

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

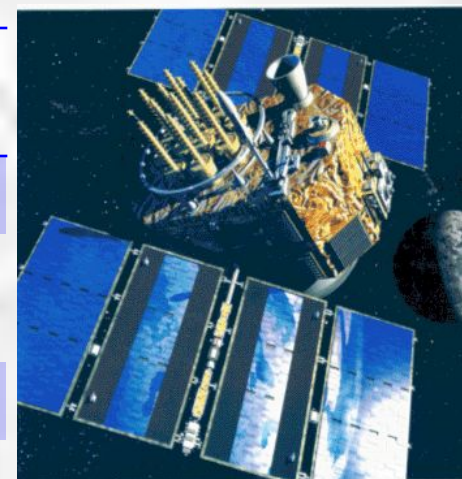
- Подсистема космических аппаратов;
- Подсистемы контроля и управления;
- Подсистема пользователей.

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.

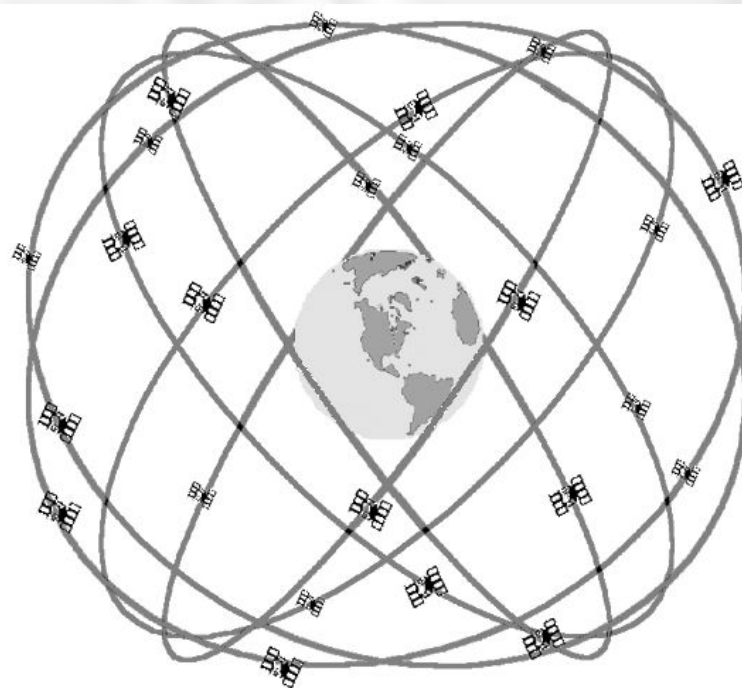
Спутниковые радионавигационные системы: GPS «NAVSTAR»

Название блока	IIA	IIIR/IIIR-M	IIIF
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

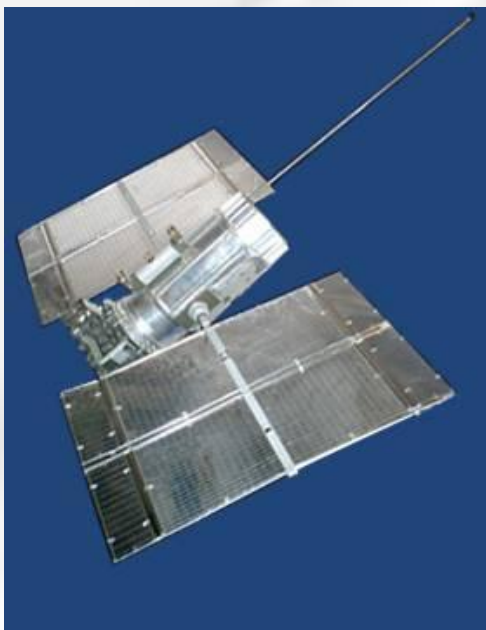


Спутниковые радионавигационные системы: GPS «NAVSTAR»

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

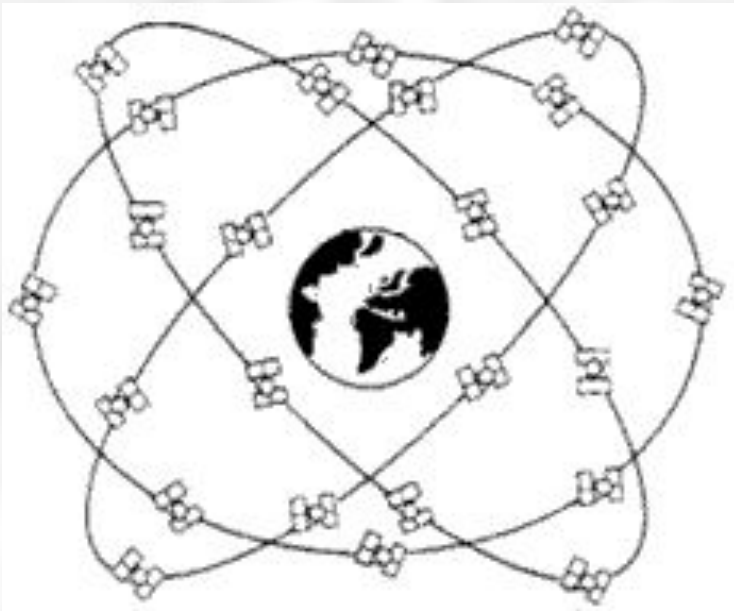


Спутниковые радионавигационные системы: ГЛОНАСС



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.

