

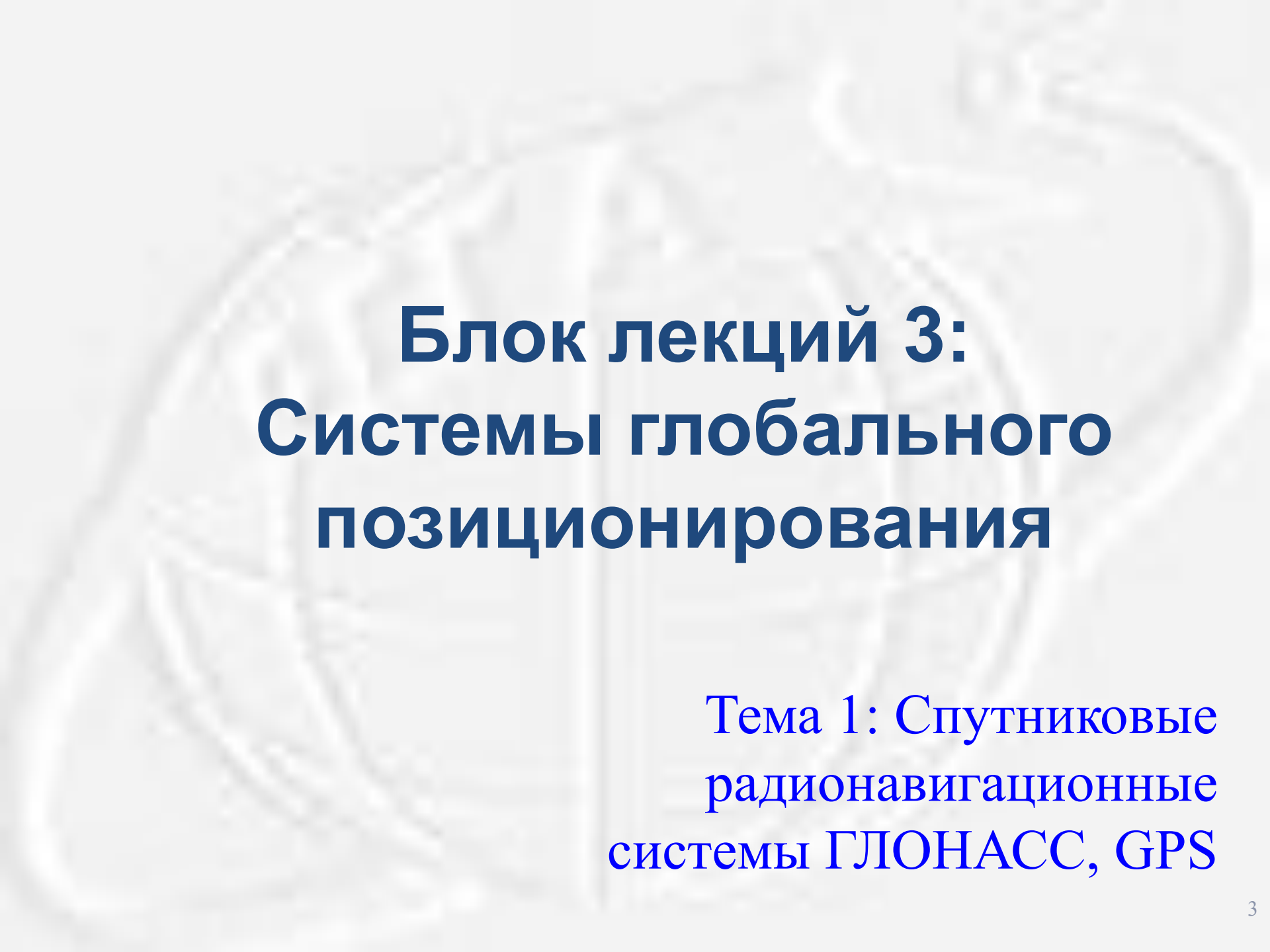
Государственное образовательное учреждение  
высшего и профессионального образования  
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»  
ГОУВПО «СГГА»

# Системы глобального позиционирования ГЛОНАСС, GPS

ст. преп. каф. ИГиГИС,  
к.т.н. Е.К. Лагутина

# Программа курса

- Спутниковые радионавигационные системы (СРНС) ГЛОНАСС, GPS;
- Позиционирование с помощью СРНС;
- Точность методов;
- Сети активных базовых станций;
- Современные программные и аппаратные средства СРНС.



# **Блок лекций 3: Системы глобального позиционирования**

**Тема 1: Спутниковые  
радионавигационные  
системы ГЛОНАСС, GPS**

# Структура спутниковых радионавигационных систем

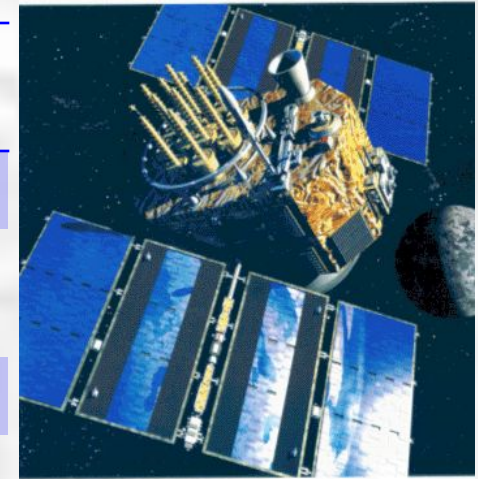
- Подсистема космических аппаратов;
- Подсистемы контроля и управления;
- Подсистема пользователей.

# Структура спутниковых радионавигационных систем

- Подсистема космических аппаратов:
  - прием и хранение данных, передаваемых контрольным сегментом,
  - поддержание точного времени посредством нескольких бортовых атомных стандартов частоты,
  - передача информации и сигналов пользователю.
- Подсистемы контроля и управления;
- Подсистема пользователей.

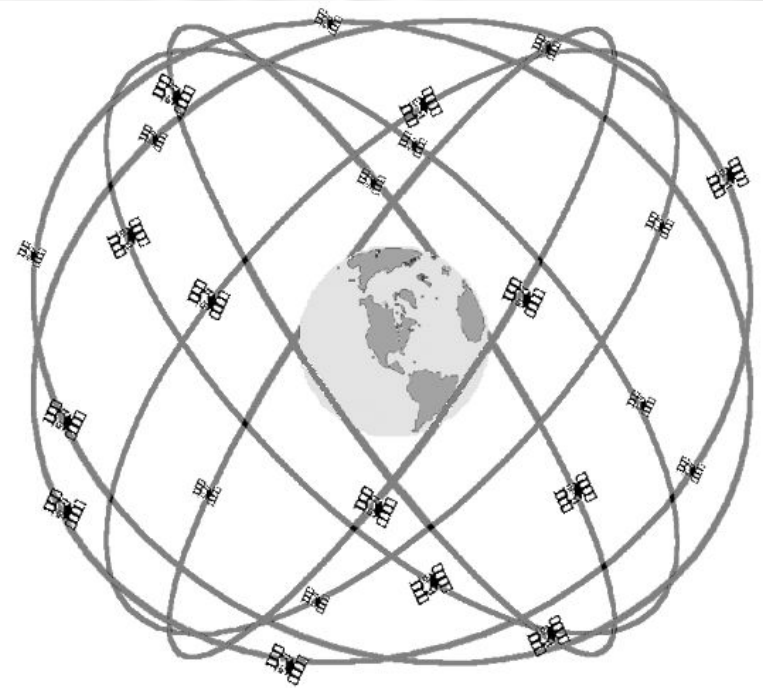
# Спутниковые радионавигационные системы: GPS «NAVSTAR»

Название блока	ПА	ПР/ПР-М	ПФ
Количество	11	20	1
Первый запуск	1989	1997	2005
Масса (кг)	900	1100	1700
Мощность солнечных батарей (W)	1100	1700	2900
Проектный срок работы (лет)	7.5	10	15
Стоимость, млн. \$	43	30	28

