

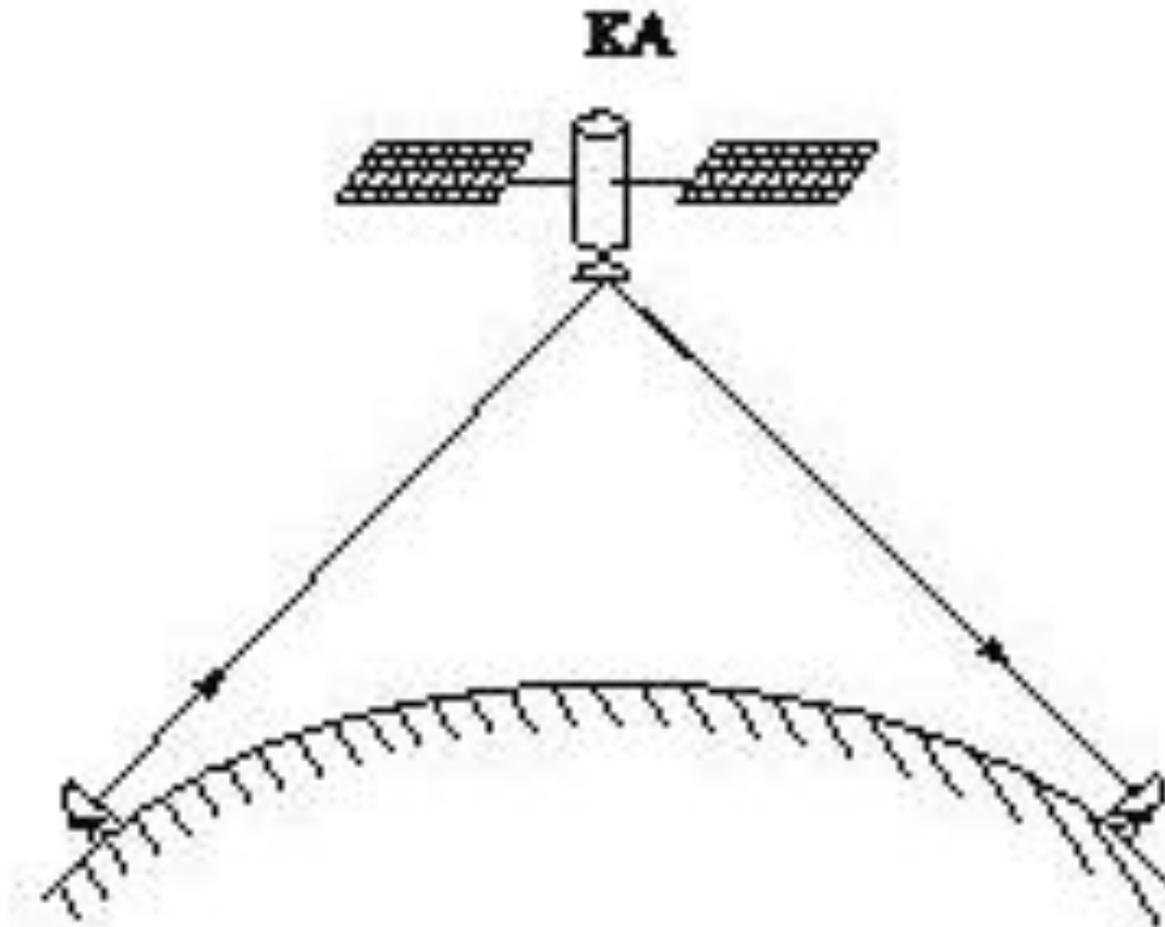
# Спутниковые системы связи и позиционирования

Лекция 20

# Спутниковые системы связи

- Спутниковые системы связи предназначены для связи наземных станций, находящихся на большом расстоянии друг от друга, с помощью ретрансляционной аппаратуры, располагаемой на космическом аппарате (КА), называемом ИСЗ - ретранслятором

# Пример использования



# Основные черты спутниковых систем связи

<i>Характеристика</i>	<i>Применение</i>
ЕСС Большая область	Локальные, зональные, глобальные
Покр <sup>т</sup> Широкая полоса	До 1 ГГц на зону
Независимость от наземных сетей	Не требует подключения к наземной инфраструктуре
Мобильная связь	В пределах прямой видимости

