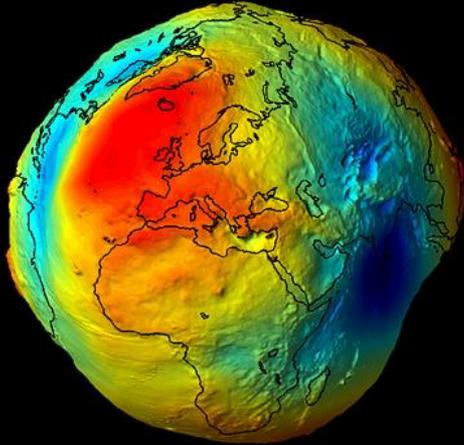




Р.А.Кащеев

Методы космической геодезии



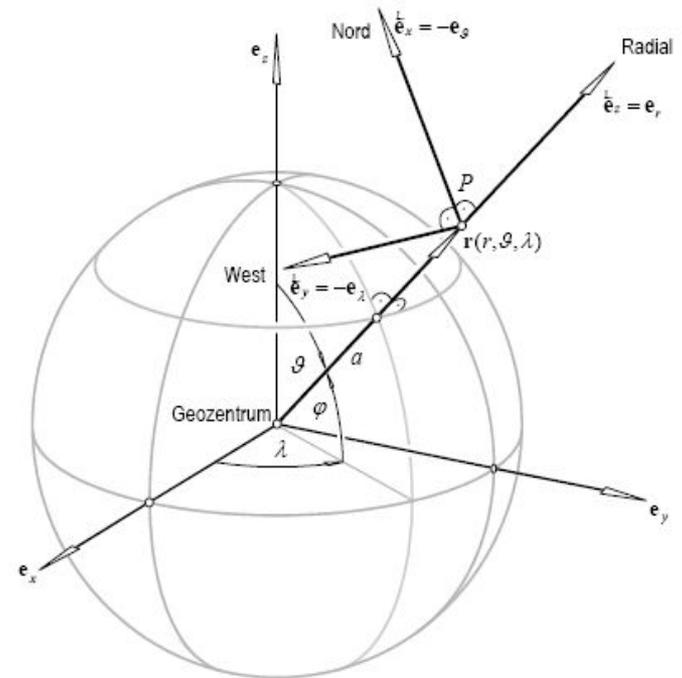
Методы космической геодезии:

- **Геометрические методы (космическая триангуляция);**
- **Динамические методы**
 - орбитальные методы,
 - собственно динамический метод,
 - дифференциальные методы динамической космической геодезии, опирающиеся на бортовые измерения в спутниковых системах с изменяемой геометрией расположения элементов.



Классификация систем координат

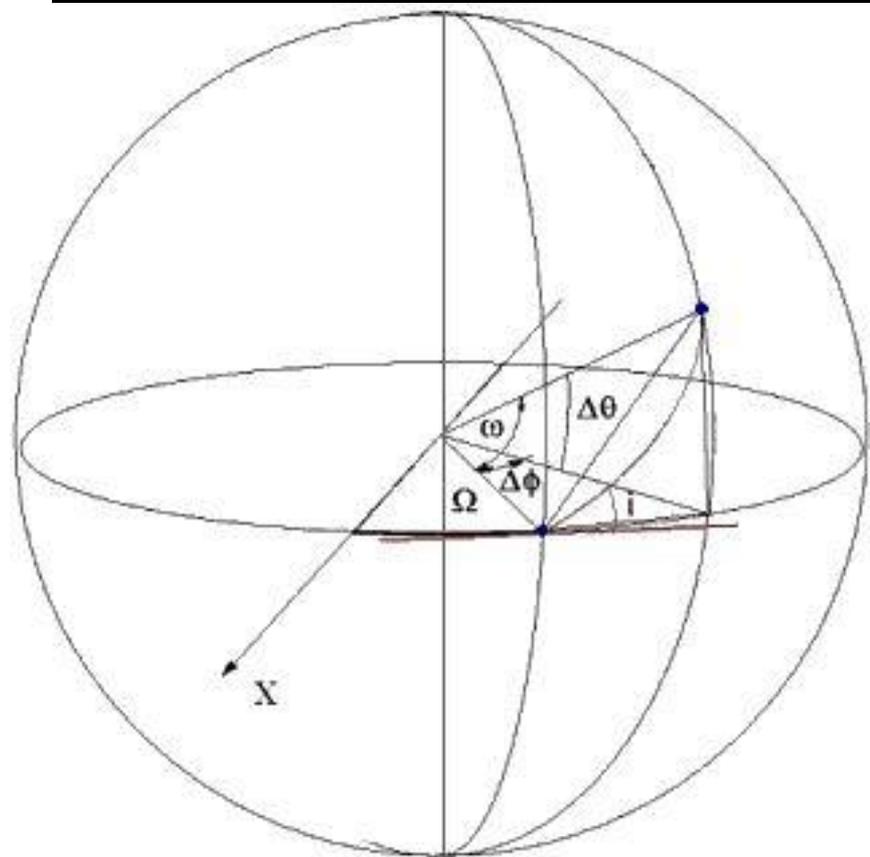
- *По геометрии:*
 - прямоугольные,
 - криволинейные (сферические, эллипсоидальные).
- *По участию во вращении Земли:*
ЗСК, НСК
- *По расположению центра:*
 - геоцентрические,
 - геодезические,
 - топоцентрические,
 - спутникоцентрические.



