



# ЛЕКЦИЯ

## *Занятие 1.*

## Принцип и особенности спутниковой связи



Санкт-Петербург 2019

## Учебные цели

Систематизировать научные знания по  
принципу построения и особенностям  
применения спутниковой связи

## Учебные вопросы

1. Принцип спутниковой связи. Термины и определения.
2. Диапазоны частот, используемые в спутниковой связи.
3. Зоны радиовидимости и зоны покрытия.
4. Роль спутниковой связи. Достоинства и недостатки спутниковой связи

# ГОСТ 24375-80 «Радиосвязь».

**Спутниковая радиосвязь** – это космическая радиосвязь между земными радиостанциями, осуществляемая посредством ретрансляции радиосигналов через один или несколько спутников Земли.

**Космическая радиосвязь** – это радиосвязь, в которой используется одна или несколько космических радиостанций (расположенных на космических объектах, например ИСЗ), или один или несколько отражающих спутников, или других космических объектов.

**Земная станция** (ЗС) – станция радиосвязи, расположенная на земной поверхности (или в основной части земной атмосферы) и предназначенная для связи с космическими станциями либо с другими ЗС через космические станции или другие космические объекты (пассивные ИСЗ - отражательные).

**Ретранслятор связи** (РС) – это космическая станция, расположенная на объекте, который находится за пределами основной части атмосферы Земли, например на ИСЗ.

**Основной принцип спутниковой связи** заключается в обеспечении связи между двумя земными станциями (ЗС) через ретранслятор связи (РТрС) на ИСЗ (КА).

**РЛСС** – линия радиосвязи, включающая в себя две ЗС, осуществляющие между собой связь через РС.

**ЗС** – р/ст, расположенная на земной поверхности (или в основной части атмосферы) и предназначенная для связи с ЗС через РТрС и другими космическими станциями.

**РС** – это космическая станция.

**КС** – станция, расположенная на ИСЗ (КА).

**КА** – космический аппарат.

# Назначение и состав ВССС (на СП)

5

**ВССС (Военная система спутниковой связи)** – составная часть системы связи ВС РФ, представляющая собой **единое организационно-техническое объединение наземного комплекса средств спутниковой связи и управления, орбитальной группировки ретрансляторов связи (РС) на ИСЗ и средств управления** космическими аппаратами (КА).

**Назначение ВССС** – обеспечение УВ и оружием путем:

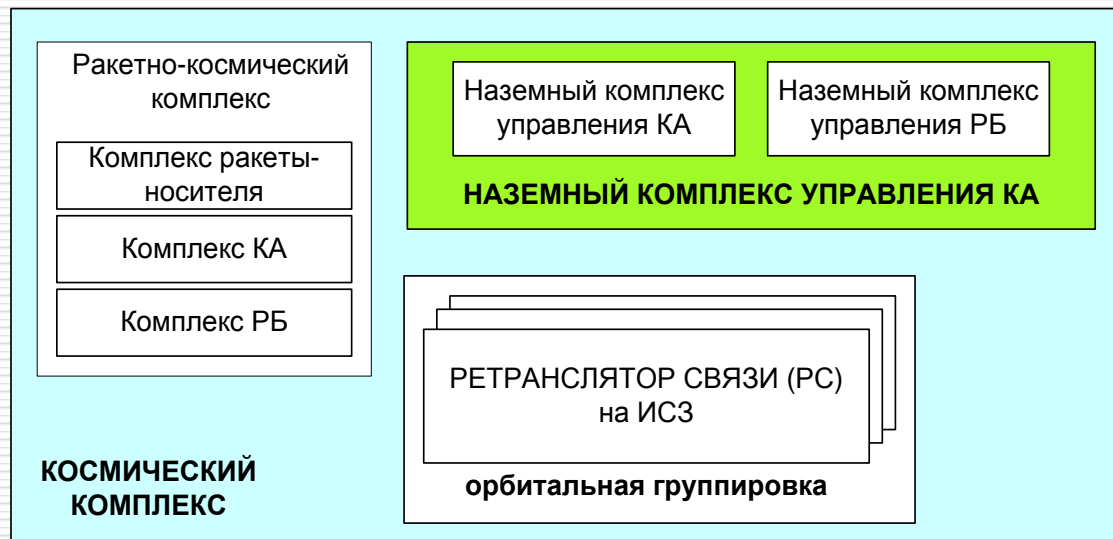
1. Передачи сигналов ЦБУ и оперативной информации от ГШ, ГлШ видов ВС РФ на ПУ объединений, соединений и частей;

2. Передачи сигналов оповещения, управления и взаимодействия в различных звеньях управления (до дивизии) в различных регионах земли.

Используется как в мирное, так и в военное время.

**Состав ВССС:**

1. Космический комплекс;
2. Наземный комплекс управл. КА;
3. Комплекс земных станций.



## Состав наземной группировки:

1. ЦУСС (в составе: Приемо-передающие центры 1 и 2 (ППЦ-1 и ППЦ-2);  
Центр оперативно-технического управления спутниковой связью (ЦОТУС-Д).
2. Наземный комплекс управления КА (ЦОТУСС-Е).
3. Средства спутниковой связи общего применения ВС РФ.
4. Средства спутниковой связи видов ВС (РВСН, ВМФ, ВКС).