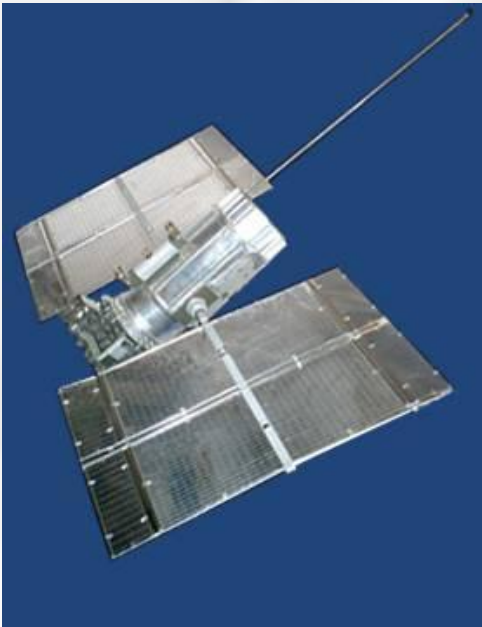


# Спутниковые радионавигационные системы: GPS «NAVSTAR»

Параметр	Значение
Большая полуось орбиты, км	26560
Наклонение орбиты	55°
Средняя высота над земной поверхностью, км	20182
Период обращения	11:57:58
Скорость полета по орбите	3.874 км/с
Максимальное пребывание в зоне видимости	4.1 часа



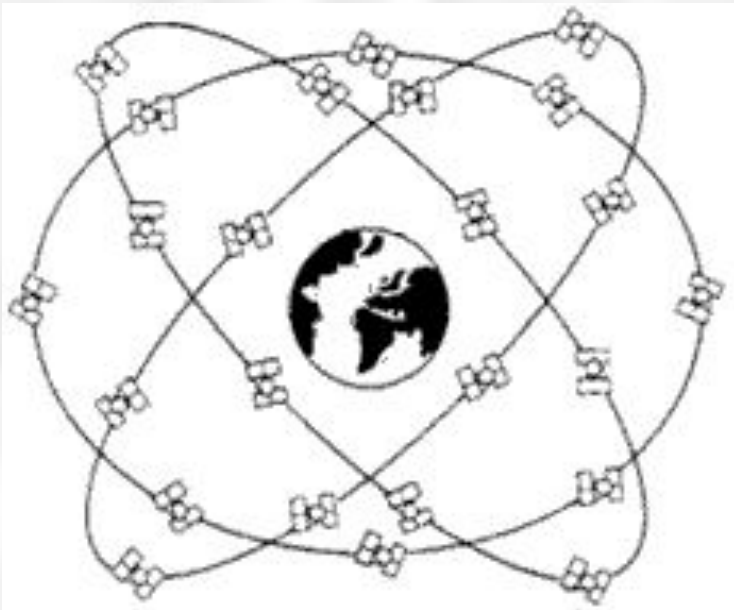
# Спутниковые радионавигационные системы: ГЛОНАСС



Название блока	Ураган	Ураган-М	Ураган-К
Количество	24	12	20*
Первый запуск	1995	2001	2005
Масса (кг)	-	1400	-
Мощность солнечных батарей (W)	-	1600	-
Проектный срок работы (лет)	4-6	7	-
Стоимость	-	-	-



# Спутниковые радионавигационные системы: ГЛОНАСС



Параметр	Значение
Большая полуось орбиты, км	25510
Наклонение орбиты	65°
Средняя высота над земной поверхностью, км	19132
Период обращения	11:15:44
Скорость полета по орбите	3.874 км/с
Максимальное пребывание в зоне видимости, ч	5.5

# Сравнительные характеристики систем

ПАРАМЕТРЫ	ГЛОНАСС	GPS
Проектное число спутников	24*	24
Число орбитальных плоскостей	3	6
Способ разделения сигналов	частотный	кодовый
Несущая частота: L1, МГц L2, МГц	1602,6-1615,5 1246,4-1256,5	1575,4 1227,6
Система координат	ПЗ-90	WGS-84 (МГС-84)
Тип эфемерид	Геоцентрические координаты и их производные	Модифицированные Кеплеровы элементы

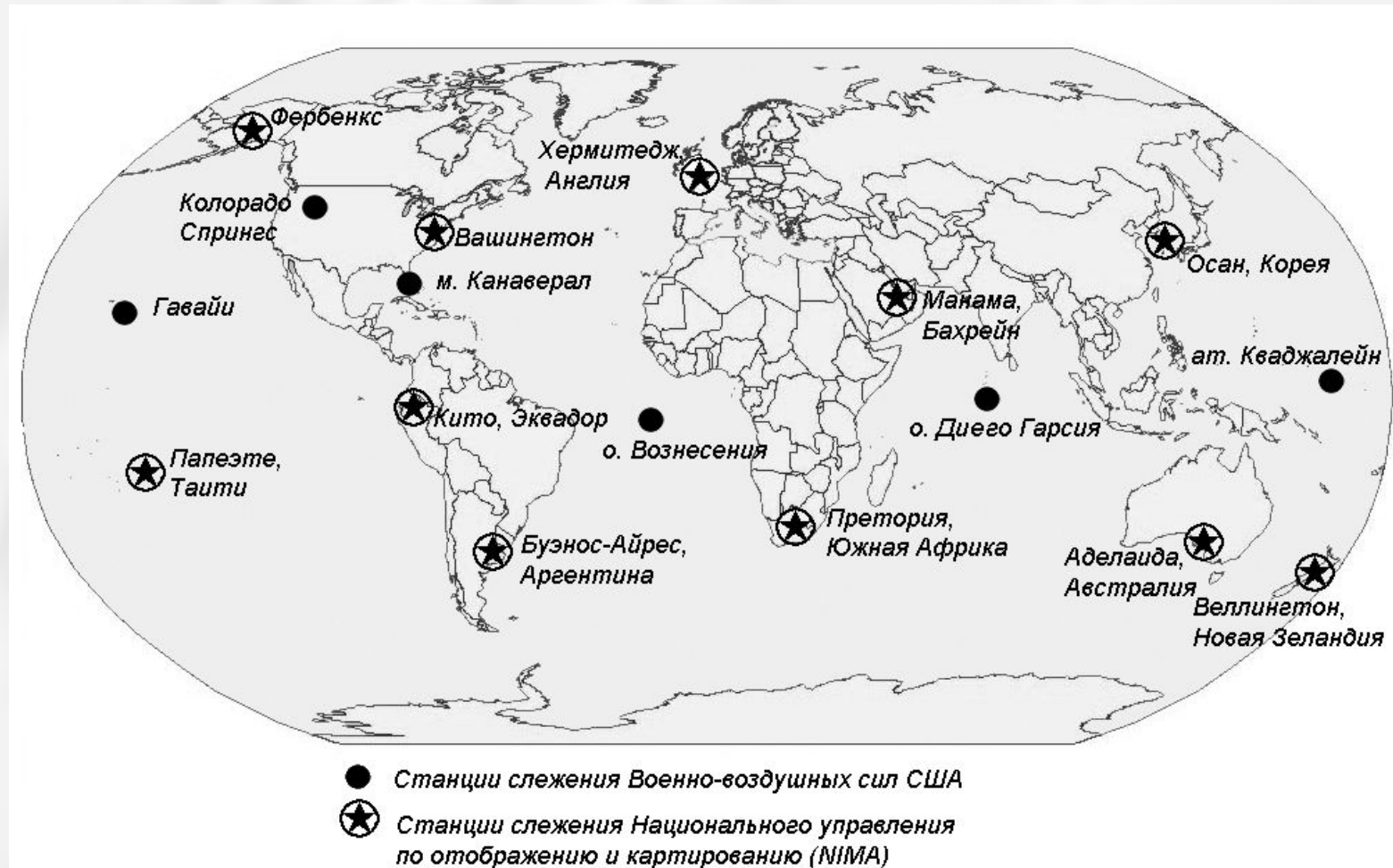
# Структура спутниковых радионавигационных систем

- Подсистема космических аппаратов;
- Подсистемы контроля и управления;
- Подсистема пользователей.

