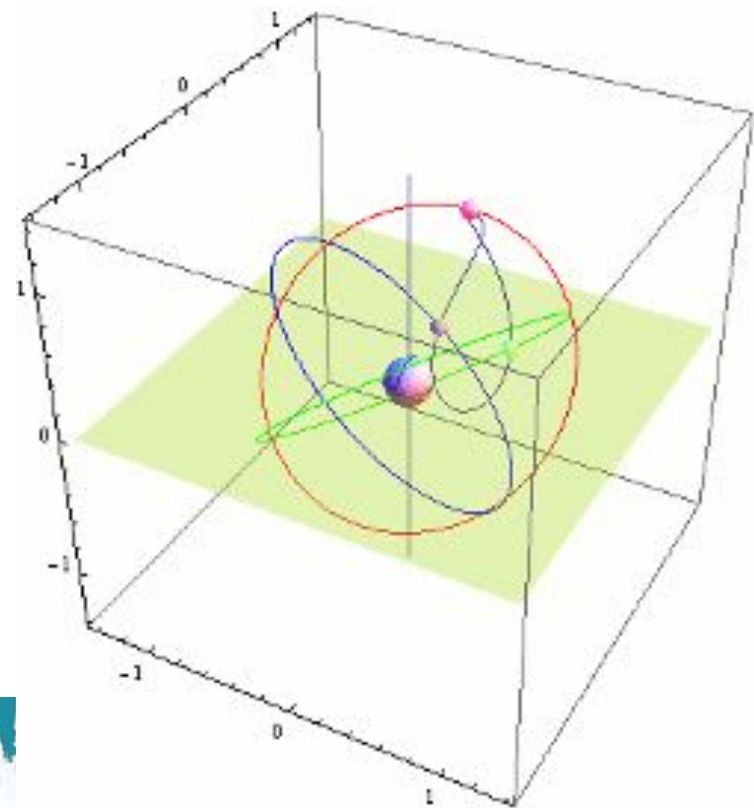
Апогей - 40 000 км,  
Перигей – 500 км,  
Наклонение – 63,5 гр.  
Период обращения – 12 ч. (синхронная орбита),  
В зоне видимости – 8 часов.



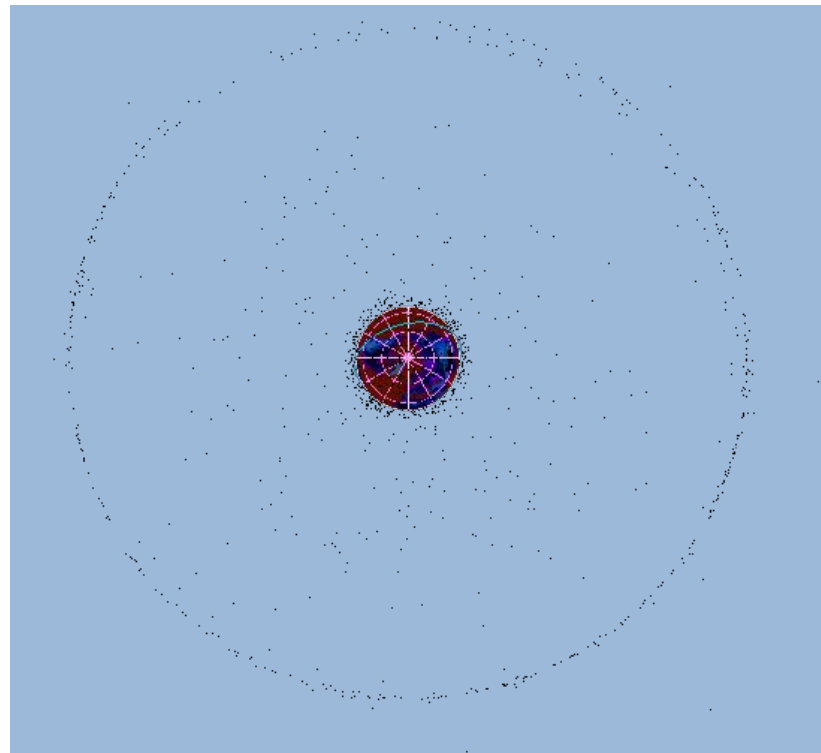
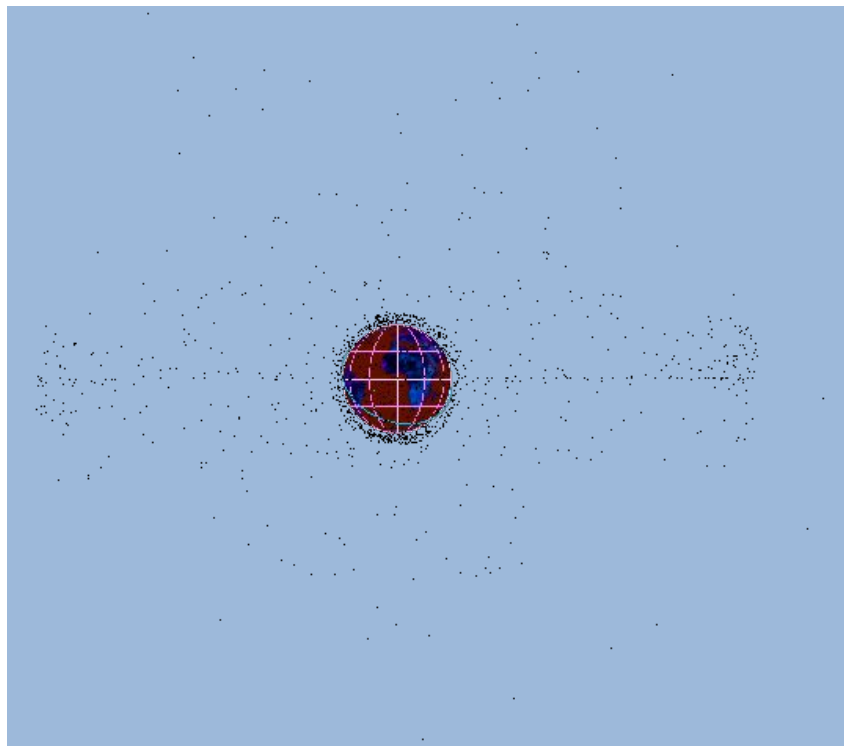
# Орбита «Тундра»

Эллиптические геосинхронные орбиты,  
период обращения — 23 часа 56 мин 04 сек  
большая полуось - 42 164 км;  
высота в перигее: от 18 900 до 25 240 км;  
высота в апогее: — от 46 330 до 52 660 км;  
Наклонение  $62,15^\circ$ —  $63,4^\circ$ ;

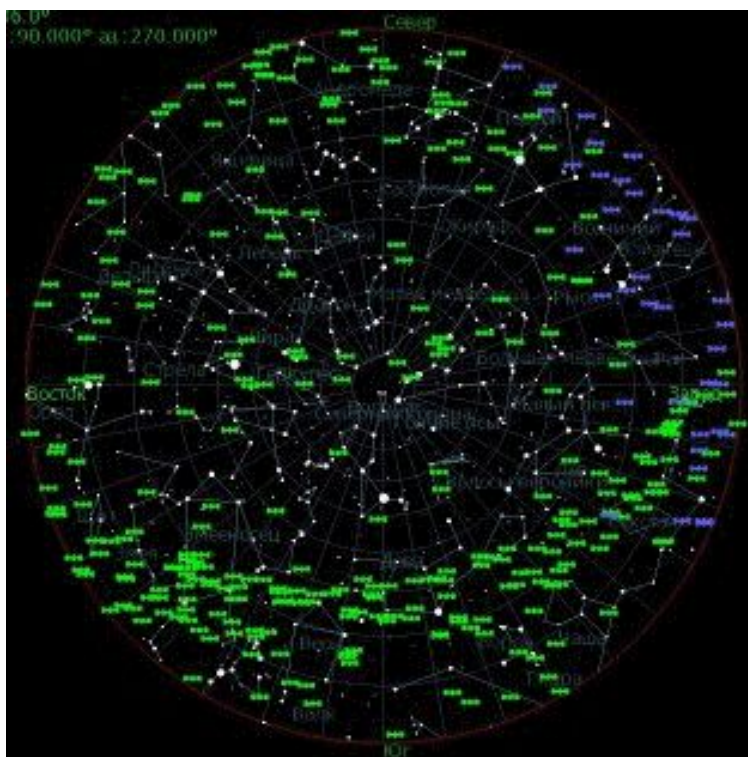
Используется, в частности, компанией  
«Sirius XM Radio» (система «Sirius XM» из  
трёх КА) и японской навигационной  
системой OZSS.