Орбита ИСЗ



Рис. 3.1. Наклонная эллиптическая орбита ИСЗ



Элементы орбиты ИСЗ

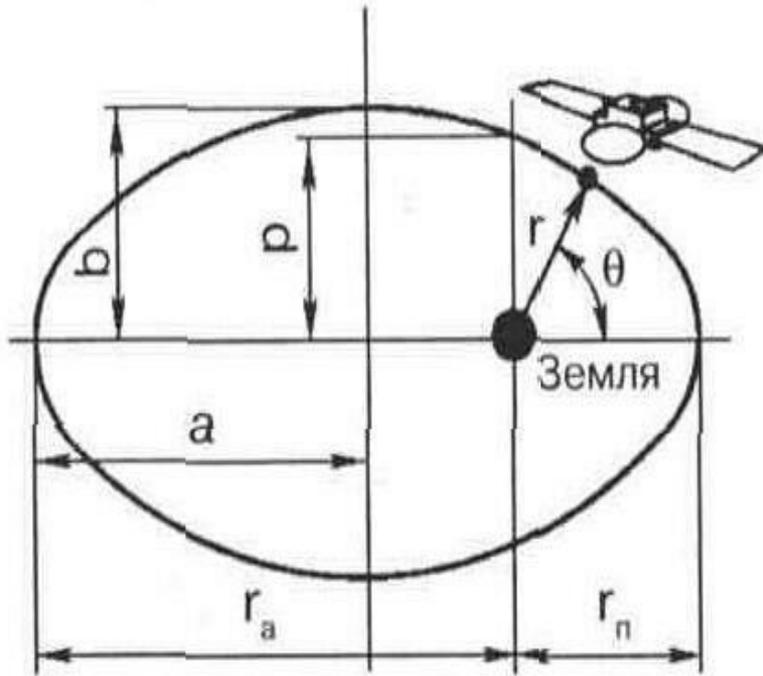
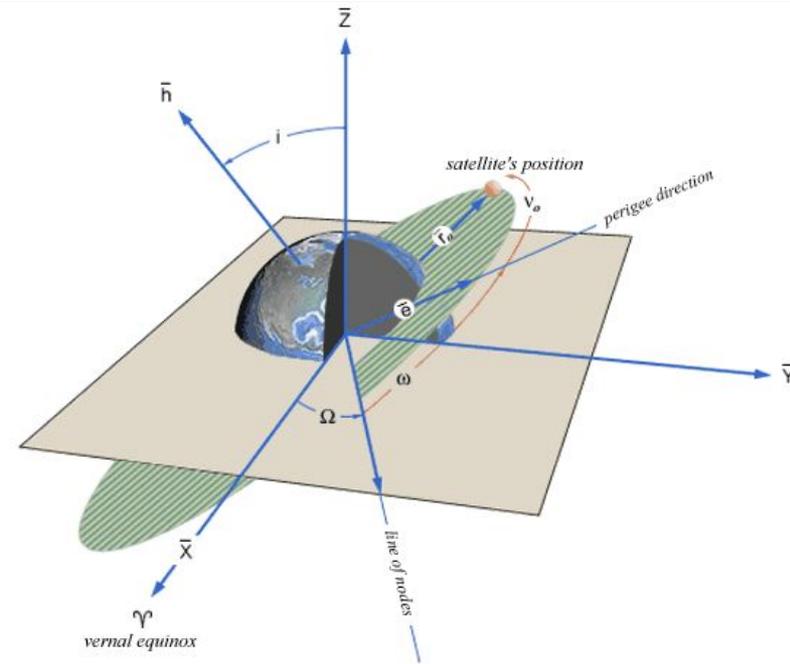


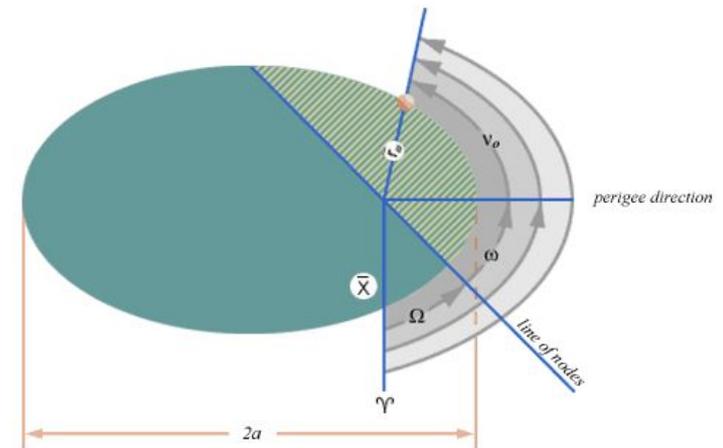
Рис. 3.2. Параметры эллиптической орбиты