## Средства земного комплекса могут быть классифицированы по признакам:

- по принадлежности: общего назначения, видовые, специальные и т.п.
- по оперативному использованию: СЗУ, ОСЗУ, ОЗУ, ОТЗУ, ТЗУ;
- по виду базирования: стационарные незащищенные и защищенные, контейнерные, мобильные, подвижные, носимые;
- по пропускной способности: многоканальные и малоканальные;
- по диапазону частот: сантиметровых волн, дециметровых волн (СМВ, ДМВ).

При необходимости можно выделить и другие классификационные признаки, например, принадлежность станций к конкретному комплексу средств связи ("Ливень", "Легенда").

**Пассивная** – бортовое оборудование отсутствует. Для ретрансляции используется рассеивающее действие металлической поверхности ИСЗ формы сферы.

**Активная** – РС выполняет иные преобразования р/сигналов ЗС, которые позволяют повысить эффективность работы РЛСС.

Активная ретрансляция сигналов делится на два класса:

1. Задержанная РТР сигналов (используются низколетящие ИСЗ на высотах орбит порядка 500 км);
2. Мгновенная ретрансляция сигналов, т. е. в реальном масштабе времени.

## Особенности ВССС

1. **Большая дальность связи** при использовании **одного РС**. Это упрощает структуру ССС и снижает стоимость каналов по сравнению с наземными радиорелейными и проводными каналами.
2. **Обеспечение** возможности **работы через один РС большому числу ЗС**.
3. **Высокие требования к энергетике РЛСС** из-за большой их протяжённости (десятки тысяч километров).
4. **Периодический уход спутника** из зоны радиовидимости ЗС-иметь неск. РС и перенацеливать антенну.
5. **Запаздывание передаваемого сигнала** вследствие большого  $t_{PPB}$  по трассе «Земля – РС – Земля».
6. РТР сигнала через **движущийся** по опр-ым законам РС на КА – эффект Доплера  $F_d = F_0 V/c$ ; необходимость постоянного **слежения антенн** ЗС за положением спутника .
7. Доступность спутников-ретрансляторов радиоэлектронному противодействию.
8. РС функционирует **в космосе** в специфических условиях.
9. Обеспечение многостанционного доступа (МСД) к ресурсу РС КА.

## Выводы:

1. **Основной принцип СпСв – обеспечение связи между ЗС через РС на КА;**
2. **Сп.Св – это глобальная связь постоянной готовности, предназначенная для УВиО**

## Требования предъявляемые к ВССС:

1. Боевая устойчивость в условиях РЭП.
2. Достаточная пр.способность системы.
3. Высокая оперативность СУ.

## Этапы создания и развития ВССС

**1 этап (ВССС-1:** сер.60-х-80г)- обеспечивала **гарантир. доведение только приказов ЦБУ**, но **не отвечала** требованиям по б/устойчивости, в условиях воздействия средств РЭП она РС КА имеют крайне **низкую частотную нестабильность**, низкий коэфф. качества по приему и др.

**2 этап (ВССС-2–** нач.80-х г. по нв.)- **предназначение:** Прд сигн. ЦБУ (СПС); команд БУ носителям ЯО и донесений от них; Орг. дуплексных ТЛФ, ТЛГ, ФТГ связи и каналов ПД в интересах ГШ, видов ВС, родов войск СЗУ, ОСЗУ, ОЗУ, ОТЗУ и ТЗУ; ПС и пограничной связи.

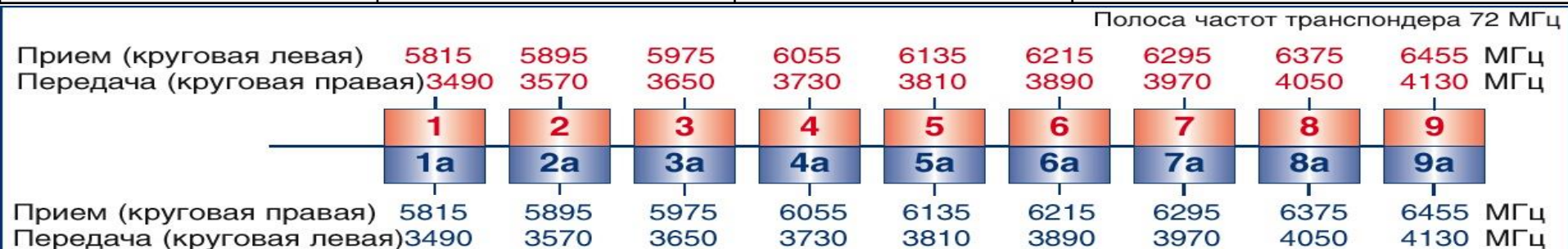
**3 этап (ВССС-3)** – начало разработки – конец 80-х годов, ввод в эксплуатацию 2005г (планировалось)

## 2. Диапазоны частот, используемые в спутниковой связи 8

**Регламентом радиосвязи различают следующие службы спутниковой радиосвязи:**

- **фиксированная спутниковая служба (ФСС)** - служба радиосвязи между ЗС, расположенных в фиксированных пунктах при использовании одного или нескольких спутников;
- **подвижная спутниковая служба (ПСС)** - служба радиосвязи между подвижными ЗС с использованием одной или нескольких КСт (в зависимости от места установки подвижной ЗС различают сухопутную, морскую, воздушную подвижные спутниковые службы);
- **радиовещательная спутниковая служба (РВСС)** - служба радиосвязи (телевизионная, звуковое вещание), в которой сигналы КСт предназначены для непосредственного приема населением (индивидуальный, коллективный прием).