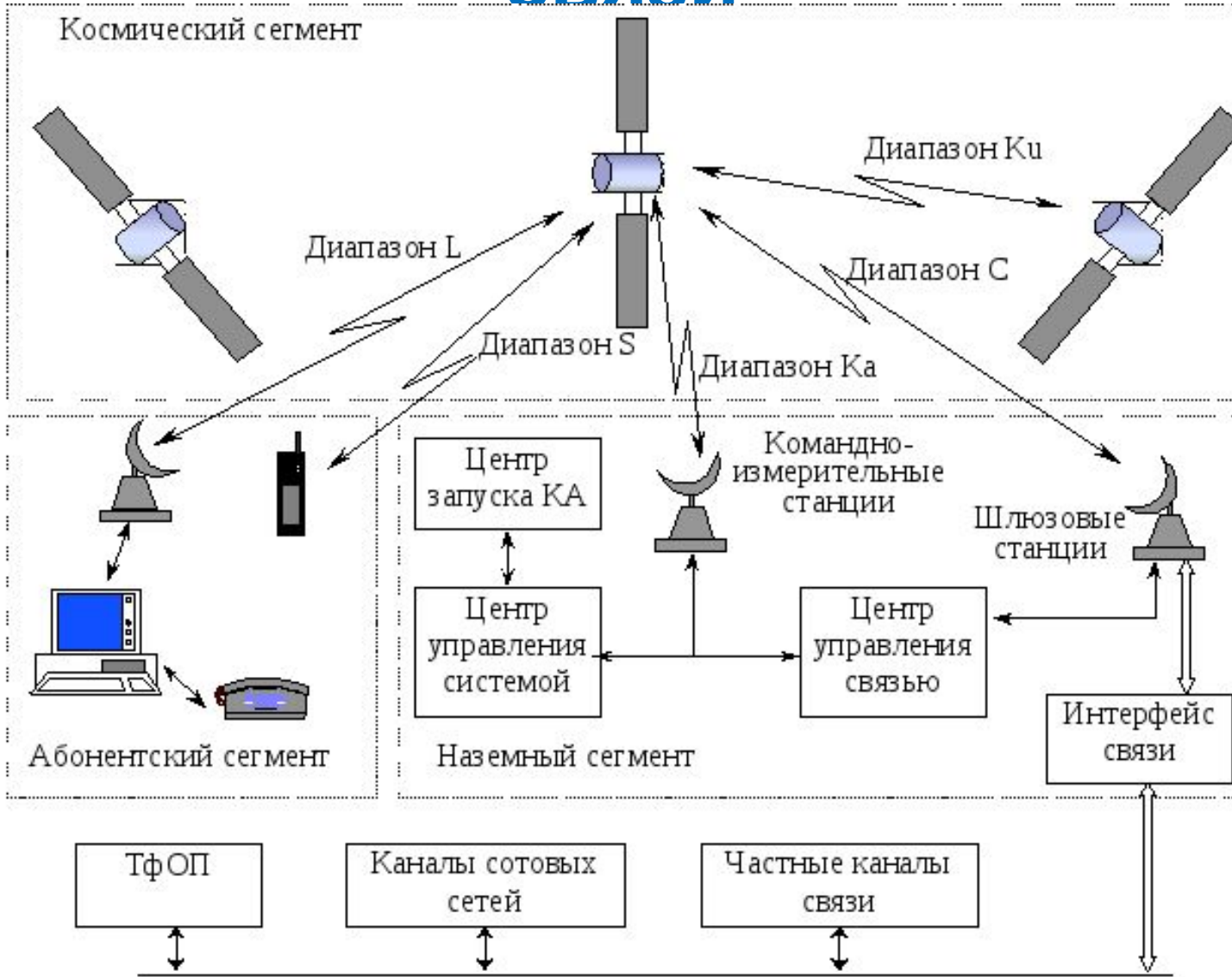
# Населенность орбит



# Населенность орбит

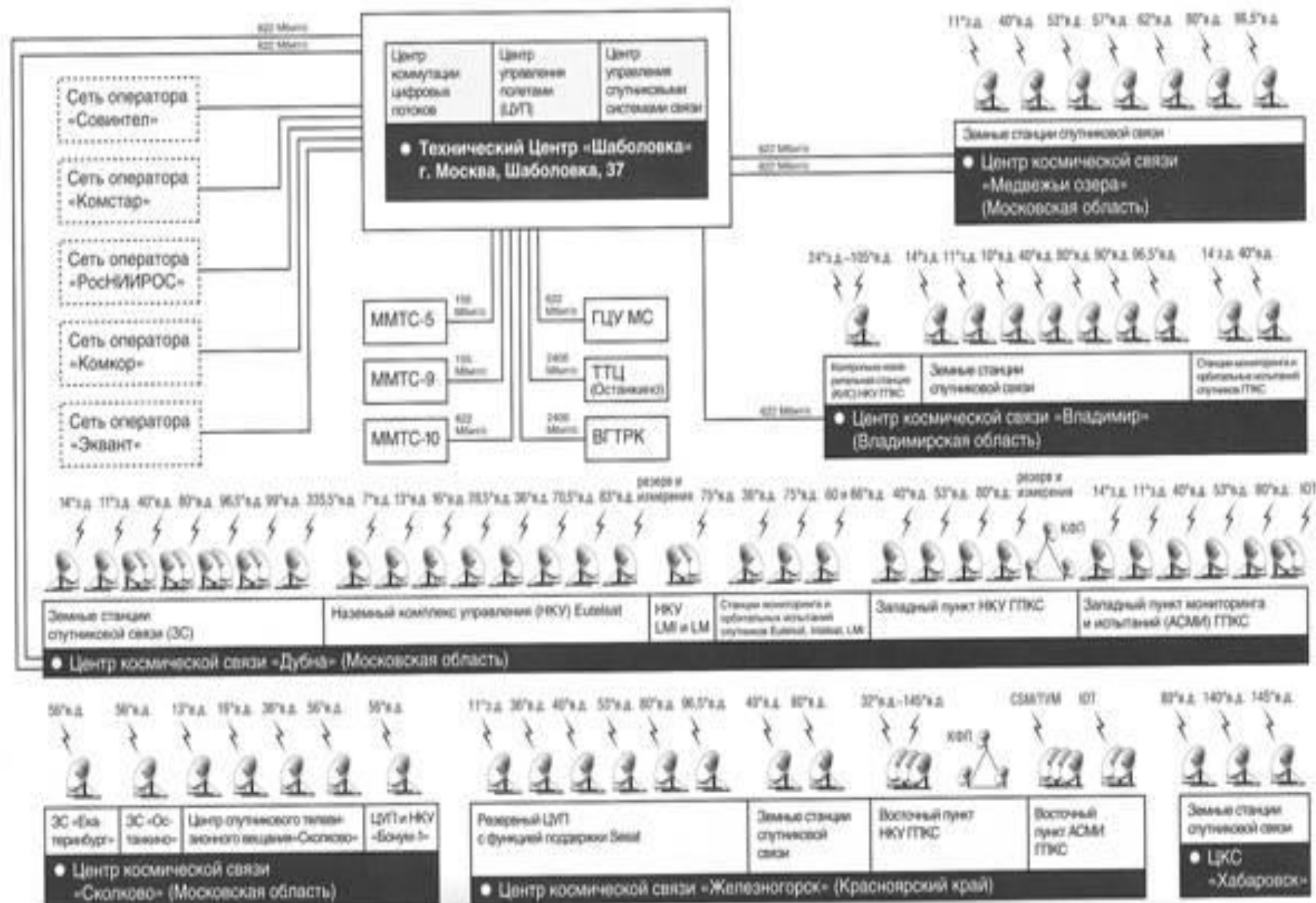


# Структура системы спутниковой СВЯЗИ

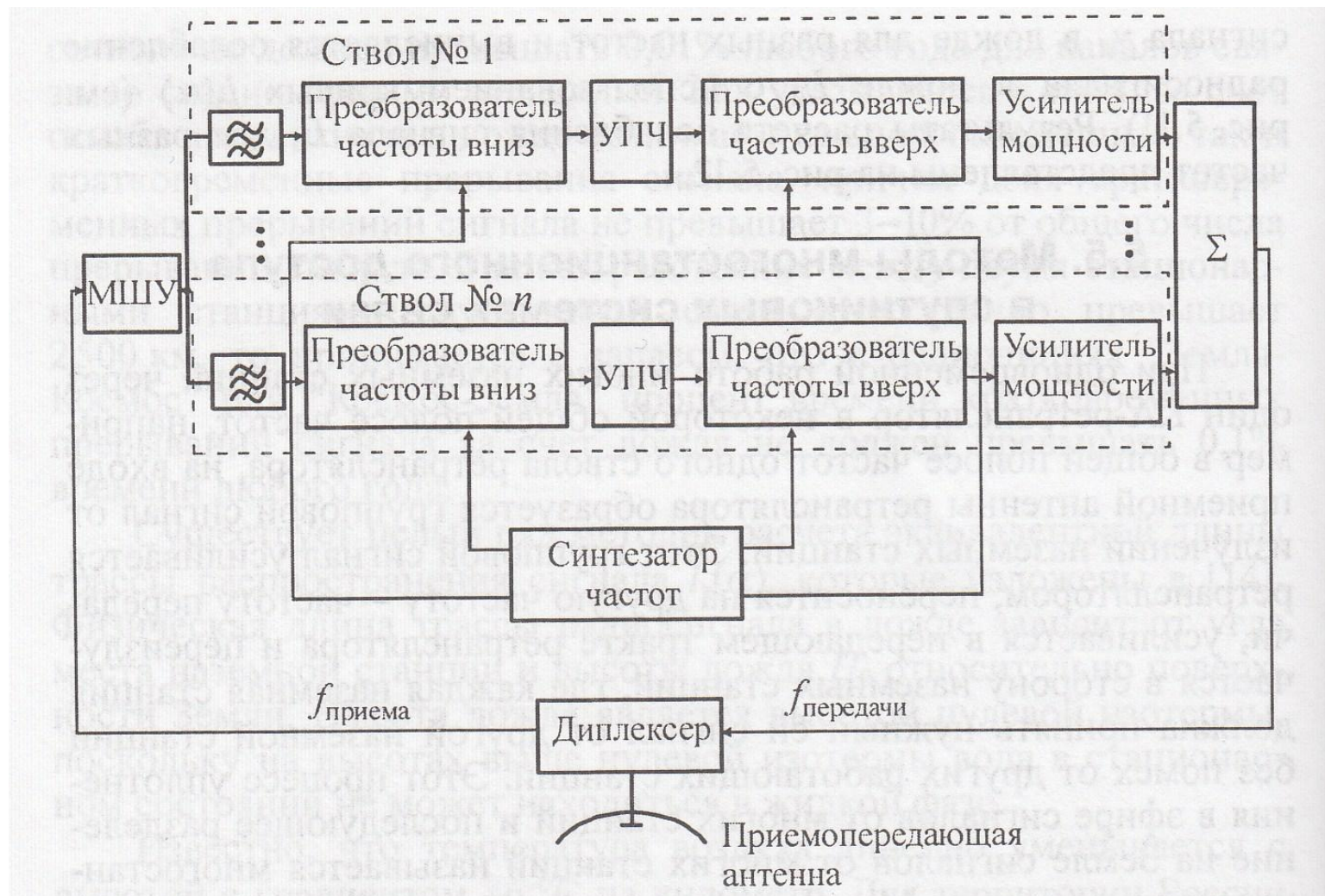




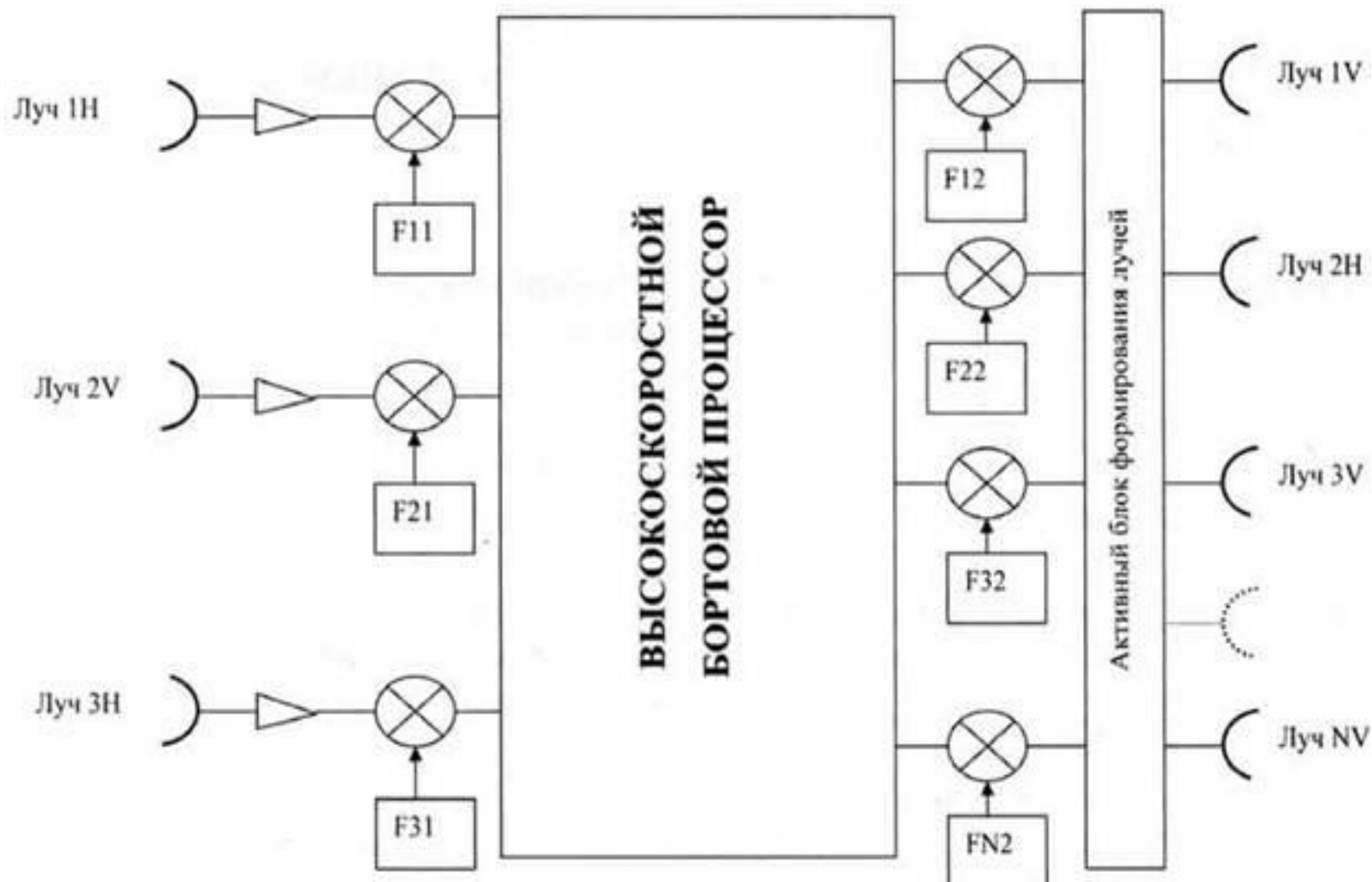
# Наземные технические средства ФГУП «Космическая связь»\*