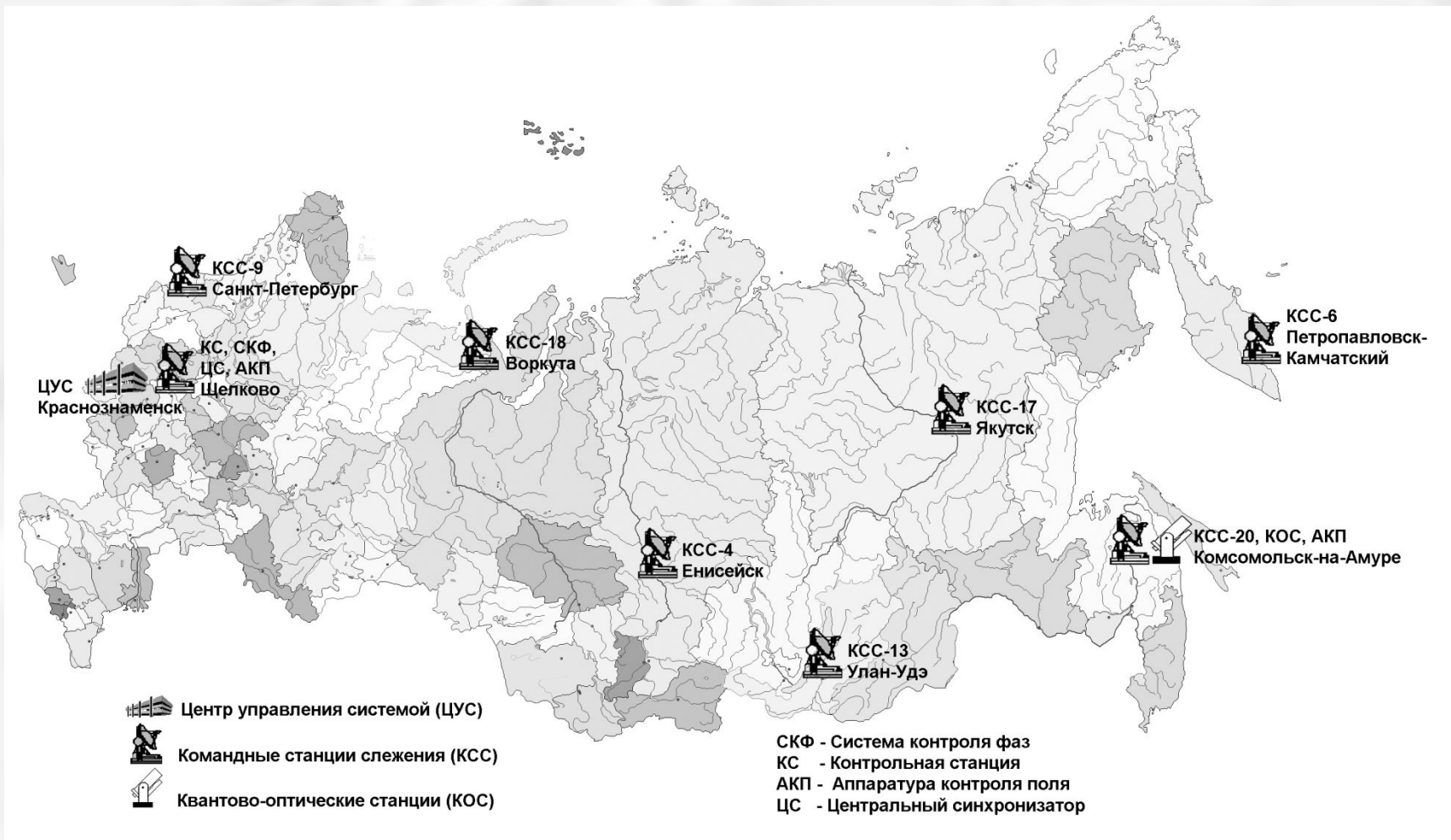
Структура спутниковых радионавигационных систем

- 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

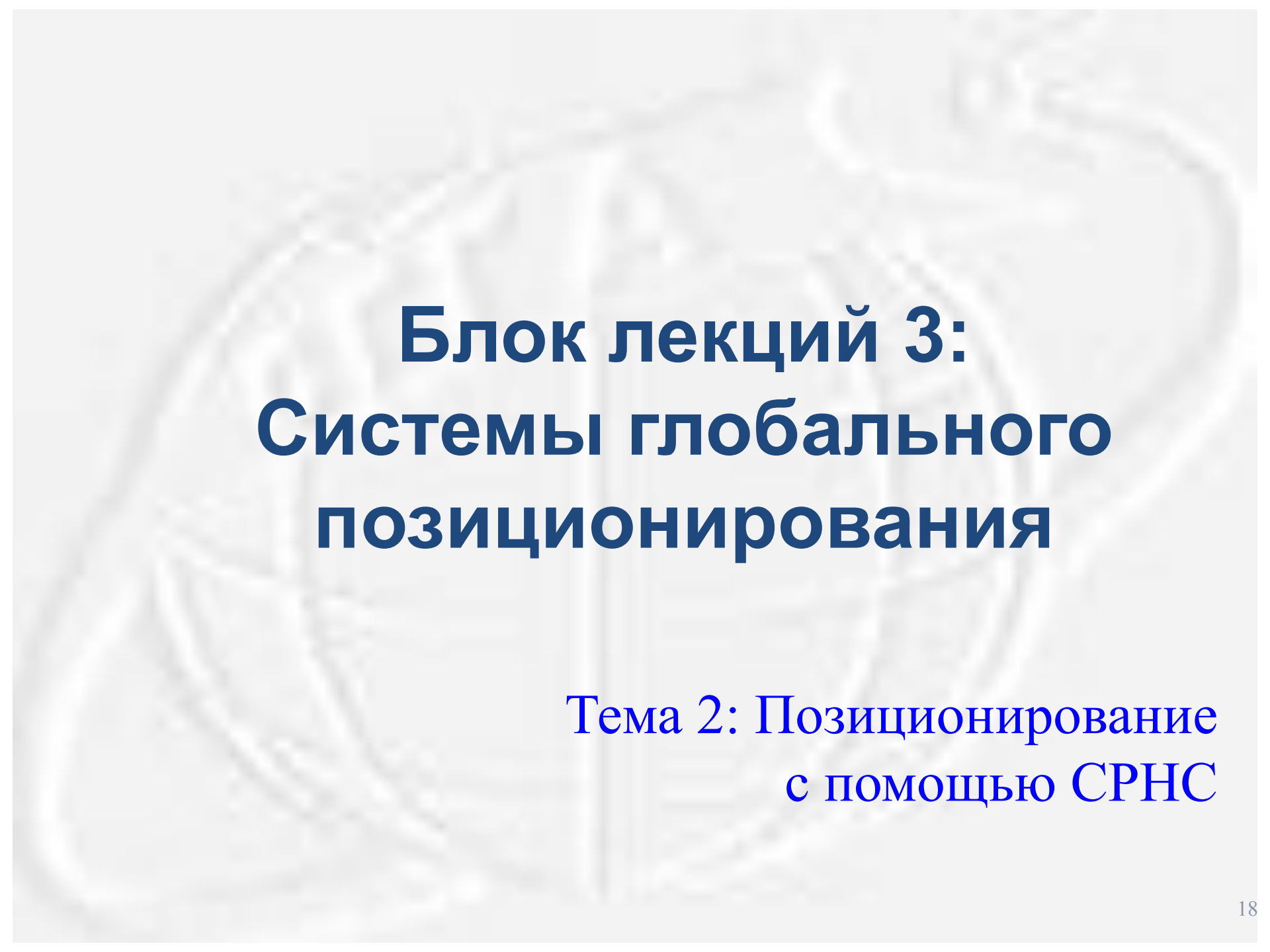
- Подсистема космических аппаратов;
- Подсистемы контроля и управления;
- Подсистема пользователей:
 - Аппаратура пользователей;
 - Информационно-технические службы.