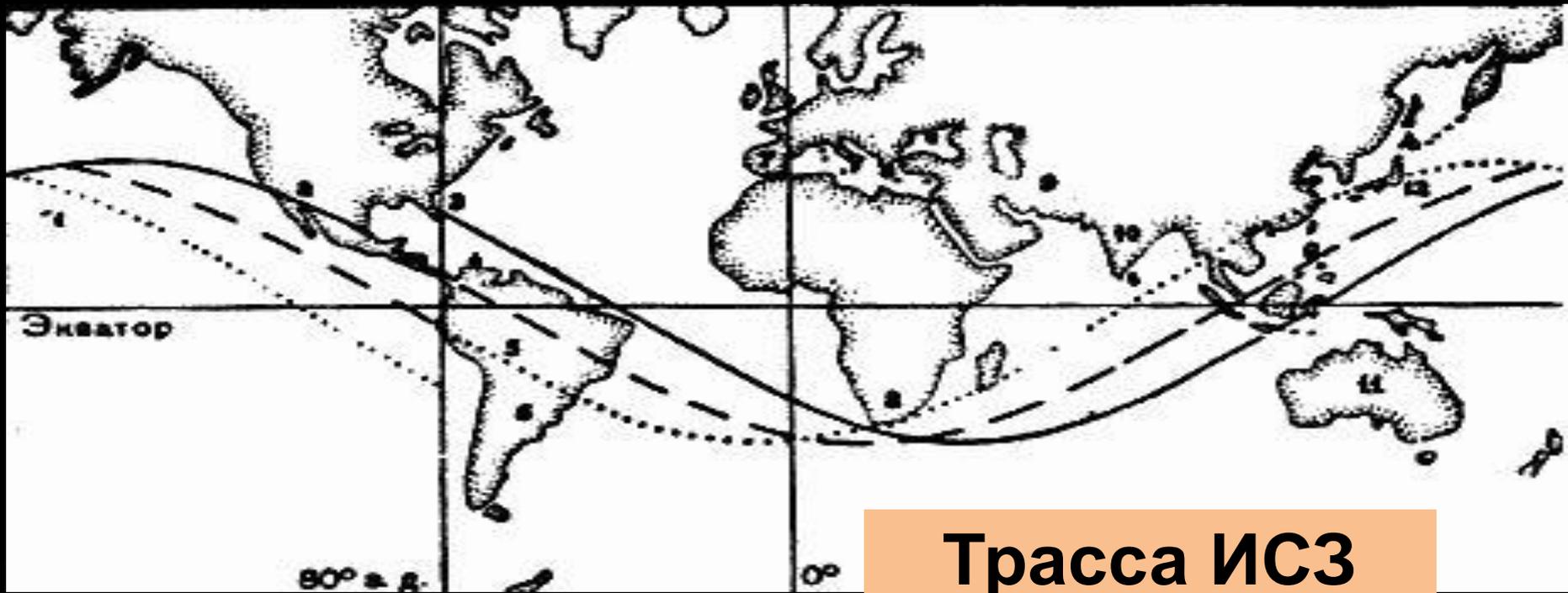
$$r = p / (1 + e \cdot \cos \theta),$$

где r — модуль радиус-вектора (расстояние от ИСЗ до центра Земли); p — фокальный параметр; e — эксцентриситет орбиты; θ — угловая координата радиус-вектора.



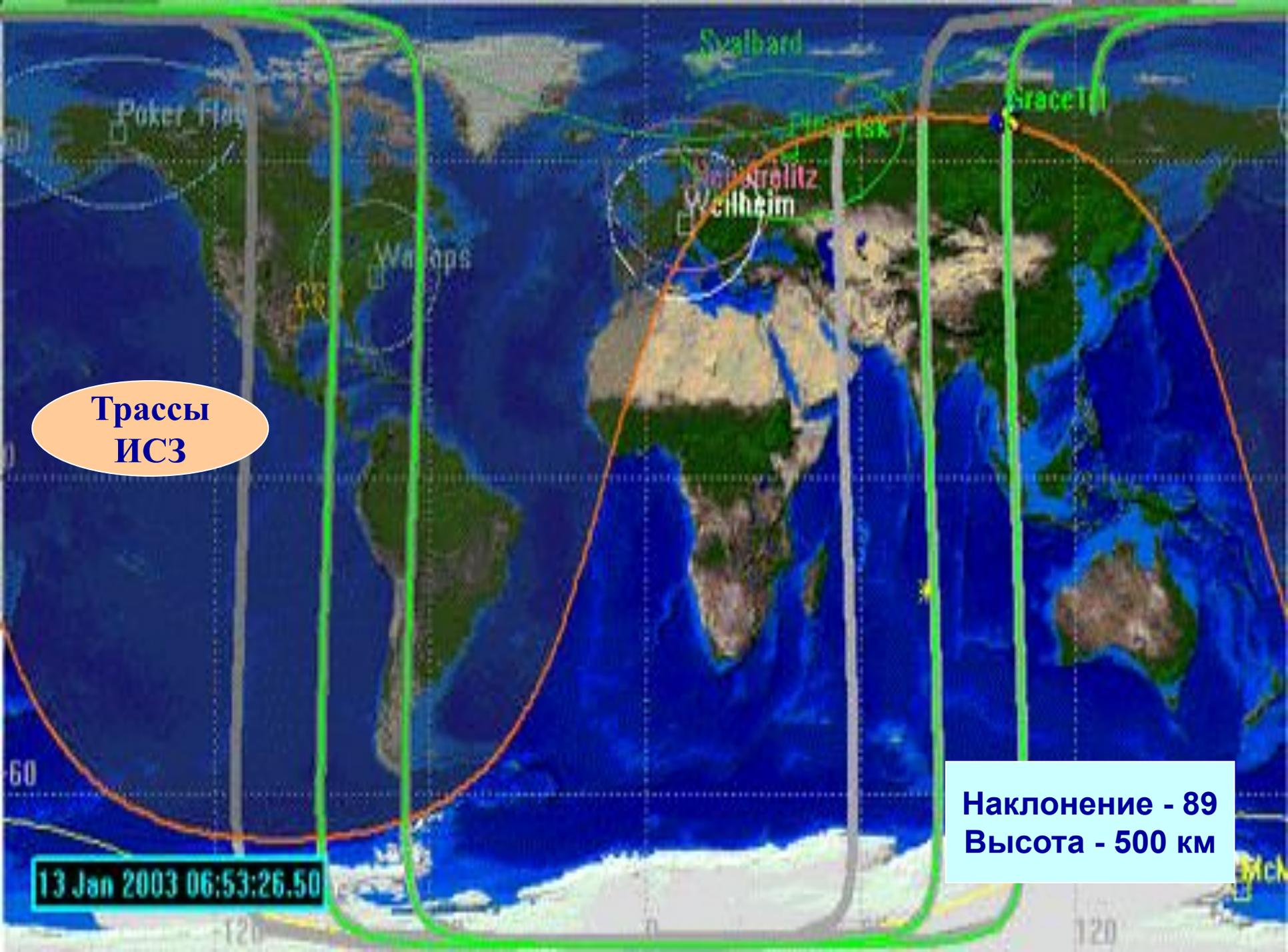
- a - defines the size of the orbit
- e - defines the shape of the orbit
- i - defines the orientation of the orbit with respect to the Earth's equator.
- ω - defines where the low point, perigee, of the orbit is with respect to the Earth's surface.
- Ω - defines the location of the ascending and descending orbit locations with respect to the Earth's equatorial plane.
- ν - defines where the satellite is within the orbit with respect to perigee.