# Спутник с прямой ретрансляцией



# Геостационарные спутники связи и вещания нового поколения

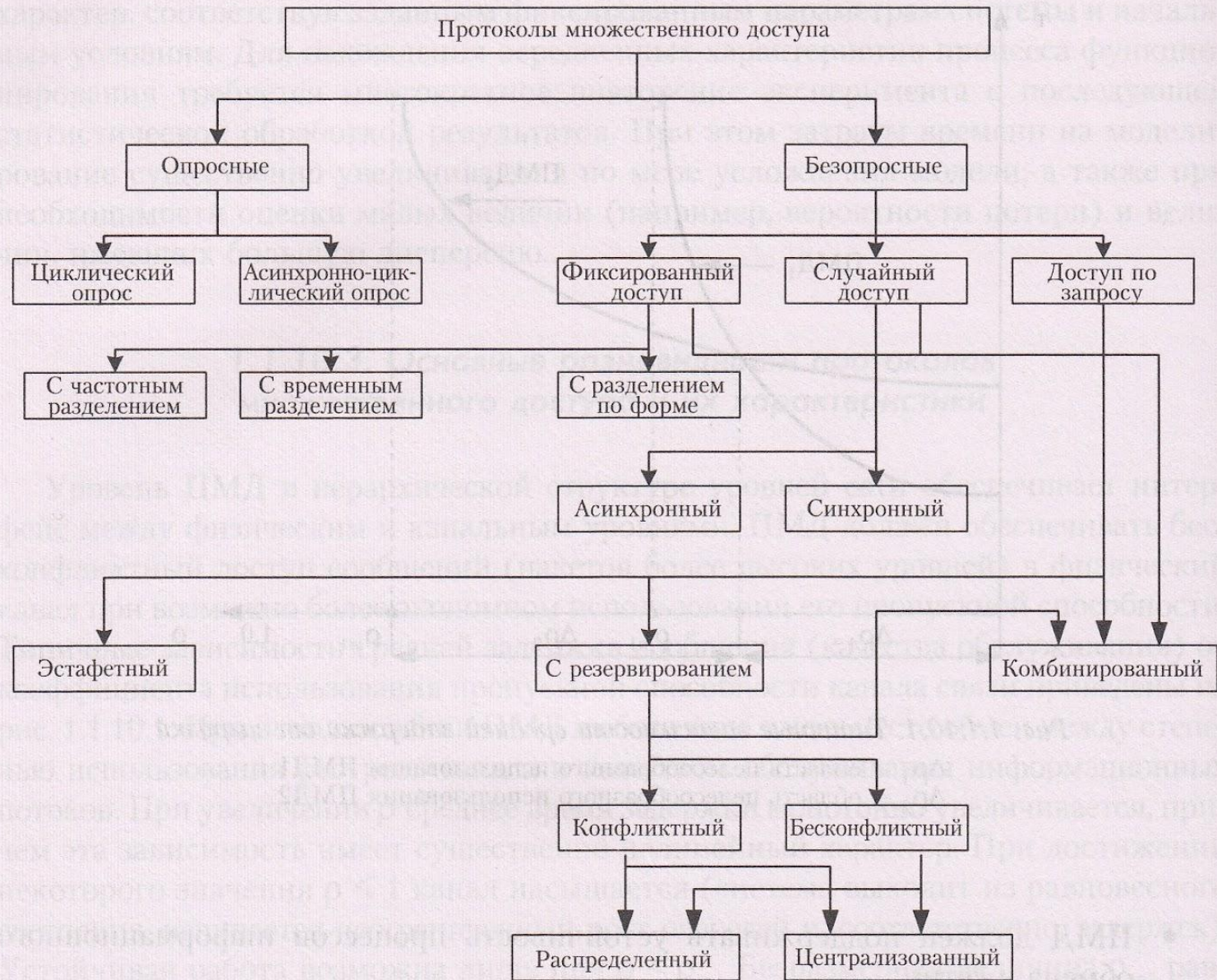


# Основные характеристики перспективных КА (платформа среднего класса)

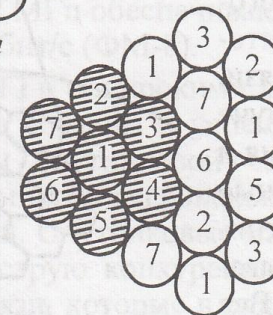
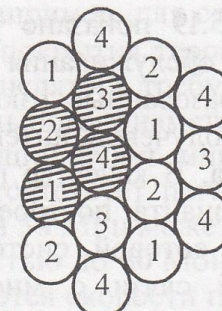
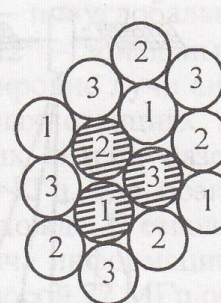
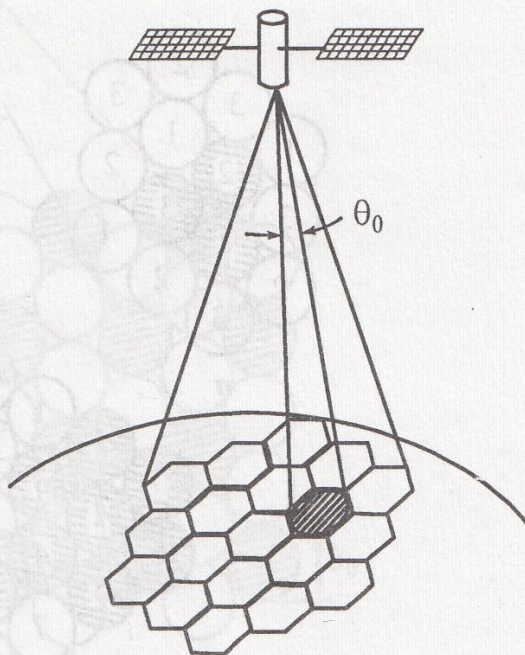
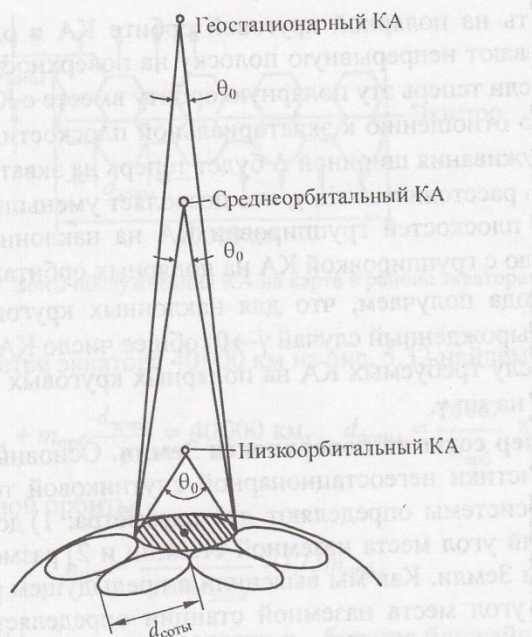
Орбитальная позиция	Экспресс-80	Экспресс-103	Экспресс-АМУ3	Экспресс-АМУ7	Экспресс-АМУ4
<b>Характеристики БРТК</b>	38 транспондеров, из них: – 16 транспондеров С-диапазона, – 20 транспондеров Ku-диапазона, – 2 транспондера L-диапазона.	37 транспондеров, из них: – 16 транспондеров С-диапазона, – 20 транспондеров Ku-диапазона, – 1 транспондер L-диапазона.	39 транспондеров, из них: – 7 транспондеров С-диапазона, – 30 транспондеров Ku-диапазона, – 2 транспондера L-диапазона.	37 транспондеров, из них: – 16 транспондеров С-диапазона, – 20 транспондеров Ku-диапазона, – 1 транспондер L-диапазона.	30 транспондеров, из них: – 9 транспондеров С-диапазона, – 20 транспондеров Ku-диапазона, – 1 транспондер L-диапазона.
<b>Точки стояния</b>	80° в.д.	103° (96,5°) в.д.	96,5° (103°; 53°) в.д.	145° в.д.	11° з.д.
<b>Сроки запуска</b>	III квартал 2019 года	III квартал 2019 года	IV квартал 2020 года	IV квартал 2020 года	IV квартал 2021 года
<b>Генеральный Подрядчик</b>	АО «ИСС» (Договор вступил в силу)	АО «ИСС» (Договор вступил в силу)	АО «ИСС» (Договор вступил в силу)	АО «ИСС» (Договор вступил в силу)	По результатам конкурса
<b>Поставщик ПН</b>	Thales Alenia Space Italia (Договор вступил в силу)	Thales Alenia Space Italia (Договор вступил в силу)	Thales Alenia Space Italia (Договор вступил в силу)	Thales Alenia Space Italia (Договор вступил в силу)	

# Действующие спутники связи нового поколения с интеграцией связи и вещания

Спутник, дата запуска	Полезная нагрузка	Технология полезной нагрузки
Spaceway 3, 2007 г.	Полностью с обработкой по стандарту IpOS	Многолучевые антенные системы, в том числе с быстро-коммутируемыми лучами, в сочетании с применением связанных высокопроизводительных пакетных процессоров
Amazonas 1, 2004 г.	AmerHis + прозрачные стволы	Многолучевые контурные антенные системы в сочетании с применением высокопроизводительных процессоров с коммутацией кадров
Anik F2, 2004 г.	Beam * Link SatMux + прозрачные стволы	Многолучевые антенные системы в сочетании с коммутацией каналов между лучами и многолучевые антенные системы с коммутацией пакетов
IPStar, 2005 г.	Переключения + прозрачные стволы	Многолучевые антенные системы в сочетании с коммутацией каналов между лучами и использованием системы наземных хабов
WildBlue-1, 2007 г.		
Kizuna, 2008 г.	Полностью с обработкой	Многолучевые антенные системы, в том числе с быстро коммутируемыми лучами, в сочетании с применением связанных высокопроизводительных пакетных процессоров