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

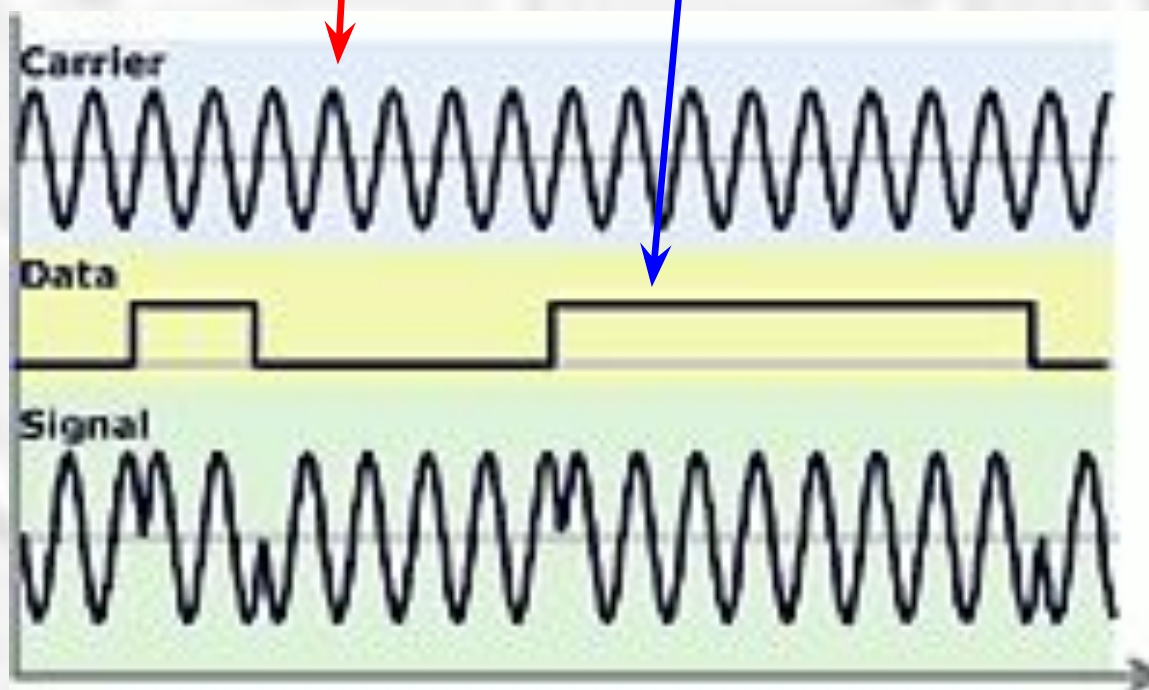
Спутниковые методы определения координат измеряют **линейные величины** – *расстояния между объектами и разности этих расстояний*.

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 λ , см	≈ 19	≈ 24	300
частота f , МГц	1575.42	1227.60	30

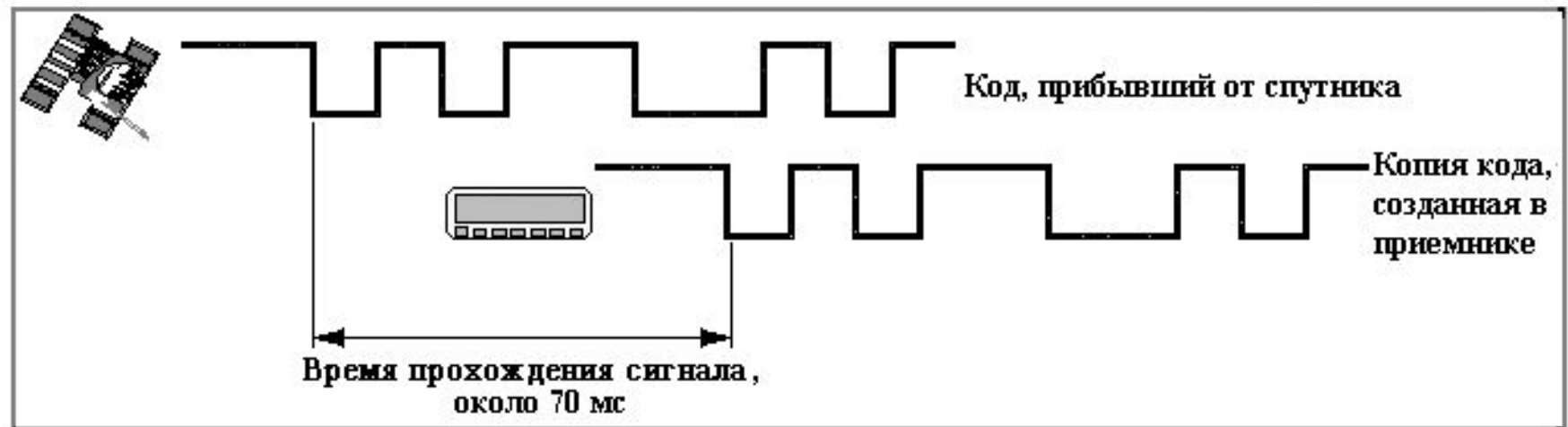


Основные виды спутниковых наблюдений

Универсальное обозначение для разных видов наблюдений:

- Фазовая дальность L1
- Фазовая дальность L2
- С/А-кодовая дальность на L1 – C1
- Р-кодовая дальность на L1 – P1
L2 – P2