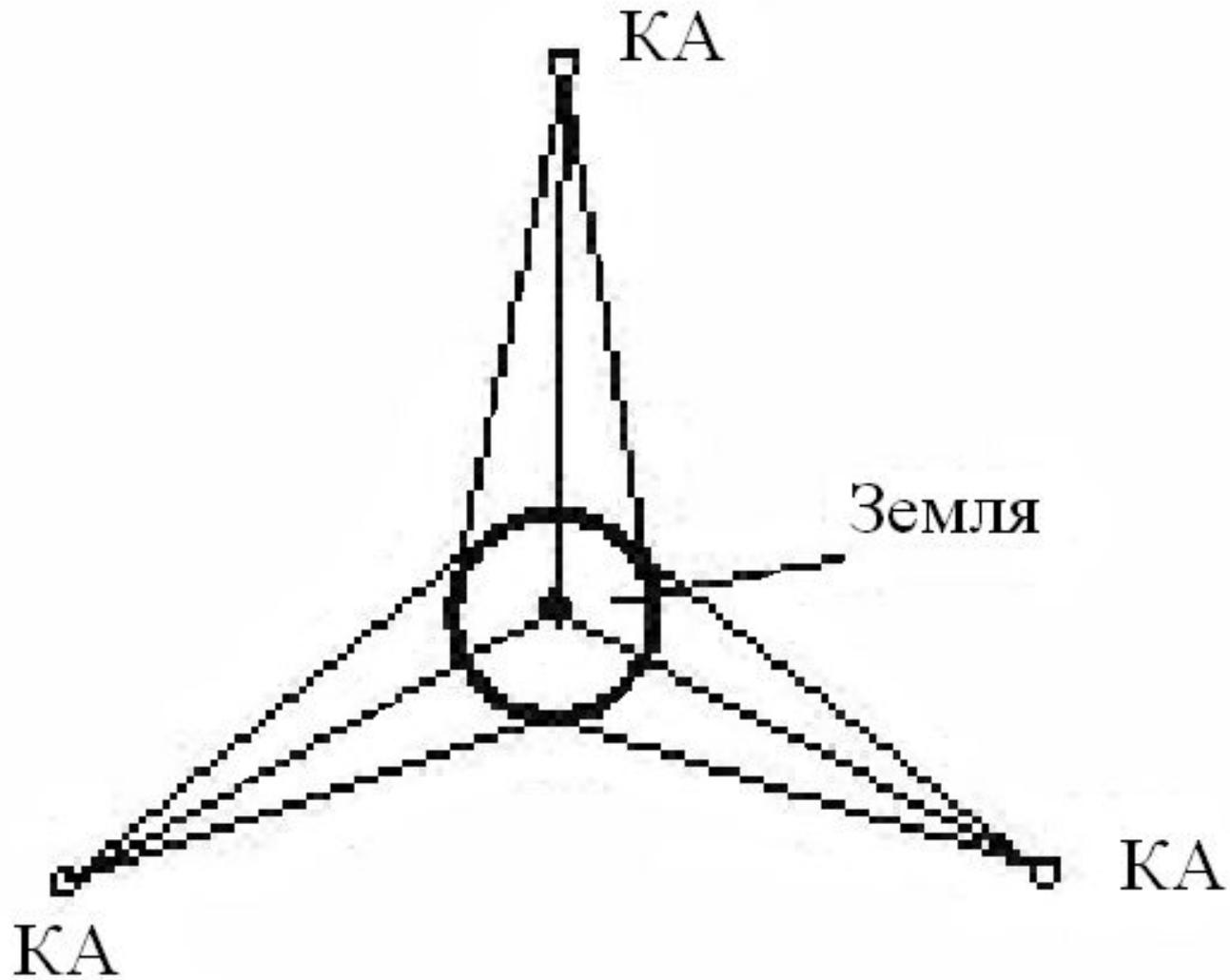
# Параметры круговых орбит

Показа-тель	Значения параметра						
Высота орбиты $H$ , км	800	1500	2000	6500	10 400	20 000	36 000
Период обращения $T$ , мин	100	114	127	240	360	720	1400
Число витков ( $N$ ) в сутки	14	12,6	11,3	6	4	2	1

# Типы орбит

- *LEO (low earth orbit)* – низкие орбиты (НО) – от 200 до 2 400 км над поверхностью
- *MEO (medium earth orbit)* – средние орбиты (СО) – от 2 400 до 10 000 км
- *HEO (highly elliptic orbit)* – эллиптические орбиты (ЭО) – с сильно вытянутой орбитой, наклоненной к плоскости экватора под углом около  $63^\circ$
- *GEO (geostationary, geosynchronous earth orbit)* – геостационарные, или геосинхронные, орбиты (ГО) – на высоте примерно 36 000 км