Служба	Диапазон частот, ГГц	Обозн. Диап-на	Примечание
Фиксированная	6/4 (СМВ)	С	
	8/7 (СМВ)	Х	Исп-ся спец/системами
	14/11 (СМВ)	Ku	
	30/20 (ММВ)	Ka	
Подвижная	1.6/1.5 (ДМВ)	L	
	/2.5 (ДЦВ)	S	Может исп. после 2005 г
Радиовещательная	17/10...12 (СМВ)	Ku	





# Полосы частот ЗС VSAT на передачу и прием (гражданского назначения)

КА	На передачу	На прием
<b>"Горизонт"</b>	<b>5975 - 6275 МГц</b>	<b>3650 - 3950 МГц</b>
	<b>14325±17 МГц</b>	<b>11,525±17МГц</b>
<b>"Экспресс-А"</b>	<b>5925 - 6550 МГц</b>	<b>3600 - 4200 МГц</b>
	<b>14250 - 14500 МГц</b>	<b>11450 - 11700 МГц</b>
<b>"Экспресс-АМ1"</b>	<b>5975 - 6475 МГц</b>	<b>3650 - 4150 МГц</b>
	<b>14000 - 14250 МГц</b>	<b>11450 - 11700 МГц</b>
	<b>14250 - 14500 МГц</b>	<b>10950 - 11200 МГц</b>
<b>"Экспресс-АМ2"</b>	<b>5775 - 6275 МГц</b>	<b>3450 - 3950 МГц</b>
	<b>6325 - 6525 МГц</b>	<b>4000 - 4200 МГц</b>
	<b>14000 - 14250 МГц</b>	<b>11450 - 11700 МГц</b>
	<b>14250 - 14500 МГц</b>	<b>10950 - 11700 МГц</b>
<b>"Экспресс-АМ3"</b>	<b>5775 - 6275 МГц</b>	<b>3450 - 3950 МГц</b>
	<b>6325 - 6525 МГц</b>	<b>4000 - 4200 МГц</b>
	<b>14000 - 14250 МГц</b>	<b>11450 - 11700 МГц</b>
	<b>14250 - 14500 МГц</b>	<b>10950 - 11700 МГц</b>
<b>"Экспресс-АМ11"</b>	<b>5775 - 6475 МГц</b>	<b>3450 - 4150 МГц</b>
	<b>14250 - 14500 МГц</b>	<b>10950 - 11200 МГц</b>
<b>"Экспресс-АМ22"</b>	<b>13750 - 14000 МГц</b>	<b>12500 - 12750 МГц</b>
	<b>14000 - 14250 МГц</b>	<b>11450 - 11700 МГц</b>
	<b>14250 - 14500 МГц</b>	<b>10950 - 11200 МГц</b>
<b>"Бонум-1"</b>	<b>17750 - 18100 МГц</b>	<b>12150 - 12500 МГц</b>
<b>"Eutelsat W4"</b>	<b>17750 - 18100 МГц</b>	<b>12150 - 12500 МГц</b>

### 3. Зоны радиовидимости и зоны покрытия

**Зоны радиовидимости (ЗРВ) РС** - часть поверхности Земли, с которой РС виден под углом места  $\beta$  больше минимально допустимой величины ( $5^\circ$ ) в течении заданной длительности сеанса связи.

Размеры зоны численно характеризуется длиной дуги  $D$  (рис.1), проведённой через подспутниковую точку, или угловым размером  $2\phi$ .

**Зона покрытия** – часть ЗРВ, в которой обесп-ся необходимые энергетические параметры ЗС (т.е. зона огр-ая контуром постоянных значений плотности потока мощности, обеспечивающих заданное качество приёма в отсутствии помех). Эта характеристика имеет важное значение при проектировании ССС и анализе взаимодействия между ними.

Зона покрытия зависит от позиции РС на орбите, ДНА стволов, мощности ПРД.

Виды зон покрытия спутника: глобальные (вся видимая с ИСЗ часть Земли ; полуглобальные; локальные).

*Проекция* зоны покрытия на географ. карту наз. **картой покрытия.**

На карте покрытия указываются уровни мощности сигнала, например — 53 dbВт, 50 dbВт, 48dbВт, 45 dbW и 40 dbW. Чем > мощность, тем выше  $d_A$  требуется для нормального приема сигнала