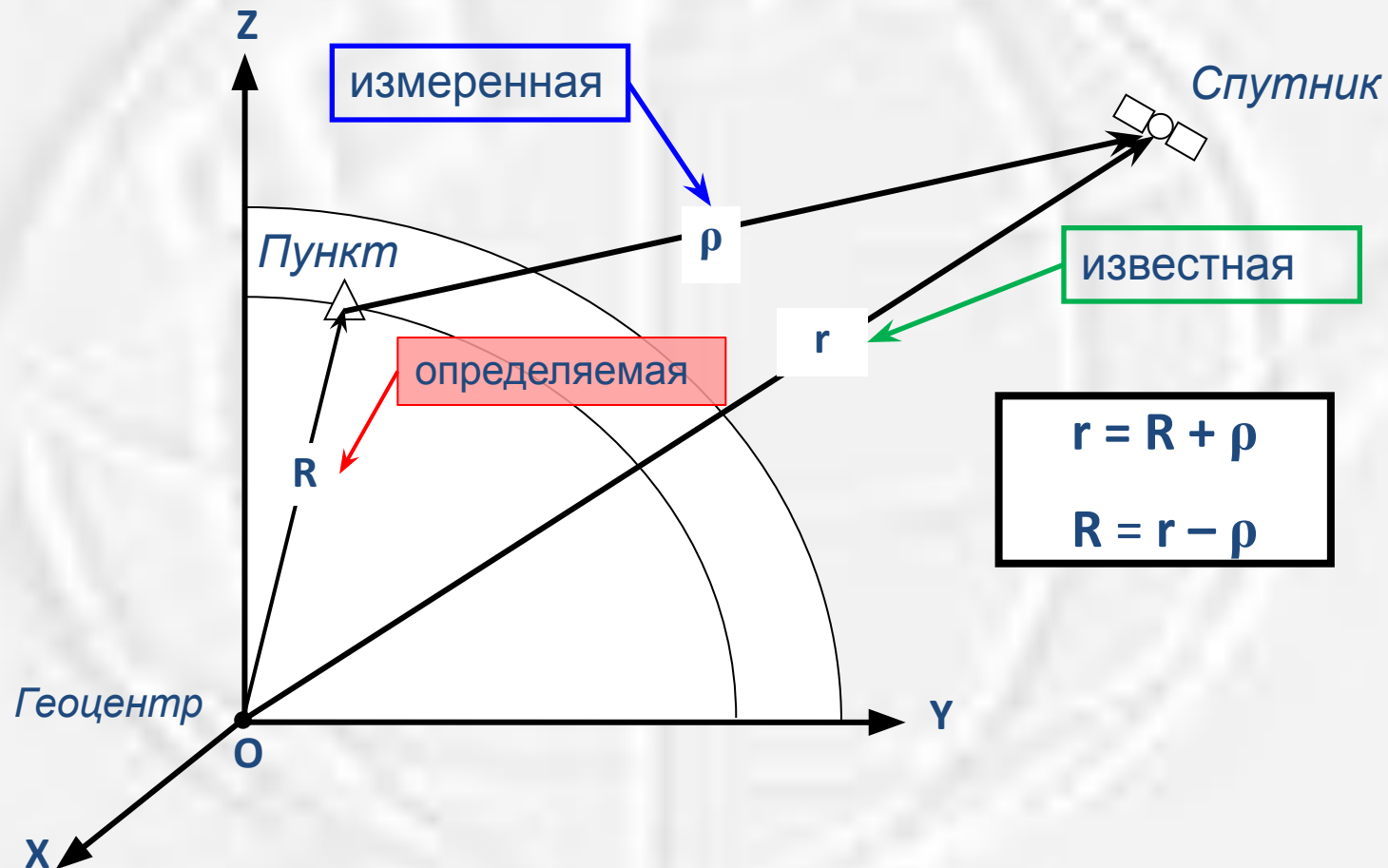
Уравнение измерений



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

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

Основное уравнение космической геодезии

