

ГНСС – метод современной геодезии

Грибанова Марина Сергеевна
(младший научный сотрудник лаборатории космической
геодезии и вращения Земли Института прикладной
астрономии РАН)

Астрометрия

Высокоточное определение местоположения небесных тел и их скоростей в данный момент времени, реализация небесной системы отсчета.

Применение: время, календарь, навигация, мореплавание, авиація и космонавтика.



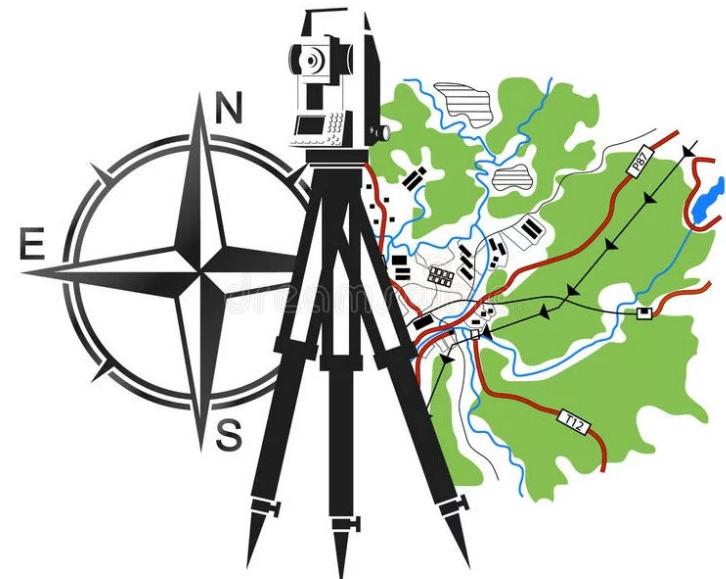
Геодезия

Определяет форму и размеры Земли, гравитационное поле, реализация земной системы отсчета.

Космическая геодезия решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников земли.

Применение: навигация, мореплавание, авиація, картография, строительство.

Тесно взаимодействует с астрометрией.