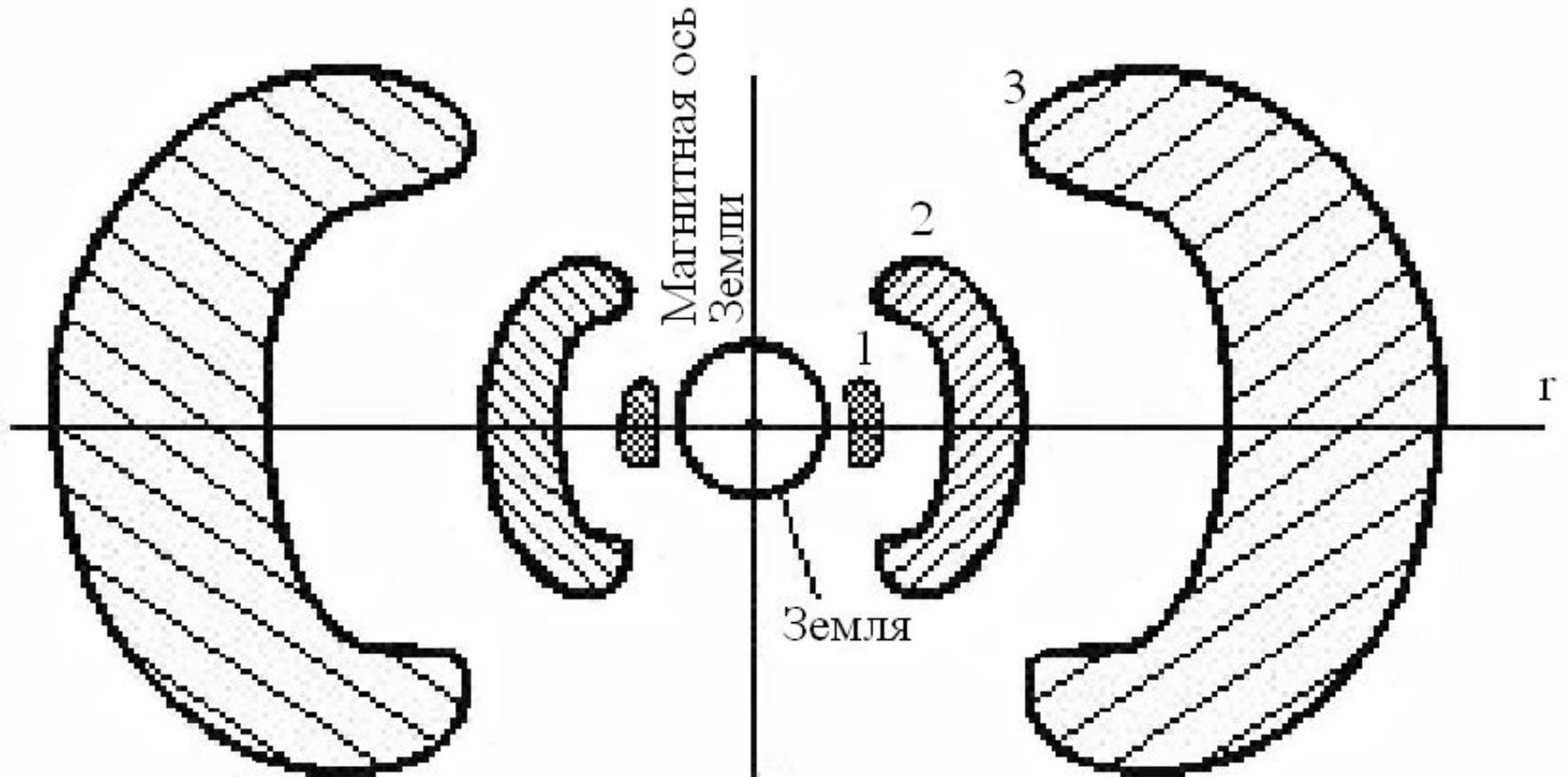
# Всю Землю охватив



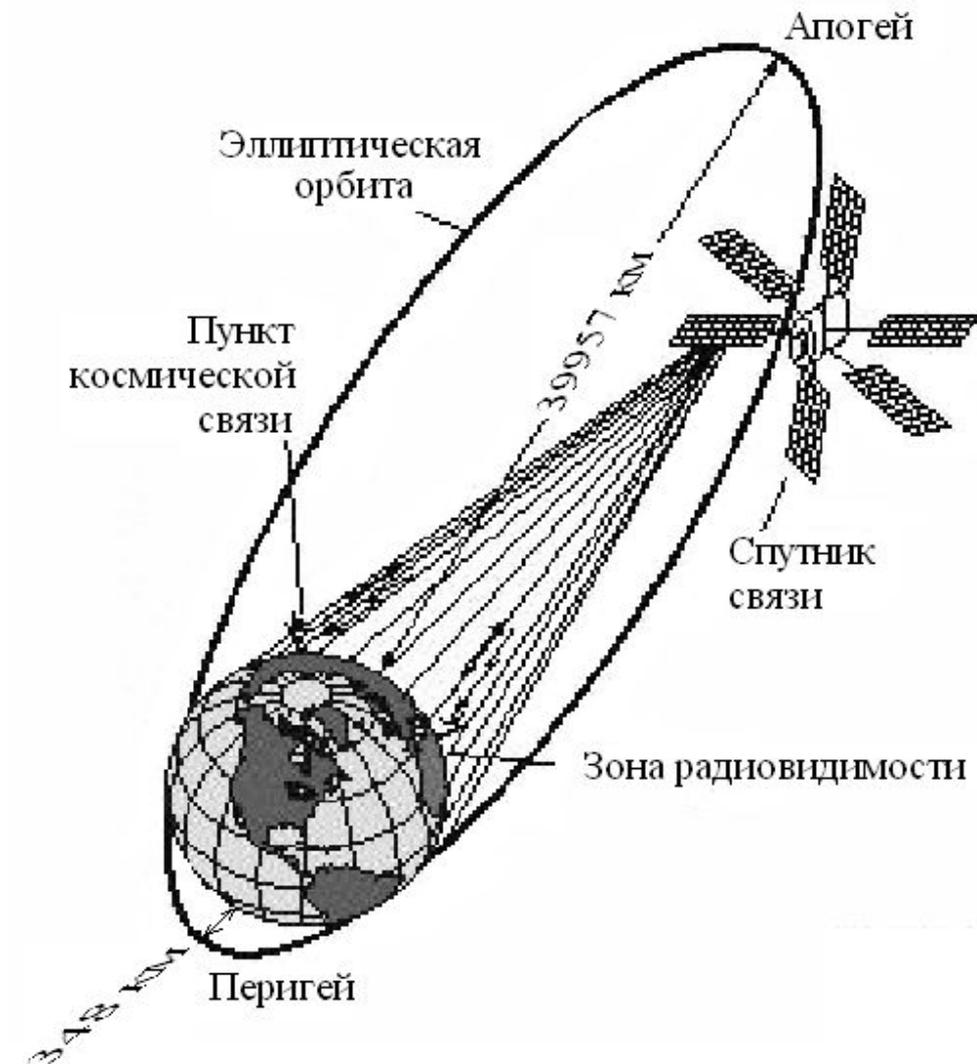
# Обозначения диапазонов

Литеры диапазонов частот	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>X</i>	<i>Ku</i>	<i>Ka</i>
Диапазон частот, ГГц	1-2	4-8	8-12 ,5	12,5 -18	18- 40
Частоты СС, ГГц	1,5/ 1,6	4/6	7/8	11/ 14	20/ 30