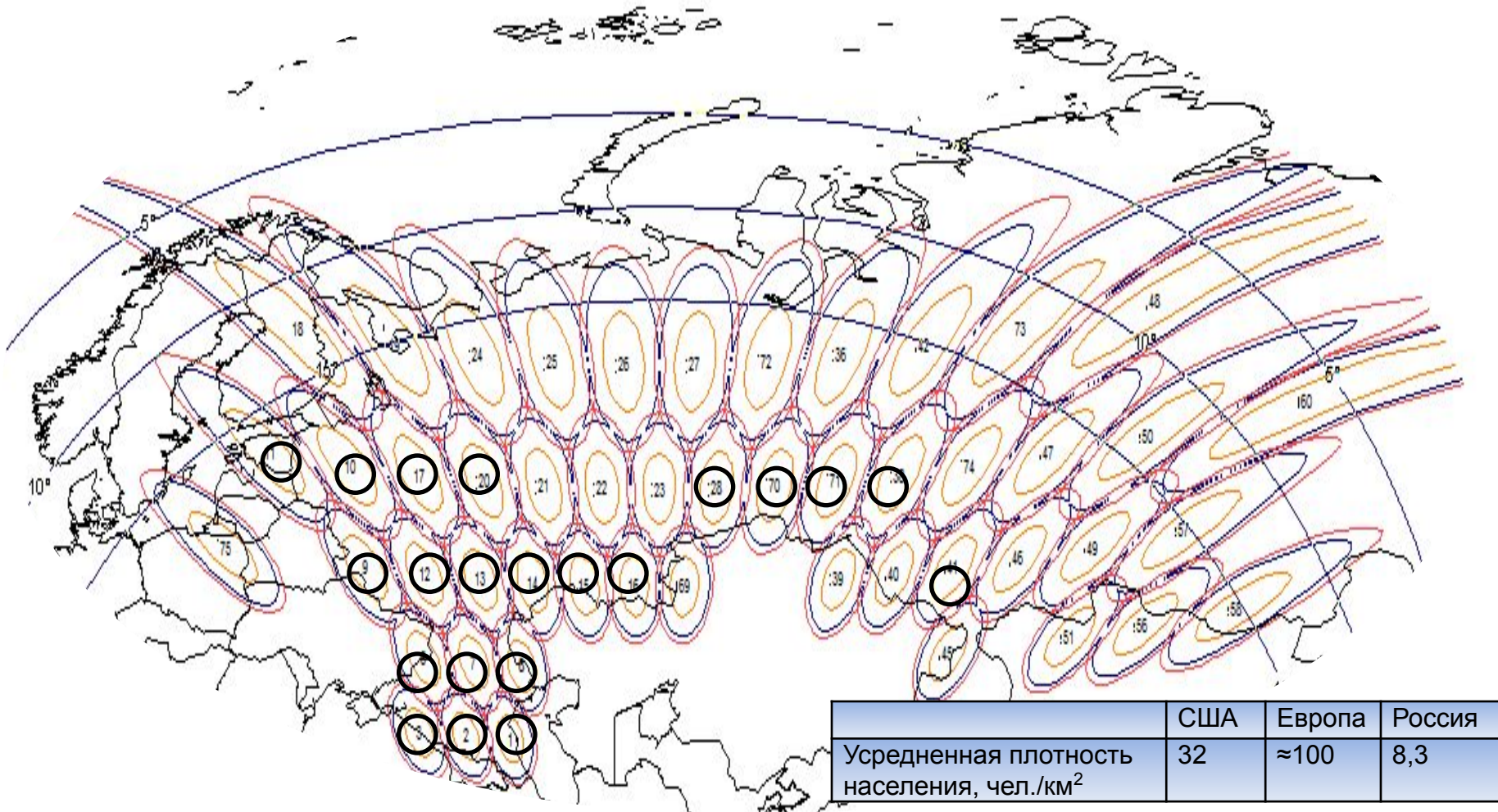
# Зональное покрытие



$F = 2 \text{ ГГц}$ ,  $d = 300 \text{ км}$

Высота КА, км	1400	10000	36000
Диаметр апертуры антенны КА, м	0,85	6,1	22

# Проект формирования рабочей зоны



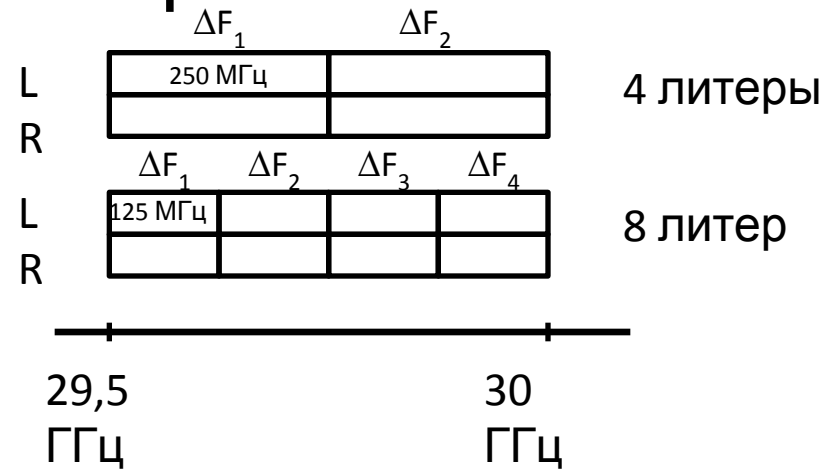
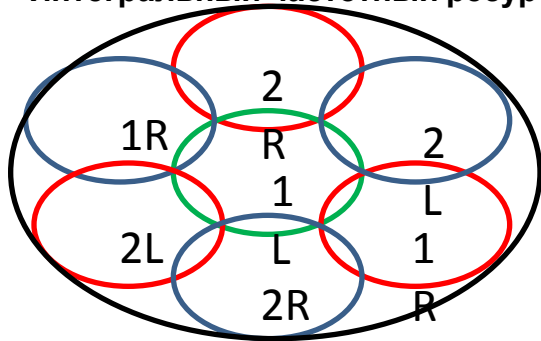
Равномерное распределение лучей спутника КА1 (60Е, 48 лучей по 0,45°, 250 МГц в луче)

○ - лучи в регионах с повышенной плотностью домохозяйств на территории РФ (21 луч)

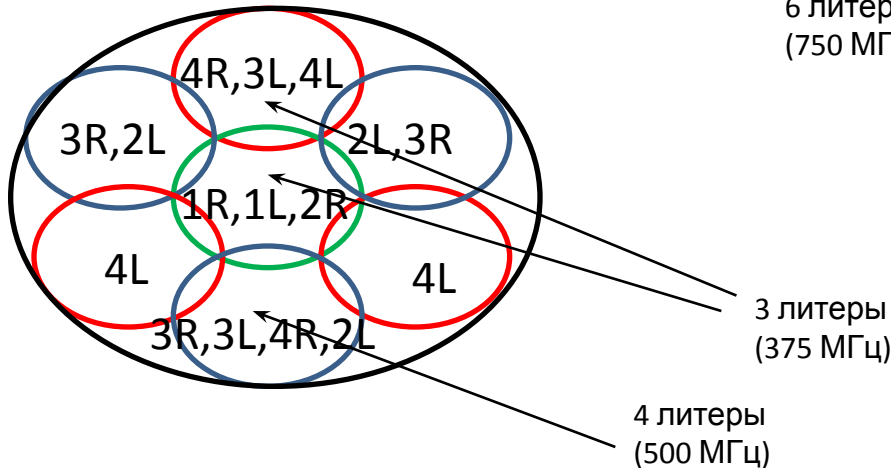


# Принципы формирования рабочей зоны

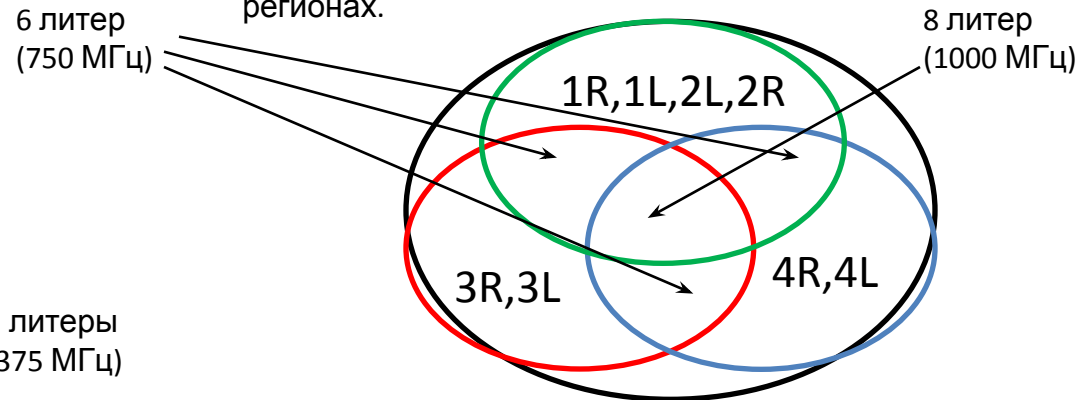
Равномерное распределение лучей по территории и емкости в лучах (4 литеры). Одна литера 250 МГц.  
**Интегральный частотный ресурс 1750 МГц**



Равномерное распределение лучей по территории и неравномерное распределение емкости в лучах (8 литер). Одна литера 125 МГц.  
**Интегральный частотный ресурс 2000 МГц**



Неравномерное распределение лучей по территории и емкости в лучах (8 литер). Лучи шире. Одна литера 125 МГц. Дополнительно возможно использование одного передатчика на 2 луча в малонаселенных регионах.



# Особенности орбит

LEO	MEO	GEO
<p>1. Минимальны задержки распространения сигналов, не превышающие 20 мс для одной зоны обслуживания и для глобальных сетей — величины порядка 80–130 мс, что сопоставимо с задержками в наземных сетях.</p> <p>2. Наиболее плавная деградация характеристик сети при частичных или полных отказах ретрансляторов, что обусловлено их большим количеством и незначительным вкладом каждого из них в общесетевые ресурсы.</p>	<p><i>Задержки распространения ощутимы в большей степени (около 100 мс) и могут достигать 400 мс, однако их величина не превышает наиболее жестких требований, регламентируемых ИТУ для телефонии.</i></p> <p><i>Отказы ретрансляторов ощутимо ухудшают характеристики информационного обслуживания пользователей.</i></p>	<p>Задержки распространения (около 270 мс) отвечают требованиям телефонии при построении региональных сетей и не удовлетворяют при построении глобальных (более 400 мс).</p> <p>Отказ ретранслятора приводит к полной деградации сети, что в ответственных случаях требует использования «горячего» резерва.</p>

# Особенности орбит

LEO	MEO	GEO
<p>3. <i>Наиболее простая и дешевая полезная нагрузка каждого ретранслятора, что проявляется в основном в возможности использования антенных систем с меньшим числом более широких лучей, более простых бортовых коммутаторов.</i></p>	<p>Достаточно сложная и громоздкая полезная нагрузка каждого ретранслятора при значительно меньшем общем их количестве в ОГ, что не приводит к усложнению космического сегмента сети</p>	<p><b>Наиболее сложная и громоздкая полезная нагрузка каждого ретранслятора при минимальном общем их количестве в ОГ, что не приводит к усложнению космического сегмента сети.</b></p>
<p>4. <b>Возможность обеспечения высокого минимального угла возвышения для пользователя, находящегося в любой точке земной поверхности, что достигается увеличением числа ретрансляторов ОГ при соответствующем упрощении каждого из них.</b></p>	<p><b>Возможность обеспечения высокого минимального угла возвышения для пользователя, находящегося в любой точке земной поверхности.</b></p>	<p>Невозможность обеспечения больших углов возвышения в высоких широтах (более 70°), что делает проблематичным создание глобальных сетей подвижной связи.</p>
<p>5. Незначительный размер зоны обслуживания каждого ретранслятора диаметром порядка нескольких тысяч километров, что приводит к необходимости использования в ОГ большого числа спутников (от нескольких десятков до нескольких сотен).</p>	<p><i>Для глобального покрытия земной поверхности достаточно 10–20 ретрансляторов.</i></p>	<p><b>Для практически глобального покрытия зоны обслуживания достаточно 3–6 ретрансляторов.</b></p>

# Особенности орбит

6. Необходимость использования большого числа базовых станций (до нескольких сотен), либо межспутниковых линий связи, что приводит к удорожанию сети.

7. Небольшая длительность сеансов связи пользователя с каждым ретранслятором (от 3 до 14 минут), что приводит к необходимости частой реконфигурации каналов связи (“hand-off”), снижению качества обслуживания и существенным служебным затратам пропускной способности.

*Число базовых станций (станций управления и координации) около 10–15.*

*Длительность сеансов связи составляет около 100 минут, что в значительной степени снимает проблему реконфигурации каналов связи.*

**Минимальное число базовых станций.**

**Пользователи непрерывно находятся в зоне видимости «своего» ретранслятора, нет необходимости в построении системы обеспечения непрерывности соединений (“hand over”, “handoff”).**

# Особенности орбит

LEO	MEO	GEO
<p>8. Небольшой срок службы ретрансляторов (не более 5–7 лет), обусловленный частой сменой «дня» и «ночи» на низких орбитах, что требует дополнительных материальных затрат на восполнение ОГ.</p> <p>9. Необходимость компенсации быстрого изменения параметров радиоканалов из-за высокой скорости движения СР (задержки распространения, доплеровского сдвига частоты, затухания сигналов на трассе распространения, угла возвышения) в связи с высокой скоростью перемещения СР относительно земных терминалов, что усложняет и удорожает аппаратуру связи пользователей и ретрансляторов.</p>	<p>Срок службы ретрансляторов составляет более 10 лет. Редкая цикличность «день — ночь»</p> <p><i>Нестабильность параметров используемых радиоканалов проявляется в существенно меньшей степени, что упрощает аппаратуру связи.</i></p>	<p>Срок службы ретрансляторов составляет более 10 лет. Редкая цикличность «день — ночь»</p> <p>Параметры радиоканалов практически стабильны, отсутствие доплеровского сдвига снижает стоимость и сложность приемников.</p>

# Особенности орбит

10. Незначительный коэффициент использования связанных ресурсов сети в связи с тем, что низкоорбитальные группировки принципиально обеспечивают глобальное или почти глобальное покрытие земной поверхности, в то время как пользователи располагаются на ней крайне неравномерно, занимая лишь часть суши и судоходные акватории мирового океана.