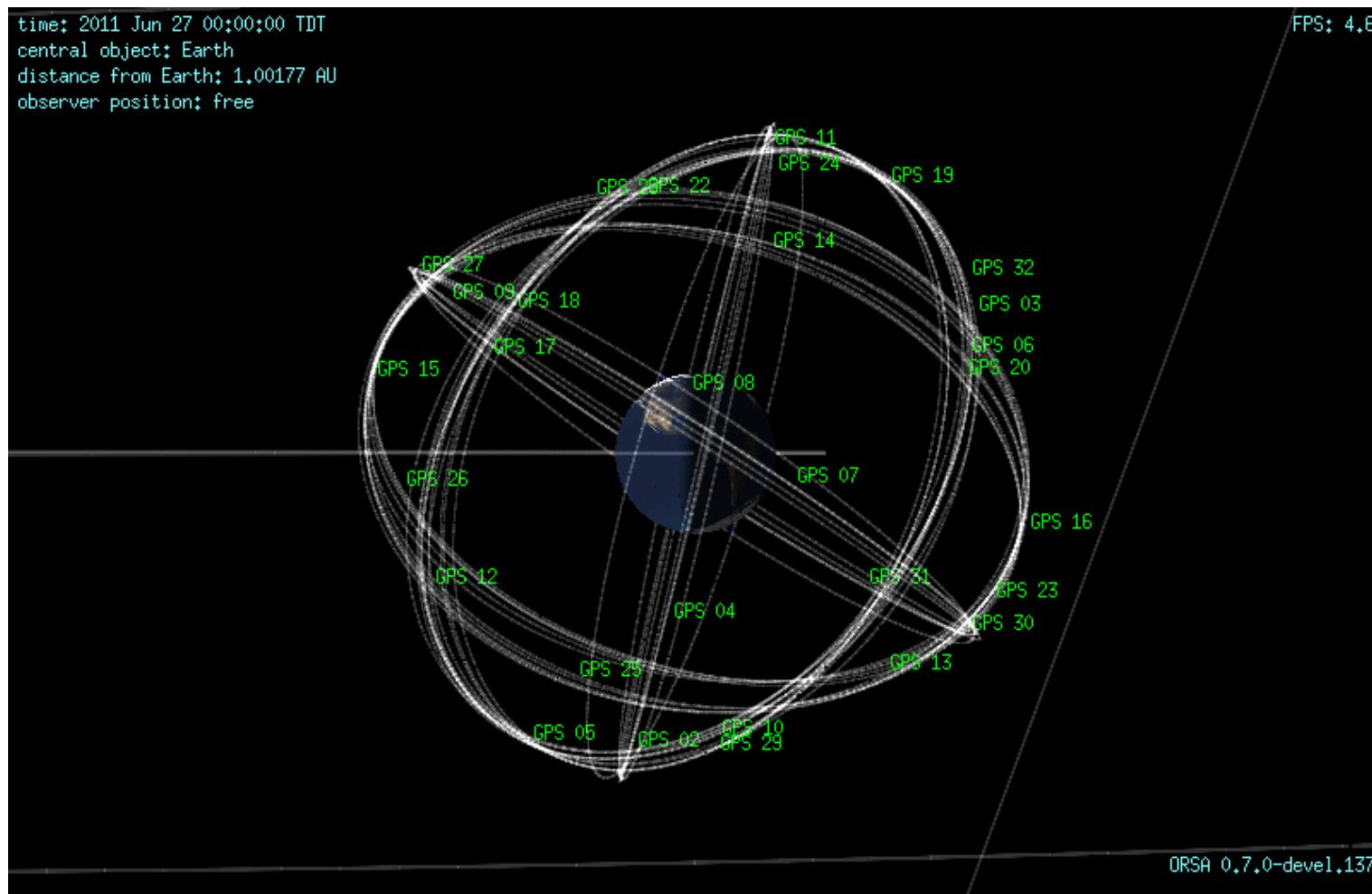


Глобальные навигационные спутниковые системы

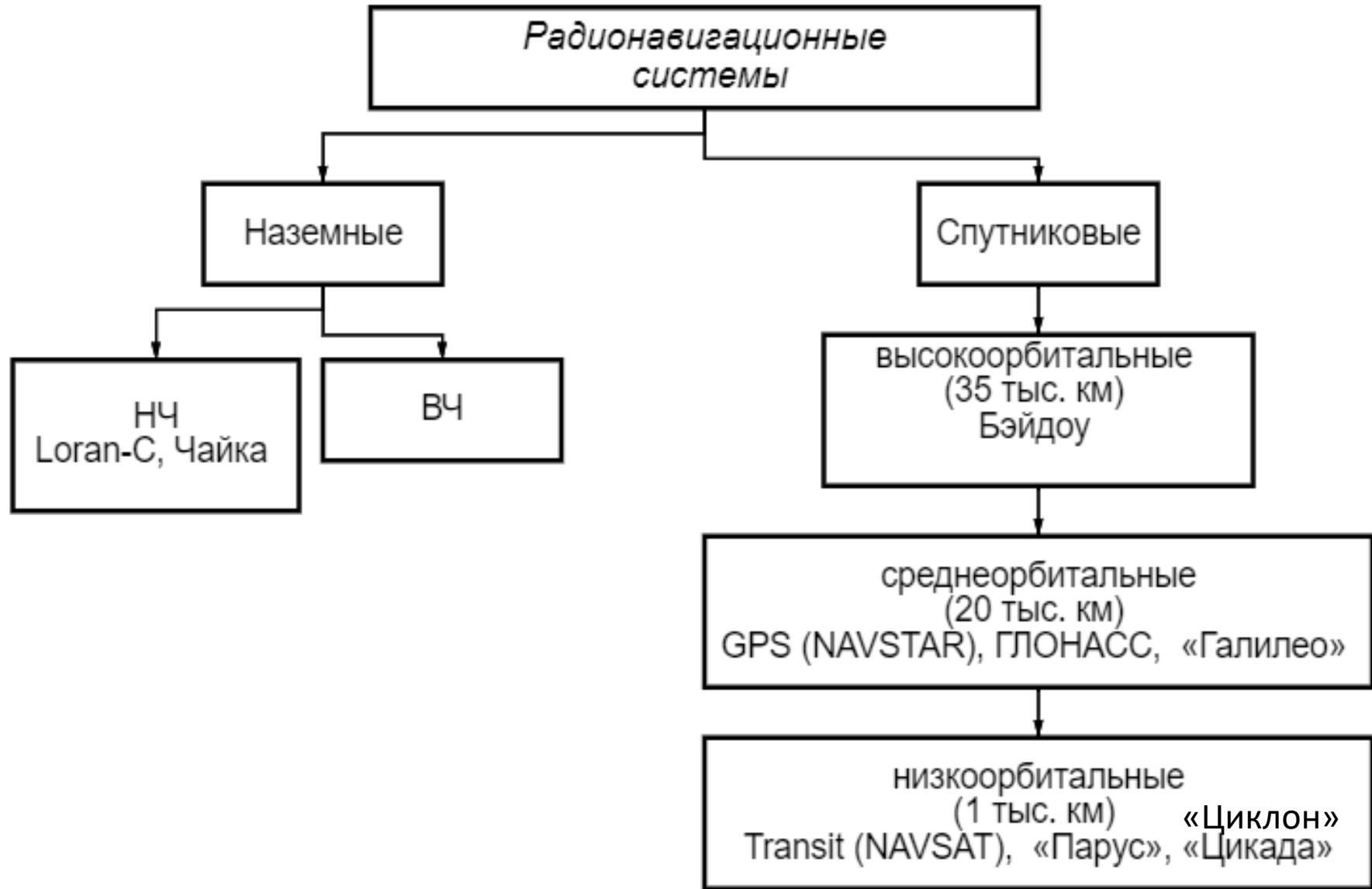