# Вокруг Земли



# Орбита «Молнии»



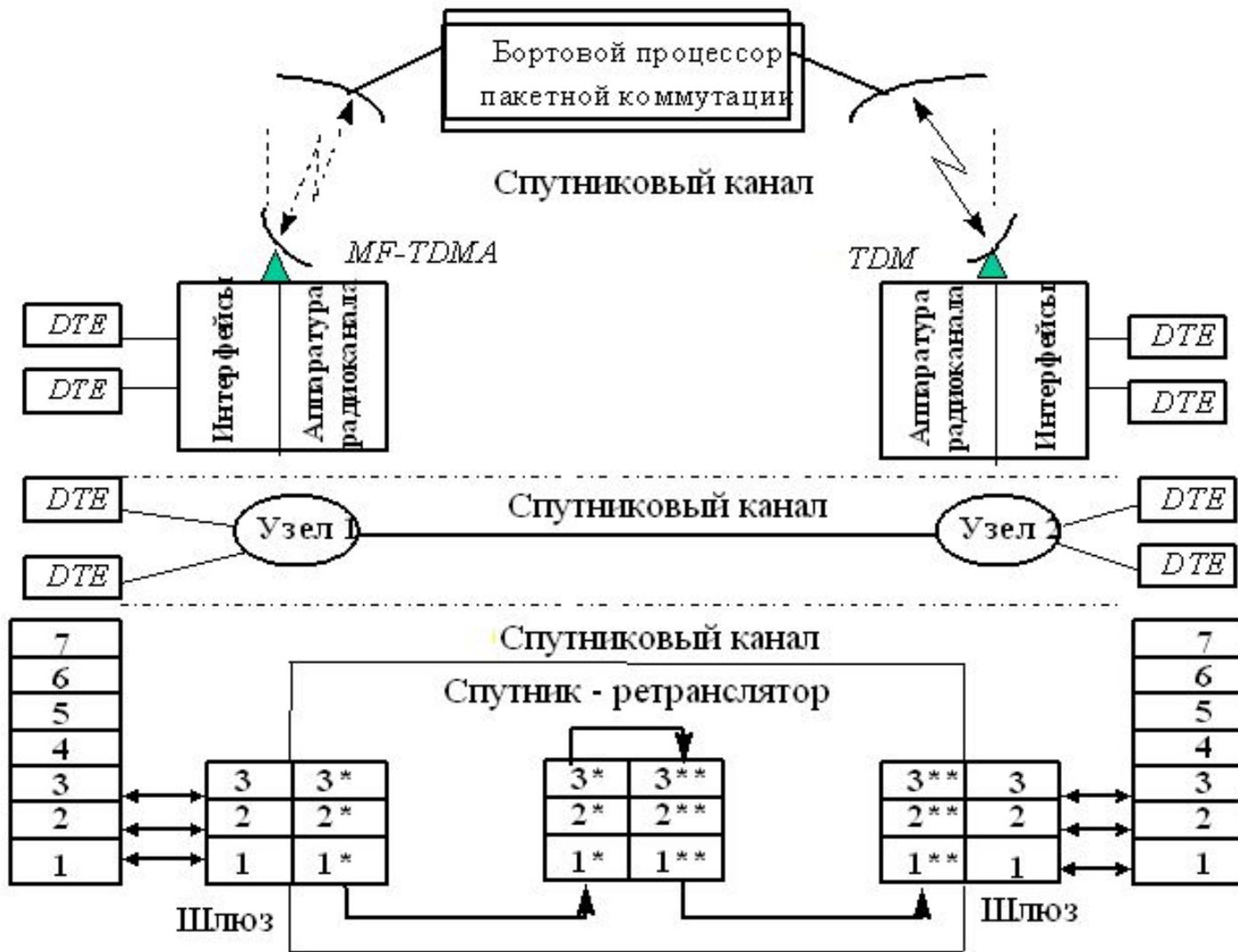
# Антенны наземных станций

Диапазон частот, ГГц	4/6	7/8	11/14	20/30
Диаметр раскрытия антенны, м	3,8	2,0	1,3	0,76