*Благодаря большой высоте орбиты имеется возможность более полного использования пропускной способности ретрансляторов путем избирательного покрытия земной поверхности сканирующими лучами бортовых ФАР.*

**Неподвижность ретранслятора относительно земной поверхности позволяет наиболее точно учесть контуры области обслуживания и обеспечить максимальное использование связанных ресурсов путем централизованного их распределения в соответствии с требованиями пользователей. На наземных станциях не требуются системы слежения и сопровождения ретранслятора.**

11. Значительный риск проектов НССС в связи с отсутствием опыта их разработки, производства и эксплуатации.

*Средний риск проектов, поскольку имеется возможность использования хорошо себя проявивших и проверенных на практике технологий геостационарных ретрансляторов.*

**Риск разработки минимальный.**

# Особенности орбит

LEO	MEO	GEO
<p>12. Неэффективное использование выделяемых частотных диапазонов и проблематичность их использования различными системами.</p>	<p>Неэффективное использование выделяемых частотных диапазонов и проблематичность их использования различными системами.</p>	<p><b>Возможность многократного использования диапазонов частот различными системами путем пространственного разделения.</b></p>
<p>13. <b>Низкая стоимость выведения ретранслятора на низкую орбиту</b></p>	<p>Средняя стоимость выведения ОГ</p>	<p>Высокая стоимость выведения ретранслятора на геостационарную орбиту</p>
<p>14. <b>Низкая стоимость ретранслятора и, соответственно, низкий уровень потерь из-за аварии</b></p>	<p>Высокий уровень потерь затраченных финансовых средств из-за аварии</p>	<p>Высокий уровень потерь из-за затраченных финансовых средств из-за аварии</p>
<p>15. <b>Низкий уровень воздействия радиации на ретрансляторы, но невозможность размещения ОГ на орбитах 1500–5000 км (1-го радиационного пояса Ван-Аллена)</b></p>	<p>Приемлемый уровень воздействия радиации на ретрансляторы, но невозможность размещения ОГ на орбитах 13000–20000 км из-за сильного воздействия радиации во 2-м поясе Ван-Аллена</p>	<p><b>Низкий уровень воздействия радиации на ретрансляторы</b></p>

# Особенности орбит

16. Высокий уровень «космического мусора» на орбитах	<b>Малый уровень «космического мусора»</b>	<i>Приемлемый уровень «космического мусора»</i>
17. <b>Низкая стоимость ретранслятора и ракетносителя</b>	<i>Средний уровень стоимости ретранслятора и ракетносителя</i>	Высокая стоимость ретранслятора и ракетносителя
18. Сложный и дорогостоящий наземный сегмент системы	<b>Низкая стоимость наземного сегмента системы</b>	<b>Низкая стоимость наземного сегмента системы</b>
19. <i>Приемлемая стоимость персонального терминала</i>	<i>Приемлемая стоимость персонального терминала</i>	<i>Недорогой персональный терминал</i>
20. <i>Приемлемый вес персонального терминала</i>	<i>Приемлемый вес персонального терминала</i>	Большие массо-габариты персонального терминала

В таблице принято следующее выделение текстом:

- **достоинство;**
- *ближе к достоинству, чем к недостатку;*
- недостаток.



# Спутниковые сети связи

Тип спутниковой службы	Диапазон частот	Приложения	Тип земных станций	Примеры систем
Фиксированная спутниковая служба на базе геостационарной спутниковой сети	<i>C, Ku</i>	Телефония, передача данных, первичное распределение ТВ-программ, приложения VSAT	Стационарная земная станция с антенной диаметром 1 м или более	Intelsat, Eurosat, Intersputnic, Galaxy, Aussat, Skynet
Широковещательная спутниковая служба на базе геостационарной спутниковой сети	<i>Ku</i>	Передача видео- и аудио-информации напрямую в дома пользователей	Стационарная земная станция с антенной диаметром от 0,6 до 4 м	DirecTV, Echostar, USSB, Astra
Подвижная спутниковая служба на базе геостационарной спутниковой сети	<i>L, S</i>	Речевая связь, низкоскоростная передача данных, определение местоположения	Небольшой терминал, устанавливаемый на автомобиле, корабле или носимый в руке	Inmarsat, AMSC, ACeS, Thuraya

# Спутниковые сети связи

Подвижная спутниковая служба на базе большой низкоорбитальной спутниковой сети	<i>L, S</i>	Подвижная телефония, пейджинг, низкоскоростная передача данных, определение местоположения и др.	Портативный телефон, пейджер или таксофон	Iridium, Globalstar
Подвижная спутниковая служба на базе малой низкоорбитальной спутниковой сети	Ниже 1 ГГц	Передача коротких сообщений, определение местоположения, слежение за подвижными объектами	Устройство размером с пачку сигарет, имеющее всенаправленную антенну	ORBCOMM, ESAT, Гонец
Широкополосная геостационарная спутниковая сеть	<i>Ka</i>	Доступ в Интернет, передача речи, аудио-, видео-, графических данных и др.	Стационарная земная станция с антенной диаметром от 0,7 до 3,5 м	Spaceway, CyberStar, Astrolink
Широкополосная негеостационарная спутниковая сеть	<i>Ku Ka</i>	Доступ в Интернет, передача речи, аудио-, видео-, графических данных и др.	Земная станция с антенной размером от 30 до 70 см	SkyBridge, Teledesic

# Государственные программы поддержки развития ШПД

	США	Австралия	Россия
Программа	National Broadband Plan	Australian National Broadband Network	Информационное общество (2011 - 2020 гг.)
Цели	2015г – 100 млн. домохозяйств 50/20 Мбит/с, 2020г-100 млн-100/50 Мбит/с	2020г – 93% домохозяйств 100 Мбит/с, 7% - 12 Мбит/с	2020г – 80% домохозяйств ШПД*
Финансы, млрд. \$	≈ 350 (23,5 – обеспечить 100% населения 4/1 Мбит/с)	≈ 20-30	≈ 4 ежегодно
Спутниковый сегмент (Ka-диапазон)	первый этап - 250 тысяч домохозяйств в труднодоступных регионах, 4/1 Мбит/с	200 тысяч домохозяйств, 12/2 Мбит/с, 1 млрд.\$ на космический сегмент до 2015г (2 спутника)	2 млн. домохозяйств, 0,5...15 Мбит/с, 160 млн.\$ + частные инвестиции до 2019г (4 спутника, РСС-ВСД)

# Текущее состояние спутниковых сетей массового ШПД (2005-2010)

Оператор	WildBlue (ViaSat)	HughesNet	IPSTAR*
Территория обслуживания	США	США, Канада	Австралия, Океания, Юго-Восточная Азия
Число абонентов в 2010 году, тыс.	более 420	более 550	примерно 250
Стоимость услуги, \$ в мес.	50...80	40...90	20...200
Стоимость подключения, \$	225-268	200	1500-3500
Скорость в прямом /обратном канале, не более кбит/с	512/128 ..... 1500/256	1000/200 ..... 2000/300	512/128 ..... 4000/2000
Ограничение трафика в прямом/обратном канале, в месяц, Гб в день, Мб	7,5...17/2,3...5 нет	нет 200...400/нет	0,5...8 нет
Эквивалентная стоимость 1 Гб в прямом канале, \$	4,7...6,7	6,7...7,5	20...40

\* в Ku- и Ka-диапазоне

# Новые спутниковые сети массового ШПД

Сеть (спутник)	WildBlue+ (ViaSat-1)	tooway (Ka-Sat)	PCC-BCD	
			AM5+AM 6 1 этап	KA1+KA2 2 этап
Число лучей	80	82	10+10	48+25
Полоса частот в абонентском луче, МГц	500 <small>по другим данным 250</small>	250	125	250
Заявленная пропускная способность сети, Гбит/с	140	70	66	
Формирование рабочей зоны и распределение емкости	Лучи в направлении регионов с наибольшей активностью абонентов, равномерное	Равномерное по территории и по лучам	Равномерное по территории и по лучам	

1. Как оценить принцип формирования рабочей зоны и распределение емкости?
2. Как оценить заявленные пропускные способности сетей?

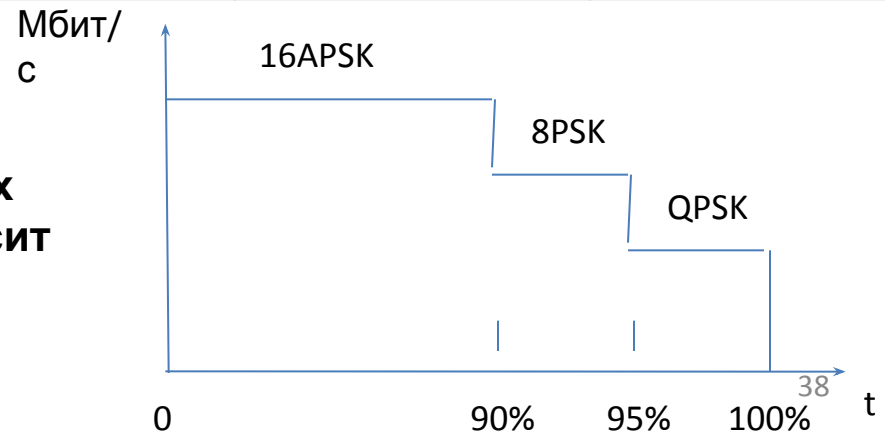
# Оценка максимальной пропускной способности сетей

	Прямой канал	Обратный канал
Модуляция	16 APSK	8PSK (QPSK для PCC-BCD)
Скорость внутреннего кодирования	3/4	3/4
Roll-off	1,2	1,35
Коэффициент прямоугольности фильтра (по уровню -20 дБ)	1,2	1,2
Сигнал/шум, дБ	10	7 (4)

Пропускная способность:

	WildBlue+	tooway	PCC-BCD
Пропускная способность прямых каналов, Гбит/с	85	45	43
Пропускная способность обратных каналов, Гбит/с	56	28	20
ИТОГО, Гбит/с	141 (заявлено 140)	73 (заявлено 70)	63 (заявлено 66)

**Заявленные пропускные способности сетей Wildblue+, tooway и PCC-BCD – это совокупные пропускные способности прямых и обратных каналов. Пропускная способность сети зависит от принятого коэффициента готовности каналов и климатической зоны.**



# Гонец

Система	Гонец-Д1	Гонец-Д1М
Число спутников общее, шт. (плоскостей × спутников на плоскости)	6 (2×3)	12 (3×4)
Максимальное/среднее время ожидания сеанса связи, ч	2,5/1,5	1,3/0,8
Скорость передачи информации, кбит/с	2,4	до 9,6 «вверх»; до 64 «вниз»
Диапазон частот, МГц	259,5—265,2	300—400
Вероятность ошибки на символ	$10^{-4}$	$10^{-5}$
Кодирование	Блочное	Свёрточное ( $k=7$ , $r=1/2$ )
Протокол доступа	<a href="#">TDMA</a>	<a href="#">ALOHA</a>
Пропускная способность системы, Мбит/сут	$10^2$	$10^3$
Точность определения местоположения <a href="#">GPS/ГЛО НАСС</a> /автономно, м	100/-/-	10/10/800

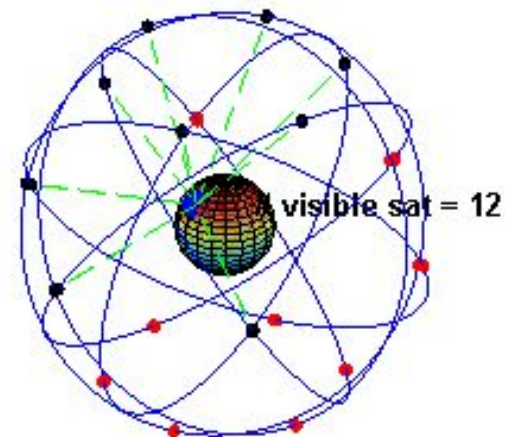
**Система Гонец-Д1М должна состоять из 12 спутников на орбите 1400 км. В каждой из 4 орбитальных плоскостей - по 3 спутника.**

## Назначение

- передача координатно-временной информации ГЛОНАСС
- связь в удалённых регионах;
- мониторинг транспорта;
- мониторинг экологических и промышленных объектов;
- связь в зоне бедствий;
- связь в интересах различных ведомств и министерств.