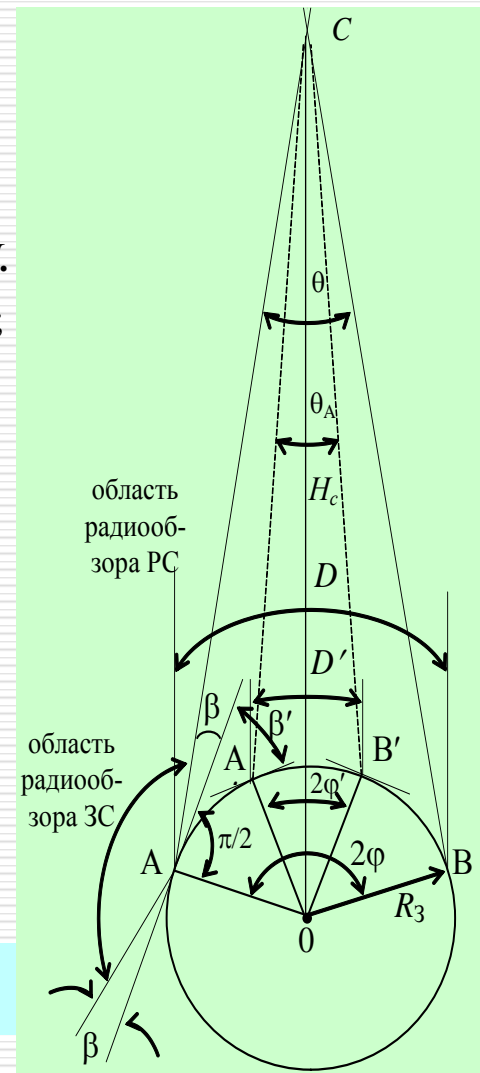
**теоремы синусов** 
$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

**теорема косинусов** 
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

**теорема тангенсов для рисунка** 
$$\frac{a+b}{a-b} = \operatorname{tg}\left(\frac{A+B}{2}\right) / \operatorname{tg}\left(\frac{A-B}{2}\right)$$

$$\frac{R_3 + H}{\sin(90 + \beta)} = \frac{R_3}{\sin \theta} = \frac{r_{\text{НАКЛ}}}{\sin \phi}$$

$$(R_3 + H)^2 = R_3^2 + r_{\text{НАКЛ}}^2 - 2R_3 \cdot r_{\text{НАКЛ}} \cos \beta$$



### 3. Зоны радиовидимости и зоны покрытия

Их выражения

$$\frac{H_c + R_c}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)} = \frac{R_c}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi - \beta\right)} \quad (1)$$

где  $\sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi - \beta\right) = \cos(\phi + \beta)$   $\sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) = \cos \beta$

1. Минимальное значение **высоты орбиты ИСЗ**  $H_{\min}$  при заданной дальности

$$H_{c\min} = R_3 \left[ \frac{\cos \beta}{\cos(\phi + \beta)} - 1 \right] \quad (2)$$

2. Максимальную **дальность связи**  $D_{\max}$  при заданной  $H_0$

$$D_{\max} = 2R_3\phi = 2R_3 \left[ \arccos\left(\frac{\cos \beta}{1 + H_c / R_3}\right) - \beta \right] \quad (3)$$

Максимальная наклонная дальность

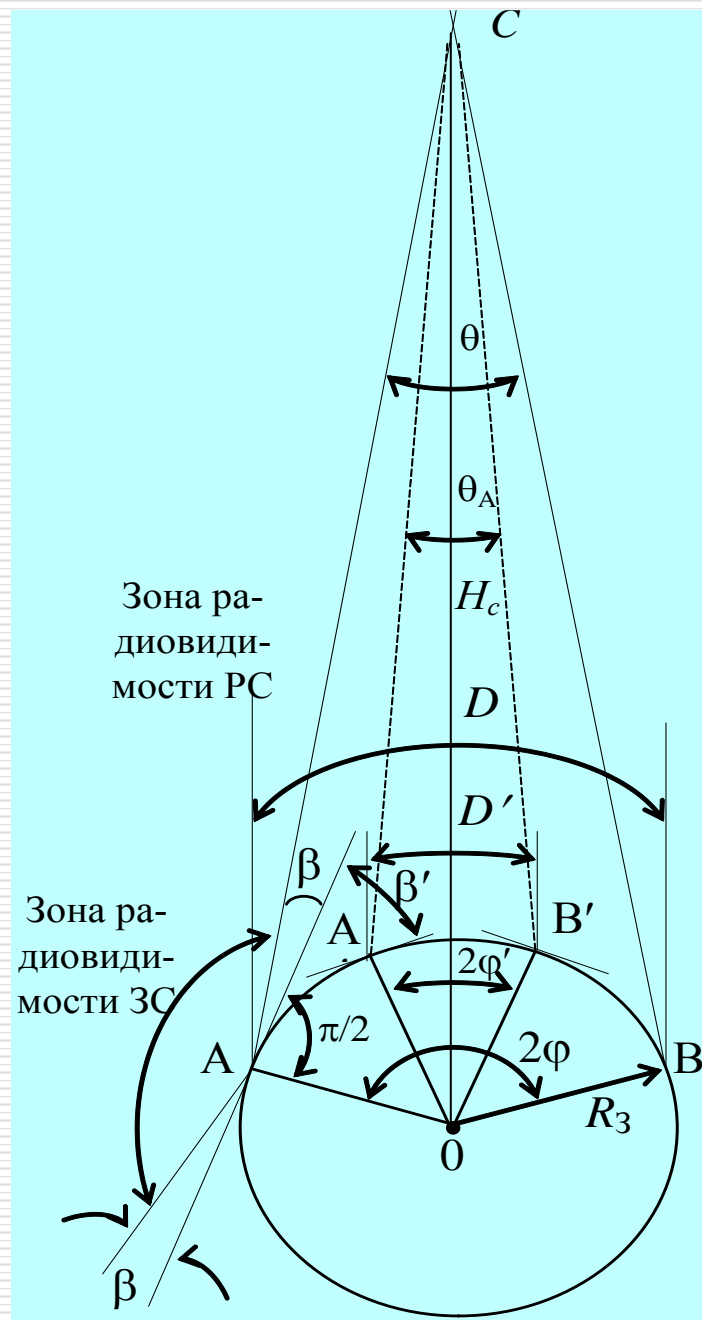
$$r_{H_{\max}} = \frac{R_3 \sin \phi}{\cos(\phi + \beta)} = R_3 \left( \frac{\sqrt{1 + \alpha^2}}{\alpha} \cos \beta - \sin \beta \right) \quad (4)$$