# Схема спутниковой связи



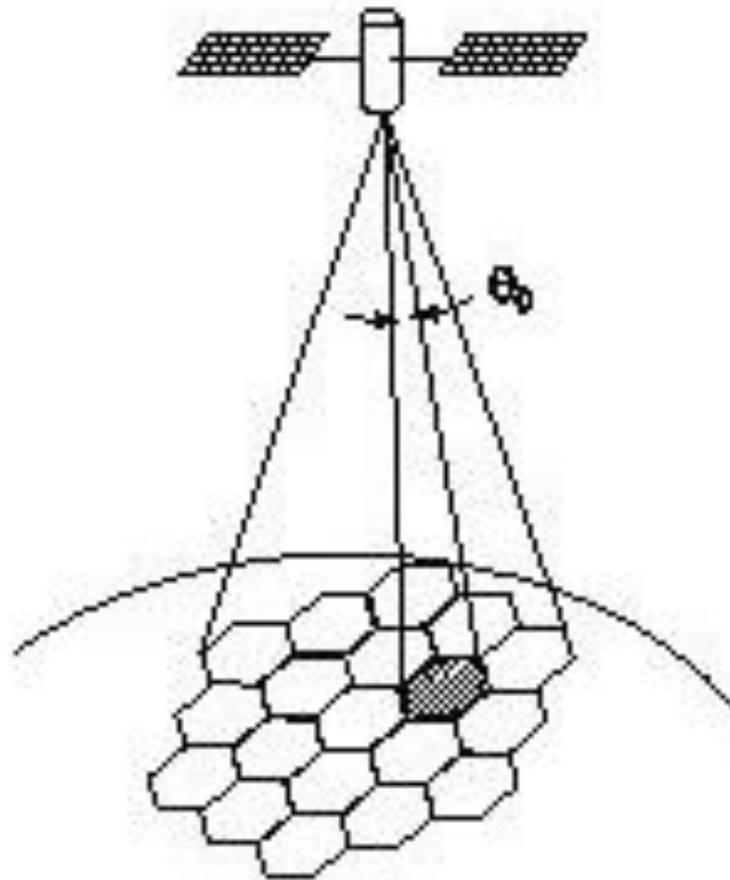
# Сетевая архитектура спутниковой связи



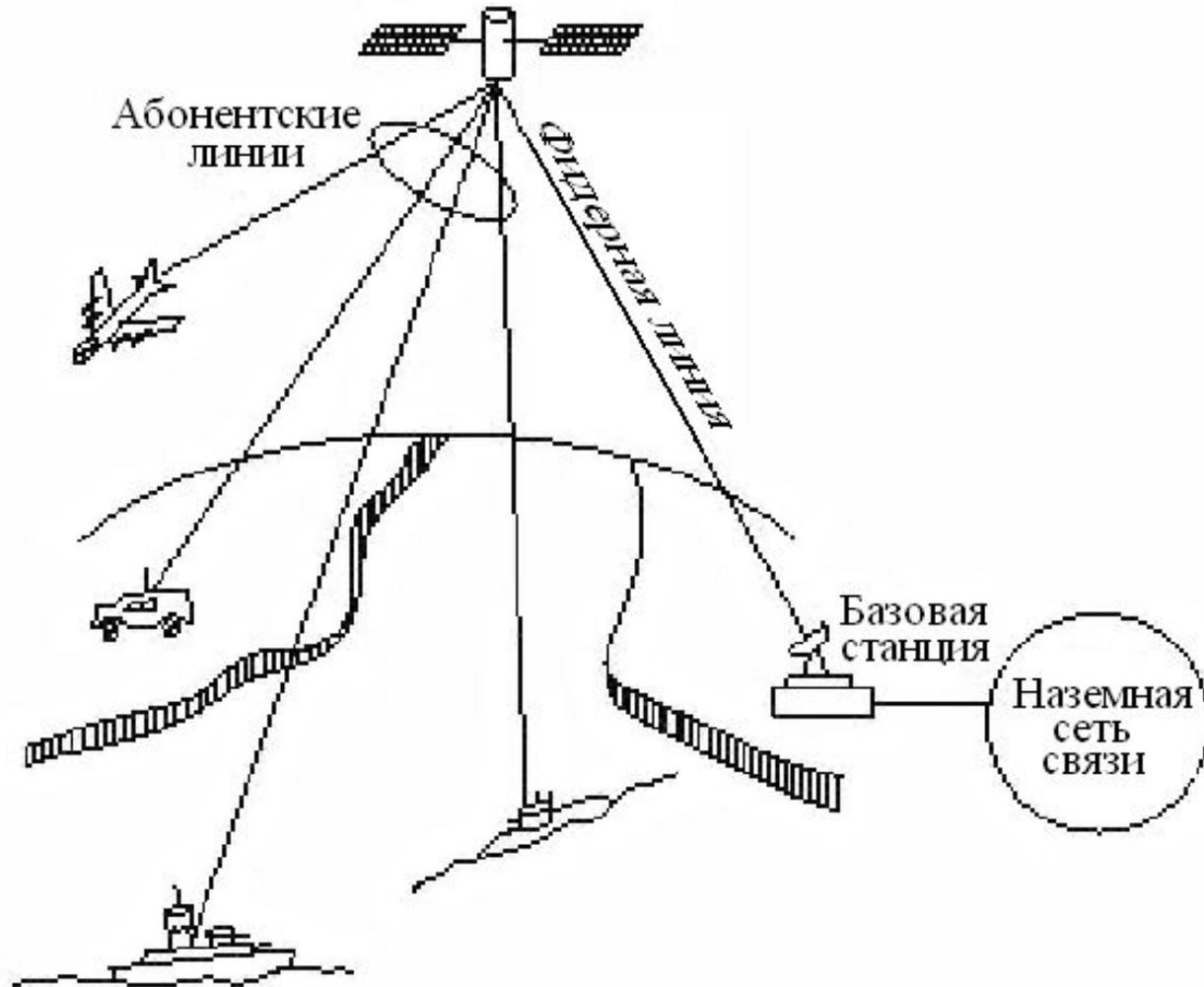
# Ведомственные спутниковые сети VSAT

- При использовании более узких зональных лучей антенн ретранслятора КА, таким как  $5^\circ \times 5^\circ$  в диапазоне 4/6 ГГц и порядка  $2^\circ \times 3^\circ$  в диапазоне 11/14 ГГц можно создавать наземные сети связи типа «звезда» или «точка-точка» с