# Иридиум

- 66 активных спутников;
- на низких орбитах высотой примерно 781 км, наклонением  $86,4^\circ$  и периодом обращения примерно 100 минут;
- поддерживает связь с соседними спутниками через трансивер К-диапазона. Каждый спутник может поддерживать до четырех межспутниковых каналов;
- **Диапазоны частот:**
  - межспутниковые связи — 23,18 - 23,38 ГГц
  - наземная станция - спутники Иридиум — 29,1 - 29,3 ГГц
  - спутники Иридиум - наземная станция — 9,4 - 19,6 ГГц
- Четыре межспутниковые антенны обеспечивают пропускную способность 10 Мбит/с для каждого аппарата;
- Фазированная антенная решётка имеет 48 лепестков формирующих 16 лучей в трех секторах;
- Каждый спутник может поддерживать до 1100 телефонных соединений и весит около 680 кг.

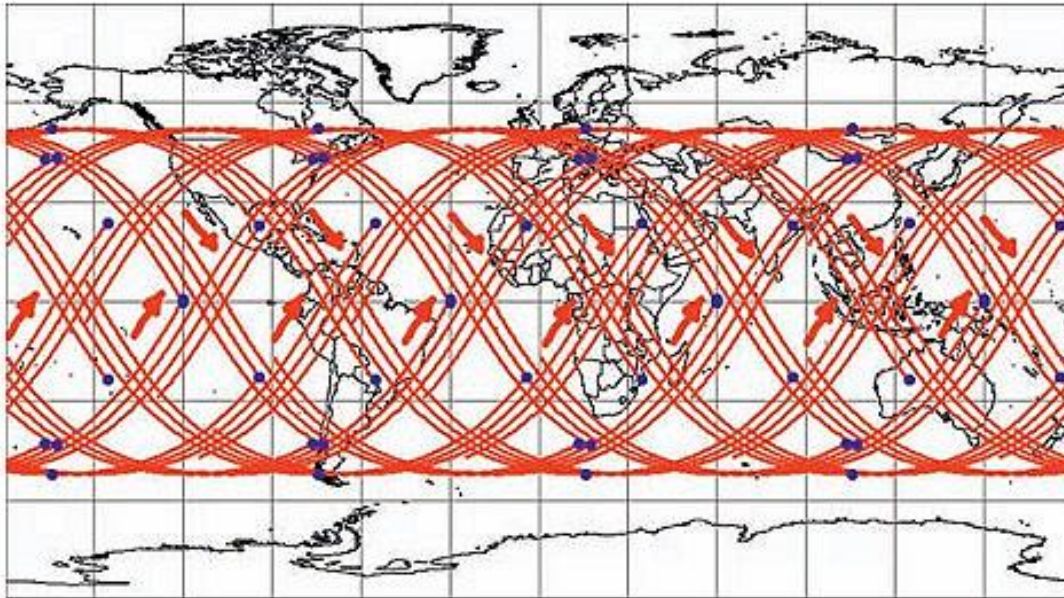




# Глобалстар

48 основных и 4 резервных спутников, весом около 450 кг каждый, размещенных на круговых орбитах в 8 плоскостях (наклонение 52 гр.) на высоте 1414 км по 6 спутников в каждой. Не охватывают приполярные районы.

а) Схема движения КА в ОГ системы Globalstar



б) Вид со стороны полюса



# Глобалстар

## Технологии связи, используемые в системе

### Глобалстар:

- речевой кодер с переменной скоростью и шумоподавлением,
- доступ с кодовым разделением (CDMA),
- одновременная организация пользовательского канала через несколько КА,
- мягкая эстафетная передача от луча к лучу, от спутника к спутнику,
- адаптивное управление мощностью бортового и абонентского передатчиков.

### Основные виды услуг:

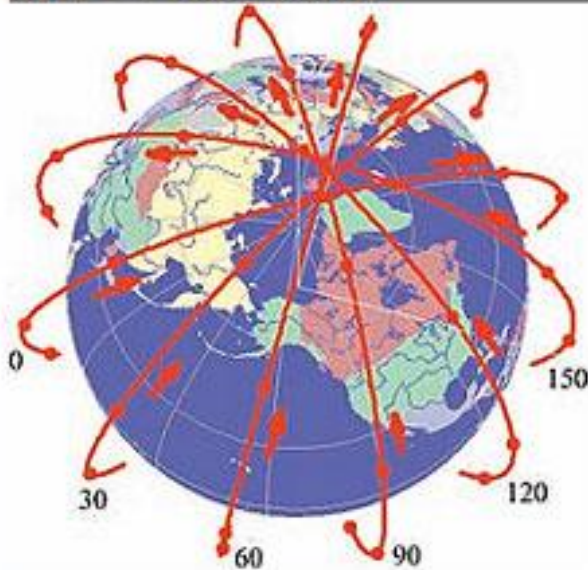
- подвижная и стационарная телефония,
- передача данных,
- факсимильная связь,
- передача и прием коротких сообщений,
- глобальный роуминг,
- голосовая почта,
- вызов аварийных служб,
- определение местоположения объекта.

# OneWeb

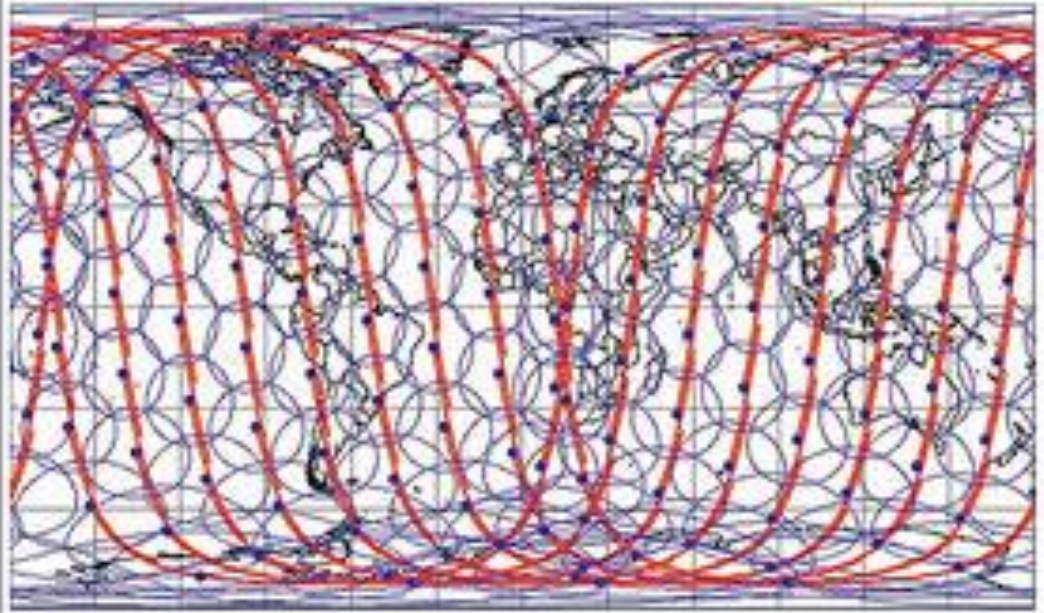
## планируемая британская спутниковая сеть широкополосного доступа в интернет с глобальным охватом

Базовая спутниковая группировка - 672 (а всего около 900) аппаратов на околополярной орбите высотой 1200 километров, 18 плоскостей по 40 аппаратов весом до 150 кг, вывод по 32 аппарата

а) Конструкция Уолкера-Можаева (расстановка на дуге 0–180 град.)



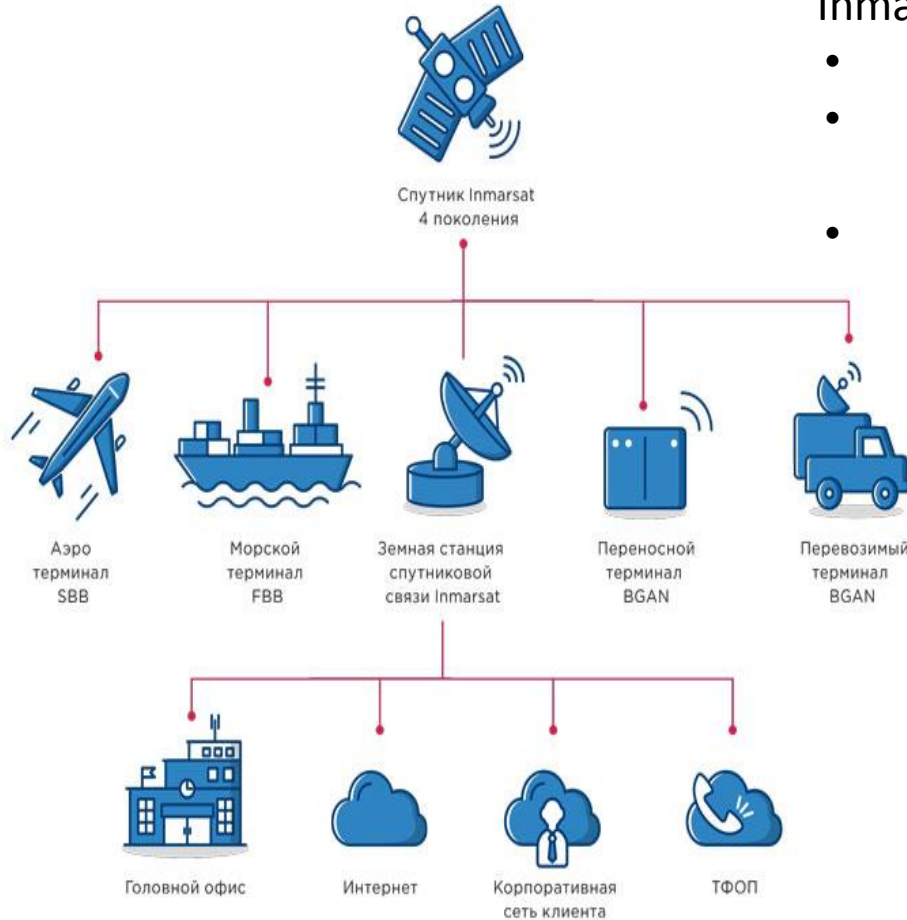
а) Схема движения КА и зоны покрытия



# OneWeb

- Ku и Ka диапазоны радиочастотного спектра (проблема ЭМС с ГС системами)
- Система сможет обеспечивать скорость передачи данных на уровне 10 терабит/с для удаленных районов по всему миру, используя технологии WiFi, LTE (4G), 3G и 2G для подключения мобильных телефонов, планшетов и ноутбуков через небольшие недорогие абонентские терминалы;
- 2 ноября 2018 года Минкомсвязь России запустила законопроект "О внесении изменений в статью 71 Федерального закона «О связи»". Его целью является "предотвращение угроз национальной безопасности, обусловленных использованием зарубежных спутниковых систем связи и доступа в сеть «Интернет» на территории Российской Федерации, при бесконтрольном ввозе абонентских терминалов подвижной спутниковой службы и абонентских земных станций, находящихся в движении и работающих в рамках фиксированной спутниковой службы"