Трасса ИСЗ





**Трассы
ИСЗ**

**Наклонение - 89
Высота - 500 км**

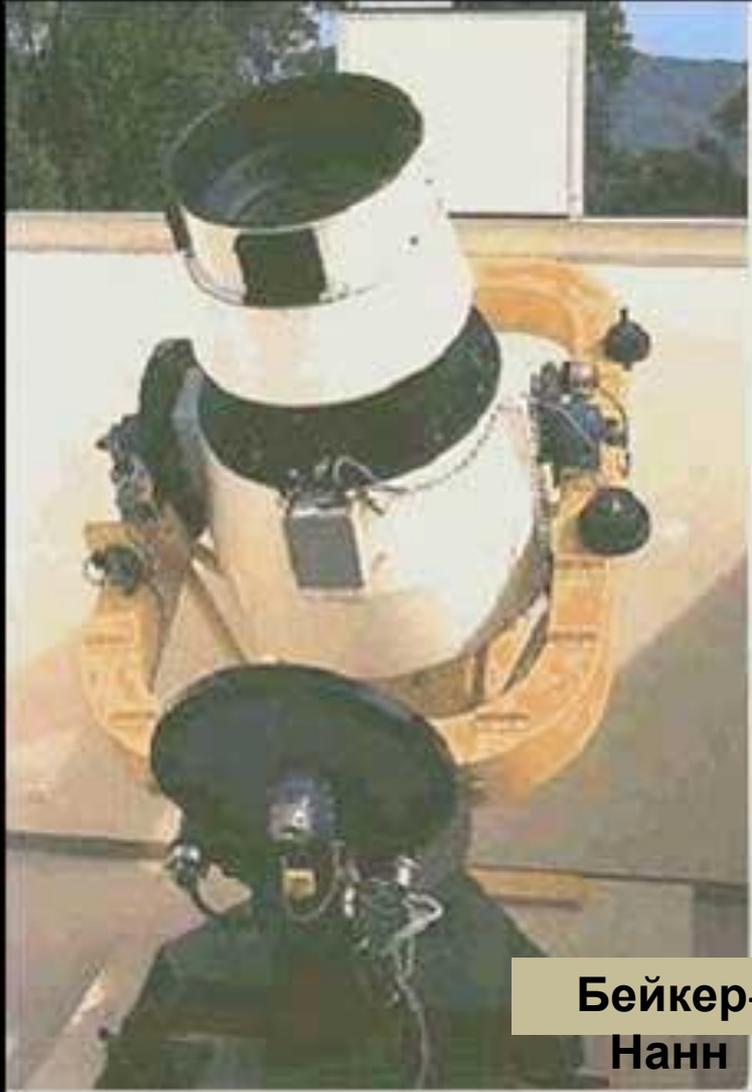
13 Jan 2003 06:53:26.50



- Оптические
- Визуальные
- Фотографические



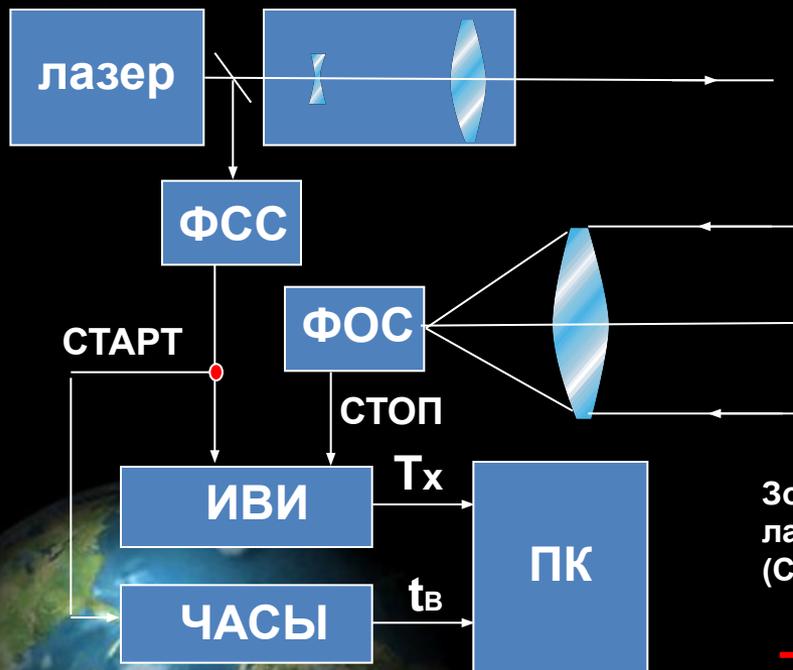
Фотографические спутниковые камеры



**Бейкер-
Нанн**



Принцип действия лазерного импульсного дальномера



Зондирующий лазерный сигнал (СТАРТ)



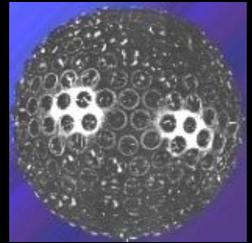
Отраженный лазерный сигнал (СТОП)

Основные области применения результатов лазерной дальнометрии КА

- Координатно-временное обеспечение ГНСС ГЛОНАСС
- Космическая геодезия и навигация
- Калибровка радиотехнических систем на этапе летных испытаний и в процессе эксплуатации
- Определение параметров вращения Земли (ПВЗ)
- Мониторинг движения тектонических плит, в том числе в интересах предсказания стихийных бедствий (землетрясения, цунами)
- Фундаментальные науки о Земле



Лазерные методы





УНИФИЦИРОВАННАЯ ТРАНСПОРТИРУЕМАЯ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

«САЖЕНЬ-ТОС»

Количество обслуживающего персонала: 6 чел.

Система в нерабочем положении (в укрытии)



Система в рабочем положении



Рабочая площадка с установленным на ней оборудованием, контейнерами и телескопом

Дальность	Угловые координаты	Фотометрия
Высота орбит КА: до 36000 км СКО нормальных точек: 0,5 – 1 см	Видимая звездная величина не слабее: 14 ^m СКО измерений: 1 – 2 угл.с. для КА с угл. скоростями до 40 угл.с./с	Видимая звездная величина не слабее 13 ^m СКО определения яркости: не более 0,2 ^m