- GPS, США
- ГЛОНАСС, РФ
- Beidou, Китай
- Galileo, европейская система

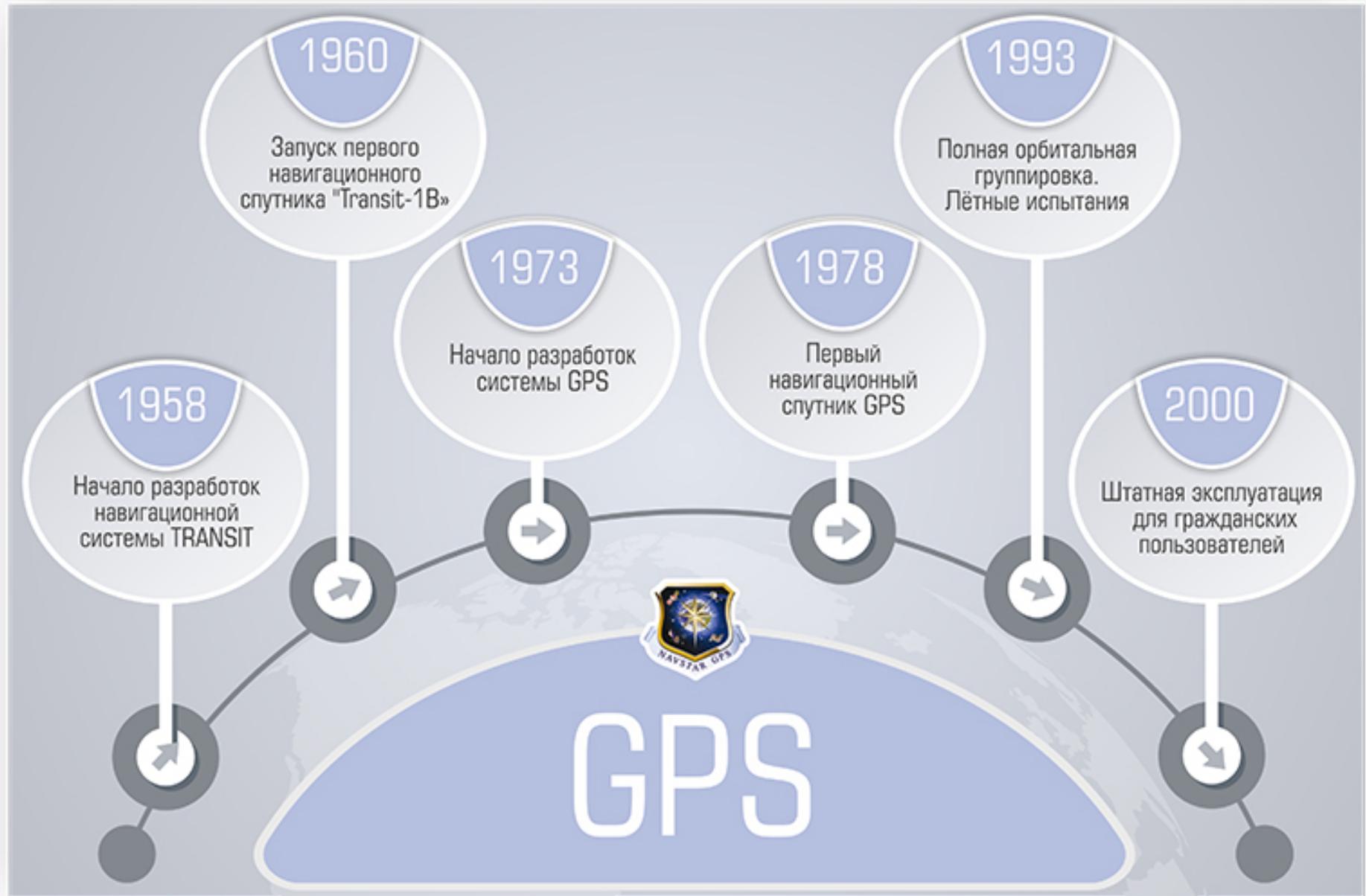
На этапе создания:

- QZSS, Япония
- IRNSS, Индия



Виды радионавигационных систем





1967

Первый навигационный спутник "Космос-192"

1957

Научные разработки в области спутниковой навигации

1972

Начало разработок глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС

1982

Запуск первого навигационного космического аппарата ГЛОНАСС

1993

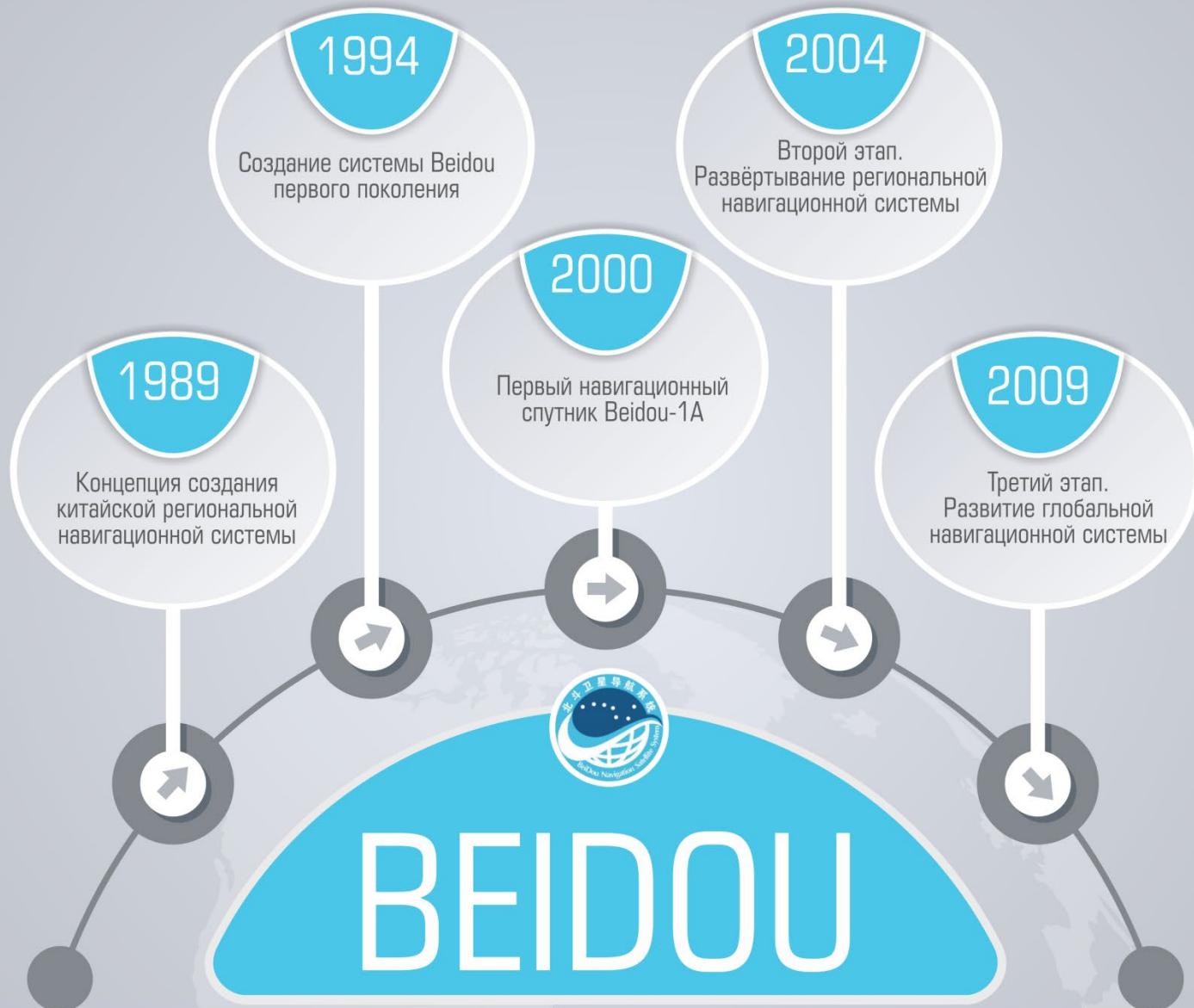
Опытная эксплуатация ГЛОНАСС

1995

Штатная эксплуатация для гражданских пользователей

ГЛОНАСС





1994

Программа по созданию
европейской ГНСС

2005

Первый
навигационный
спутник

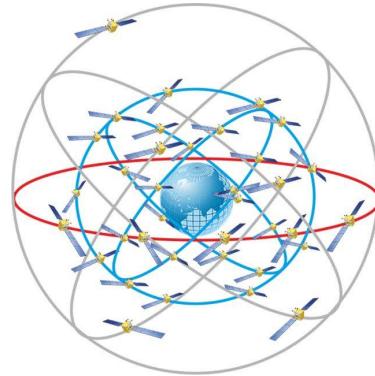
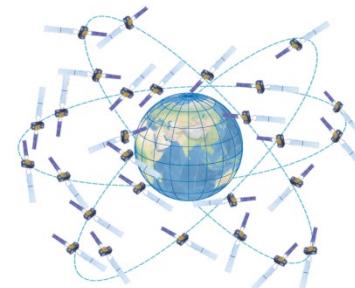
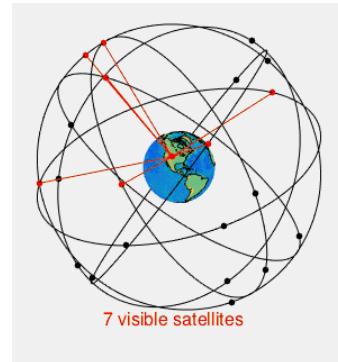
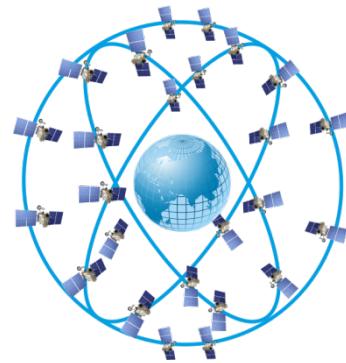
2016

Развёртывание системы,
в орбитальной
группировке 8 КА



GALILEO

Согласно glonass-iac

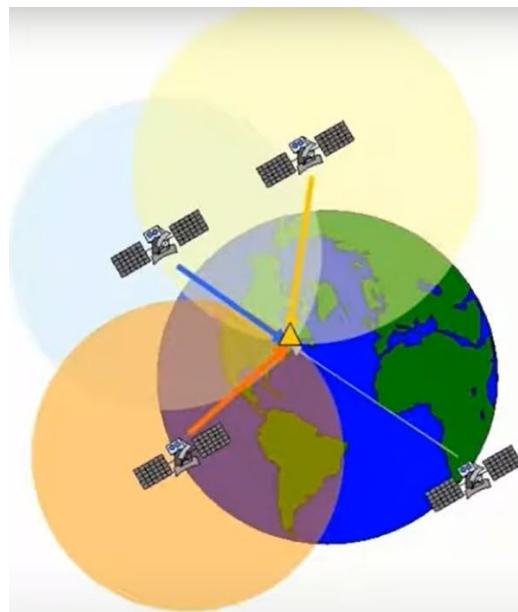


| | ГЛОНАСС | GPS | Galileo | Beidou |
|---|-----------------|-------------|----------------|--------------------|
| Среднеорбитальный сегмент | | | | |
| Количество КА | 25 | 32 | 28 | 29 |
| Высота орбиты | 19 100 км | 20 200 км | 23 222 км | 21 528 км |
| Период | 11 ч 15 мин 44с | 11 ч 58 мин | 14 ч 4 мин 45с | 12 ч 53 мин 24с |
| Наклонение | 64.8° | 55° | 56° | 55° |
| Плоскости | 3 | 6 | 3 | 3 |
| Высокоорбитальный геосинхронный сегмент | | | | |
| | Ведутся НИР | нет | Ведутся НИР | 12 КА 35 786 км |
| Геостационарный сегмент | | | | |
| | Ведутся НИР | нет | Ведутся НИР | 8 КА 35 786 км |

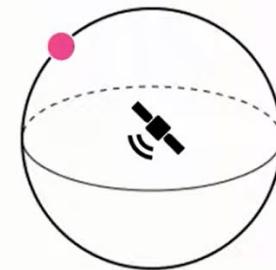
Принцип навигации. Кодовые измерения

$$P = c * (t_{\text{пр}} - t_{\text{отпр}})$$

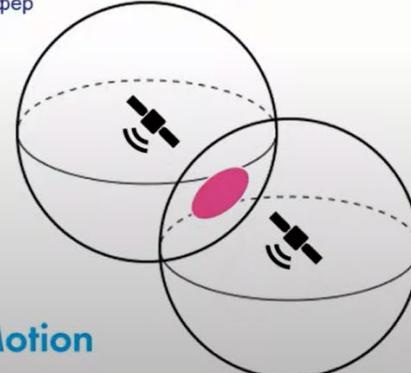
P – расстояние между объектами – измеренная псевдодальность,
 c – скорость света,
 $t_{\text{пр}}, t_{\text{отпр}}$ – моменты приема и отправки сигнала,
(их разность – время прохождения сигнала)