# Inmarsat

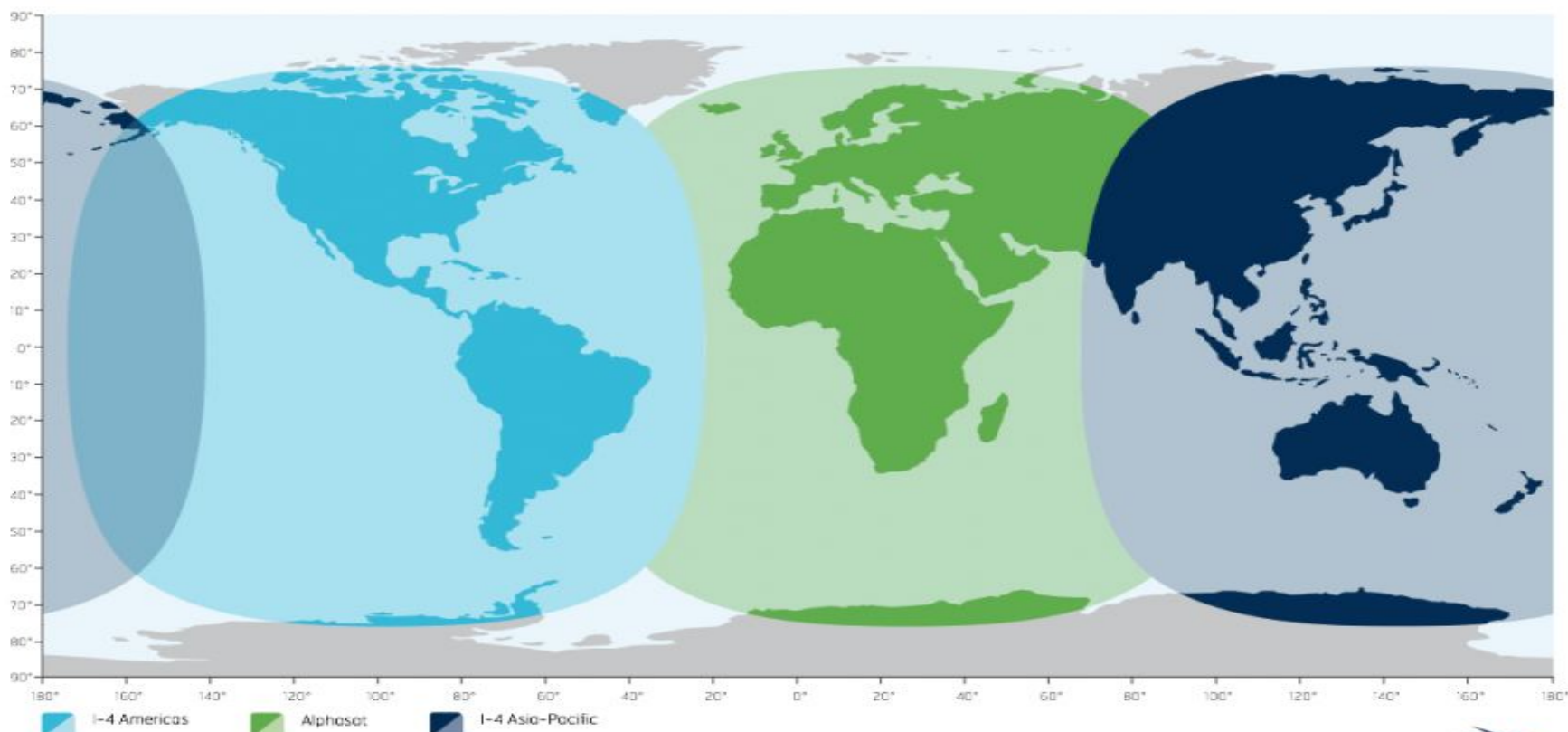


- Inmarsat Broad Band подразделяется на :
- Inmarsat BGAN – связь на земле,
  - Inmarsat FleetBroadBand (FBB) – связь на море/реке,
  - Inmarsat SwiftBroadBand (SBB) – связь на воздушных судах.

Глобальная система связи BGAN (Broadband Global Area Network — глобальная широкополосная сеть) включает спутники и береговые земные станции, обеспечивающие скорость приема/передачи до 492 кбит/с в стандартном режиме, до 650 кбит/с в режиме HDR (high speed data rate), до 1 Мбит/с в режиме параллельного соединения нескольких терминалов.

# Inmarsat Broad Band

Система Inmarsat BroadBand построена на базе трех геостационарных спутников 4-го поколения



# Thuraya

Система использует три спутника на ГС орбите;

Компания зарегистрирована в Объединенных Арабских Эмиратах, оператор спутниковой телефонной связи, работает в Европе, Средней Азии, Австралии, Африке.

Бортовая антенна, — 128-элементная [цифровая антенная решётка](#) диаметром 12 м. , позволяет формировать до 200—300 лучей на пользовательские терминалы или их группы

## Предоставляемые сервисы:

- Передача голоса на портативный или стационарный терминал, совместимый с GSM 900\$;
- Использование SMS;
- Передача данных и факсов на скорости 9,6 Кбит/с;
- Мобильный сервис передачи данных GPRS — 60 кбит/с к терминалу и 15 кбит/с в обратном канале;
- ThurayaIP — передача данных на скорости 444 кбит/с на терминал размером 158×225×50 мм (формат А5) и весом в 1,3 кг;
- Портативные терминалы имеют встроенный GPS-приёмник;
- Вызов высокой мощности ('high power alert') позволяет получать сигнал о вызове, даже если уровень сигнала недостаточен для принятия вызова (например, в помещении).

Каналы на пользовательские терминалы:

Земля-космос 1626,5 — 1660,5 МГц

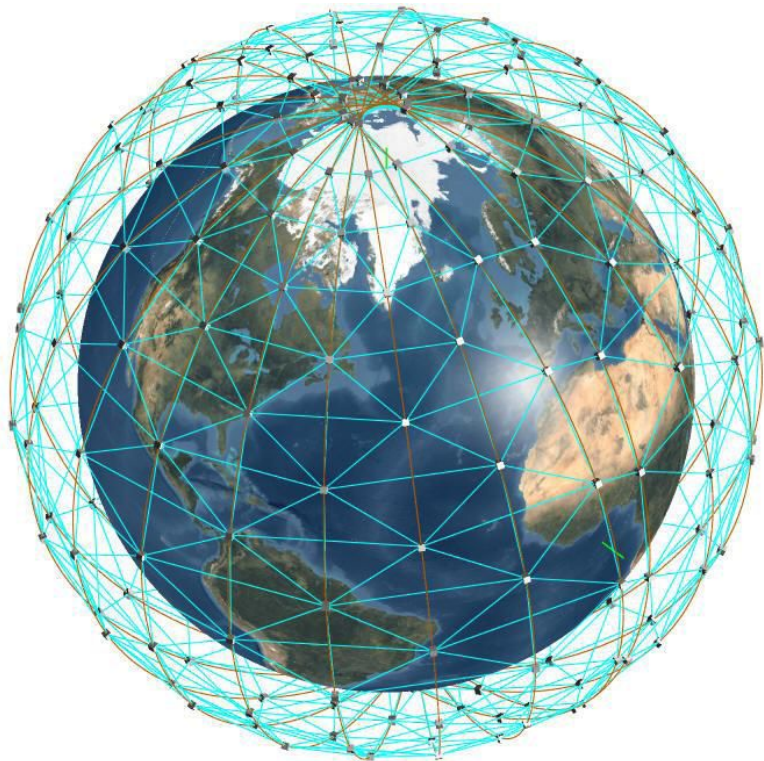
Космос-земля 1525,0 — 1559,0 МГц

Каналы на станцию управления:

Земля-космос 6425,0 — 6725,0 МГц

Космос-земля 3400,0 — 3625,0 МГц

# Проект «Сфера»



640 спутников связи и ДЗЗ на орбите высотой 870 км (предположительно Гонец-М1)

## Функции

- Мобильная телефонная связь;
- Мобильный ШП интернет;
- IoT, системы M2M;
- Контроль за движением транспорта;
- Диспетчерские системы управления полетами БПЛА;
- ДЗЗ

## Требования

- одновременно обеспечивать связью 10 тыс. подвижных объектов транспорта,
- 10 тыс. точек коллективного доступа в интернет,
- 10 млн абонентов персональной связи
- порядка 1 млрд транзакций в сутки по защищенным каналам
- задержками сигнала — от 5 до 15 миллисекунд.

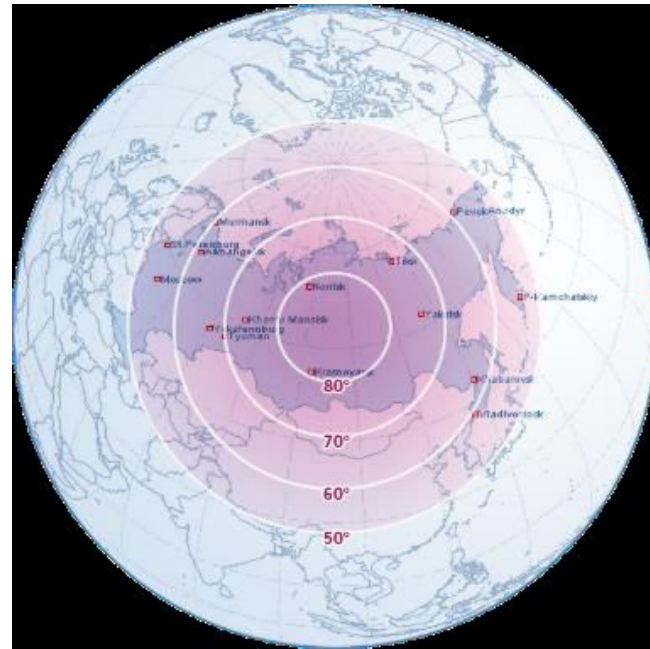


# Экспресс-РВ

## первая глава «Сферы»



Вид на территорию России с ГСО



Вид на территорию России с ВЭО

В зону обслуживания КА на ВЭО входит вся территория РФ, включая Арктическую зону.

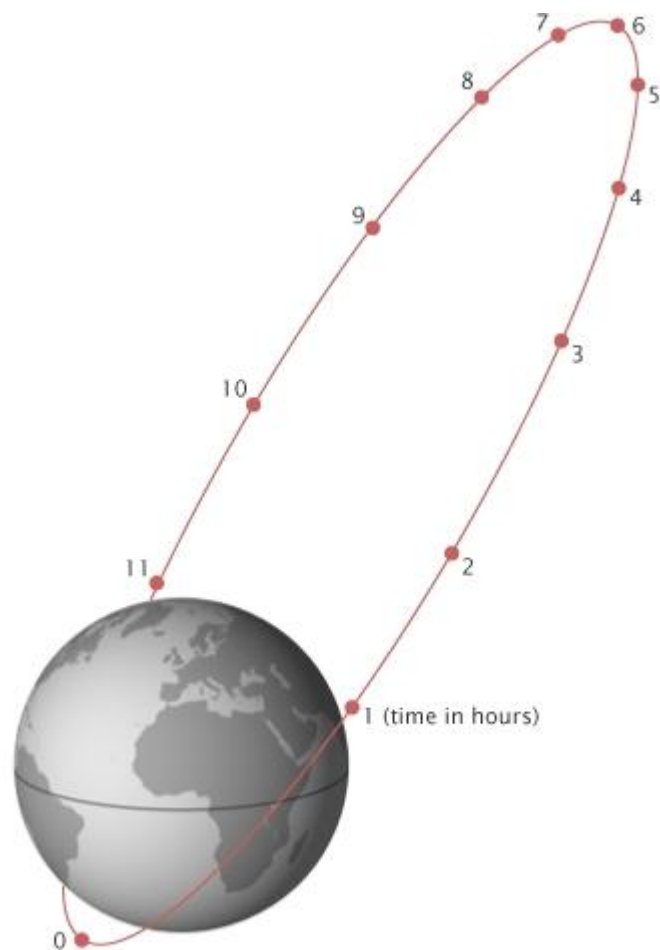
### Состав системы:

Космический сегмент, состоящий из 4-х космических аппаратов на высоких эллиптических орбитах типа «Молния», наземного комплекса управления КА и автоматизированной системы мониторинга и измерений.