$$\theta = \pi - 2 \arccos \alpha \quad (5)$$

где  $\alpha = \frac{\cos \beta}{1 + H_c / R_3}$

Величина  $r_{H_{\max}}$  позволяет проводить необходимые энергетические расчёты в радиолинии и определять задержки сигналов

Q– оценивать максимальное значение ширины ДНА РС для покрытия

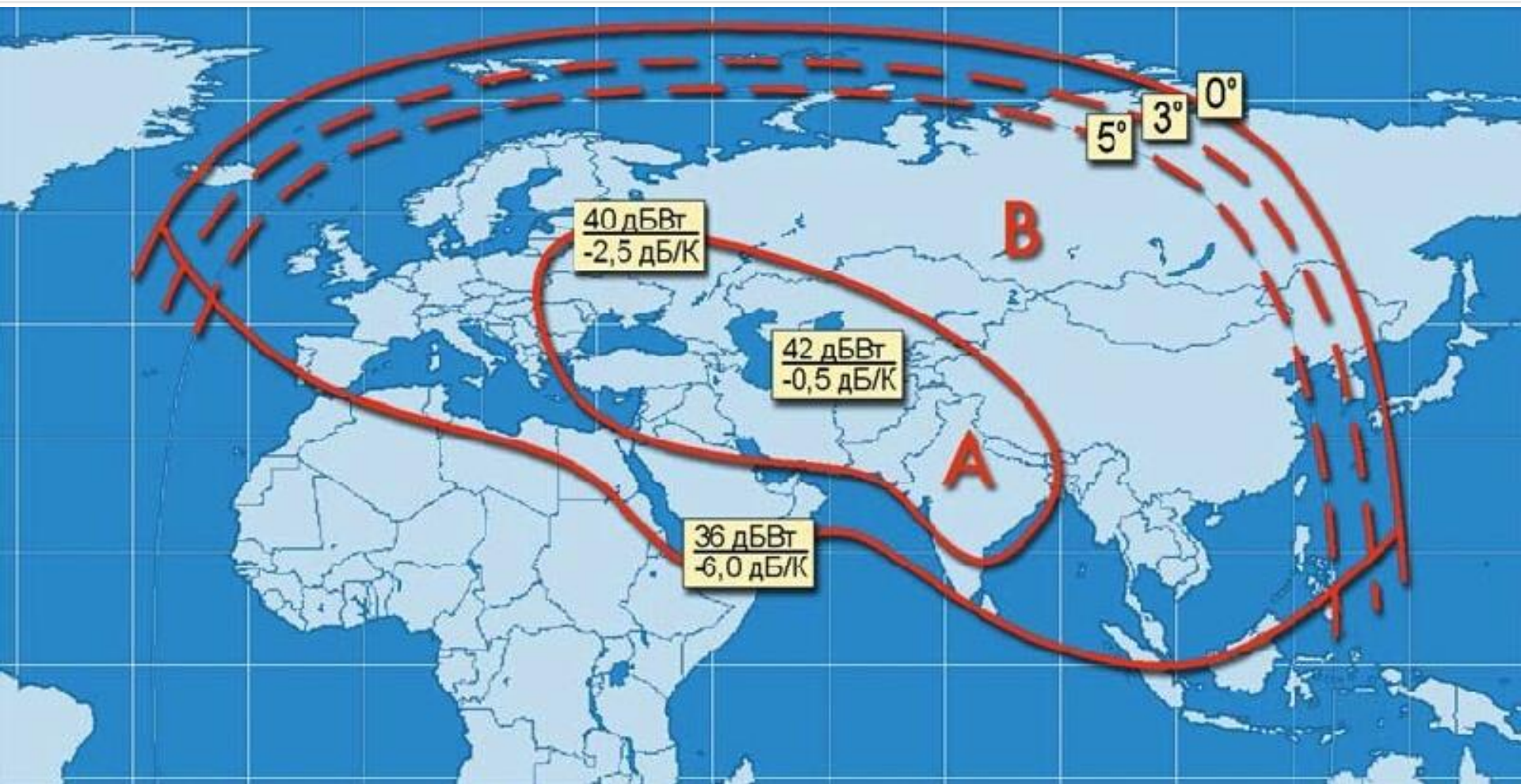


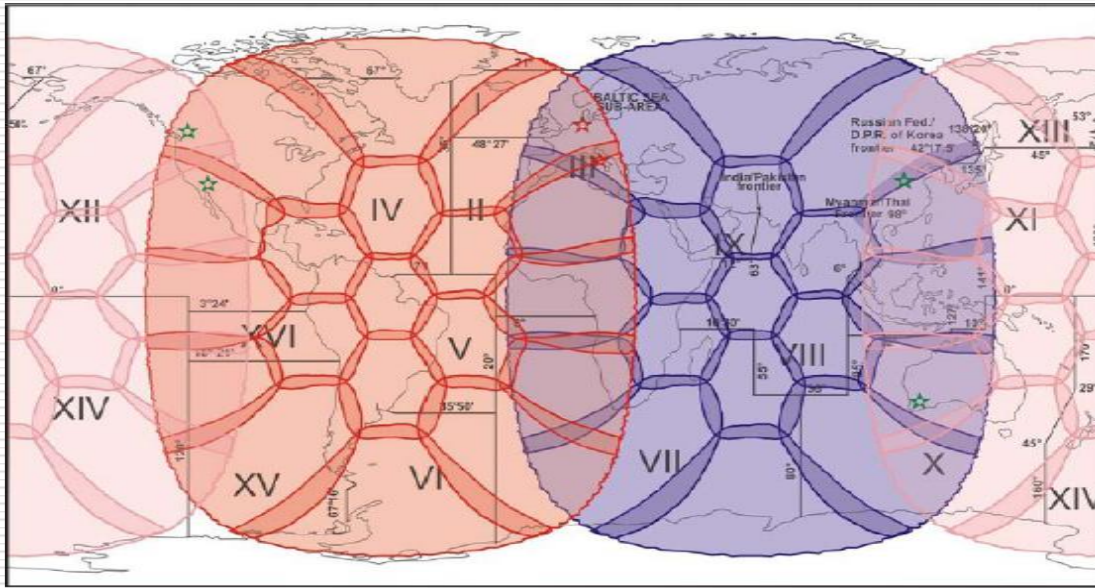
# Зона обслуживания спутников "Ямал"

12

*Зоны обслуживания* – части земной поверхности, на которой обеспечиваются необходимые *защитные условия по уровню взаимных помех* при совместной работе с другими радиосредствами, и достигается, требуемое значение плотности потока полезной мощности.