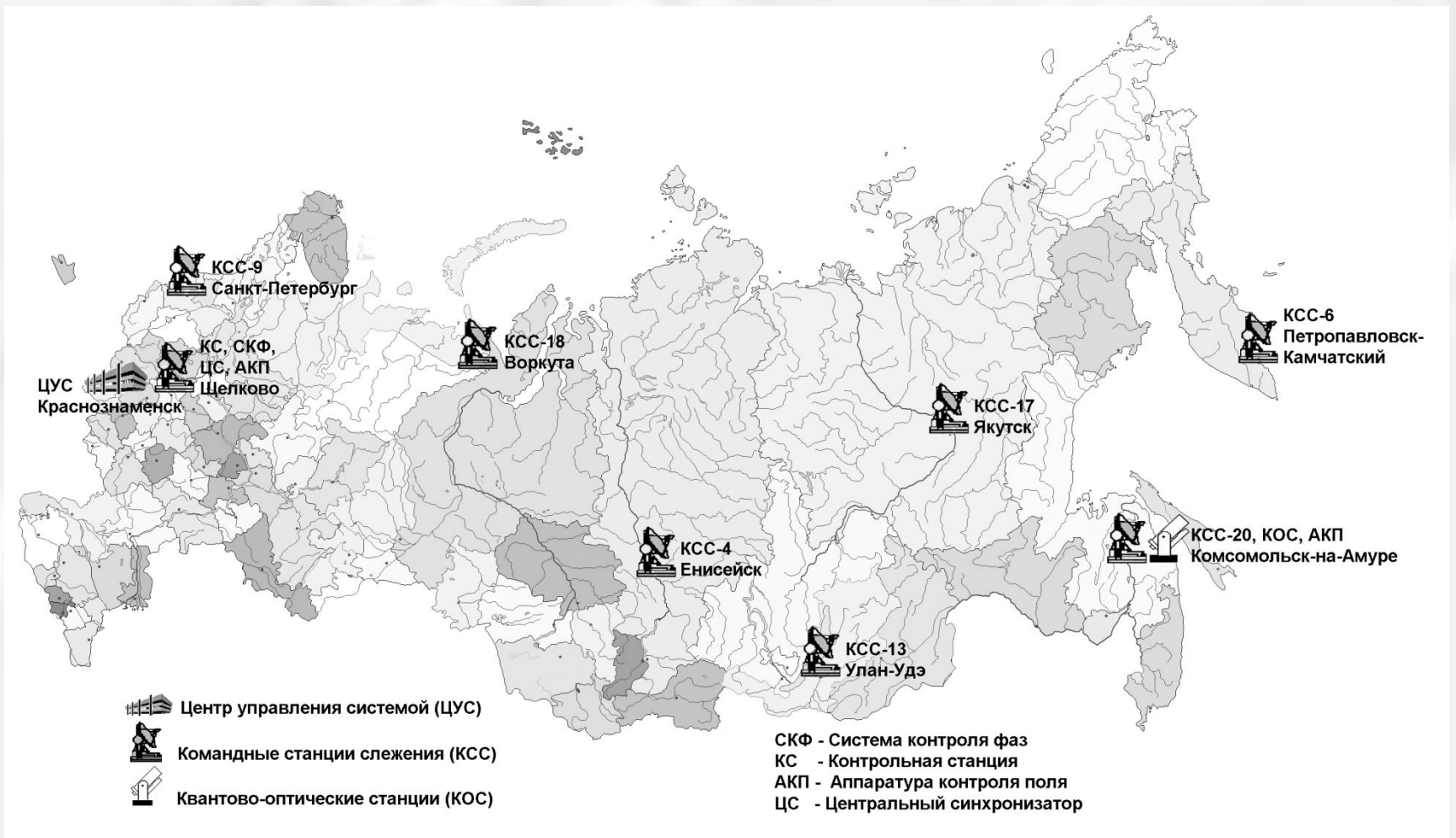
# Структура спутниковых радионавигационных систем

- Подсистема космических аппаратов;
- Подсистемы контроля и управления:
  - отслеживание орбит спутников,
  - контроль рабочего состояния спутников,
  - формирование системного времени,
  - расчет эфемерид спутников и параметров часов,
  - обновление спутниковых навигационных сообщений,
  - осуществление небольших маневров спутников для поддержания орбит (по мере необходимости).
- Подсистема пользователей.

# Спутниковые радионавигационные системы: GPS «NAVSTAR»



# Спутниковые радионавигационные системы: ГЛОНАСС



# Структура спутниковых радионавигационных систем

- Подсистема космических аппаратов;
- Подсистемы контроля и управления;
- Подсистема пользователей:
  - Аппаратура пользователей;
  - Информационно-технические службы.

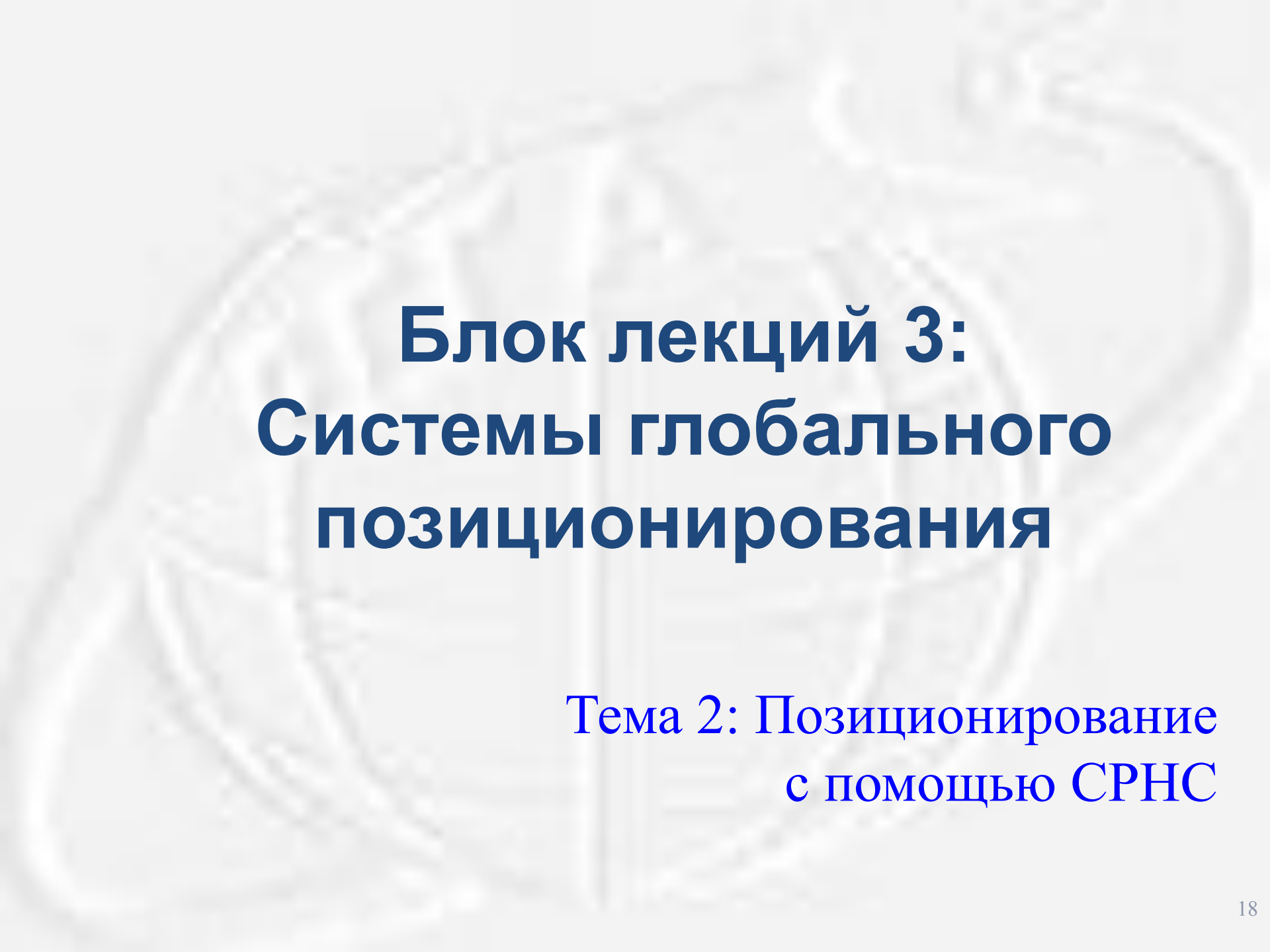
# Информационное обеспечение ГЛОНАСС и GPS





# Связь СРНС GPS с пользователями

- Гражданский комитет по взаимосвязи со службами GPS имеет основные цели:
  - обеспечить сбор и обмен технической информацией необходимой пользователям;
  - выявлять требования содержанию и методам распространения информации среди пользователей;
  - выявлять и предлагать для реализации правительству новые практические применения спутниковых технологий.