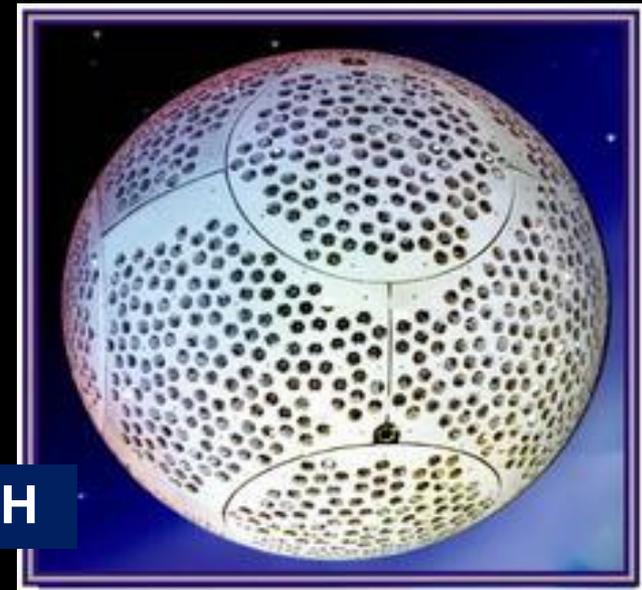
Пассивные ИСЗ



PAGEOS

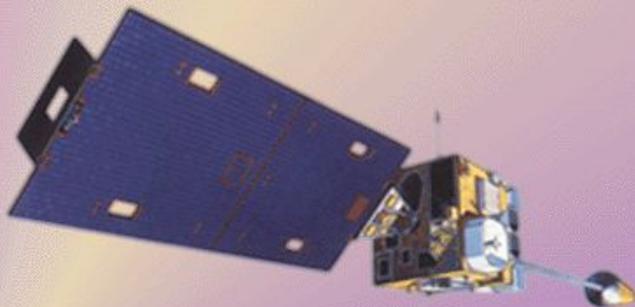


LAGEOS



ЭТАЛОН

Активные ИСЗ



GEOS



ТОРЕХ-Р



ГЕО-ИК



GPS



ГЛОНАСС



GOCE

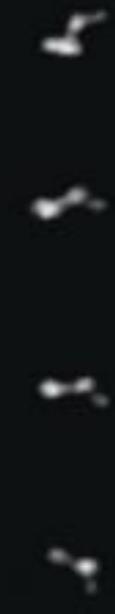
ИСХОДНОЕ
ИЗОБРАЖЕНИЕ

(масштаб всех изображений одинаков: — - одна угловая секунда)



АОС на телескопе траекторных измерений АОЛЦ

Впервые в отечественной практике с помощью 28-канальной адаптивной оптической системы и телескопа траекторных измерений АОЛЦ получено изображение космических аппаратов.



Aura
14.08.05
00.42mck
УМ 67
Д 720 км

Lacrosse2
14.08.05
21.22mck
УМ 51
Д 816 км

Uars
14.08.05
01.43mck
УМ 71,8
Д 675 км

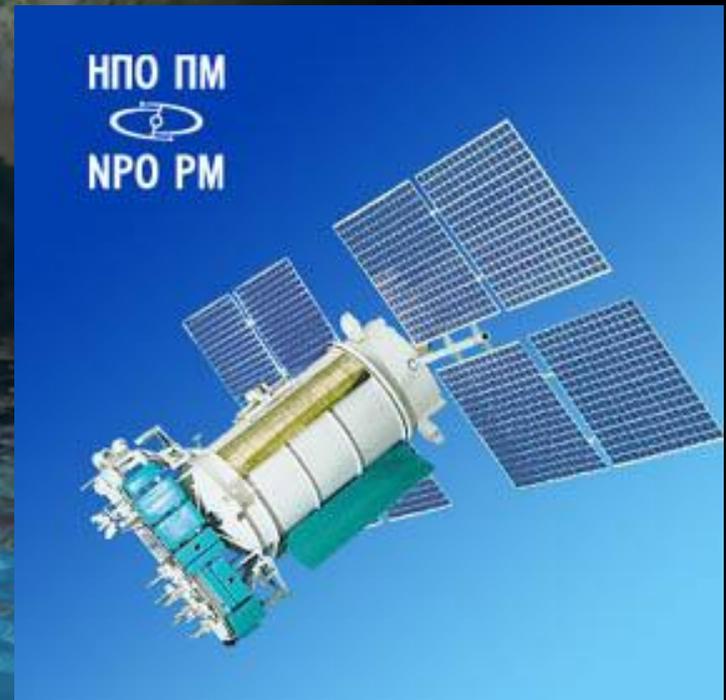
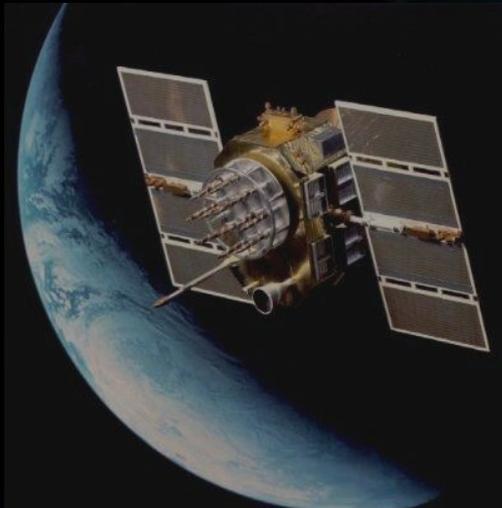
Terra
14.08.05
20.22mck
УМ 85,5
Д 712 км

Cosmos 2084
04.08.05
23.56mck
УМ 70,9
Д 548 км

ERS2
02.08.05
20.09 mck
УМ 78,5
Д 823 км

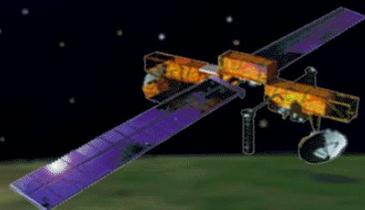
Cosmos 1975
14.08.05
23.42mck
УМ 71
Д 623 км