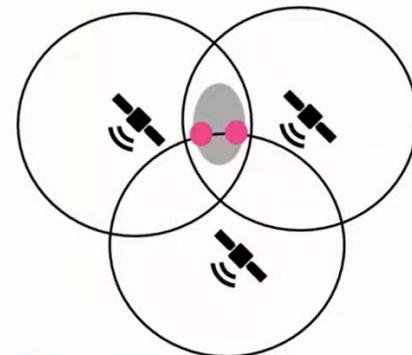
А
Объект находится в любой точке сферы



Б
Объект находится где-то на окружности в пересечении 2х сфер

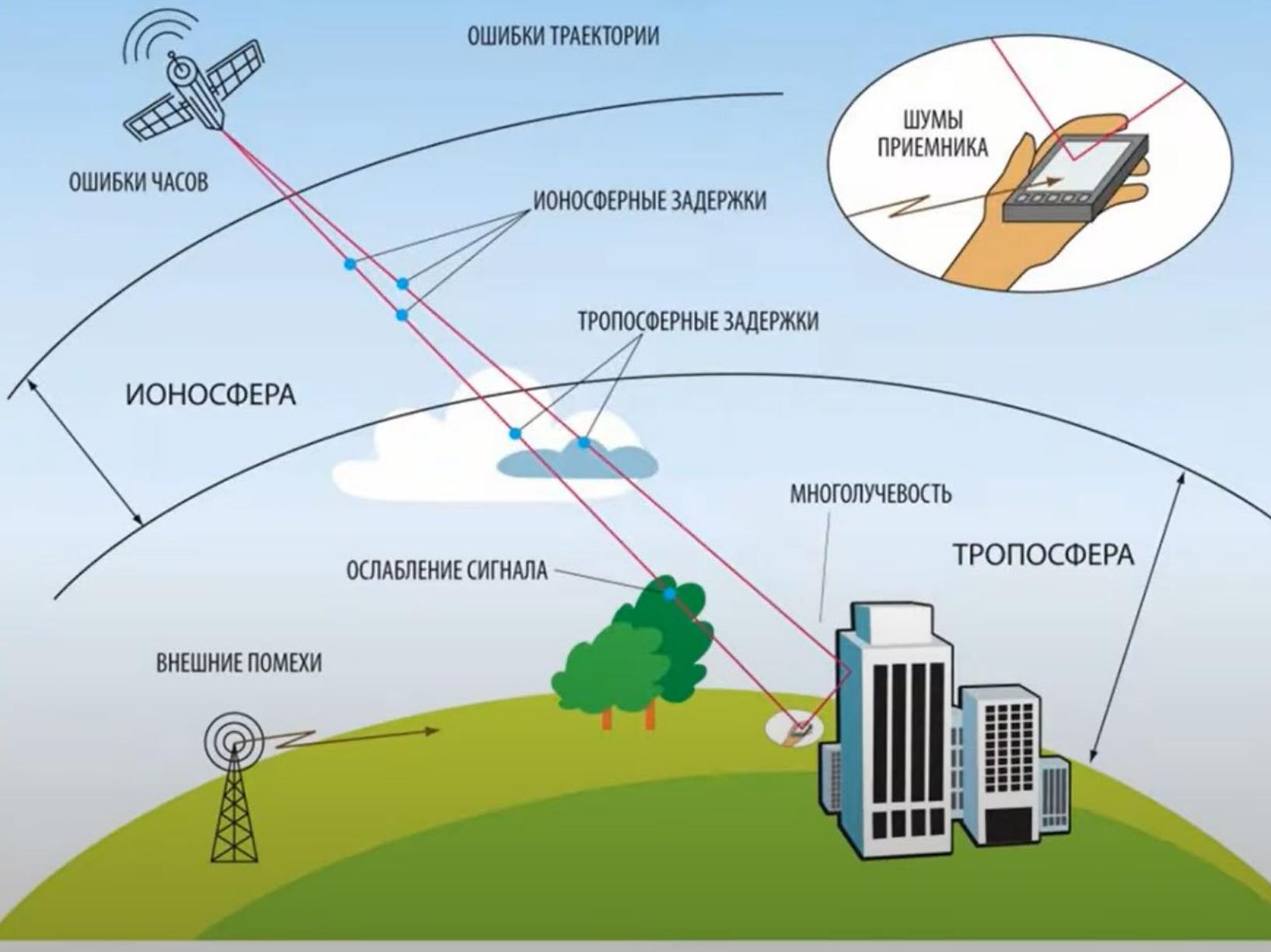


С
Есть 2 точки с координатами, но одна на поверхности Земли, вторая – ложная



Д
Пересечение 4x сфер дает одну точку





Измерения приёмника

Кодовые измерения:

$$P_i = \rho_i + c (\delta t_{rec} - \delta t_i^{sat}) + \epsilon$$

$\rho_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$ геометрическая дальность,
истинное расстояние