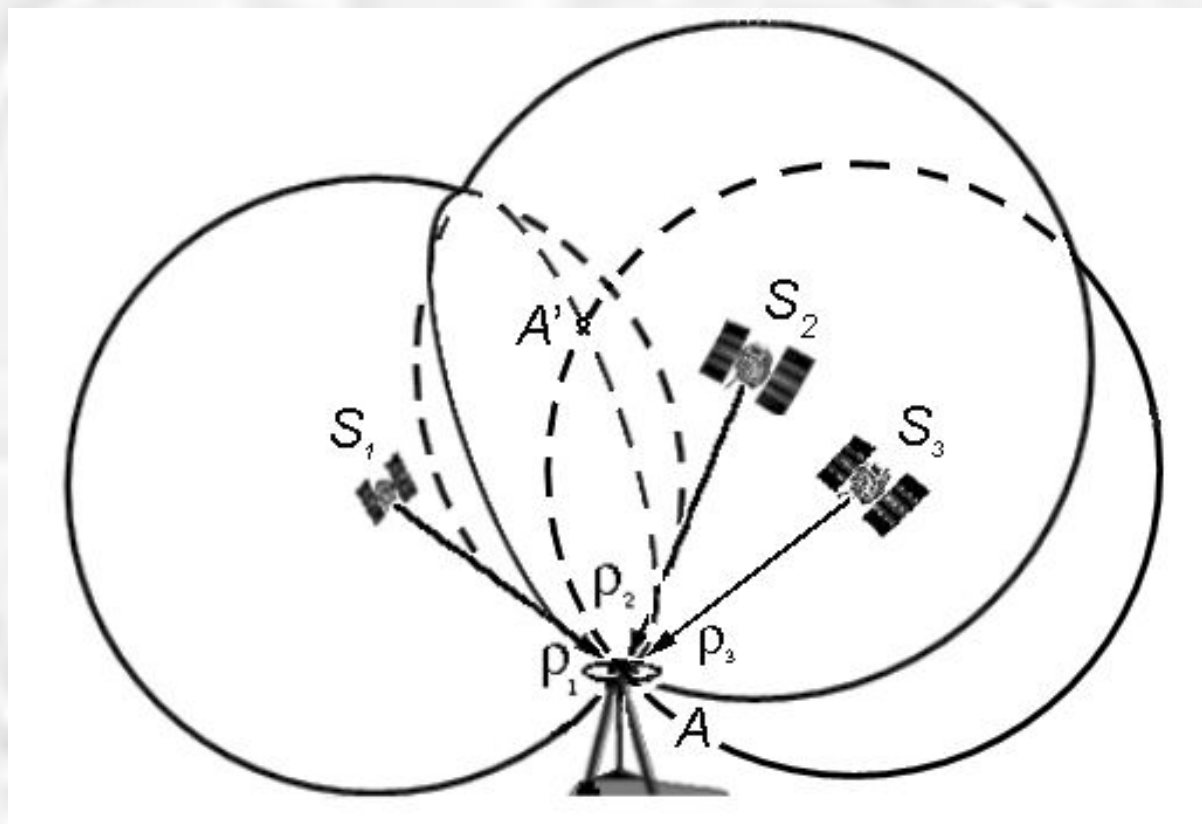


Режим позиционирования

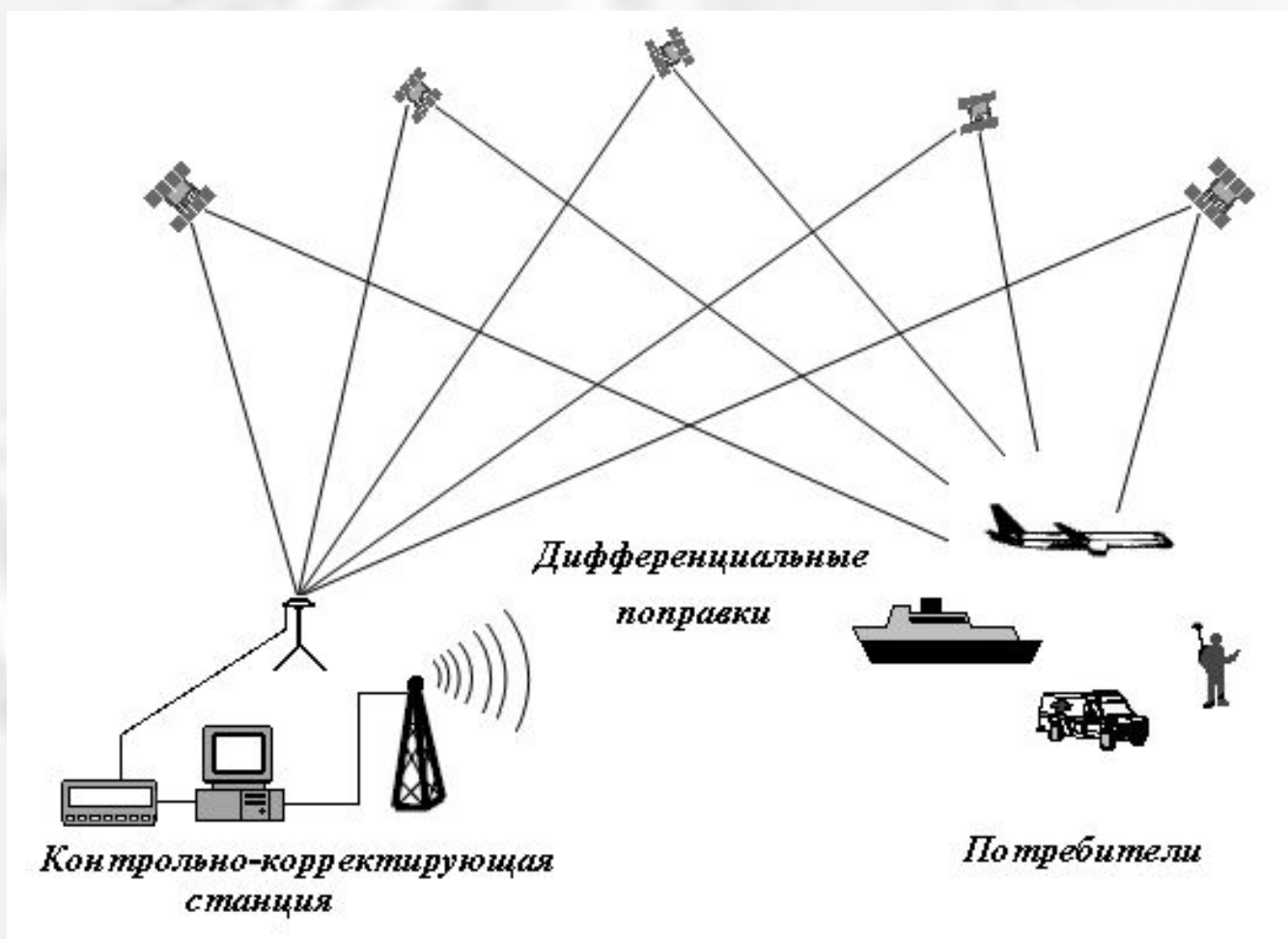
Позиционирование – определение пространственного положения объектов:

- *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.