Глобальные навигационные спутниковые системы





Дитя военного ведомства США



Фотографирование



Навигация



Наведение оружия



Местоположение сил



Нацеливание



Синхронизация связи



Гражданское использование GPS

Энергетические системы



Персональная навигация



Слежение и доставка



Геодезия и картография



Связь



Авиация



Отдых



Железные дороги



Рыболовство и судоходство



Добыча нефти



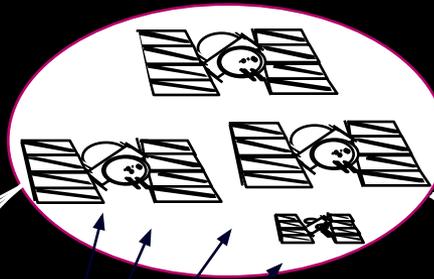
Структура GNSS

- GNSS состоит из **трех** основных частей - **сегментов**

**3. Сегмент
пользователь**



**2. Космический
сегмент**

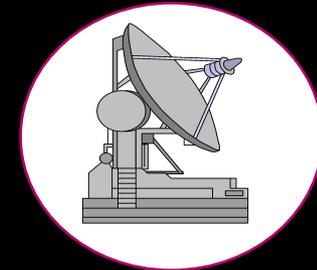


Станции Слежения

О-в Диого Гарсия
О-в Вознесения
Атолл Кваджелейн
Гавайи
Колорадо-Спрингс

**1. Сегмент
контроля
и
управления**

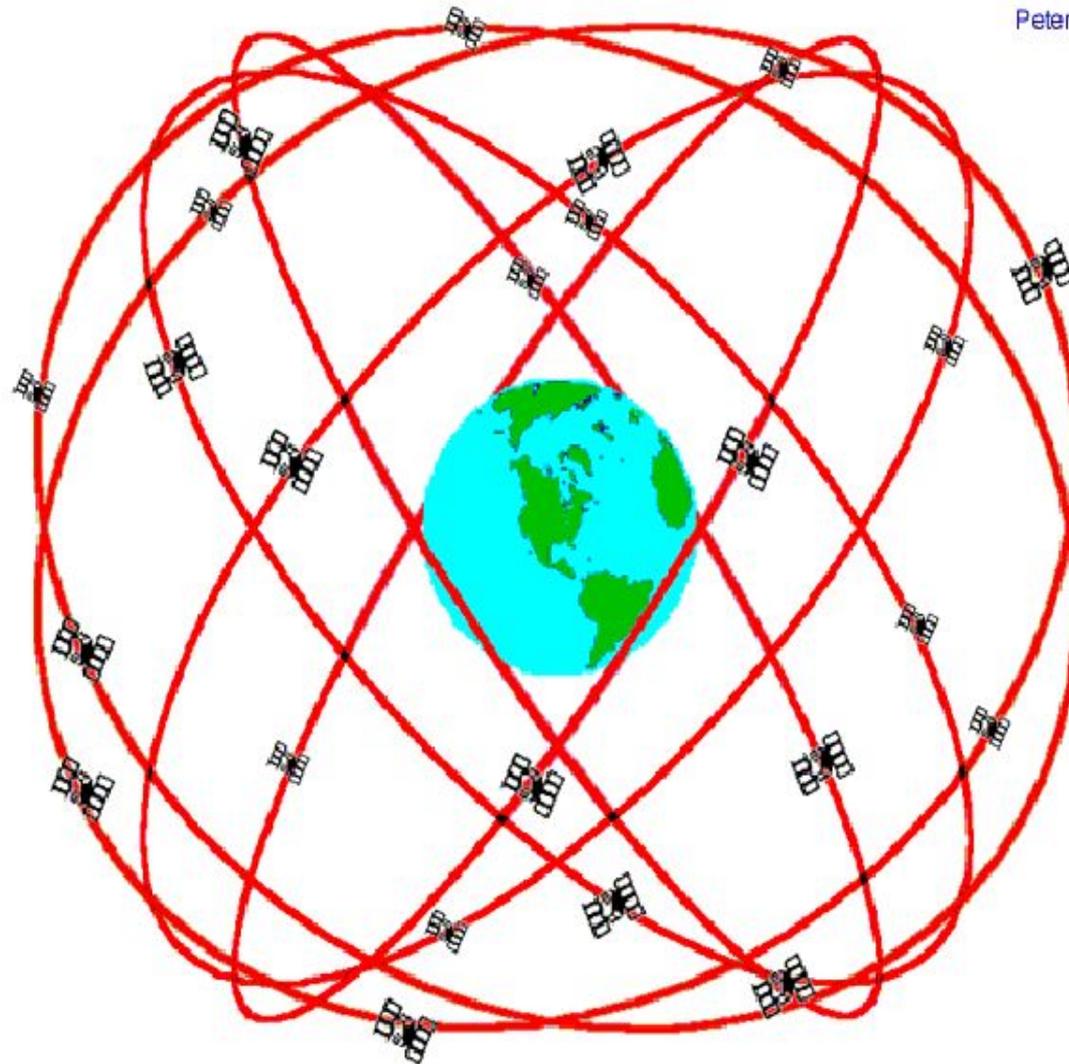
Колорадо
Спрингс



Ground Control Segment

- Master Control Station (1)
- Monitor Station (5)
- ▲ Ground Antenna (4)