$\epsilon = I + T + \varepsilon_{rec} + D_{sat} + Rel + M + \xi$

Ионосфера

Тропосфера

Инстр. шум приёмника

Случайная
ошибка

Задержка в спутнике

Релятивистские
эффекты

$x, y, z, \delta t_{rec}$

Координаты приемника, сдвиг шкалы часов приемника

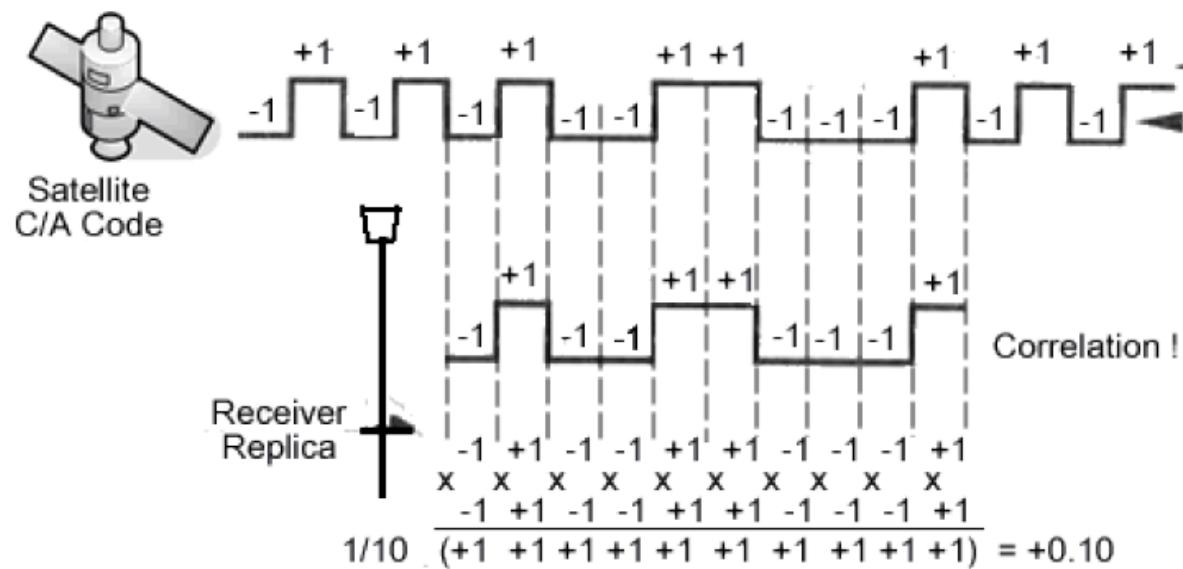
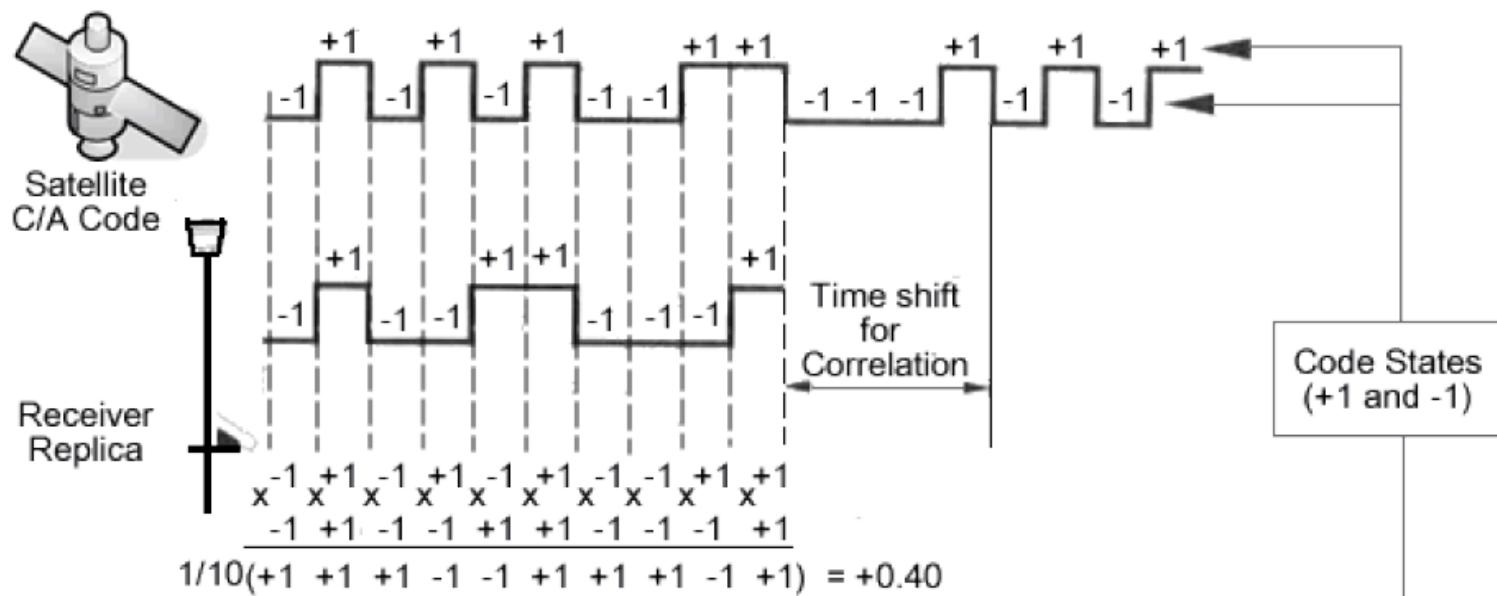
Переотражение

Навигационное сообщение

- Эфемеридная информация
- Шкала времени системы и поправки часов спутников
- Признаки пригодности спутников
- Альманах с долгосрочной информацией
- Параметры модели ионосферы
- Параметры вращения Земли

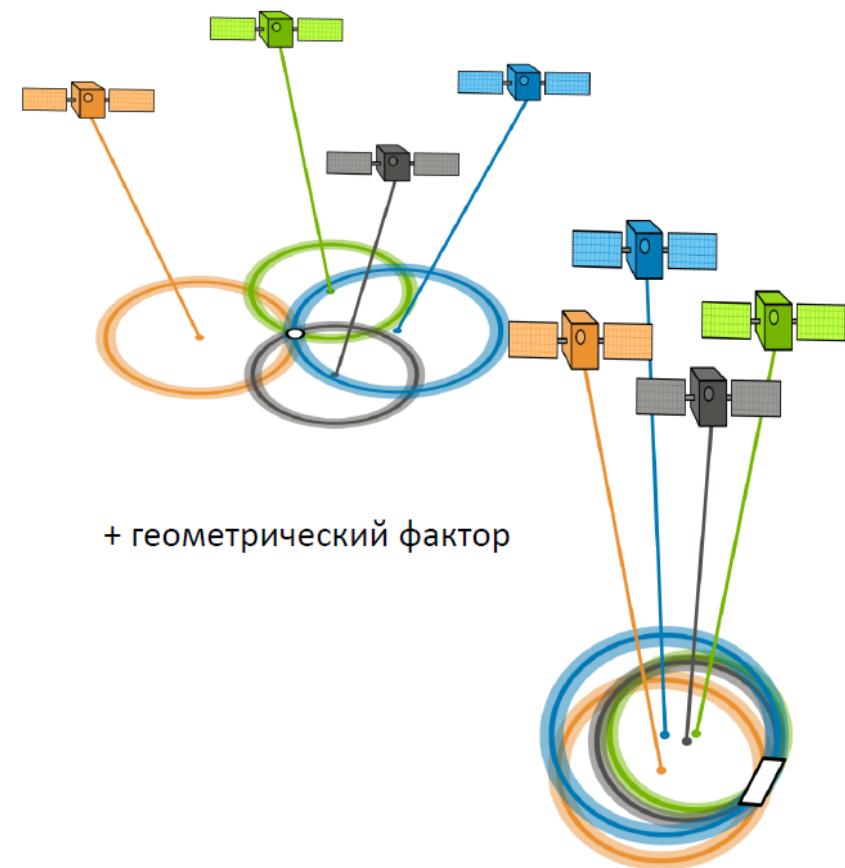
Обновление: от 1 раза в полчаса до 1 раза в день.