# **Блок лекций 3: Системы глобального позиционирования**

**Тема 2: Позиционирование  
с помощью СРНС**

# Физические принципы измерений

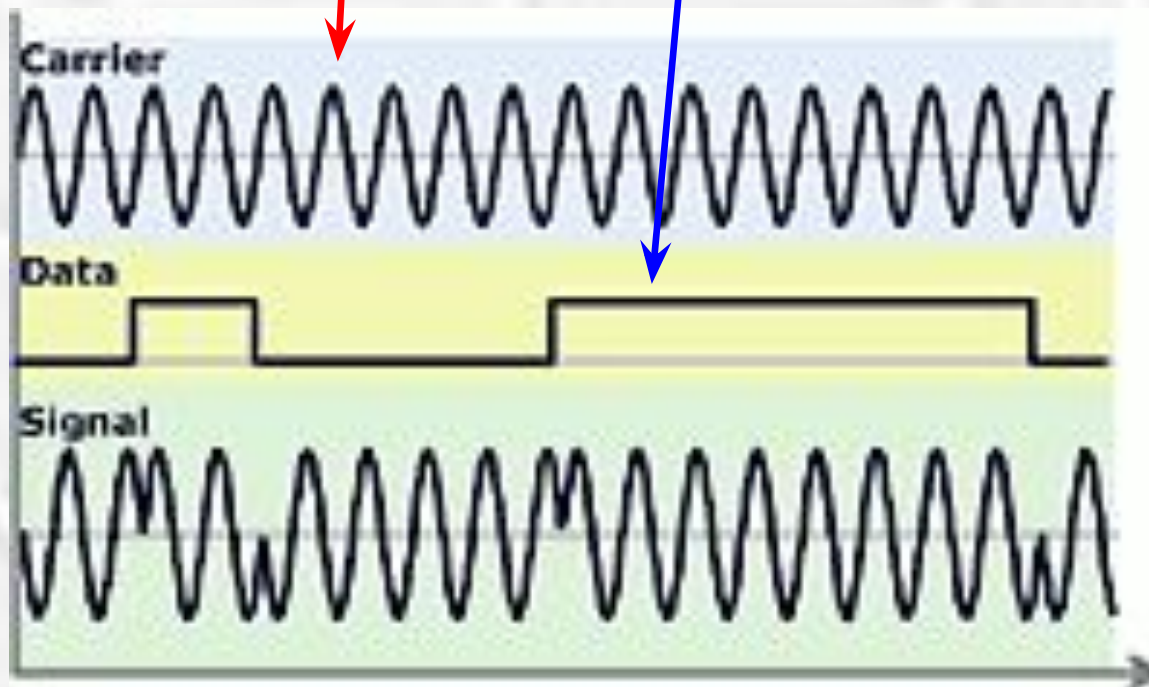
Спутниковые методы определения координат измеряют **линейные величины** – *расстояния между объектами и разности этих расстояний.*

При измерениях вдоль дистанции распространяется электромагнитный сигнал.

Измеряемой величиной является *время распространения электромагнитной волны вдоль дистанции, или разность фаз двух колебаний.*

# Типы сигналов СРНС GPS

Характеристика несущей волны	Бинарный псевдошумовой код		длина чипа, м
	L1	L2	
длина $\lambda$ , см	$\approx 19$	$\approx 24$	С/A – «грубый» 300
частота $f$ , МГц	1575.42	1227.60	P – «точный» 30

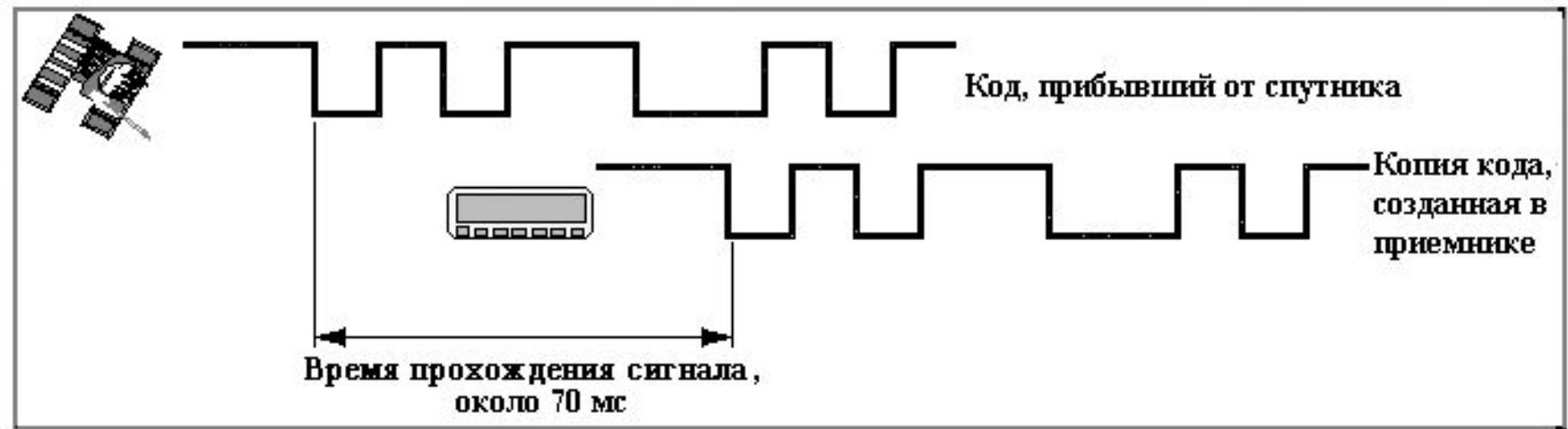


# Основные виды спутниковых наблюдений

Универсальное обозначение для разных видов наблюдений:

- Фазовая дальность L1
- Фазовая дальность L2
- С/А-кодовая дальность на L1 – С1
- Р-кодовая дальность на L1 – Р1  
L2 – Р2