терминалами, которые могут иметь антенны с малыми апертурами (*VSAT - Very Small Aperture Terminal*)

# Разбиение зон обслуживания на соты



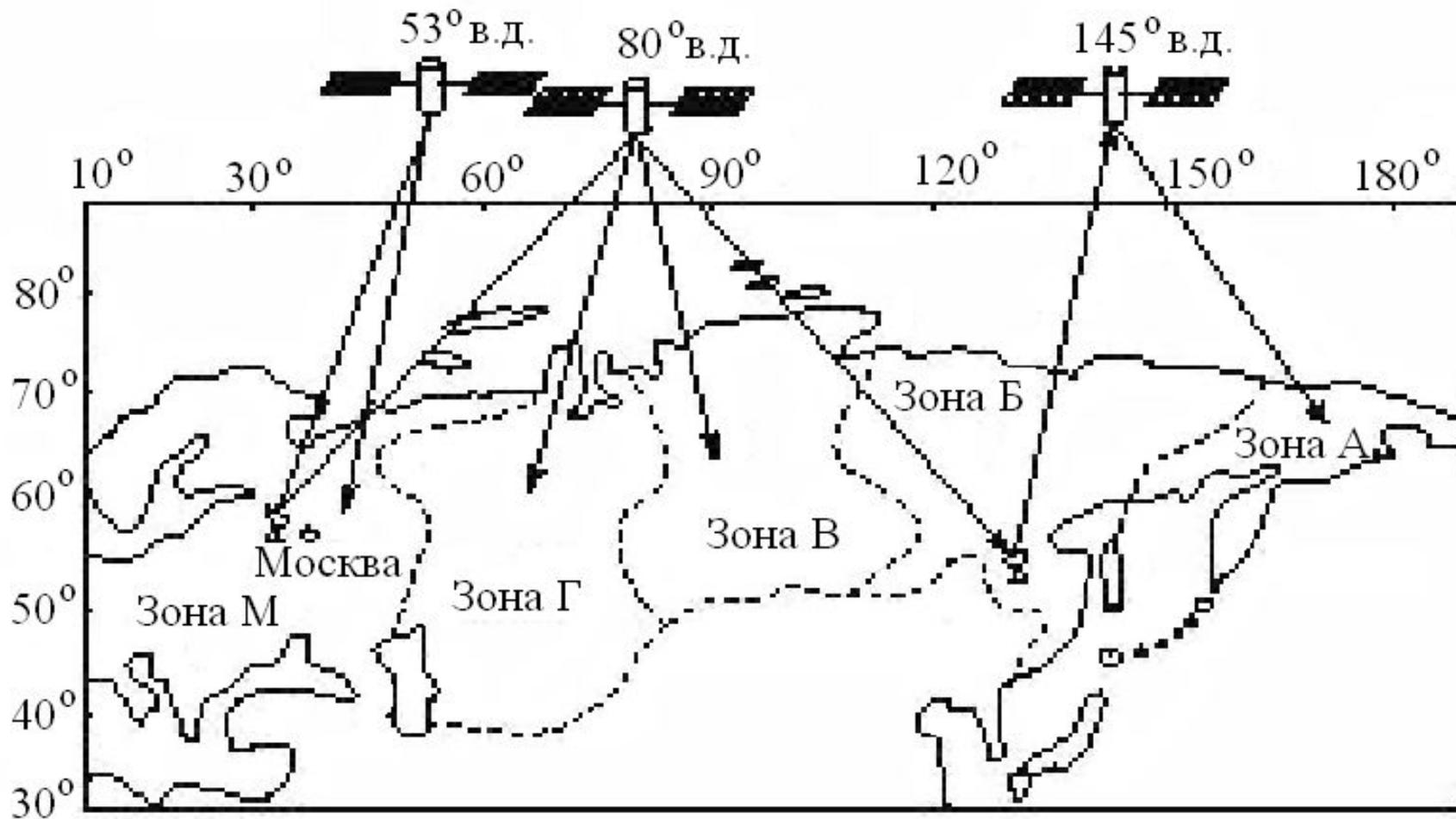
# Спутниковая система мобильной связи



# В общем случае различают

- Стационарные спутниковые системы связи
- Широковещательные ССС
- ССС с подвижными наземными объектами
- ССС для морских объектов
- ССС для воздушных объектов
- Персональные ССС
- Спутниковый доступ к Интернету