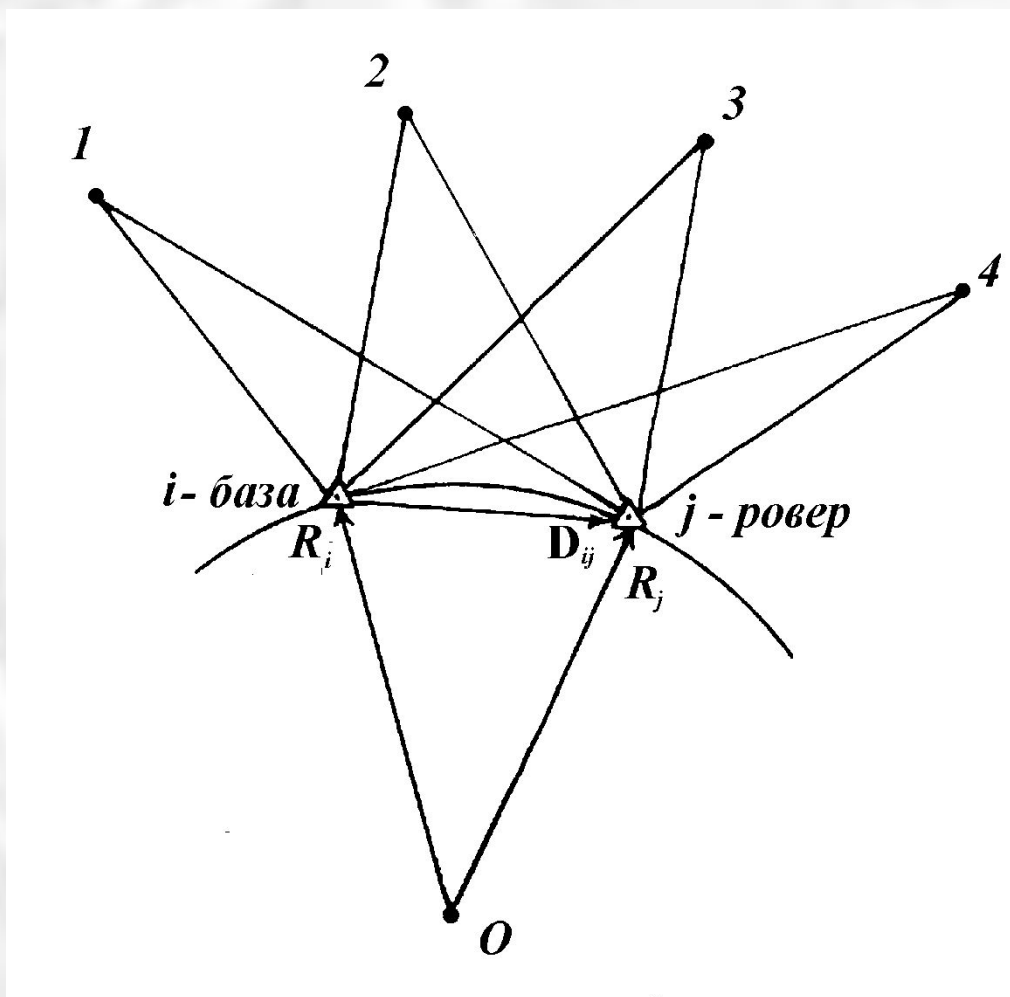
Абсолютный режим



Дифференциальный режим



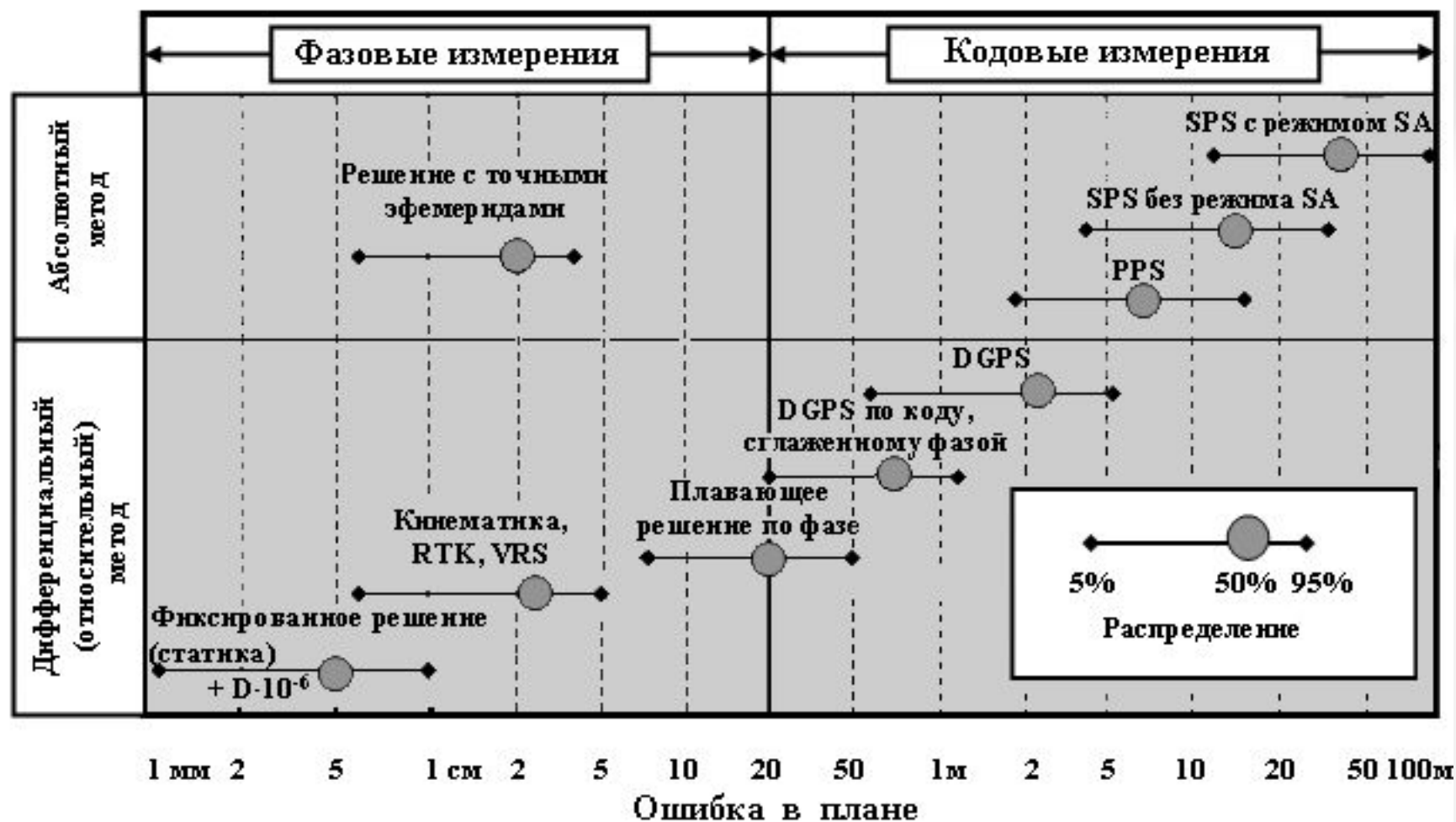
Относительный режим

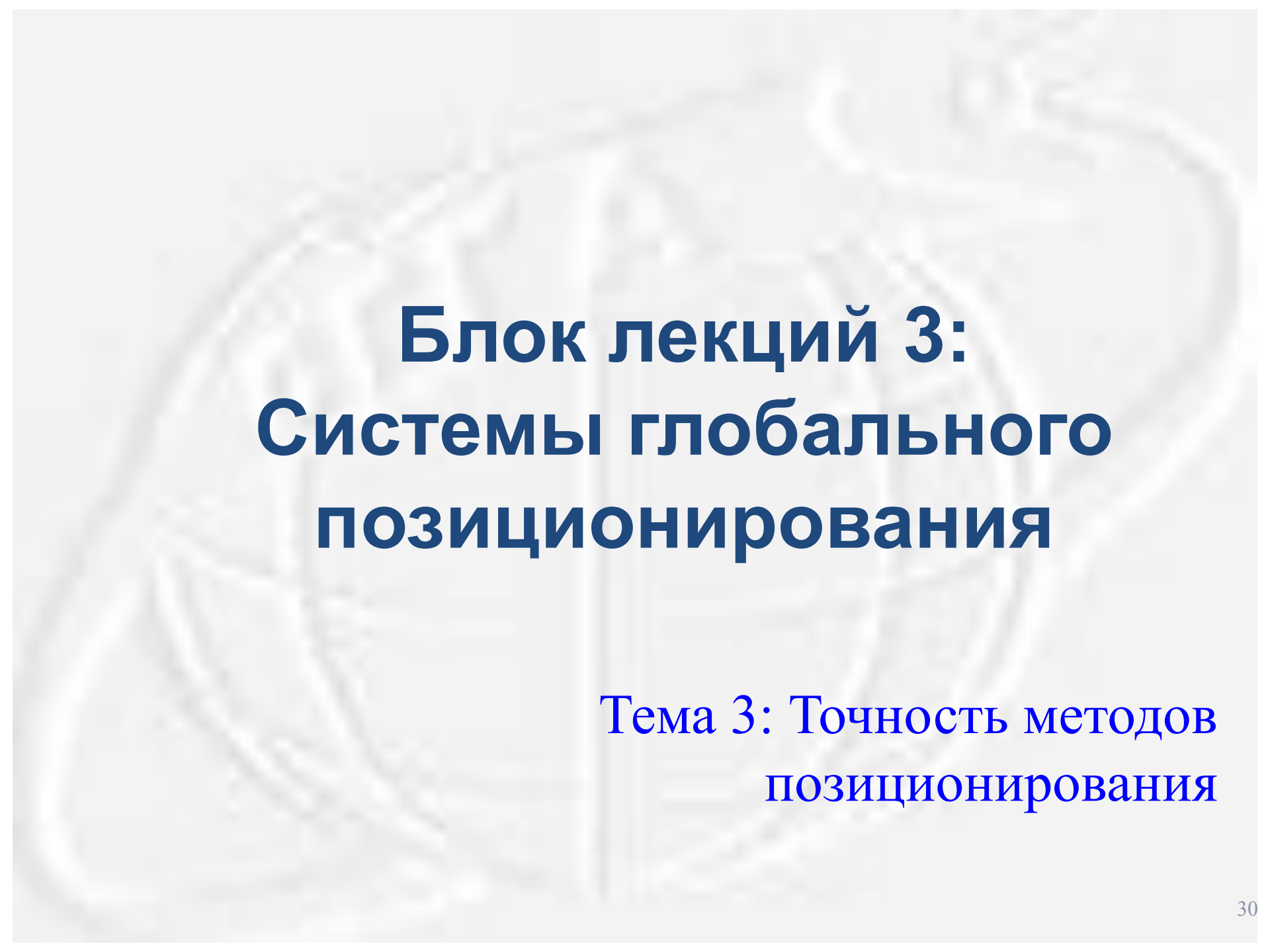