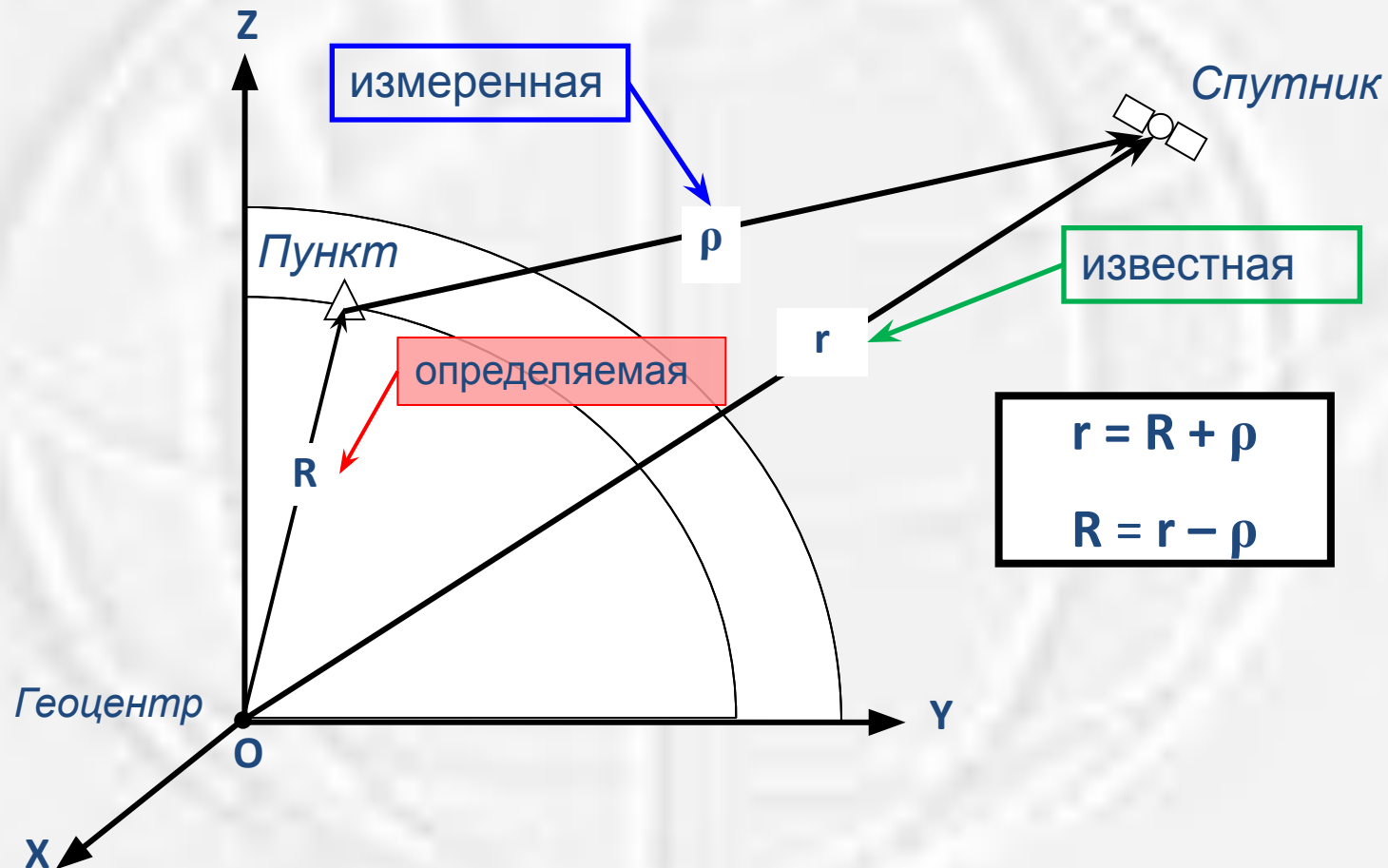
# Уравнение измерений



$$\tilde{\rho}_i^k = \rho_i^k + b^k - b_i + \Delta_{\text{trop.}} + \Delta_{\text{iono.}} + \Delta_{\text{noise}}$$

$$\tilde{\Phi}_i^k = \Phi_i^k + \lambda \cdot b^k - \lambda \cdot b_i + \lambda \cdot N + \Delta_{\text{trop.}} + \Delta_{\text{iono.}} + \Delta_{\text{noise}}$$

# Основное уравнение космической геодезии



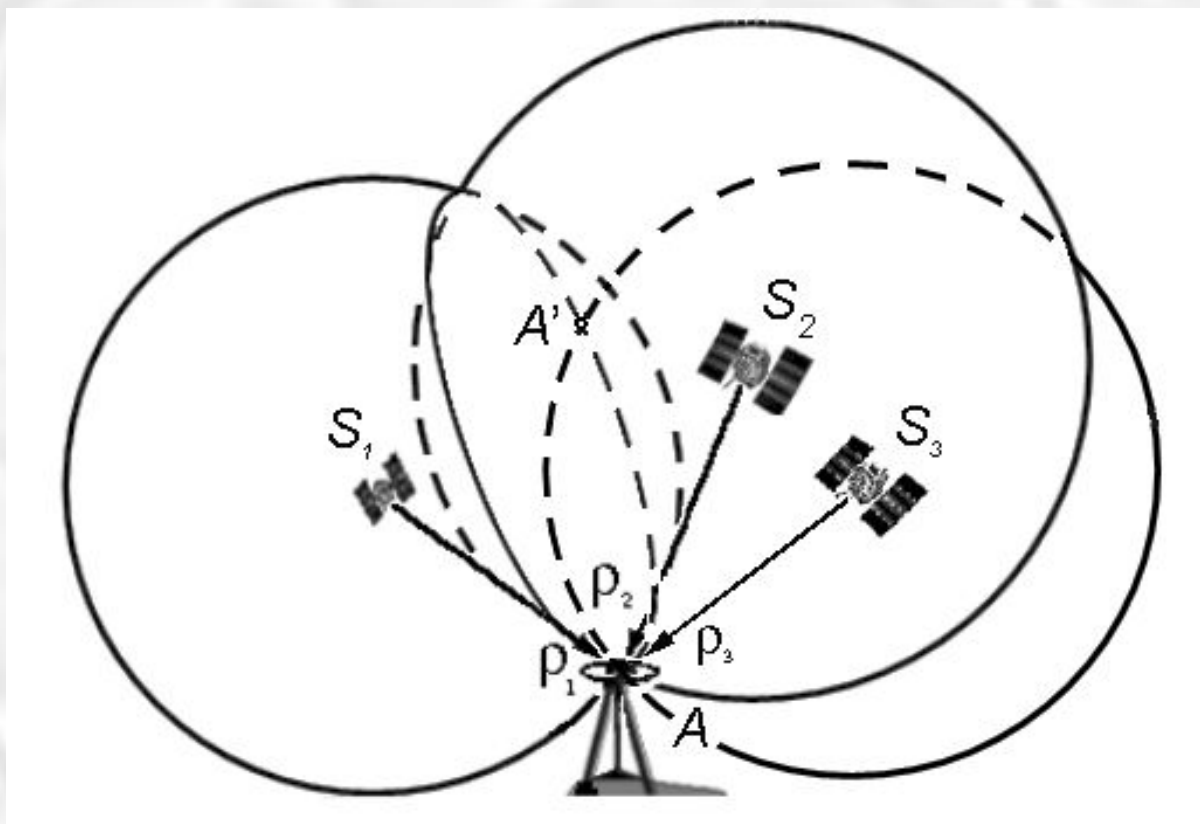
# Режим позиционирования

Позиционирование – определение пространственного положения объектов:

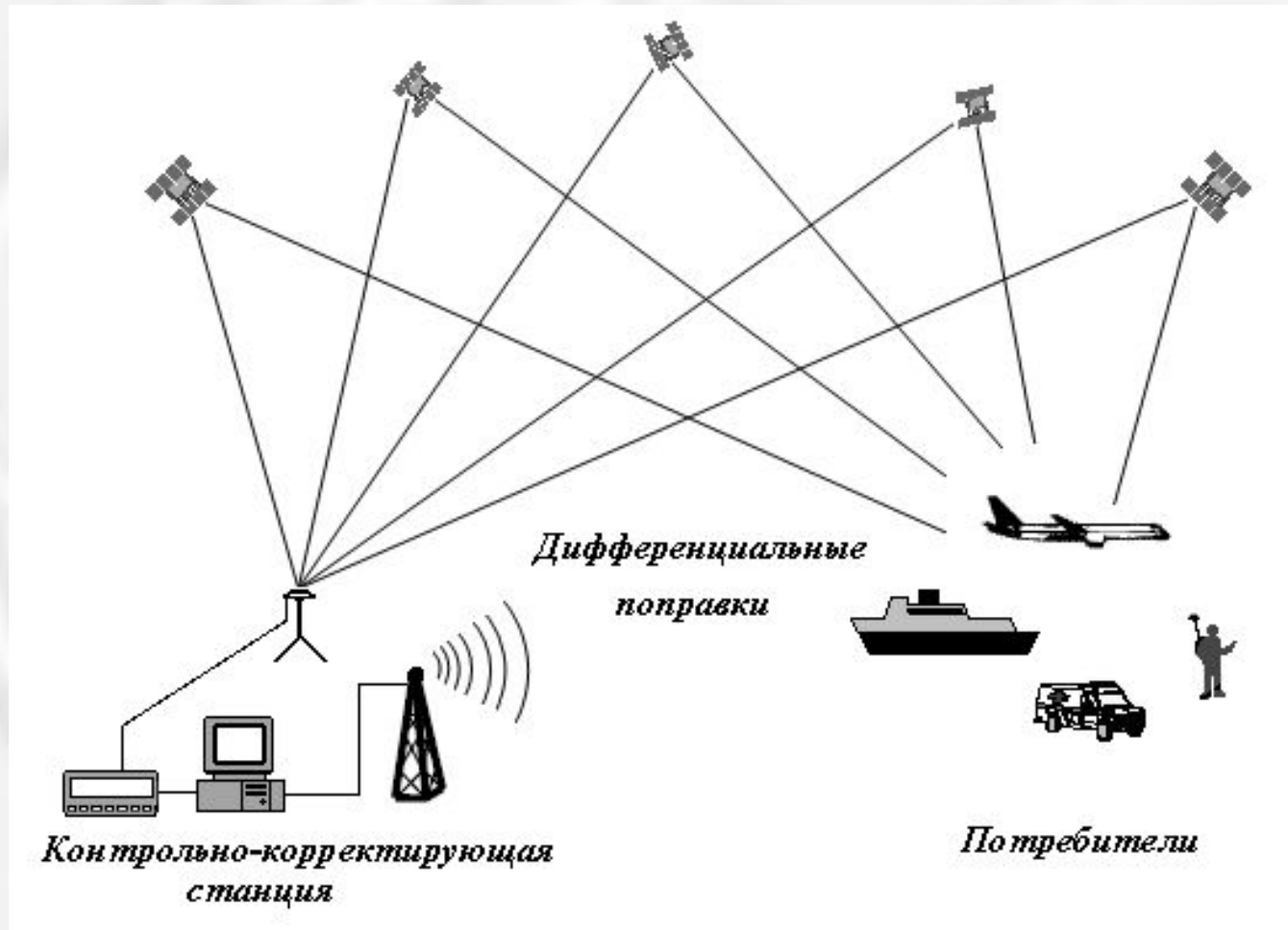
- *абсолютное* – по отношению к системе координат, начало которой однозначно определено и в общем случае недоступно.
- *относительное* – по отношению к другой точке, принимаемой за начало некоторой местной системы координат.