Другими словами, это зона, в которой расположены или могут быть расположены **ЗС данной сети**, для которых обеспечиваются нормальные условия работы в течение заданного времени.

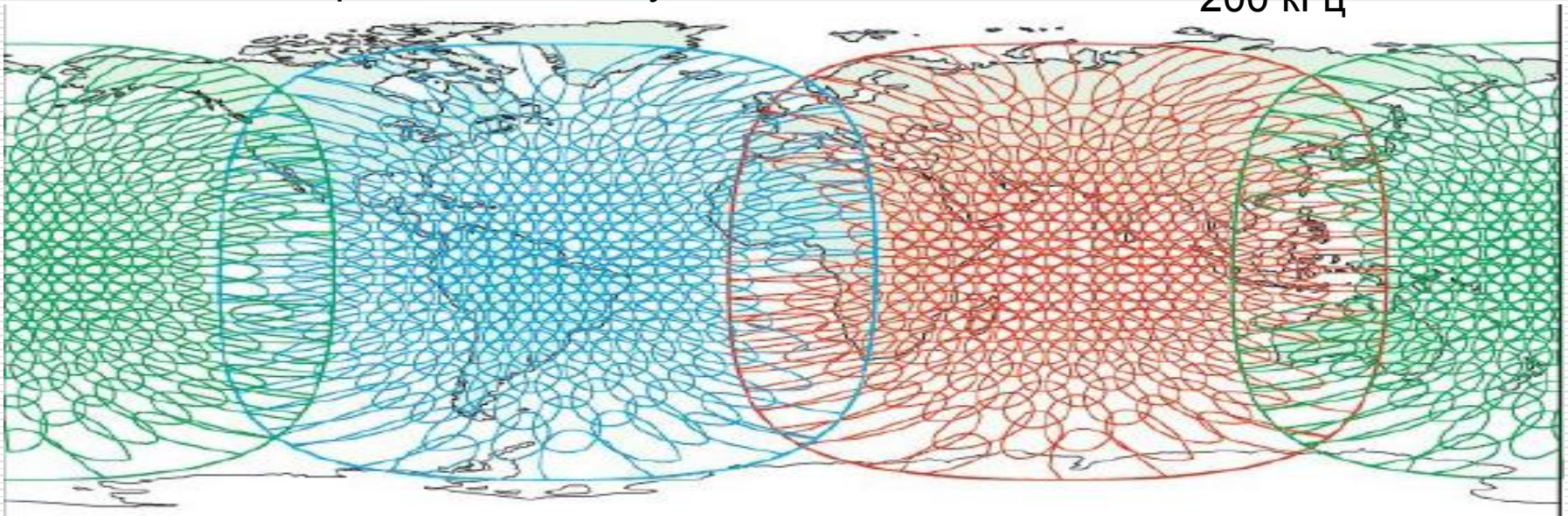




19 региональных лучей



630 каналов с полосой  
200 кГц



228 узких лучей

### Достоинства

1. **Передача информации на большие расстояния** может быть осуществлена в пределах больших территорий. **Глобальность**, организации связи для удаленных абонентов, которые могут находиться в труднодоступных районах с неразвитой ТК инфраструктурой.