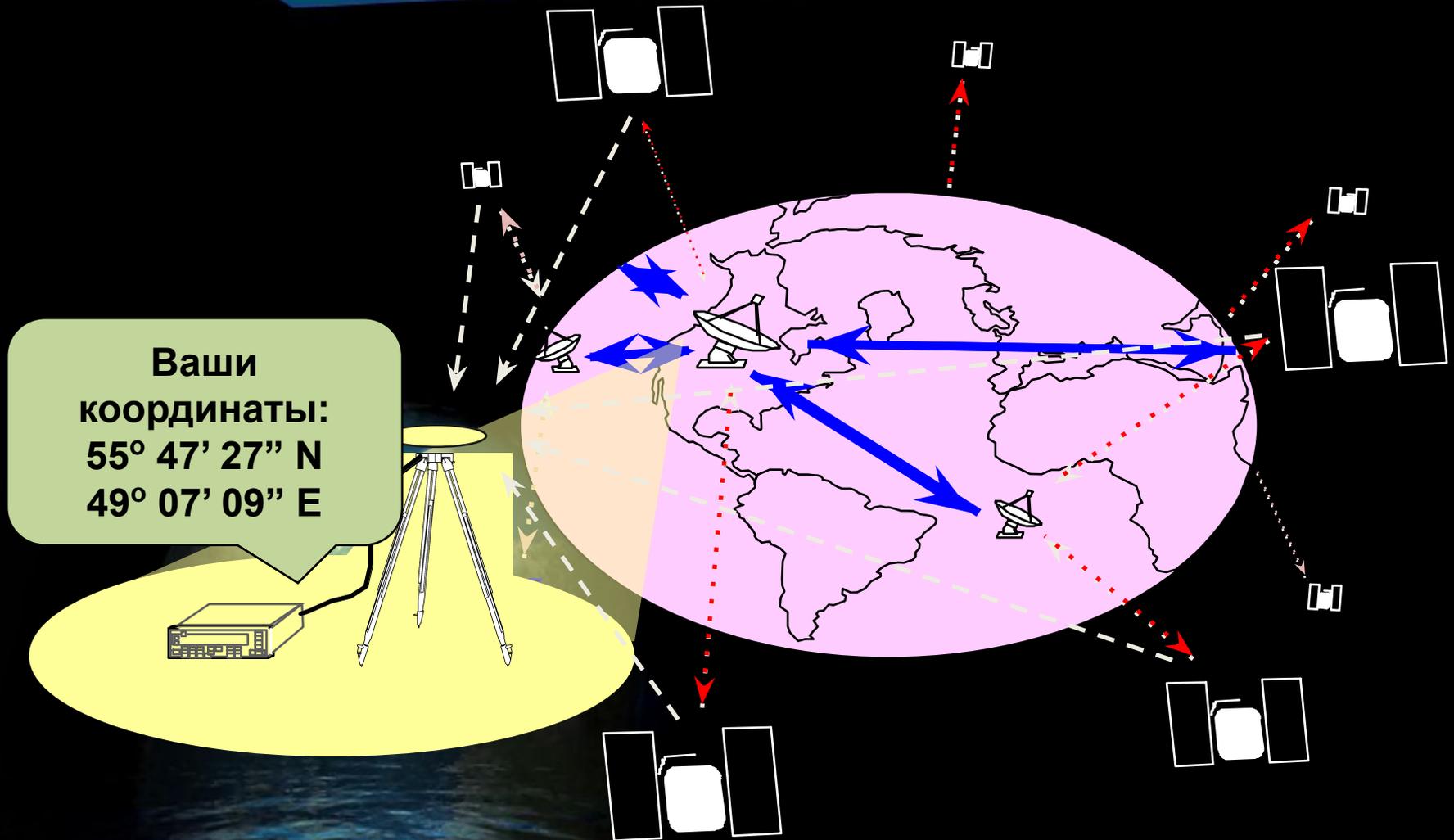
GPS Nominal Constellation

24 Satellites in 6 Orbital Planes

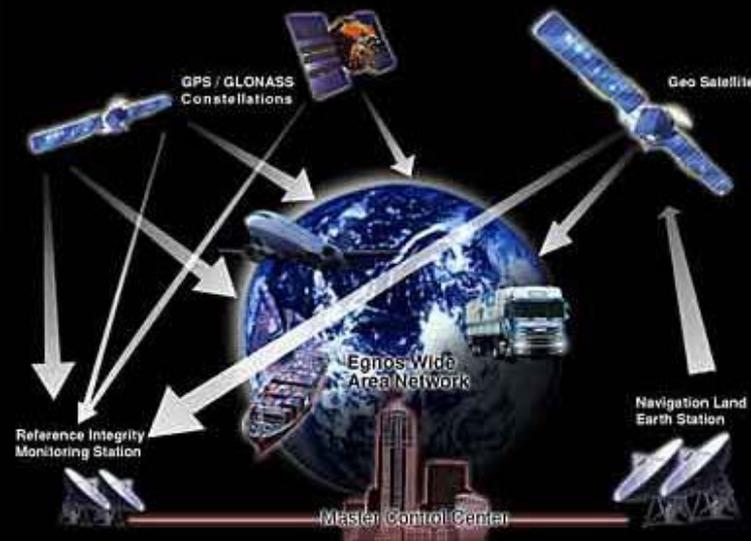
4 Satellites in each Plane

20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

Глобальная навигационная спутниковая система



Сегмент пользователей



Система КВНО Российской Федерации

Система КВНО

Сегмент формирования искусственных навигационных полей

Сегмент решения фундаментальных задач

Контрольно-регламентирующий сегмент

Потребительский сегмент

Сегмент информационного взаимодействия

Система координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) отнесена к особо важной государственной инфраструктуре, обеспечивающей национальную безопасность и экономическое развитие, а ее создание и совершенствование причислено к высшим приоритетам указанной ПОЛИТИКИ

Из «Основ военно-технической политики Российской Федерации на период до 2015 года и дальнейшую перспективу», утвержденных Президентом Российской Федерации 11 марта 2003г.

Система ГЛОНАСС

Основной и центральной частью системы КВНО России, формирующей глобальное искусственное навигационное поле посредством излучения ансамбля специальных радионавигационных сигналов и обеспечивающей доступ потребителей к этим сигналам для извлечения ими требуемой координатно-временной и навигационной информации, является **глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС**

Орбитальная группировка:

24 спутника (3 плоскости по 8 спутников)

Тип орбиты: круговая,

высота - $H = 19\,100$ км,

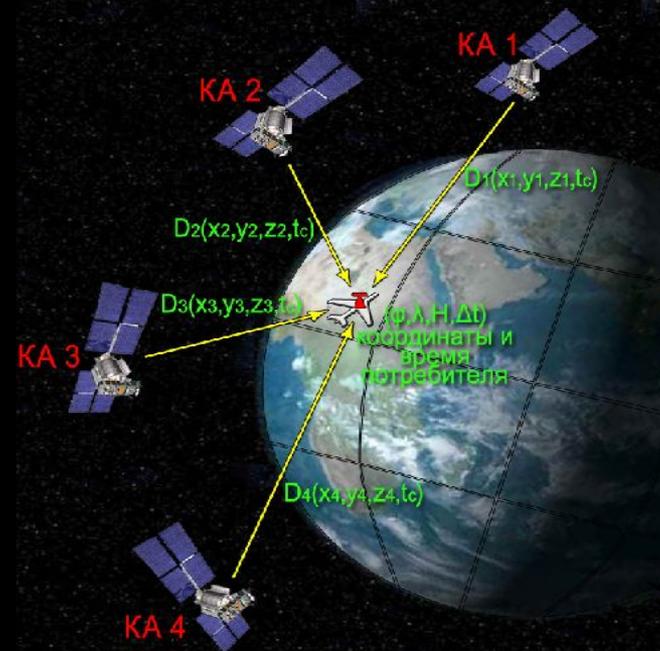
наклонение - $i = 64,8^\circ$

Период обращения: 11 час. 15 мин. 44 сек.