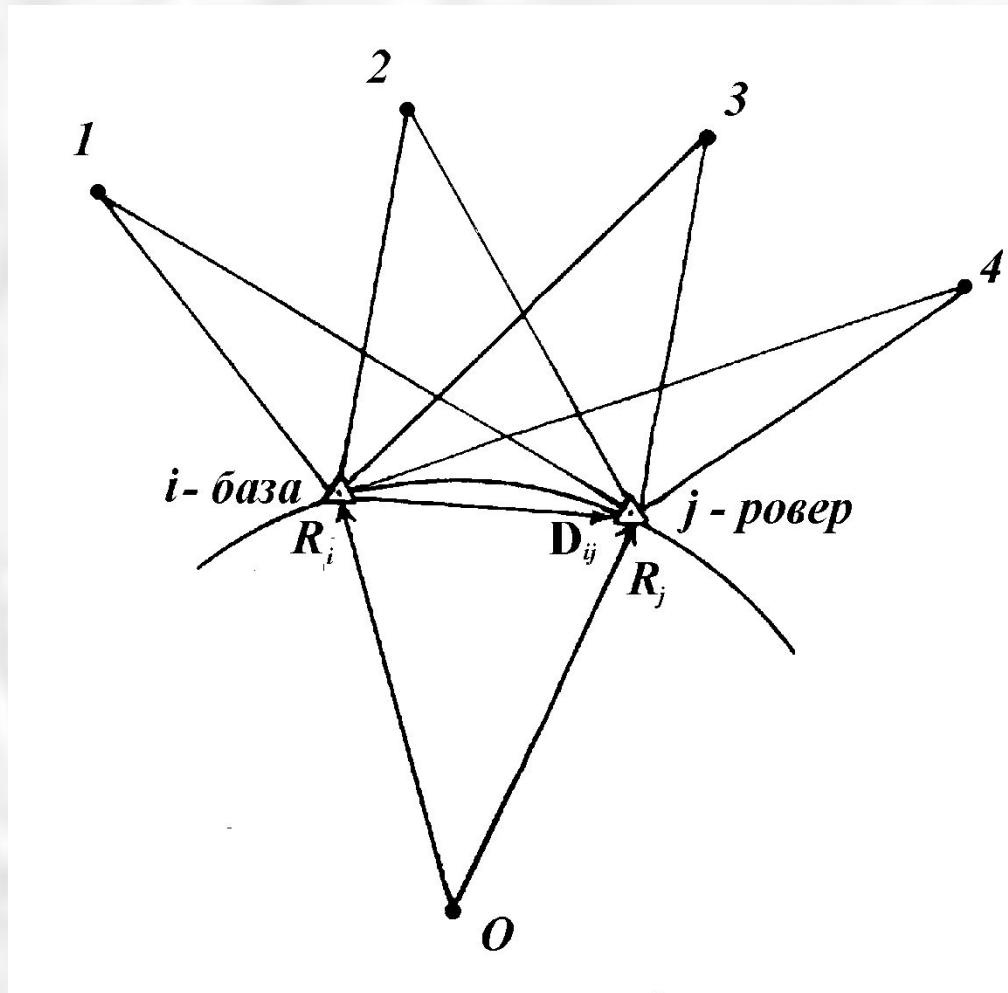
# Абсолютный режим



# Дифференциальный режим



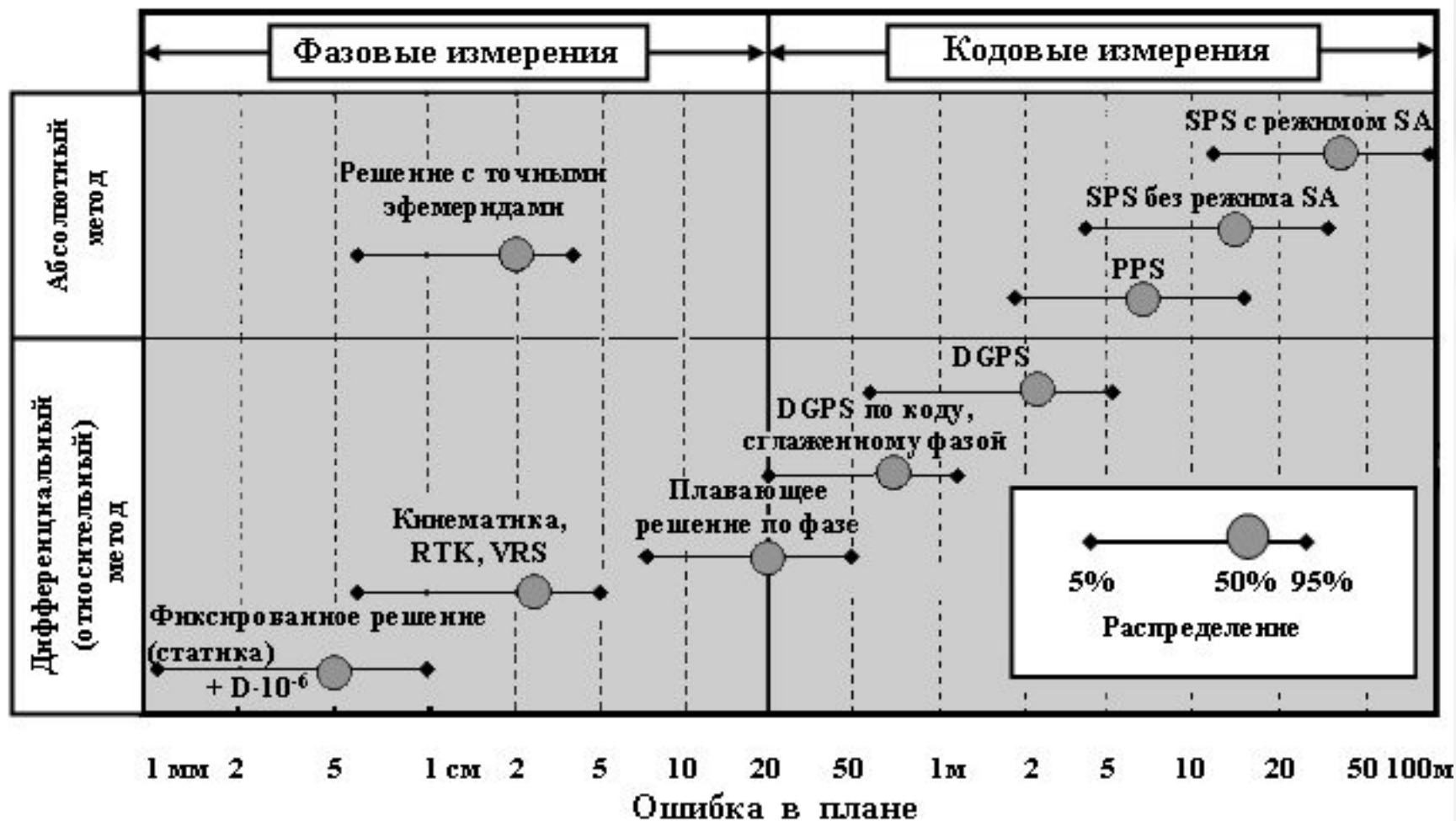
# Относительный режим

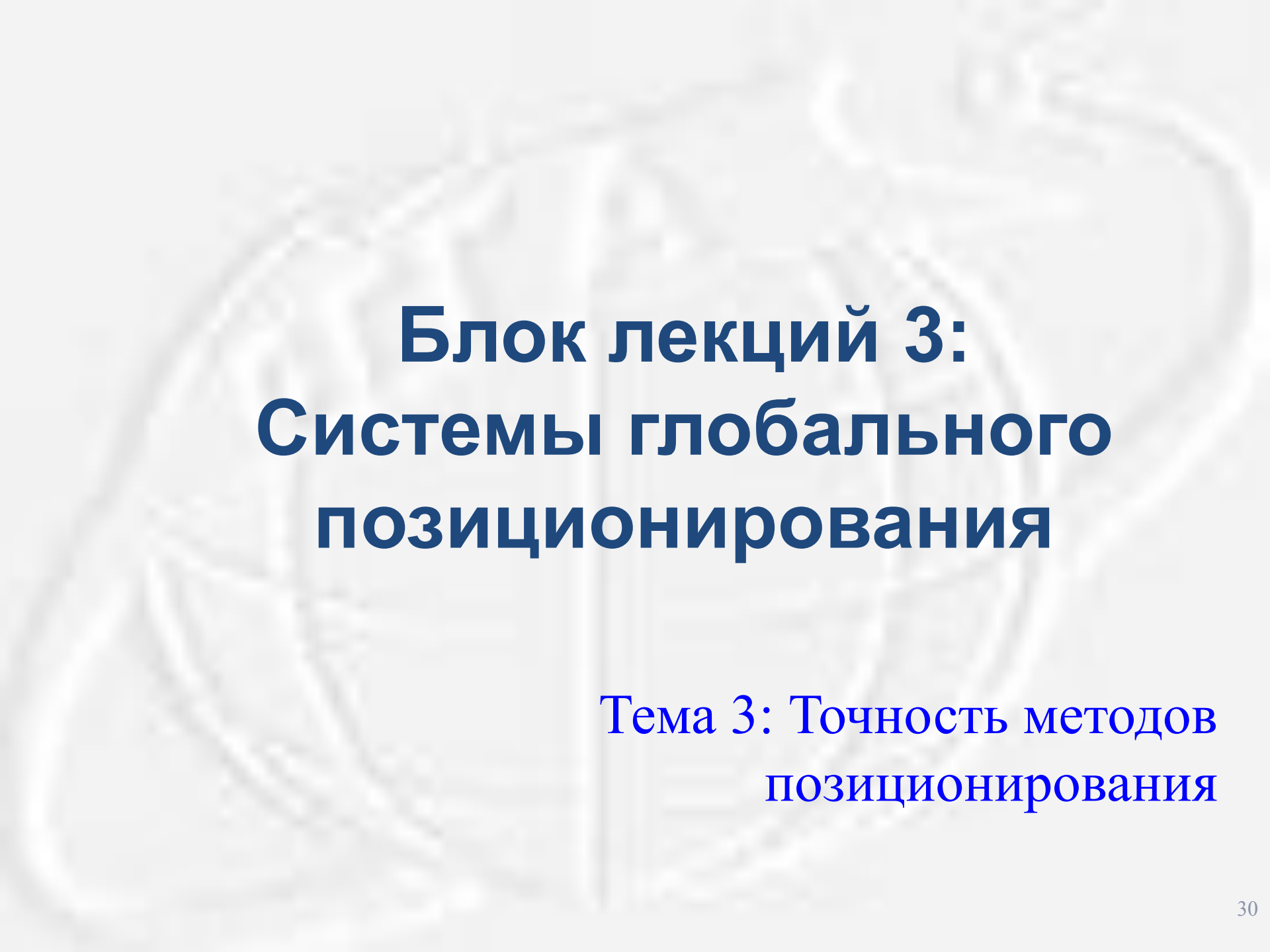


# Методы наблюдений

- Пост-обработка
  - Статический
    - Классическая статика
    - Быстрая статика
    - Реокупация
  - Кинематический
    - Непрерывная кинематика
    - «Стой-иди»
- Реальное время

# Точность методов позиционирования





# **Блок лекций 3: Системы глобального позиционирования**

**Тема 3: Точность методов  
позиционирования**

# Коэффициенты понижения ТОЧНОСТИ

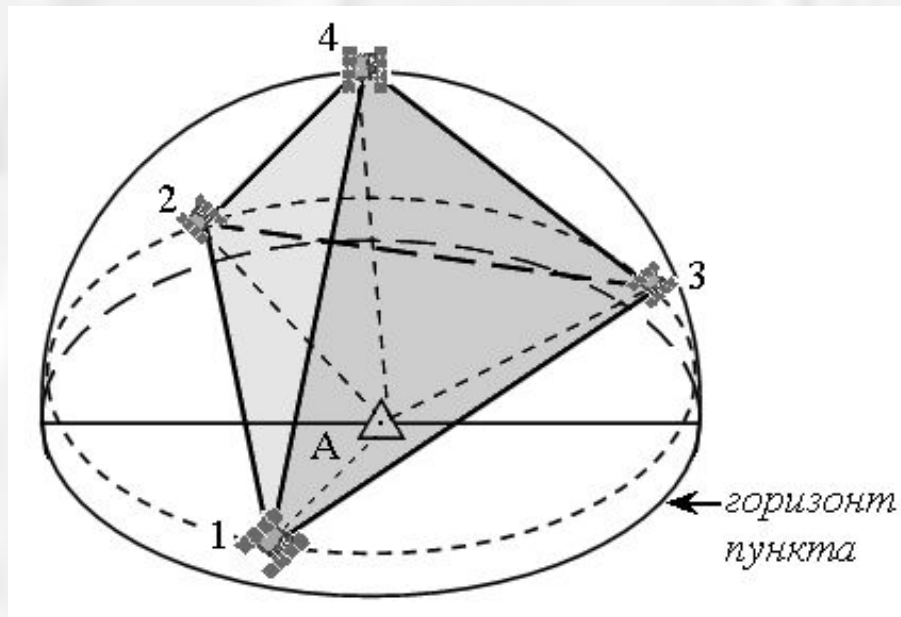
$$\mathbf{Q}_X = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{bmatrix}$$

$$\sigma_X = \sigma_0 \sqrt{q_{11}},$$

$$\sigma_Y = \sigma_0 \sqrt{q_{22}},$$

$$\sigma_Z = \sigma_0 \sqrt{q_{33}},$$

$$\sigma_{dt} = \frac{\sigma_0}{c} \sqrt{q_{44}}$$



$$PDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33}}$$

# Погрешности СРНС:

В ГЛОНАСС/GPS технологиях можно выделить четыре основных источника ошибок:

- ошибки аппаратуры;
- влияние внешних условий по трассе распространения сигнала;
- ошибки наблюдателя;
- ошибки математической обработки.