Кодовые измерения



Ошибки и точность

| Параметр | Абсолютная ошибка | После коррекции (если есть) |
|------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Положение спутника | 300 м | 1-3 м |
| Ошибка часов спутника | 100 км | 1-2 м |
| Ионосферная задержка | 2-50 м | 1-6 м |
| Тропосферная задержка | 2-20 м | 0.5 - 2 м |
| Релятивистские эффекты | < 13 м | < 1 м |
| Ошибка часов приёмника | < 300 км | ~ 2 м |
| Задержка в приёмнике | ~ 1 м | < 1 м |
| Шум приёмника | 1-2 м | 1-2 м |
| Переотражение | 10-20 м | 0.5-10 |



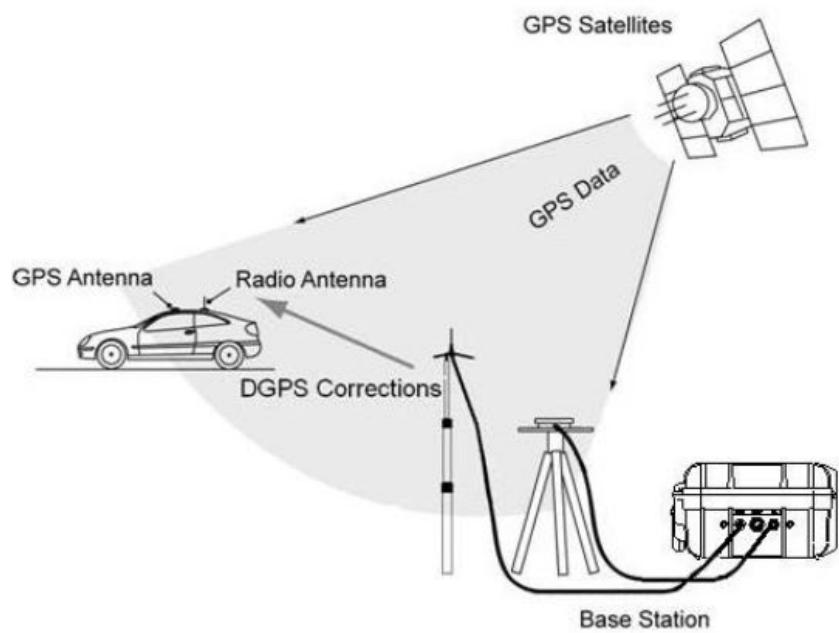
Итоговая точность 5-10 м

Методы, позволяющие получить наилучшую точность в координатновременных задачах:

- Использование фазовых измерений
- Использование оборудования геодезического класса
- Постобработка измерений
- Дифференциальная коррекция (DGPS)
- Высокоточное позиционирование (PPP)

Улучшение точности

Системы дифференциальной коррекции (< 1-3 м)

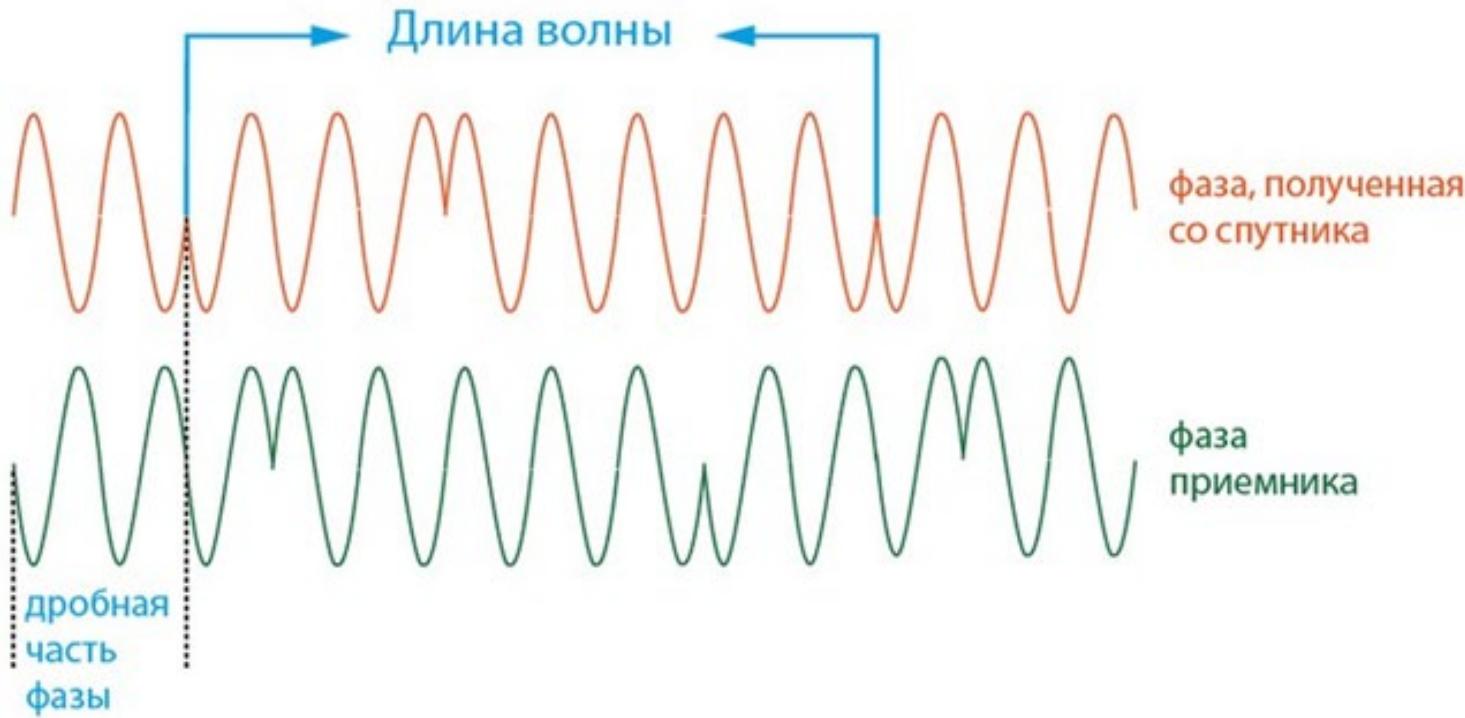


Режимы с базовой станцией (< 1 см)



+ двухчастотные измерения

Фазовые измерения



Точность измерений: < 1 мм

Точность определяемых параметров: < 1 см

Уравнение измерений

$$L_i = \rho + c(\delta t_{rec} - \delta t^{sat}) + T + I + \epsilon_{rec} + D_{sat} + Rel + M + \xi + \lambda_i N_i + \lambda_i w_i$$

L_i – фазовая псевдодальность

N_i – начальная целочисленная фазовая неоднозначность, число полных периодов

ω_i – разность начальных фаз генераторов приемника и спутника

λ_i – длина волны

Комбинация:
$$L = \frac{f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2}{f_1^2 - f_2^2}$$