2. Наличие **прямой видимости** между РС и ЗС и использование ВЧ диапазонов обеспечивает **высокое качество** образуемых каналов с **> пропускной способностью**. При ССС обеспечивает передачу всех видов информации, в т.ч. ТВ, а качество ПИ не зависит от расстояния.

3. СпС обладает **высокой надежностью**. Надежность линии определяется надежностью РС и ЗС в ее составе. Лучшие схмотехнические решения обеспечивают срок активного существования РС до 15 лет и более. А надежность ЗС не хуже, чем надежность РРСт.

### Недостатки

1. **Большая удаленность РС** от Земли приводит к значительным **энергетическим потерям** на трассе. Потери в свободном пространстве на СМВ участка ЗС-РС, равно 200дБ.

2. Вследствие **движения РС** относительно ЗС появляется необходимость **наведения антенн ЗС на КА** и **слежения** за ним в процессе связи. Сложные схемы поиска РС и его и автоматическое сопровождение антенной по сигналу.

3. Вследствие **движения РС** относительно ЗС наблюдается эффект Доплера, заключающийся в изменении номинала рабочей частоты принимаемого радиосигнала относительно частоты излученного сигнала. Сложные схемы **устранения частотной нестабильности** в радиолинии.

4. **Большая удаленность РС** от ЗС приводит к значительным **задержкам передачи** ( $R/C=80000\text{км}/300000\text{км/с}=250\text{ мс}$ ), что существенно сказывается при организации телефонных каналов.

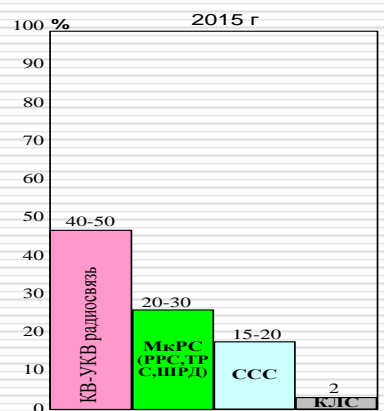
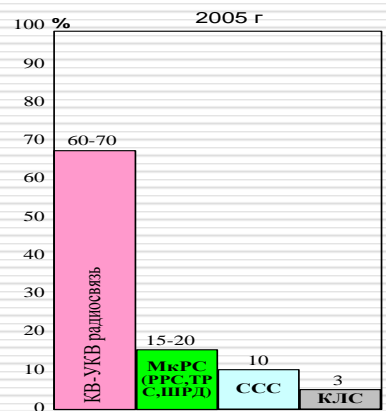
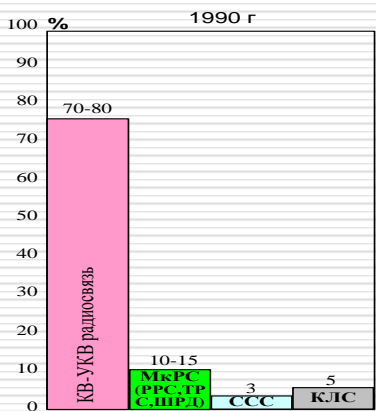
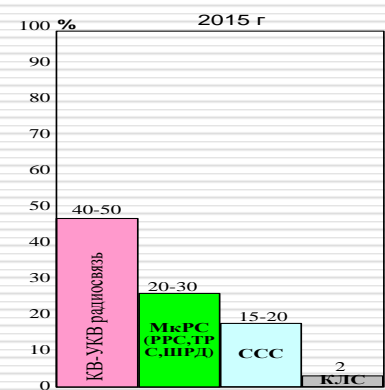
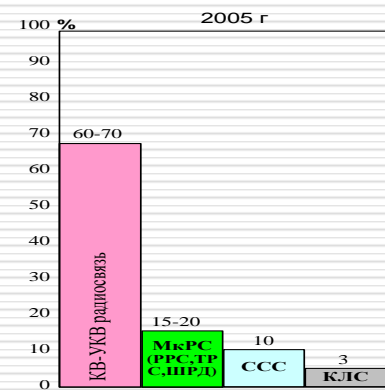
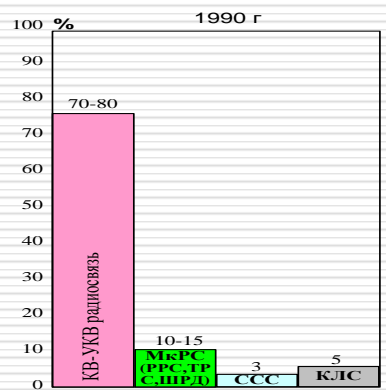
# 4. Роль спутниковой связи. Достоинства и недостатки СпС

5. Через один РС одновременно работает большое число ЗС (режим МСД), что требует принятия спец. мер по исключению *взаимных помех* между РТР сигналами.

6. РС работает в космосе в специфических условиях. Запуск РС требует больших затрат. Это резко *повышает требовательность к их техн. надежности, живучести, сроку* активного существования (САС), и как следствие, возникает *необходимость резервирования*, дистанционного *контроля* за состоянием аппаратуры РС, автоматизации управления.