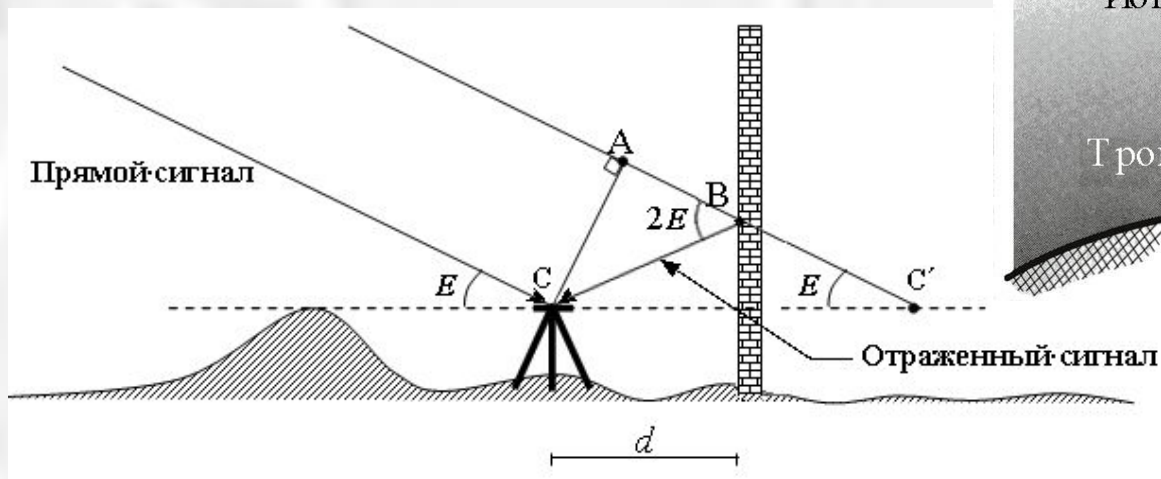
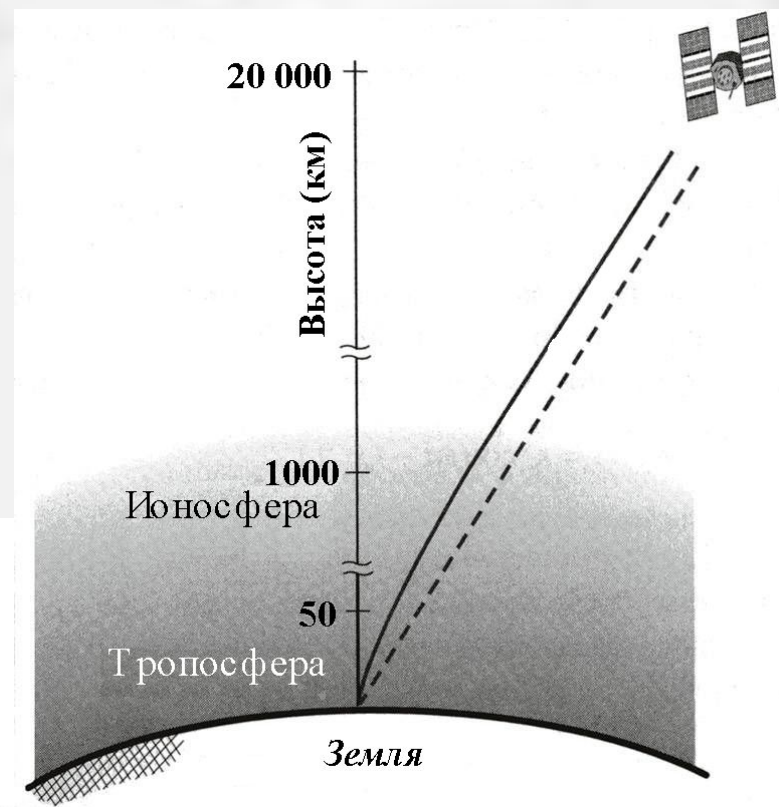
# Погрешности СРНС: ошибки аппаратуры

- Шум сигнала:
  - 3 м для С/А-кода
  - 0.3 м для Р-кода
  - 2 мм для фазы несущей;
- Положение фазового центра антенны
  - несколько сантиметров для разнотипных антенн;
- Ошибки часов приемника и спутника;

# Погрешности СРНС:

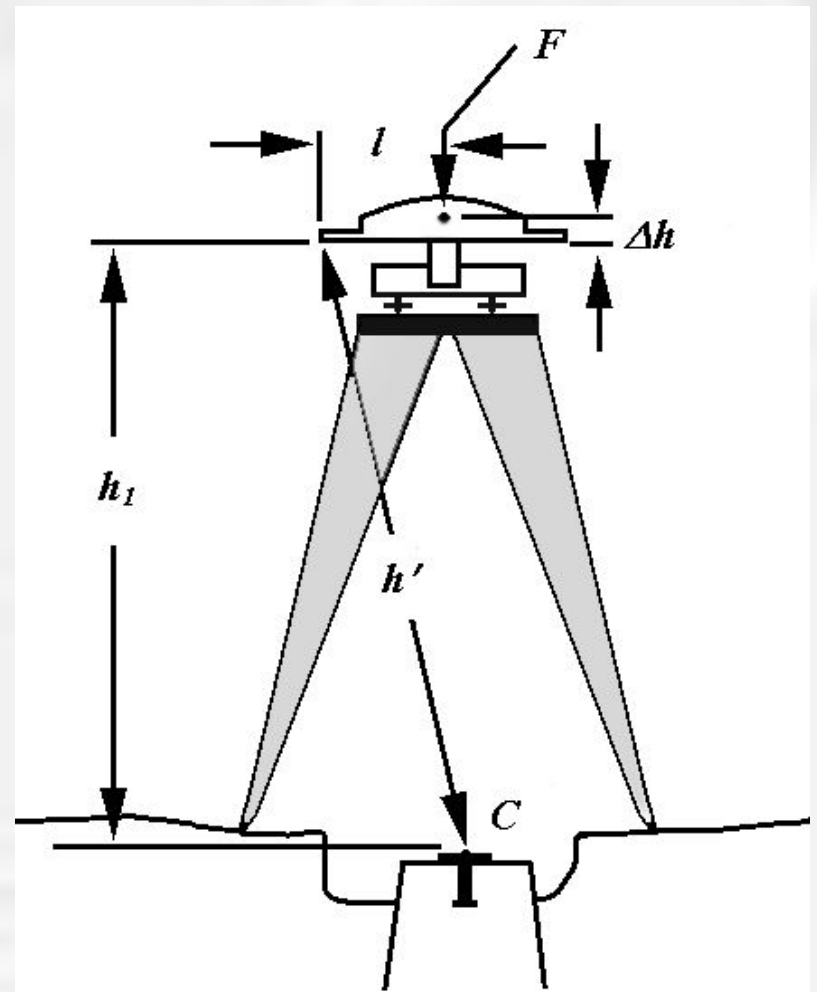
## влияние среды распространения сигнала

- Ионосфера
- Тропосфера
- Многопутность



# Погрешности СРНС: ошибки наблюдателя

- Неверное измерение высоты антенны;
- Ошибки центрирования.



# Ошибки позиционирования по кодовым наблюдениям

Источники ошибок	Абсолютный		Дифференциальный	
	C/A -код	P-код	C/A -код	P-код
Ошибки часов спутника, м	3.0	3.0	0	0
Ошибки эфемерид, м	2.0	2.0	0	0
Ионосферная задержка, м	3.5	2.3	0.1	0.1
Тропосферная задержка, м	0.4	0.4	0.1	0.1
Шумы в приемнике, м	1.5	0.2	1.5	0.25
Межканальные сдвиги в приемнике, м	0.6	0.15	0.6	0.15
Многопутность, м	1.2	1.2	1.2	1.2

# Ошибки позиционирования по фазовым наблюдениям

Источники ошибок	Относительный	
	L1	L2
Ошибки часов спутника	-	-
Ошибки эфемерид	-	-
Ионосферная задержка	1-3 см	
Тропосферная задержка	2 мм	
Шумы в приемнике	2 мм	
Многопутность	5 см	6 см