# Экспресс-РВ

## Реализация проекта «Экспресс-РВ» позволит:

- обеспечить практически 100% покрытие территории Арктики спутниковой связью;
- обеспечить потребность в услугах фиксированной связи в Арктической зоне, в том числе для пользователей на подвижных объектах;
- решить задачу формирования единого информационного пространства на всей территории России, включая Арктическую зону, применяя комплексные решения с использованием спутников на ГСО и ВЭО;
- обеспечить возможность доступа к услугам связи на Арктических территориях США, Канады, Дании, Норвегии, Исландии, Швеции и Финляндии.



# Экспресс-РВ

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
<b>Тип орбиты</b>	«Молния»
<b>Период обращения</b>	12 час
<b>Параметры орбиты</b>	63,4о
<b>наклонение плоскости орбиты</b>	90ов.д.
<b>долгота апогея</b>	
<b>Число КА в группировке</b>	4 + 1 резервный (на земле)
<b>Разнос плоскостей орбит</b>	90о
<b>Ориентировочная масса КА</b>	≤ 2400 кг
<b>Средство выведения</b>	РН «Союз-2.1б» с РБ «Фрегат»

# Основные характеристики полезной нагрузки КА «Экспресс-РВ»

Параметр	Значение
Диапазоны рабочих частот	L, C, Ku
Зона покрытия в Ku-диапазоне	многолучевая, вся территория РФ и весь Арктический бассейн
Число лучей на каждом аппарате	12 лучей с ШДН 2,75оx 2,75о по уровню минус 3 дБ с индивидуальным перенацеливанием
Число одновременно работающих лучей	24 (с учетом работы на сопряженном витке)
Число каналов связи в Ku-диап. Прямые каналы Обратные каналы	18x54 МГц (с повторным использованием частот), 18x36 МГц (с повторным использованием частот)
ЭИИМ ствола Ku-диапазона	54 дБВт
Добротность ствола Ku-диапазона	6,3 дБ/К
Фидерная линия для Ku-диапазона	в Ku-диапазоне в узком луче, охватывающем Москву

# Проект Teledesic

- Одним из самых амбициозных телекоммуникационных проектов в истории человечества (два миллиардера - Билл Гейтс и Крэйг Мак-Коу )
- Teledesic - это проект глобальной спутниковой сети, которая охватит до 95% поверхности Земли. Приблизительная схема работы сети такова: сигнал от пользователя через наземный терминал поступает на спутник, затем, пройдя по цепочке спутников, он снова передается на наземный терминал, ближайший к точке назначения, откуда и транслируется к конечному пользователю. Разработчики утверждают, что по сети можно будет передавать все виды данных, включая видео и голос. Для подключения к другим сетям предполагается создать специальную систему шлюзов.

# Проект Teledesic

- В рамках проекта Teledesic первоначально планировалось задействовать до 840 низкоорбитальных спутников, однако сейчас, по имеющейся информации, эта цифра снизилась до 288. При этом каждый спутник сможет обмениваться данными по каналам межспутниковой связи ISL (Intersatellite Links - ISL) с восемью своими ближайшими соседями.
- Скорость обмена в канале ISL будет достигать 155,52 Мбит/с, а при использовании нескольких спутников она может быть увеличена до 1,24416 Гбит/с.
- клиентская скорость передачи данных в сети Teledesic будет составлять от 16 кбит/с до 2,048 Мбит/с
- в специальных случаях - до 1,24416 Гбит/с

# Проект Teledesic

- Клиентская скорость передачи данных в сети Teledesic будет составлять от 16 кбит/с до 2,048 Мбит/с (стандарт E1), а в специальных случаях - до 1,24416 Гбит/с (стандарт OC-24). Разработчики сравнивают качество работы будущей сети с качеством оптоволоконных каналов. Общая пропускная способность Teledesic будет эквивалентна 1 млрд. дуплексных каналов E1.
- Для обмена данными внутри сети Teledesic будет использоваться технология пакетной коммутации. Топология сети Teledesic постоянно меняется - образуются новые каналы связи, а старые каналы разрываются. Как следствие, пакеты, на которые была разбита информация, будут следовать по разным маршрутам с разной скоростью и попадать в буфер терминала в произвольной последовательности. Оконечный терминал накопит пакеты в буфере, затем, используя информацию заголовков, перегруппирует их в нужном порядке и передаст конечному пользователю.
- В рамках системы Teledesic вся земная поверхность условно делится на фиксированные участки (около 20 тысяч) размером 160x160 км, каждый из которых в свою очередь состоит из девяти сот. ). Один спутник может одновременно обслуживать до 64 больших участков (то есть 576 малых) с поддержкой до 128 тыс. базовых каналов на одну соту.

# Yaliny

- К 2020 году компания Yaliny (РФ) планирует запустить низкоорбитальную спутниковую группировку, которая с минимальными затратами должна обеспечить покрытие всей территории земного шара. Основу создающейся инфраструктуры будет составлять космический сегмент, построенный на спутниковых аппаратах, вращающихся вокруг земли в 9 орбитальных плоскостях. В каждой из таких плоскостей будет находиться по 15 рабочих аппаратов плюс один запасной — всего 144 спутника.
- При высоте орбиты 600 километров и скорости движения 7339 м/с такой спутник будет совершать один полный оборот за 100 минут.
- Основой спутников служит ФАР — фазированная антенная решетка, позволяющая при широких углах сканирования формировать большое количество независимых лучей, направляемых на приемные устройства.
- Всего одномоментно один такой спутник может обслужить 40 000 абонентов. Наземный сегмент Yaliny будет состоять из 40 наземных станций сопряжения, размещённых по всей планете и подключенных к каналам скоростного Интернета.
- Yaliny будет отличаться тем, что сигнал со спутника будет идти не прямо на трубку, а транслироваться на роутер Yaliny Point, который уже и будет принятый из космоса сигнал раздавать по Wi-Fi на смартфоны и другие цифровые устройства.



## What Needs To Be Done?



Funding



Launch Contracts



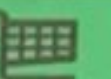
Manufacturing



End-user Terminals



Regulations



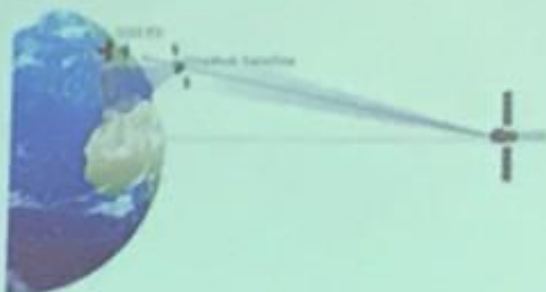
Market Access



Service / Distribution

Success in one area  
NOT an indicator of  
long-term success

# OneWeb



## Reality Check

- ROI Considerations: System Cost = \$3.5 billion - halfway there?
- Initial lack of FPA terminals..... now more like O3b?
- What is the unique value proposition?
- How does this fit with Boeing License Transfer to Greg Wyler?

## Bottom Line

Most Investment and Next to Market, but Questions on Business Case, User Equipment and Target Markets

## Status Check: March 2018



### Funding – Total Cost: \$?? / TBD

~\$1.7B (\$1.5B – Softbank, Virgin Group, Coca Cola, Bharti Group, Qualcomm, Airbus, Intelsat, Total Play)



### Launch Contracts

Ariane Space, Blue Origin, Virgin



### Manufacturing Partner

Self / Airbus



### End-user Terminals

HNS for Gateways, \$150M partnership with Qualcomm for Chipsets



### Regulations

June 2017 Approved by FCC for 720 Satellite Constellation



### Service / Distribution

Coca Cola, Bharti Group, Totalplay, Sprint, Delta, Airtel, Intelsat, etc.

# Telesat's LEO Program



## Reality Check

- Attractive mesh architecture
- No B2C focus
- Fewer satellites required, but more complex satellites

### Bottom Line

Full mesh connectivity and no B2C focus - target enterprise and gov/mil

## Status Check: March 2018



**Funding – Total Cost: \$??**

Seeking Partners to Help Funding



**Launch Contracts**

None past initial Test Satellites



**Manufacturing Partner**

Engaging Industry



**End-user Terminals**

Testing via OmniAccess and others



**Regulations**

FCC License Issued June 2017



**Service / Distribution**

None

# SpaceX's LEO Program

## Status Check: March 2018

# SPACEX

### Reality Check

- ROI Considerations: System Cost = Unknown
- Engineering / System Design – Incomplete/Unknown
- Core Offering – Broadband Access / Bridging Digital Divide

### Bottom Line

System cost and business model unknown, and no info on ground equip, but **don't rule out Elon Musk...**



**Funding – Total Cost: \$?? / TBD (+\$1 Billion?)**  
Fidelity, Google, Founders Fund, Draper



**Launch Contracts**  
Self-Launched, 2 launched in 2018



**Manufacturing Partner**  
Internal



**End-user Terminals**  
None Announced



**Regulations**  
Feb 2018 – FCC Chair Ajit Pai supports SpaceX



**Service / Distribution**  
None

# Orbcomm-G2

## Запуск 6 спутников Orbcomm-G2

<b>Задачи</b>	обеспечение услуг <a href="#">M2M</a> и <a href="#">AIS(оповещение)</a> скорость передачи данных до 4 Мбит / с для нисходящего луча
---------------	--

### Технические характеристики

<b>Платформа</b>	SN-100A, ракета Falcon
<b>Масса</b>	172 кг (при запуске), на орбите до 14 кг
<b>Размеры</b>	1 × 1 × 0,5 <a href="#">м</a> (при запуске) 13 × 1 × 0,5 м (на орбите)
<b>Мощность</b>	400 <a href="#">Вт</a>

### Элементы орбиты

<b>Тип орбиты</b>	низкая
<b>Наклонение</b>	47°
<b>Период обращения</b>	99,1 минуты

# Потенциал коммерческого рынка для спутниковых систем M2M/IoT

Функции	Услуги	ARPU, \$ в месяц Min/Max	Потенциальный рынок 2025	Потенциальный объем 2025 Min/Max, \$млн
IoT forwardhaul	Услуги в системах телеметрии и управления фиксированных объектов (прямой доступ к датчикам), режим доступа случайный в реальном времени	2/4	100 000 датчики всех типов	<b>3.7/7.4</b>
IoT bachaul	Предоставление каналов для РЭС дальнего радиуса действия (LPWAN), режим доступа непрерывный в реальном времени	20/40	20 000 базовых станций	<b>7.4/14.8</b>
АЗН-В	Управление воздушным движением, режим доступа случайный, задержка секунды	10/20	50 000 рейсовых воздушных судов	<b>9.2/18.4</b>
АИС	Контроль судов, режим доступа случайный, задержка секунды	10/20	55 000 крупных морских судов	<b>10.2/20.2</b>
БПЛА	Поле контроля и управления, режим доступа случайный в реальном времени	2/4	500 000 БПЛА массой более 5 кг (примерно)	<b>18.5/37.0</b>
СДКМ	Передача поправок потребителям ГНСС, режим доступа непрерывный в реальном времени	1/2	3 500 000 потребители всех типов	<b>64.6/129.2</b>
IoT подвижных средств	Предоставление каналов для систем ближнего радиуса действия, режим доступа случайный, задержка секунды	1/2	35 000 000 в том числе небольших морских и речных судов	<b>646/1292</b>