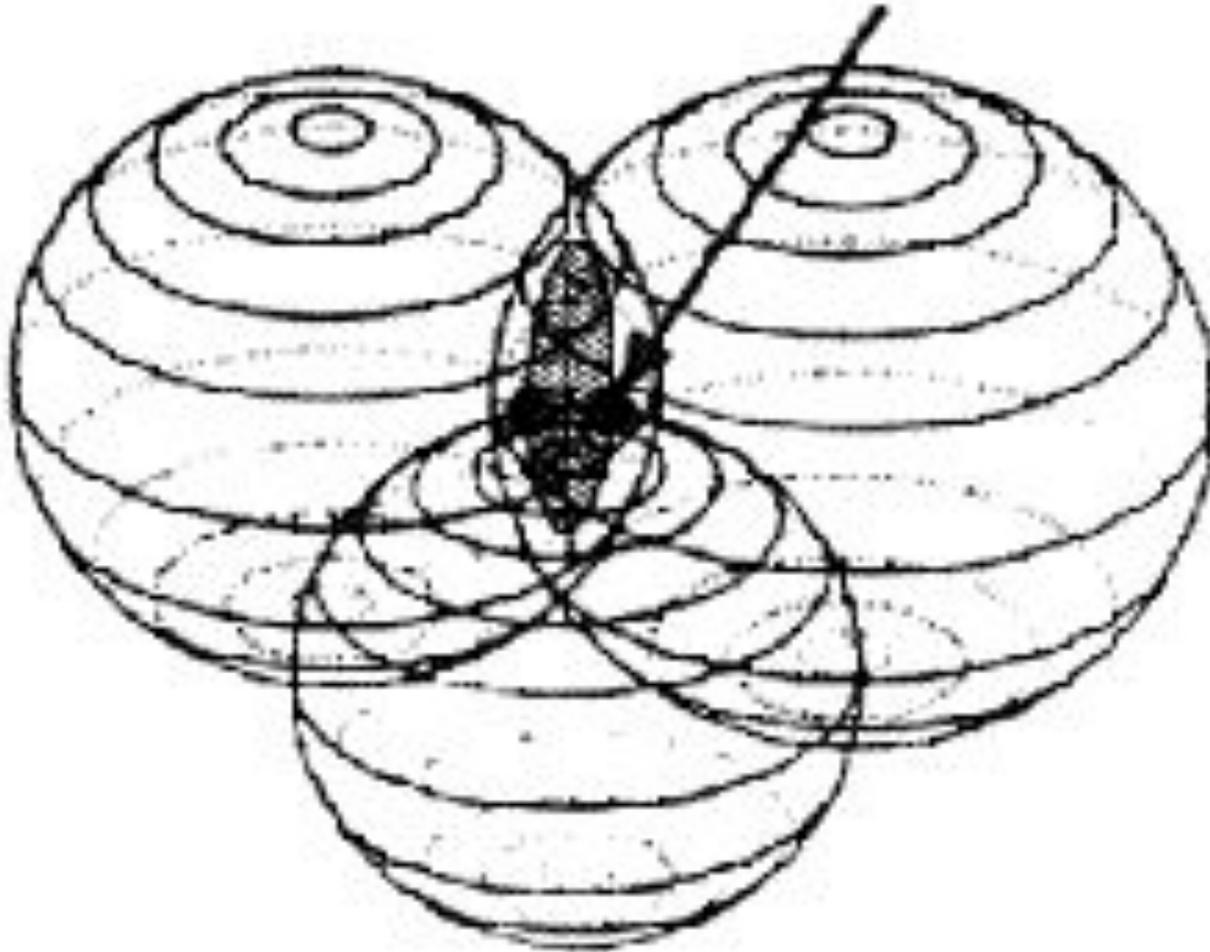
# Зоны спутникового телерадиовещания



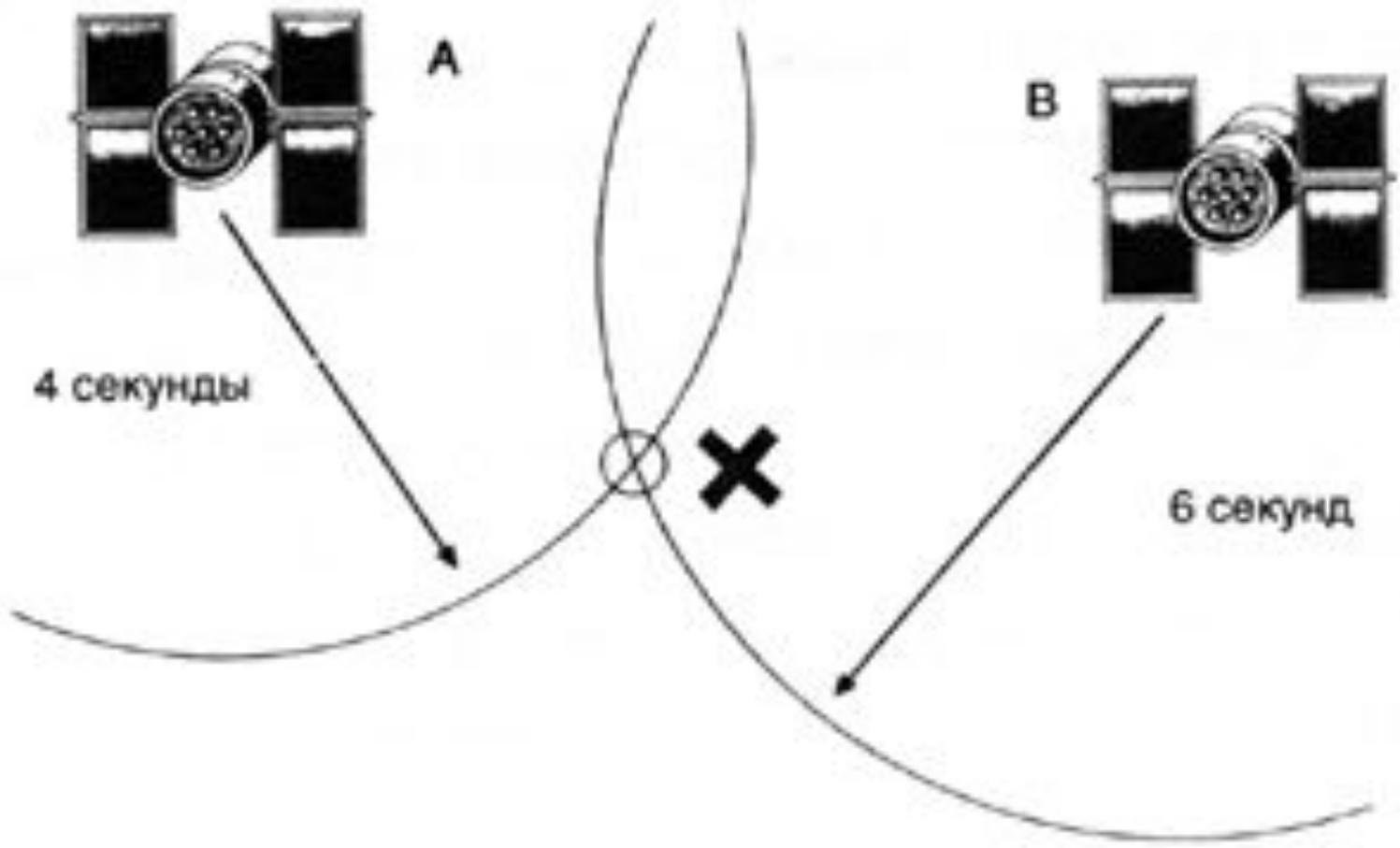
# GPS

- *GPS (global positioning system)* – глобальная навигационная спутниковая система образована 24 спутниками (США), находящимися на трех круговых орбитах на высоте 2 000 км, с 24-часовым периодом обращения
- По крайней мере, 6 спутников передают постоянно обновляемую информацию о своих орбитах на двух частотах, 1 227 и 1 575 МГц
- Аналогичная российская система носит название ГЛОНАСС

Измерение трех расстояний дает  
две ВОЗМОЖНЫЕ ТОЧКИ



# Определяем разницу задержек



# Сводка погрешностей (м)

- Погрешности часов спутника: 0,6
- Эфемеридные погрешности: 0,6
- Погрешности приемника: 1,2
- Атмосферные и ионосферные задержки: 3,7
- Наибольшие погрешности от  $S/A$  (если режим установлен): 7,6
- Суммарная погрешность (среднеквадратичная, в зависимости от установки  $S/A$ -режима): от 4,6 до 9,1