Состав системы

- орбитальная группировка
- наземная система управления и контроля
- аппаратура потребителя
- наземная система радиомаяков
- информационная радиосистема для передачи пользователям поправок



International GNSS Service

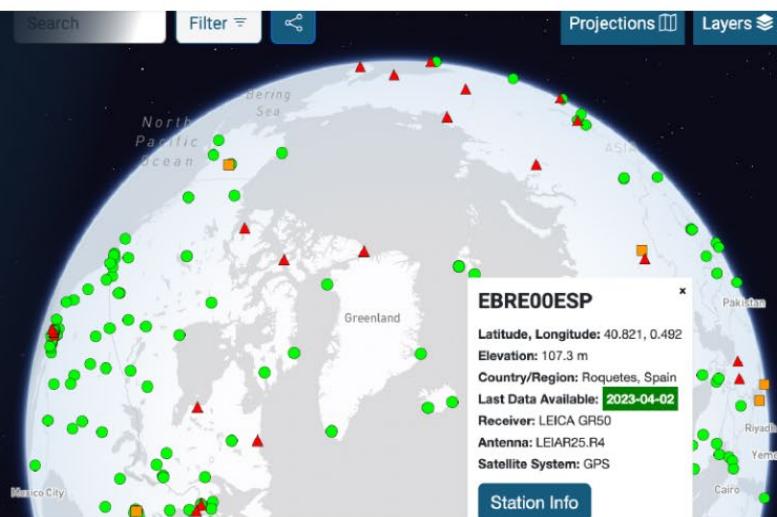
https://network.igs.org/?ga=2.132866185.624180688.1685445194-1385769482.1685445194&gl=1*pzmhmo*ga*MTM4NTc2OTQ4Mi4xNjg1NDQ1MTk0*gaZ5RH7R682C*MTY4NTQ0NTTE5NC4xLjEuMTY4NTQ0NTM3NC42MC4wLjA



NETWORK ▾ PRODUCTS ▾ DATA ▾ DOCUMENTS ▾ PARTICIPATE ▾ ABOUT ▾ CONTACT US ▾

IGS SLM and Network Upgrades Now Available!

LEARN MORE



Products



Network



News and Announcements



Факторы, влияющие на движение спутника

- Геопотенциал
- Деформации Земли (Приливы, движения литосферных плит, локальные явления)
- Влияние Солнца и Луны
- Релятивистские эффекты
- Ошибки в параметрах вращения Земли (координат полюса)

Величины ускорений

| | | Эффект через 3 часа | Через 3 дня |
|------------------------|-------------------|---------------------|-------------|
| Центральная сила | 0.56 | | |
| Сжатие | $5 \cdot 10^{-5}$ | 2 км | 15 км |
| Прочие гармоники | $3 \cdot 10^{-7}$ | 50-80 м | 0.1-1.5 км |
| Солнце, Луна, планеты | $5 \cdot 10^{-6}$ | 5-150 м | 1-3 км |
| Приливные эффекты | 10^{-9} | 0.01 м | 1 м |
| Давление излучения | 10^{-7} | 5-10 м | 0.1-1 км |
| Релятивистские эффекты | 10^{-9} | - | 5 м |

Другие тонкие эффекты

| Эффект | Величина |
|---|------------|
| Взаимная ориентация антенн (wind-up) | 0.1-3 см |
| Положения фазовых центров антенн излучателей и приёмников | 0.1-2 м |
| Аппаратные межсистемные сдвиги | 0.1 нс |
| Асимметричность атмосферы | |
| Атмосферная нагрузка и гидрологические процессы | 0.1-1.5 см |
| Смещение геоцентра | 0.1-2 см |
| Угловые атмосферные моменты | < 1 см |
| Ионосфера 2-го порядка | < 1 см |

Фундаментальное значение ГНСС

- Проверка эффектов теории относительности
- Глобальная тектоника Земли
- Локальные тектонические явления
- Модели приливов и атмосферы
- Изменения среднего уровня моря

Достоинства

1. Высокая точность определения координат
2. Большое количество определяемых параметров
3. Большое количество наблюдений, станций, спутников
4. Относительная простота и дешевизна аппаратуры
5. Наблюдения в любую погоду, в любое время
6. Устойчивый к помехам диапазон радиоволн
7. Выполнение кинематических измерений, то есть измерений в движении

Недостатки

1. Создание точной системы регистрации времени
2. Зависимость от препятствий и радиопомех
3. Блокировка сигнала
4. Наличие «радиовидимости» с определяемой точки не менее чем четыре спутников, что в условиях застроенной или залесенной территории не всегда возможно

Точности определяемых параметров

| Параметр | Значение |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Положения спутников | 3-5 см |
| Поправки часов спутников и станций | ~ 75 пс (10^{-12}) |
| Координаты и скорости станций | 3-6 мм, 2-3 мм/год, |
| Зенитная тропосферная задержка | 4 мм |
| Координаты полюса вращения Земли | ~ 30 μ с дуги (1 мм) |
| Продолжительность суток | ~ 10 μ сек. |

| Parameter type | VLBI | GPS/ GLON. | DORIS/ PRARE | SLR | LLR | Alti- metry |
|-----------------------------------|------|---------------|-----------------|-----|-----|----------------|
| Quasar Coord. (ICRF) | X | | | | | |
| Nutation | X | (X) | | | X | |
| Pole Coord. X, Y | X | X | X | X | X | |
| UT1 | X | | | | | |
| Length of day (LOD) | | X | X | X | X | |
| Sub-daily ERPs | X | X | | | | |
| ERP Amplitudes of ocean tides | X | X | | X | | X |
| Station Coord.+ Velocities (ITRF) | X | X | X | X | X | (X) |
| Geocenter | | X | X | X | | X |
| Gravity field | | X | X | X | (X) | X |
| Satellite orbits | | X | X | X | X | X |
| LEO orbit determination | | X | X | X | | X |
| Ionosphere | X | X | X | | | X |
| Troposphere | X | X | X | | | X |
| Time/Frequency transfer | (X) | X | X | | | |