Методы наблюдений

- 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

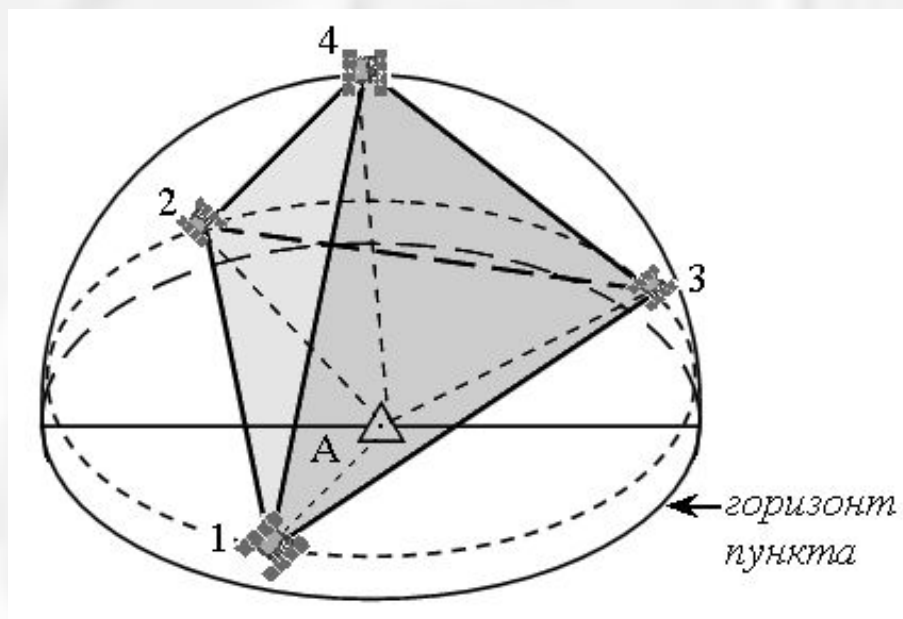
$$\mathbf{Q}_X = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{bmatrix}$$