*«Эфемеридный» - однодневный*

*$S/A$  – selective availability – ограниченный доступ*

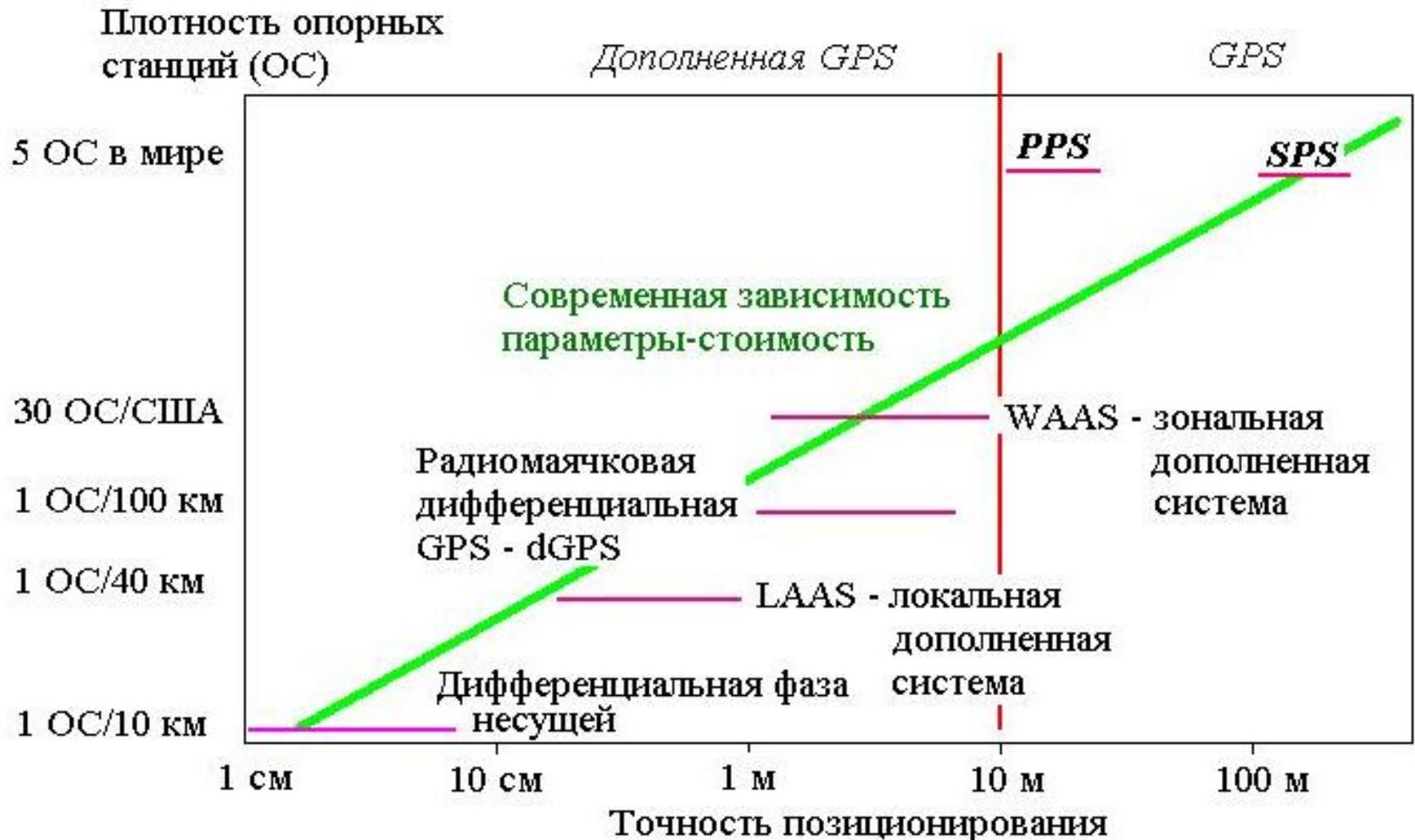
# Точность

- Приемники, которые используют только короткие коды (*SPS – standard positioning service*), обеспечивают точность разрешения в радиусе 100 м
- Приемники, способные обрабатывать длинные коды (*PPS - precision positioning service*), обеспечивают точность в радиусе 45 м и лучше

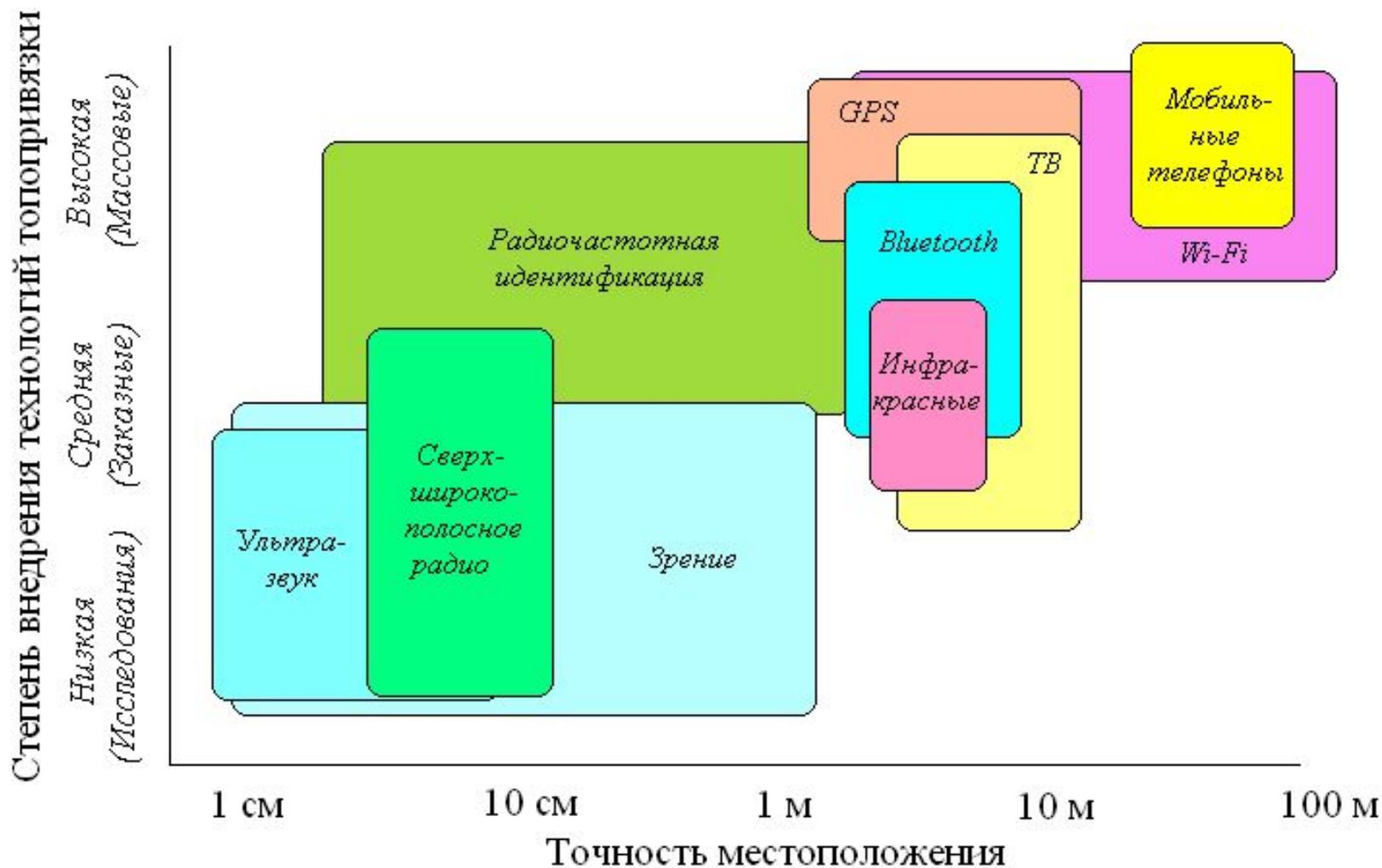
# Характеристики *GPS*

Ошибка	<i>PPS</i>	<i>SPS</i>
Горизонтальное положение	21 м	100 м
Вертикальное положение	28 м	156 м
Время	200 нс	340 нс

# Направления развития GPS



# Технологии с определением местоположения



# Попробуем посчитать

- Потери сигнала в свободном пространстве

$$L_p = (4\pi d/\lambda)^2 = (4\pi f d/c)^2$$

- В децибелах

$$L_p \text{ (дБ)} = 92,4 + 20 \log d \text{ (км)} + 20 \log f \text{ (ГГц)}$$

# *New Horizons* запущен к Плутону

- Связь с Землей осуществляется антенной диаметром 2,1 м в диапазоне  $X$
- Приемная антенна на Земле имеет диаметр 70 м
- С расстояния 3 млрд миль сигнал будет идти 4 часа
- При этом гарантируется скорость 700 бит/с
- Полный пакет собранных данных будет передаваться 9 месяцев
- Питание осуществляется от радиоизотопного термоэлектрогенератора (РТГ)
- Расход мощности 3,5 Вт в год
- Сейчас мощность передачи составляет 240 Вт, к 2015 году – 200 Вт