7. Доступность КА с *большими территориями* требует принятия специальных мер по обеспечению защиты передаваемой информации от *несанкционированного использования*.

8. Сп.РЛ обладают относительно *невысокой пропускной способностью* (в сравнении с РРЛ и особенно ВОЛС). Один ствол РС обеспечивает передачу порядка 40÷60 Мбит/с.. Поэтому они используются в тех случаях, когда Пр.Сп. *не является главным* требованием.

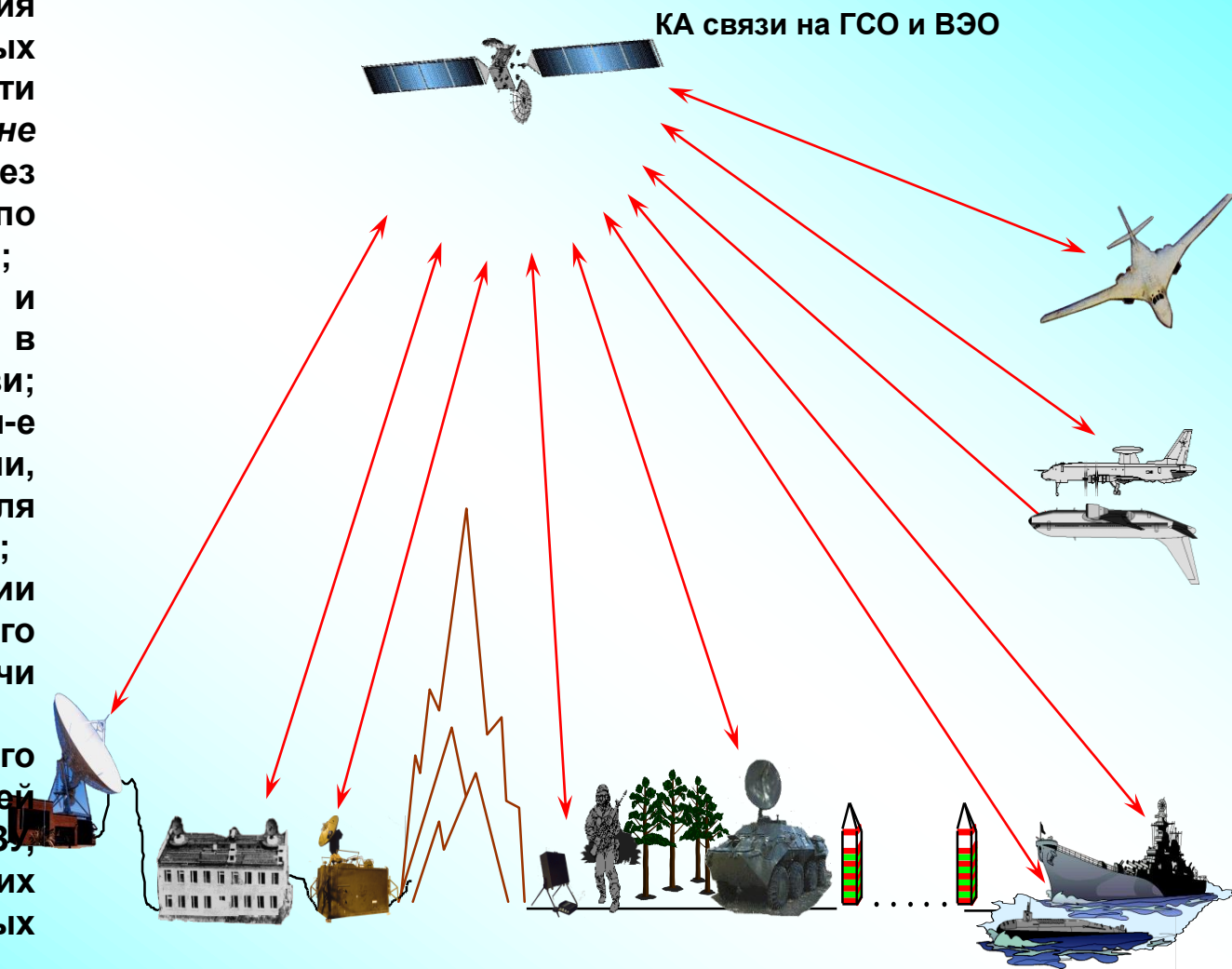


## 4. Роль спутниковой связи. Достоинства и недостатки СпС

16

### Достоинства систем спутниковой связи, обеспечивающие их широкое применение **в ходе локальных конфликтов**

- возможность создания **устойчивых** высококачественных ЛС большой протяженности между регионами, не имеющими общих границ, без прокладки или аренды ЛС по неконтролируемой территории;
- минимальное кол. техники и л/с связи, задействуемых в зоне б/д, для организации связи;
- малое время и мин-е размеры территории, необходимые для развертывания мобильных ЗС;
- возможность реализации совместного информационного обмена и обеспечения передачи сигналов ЦБУ и приказов БУ;
- возможность совместного использования сетей спутниковой связи СЗУ, ОЗУ, ОТЗУ и ТЗУ ВС РФ и других силовых государственных структур РФ.





**Благодарю за внимание!**