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

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

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

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



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

Погрешности СРНС

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

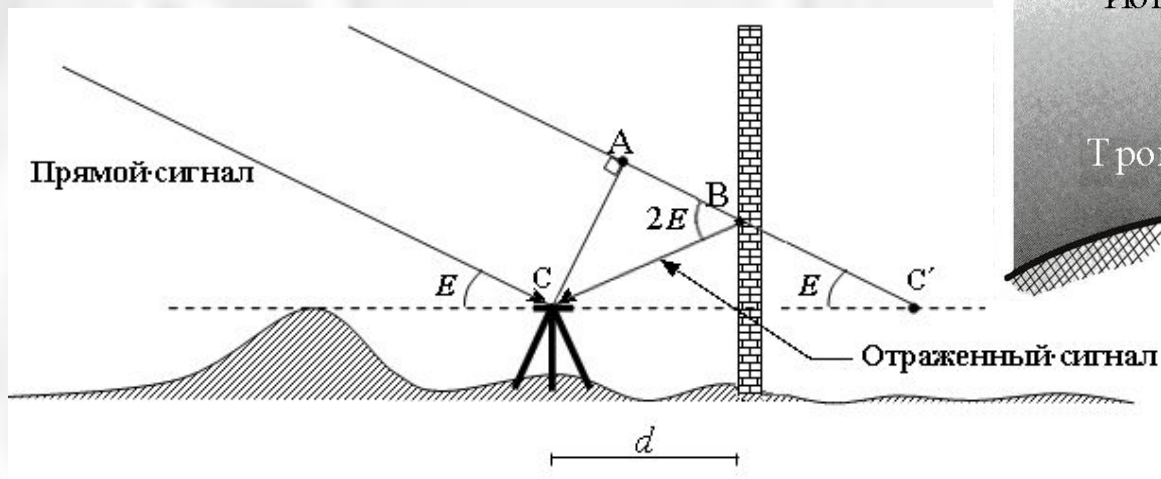
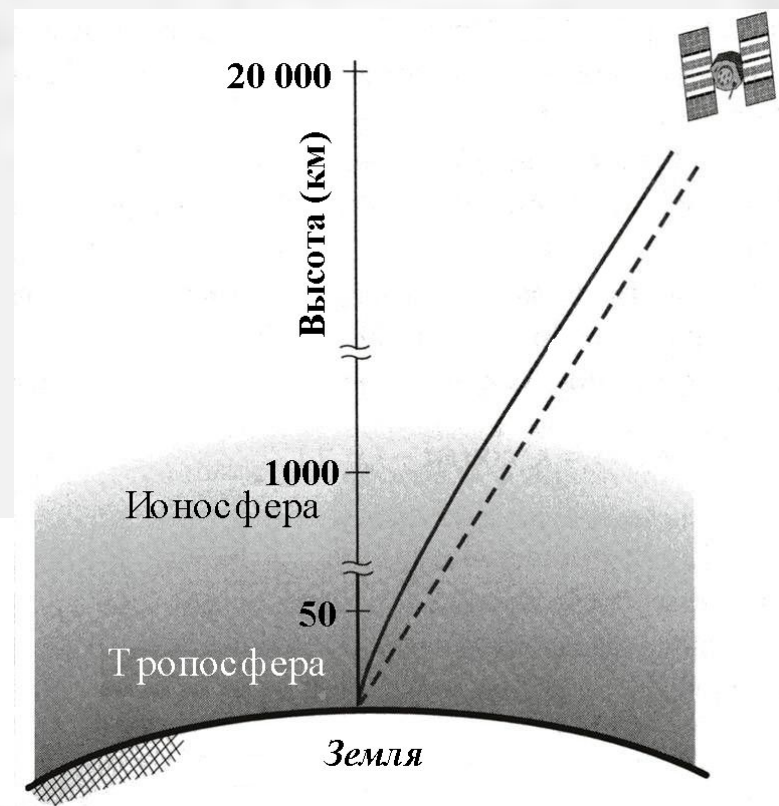
- ошибки аппаратуры;
- влияние внешних условий по трассе распространения сигнала;
- ошибки наблюдателя;
- ошибки математической обработки.

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;

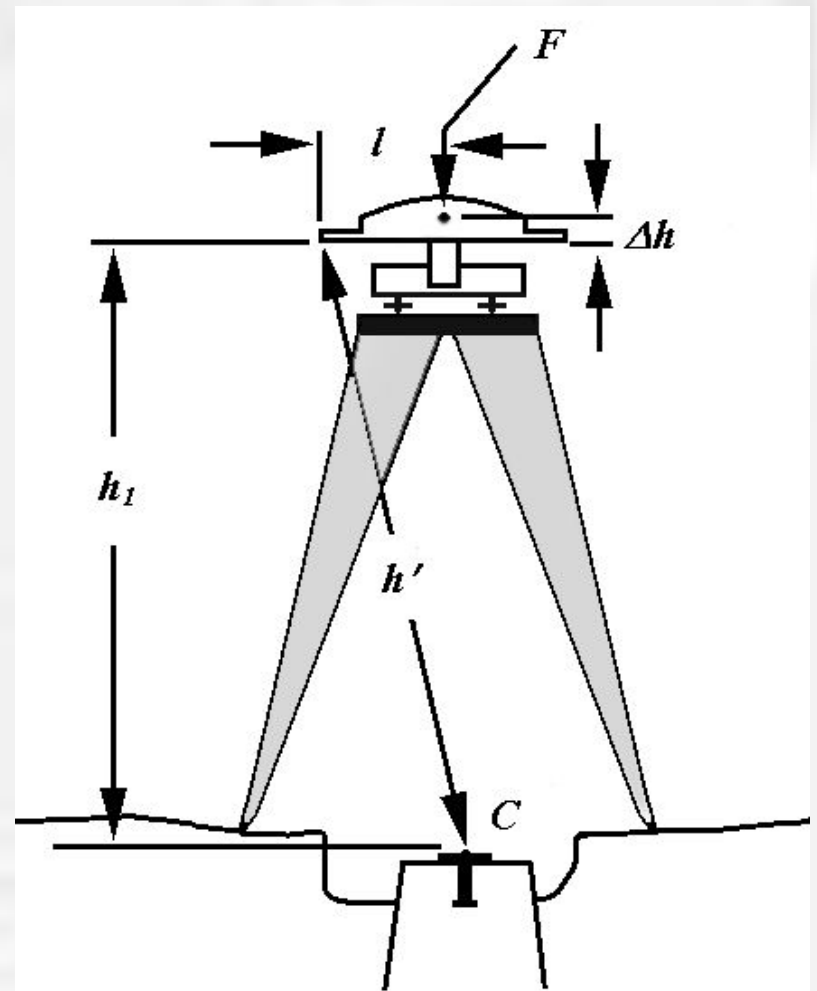
Погрешности СРНС: влияние среды распространения сигнала

- Ионосфера
- Тропосфера
- Многопутность



Погрешности СРНС: ошибки наблюдателя

- Неверное измерение высоты антенны;
- Ошибки центрирования.



Ошибки позиционирования по кодовым наблюдениям

Источники ошибок	Абсолютный		Дифференциальный	
	С/А -код	Р-код	С/А -код	Р-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