Орбиты сдвинуты по экватору на 120°

Частотный диапазон излучения навигационных сигналов: $L1 \sim 1,6$ ГГц; $L2 \sim 1,25$ ГГц; $L3 \sim 1,2$ ГГц

Зона обслуживания: глобально на поверхности Земли, в воздушном и околоземном космическом пространстве до высот 2000 км



Состав системы ГЛОНАСС

(в соответствии с ТТТ к ГНС ГЛОНАСС, утвержденными
15.02.2008)

Глобальная навигационная система ГЛОНАСС

Космический комплекс ГЛОНАСС

Орбитальная
группировка
навигационных
космических аппаратов

Ракетно-космические
комплексы

Наземный комплекс
управления

Средства фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС

Комплекс средств
определения и
прогнозирования
параметров
вращения Земли

Комплекс средств
формирования
UTC (SU)

Комплекс средств
уточнения
фундаментальных
астрономических и
геодезических
параметров

Комплекс функциональных дополнений системы ГЛОНАСС

Широкозонная
система
дифференциальной
коррекции и
мониторинга (СДКМ)

Комплекс средств
обеспечения
взаимодополняемости
СДКМ с наземными
радиотехническими
средствами

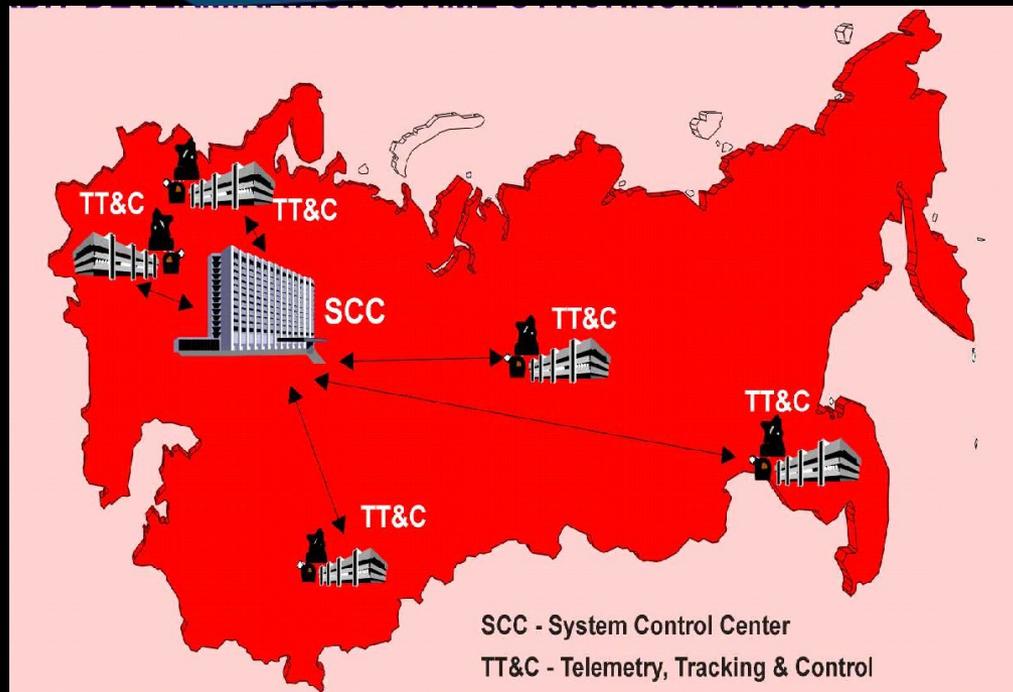
Региональные и
локальные
дифференциальные
системы

Система апостериорного высокоточного определения эфемерид и временных поправок

Комплекс аппаратуры потребителей навигационной и временной информации гражданского назначения



НКУ ГЛОНАСС (Космические Войска)



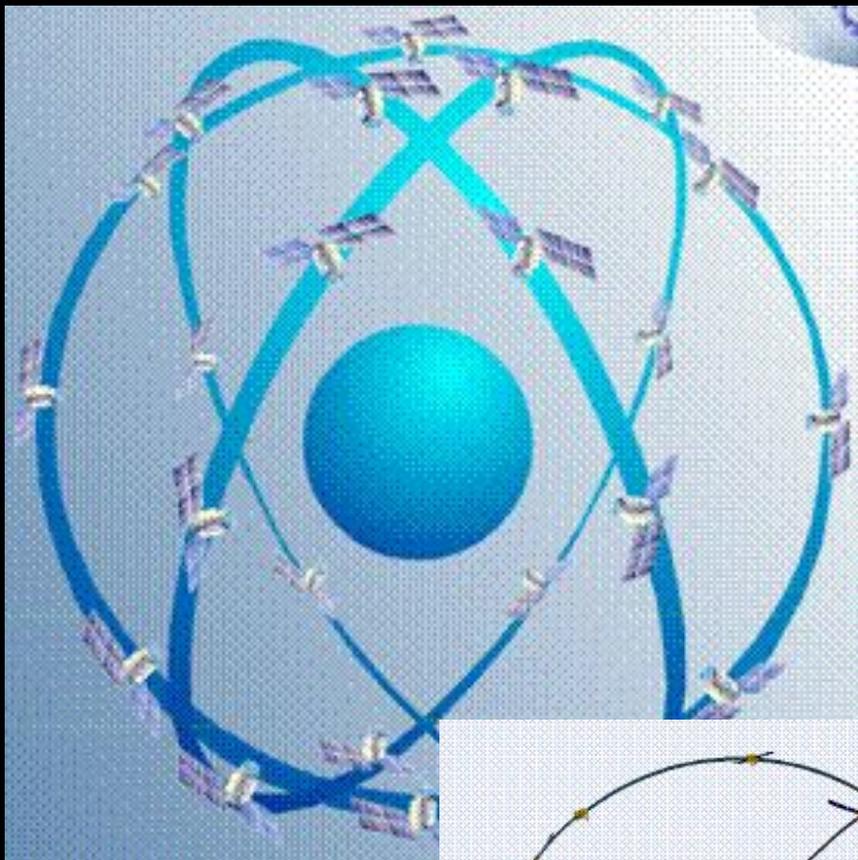
- ЦУС ГЛОНАСС
 - Краснознаменск, М. О.
 - Управление КА
- Станции КИС
 - Ленинградская обл.
 - Щелково, М.О.
 - Енисейск
 - Комсомольск на Амуре
- Центральный синхронизатор
 - Щелково, М.О.

Планы модернизации системы

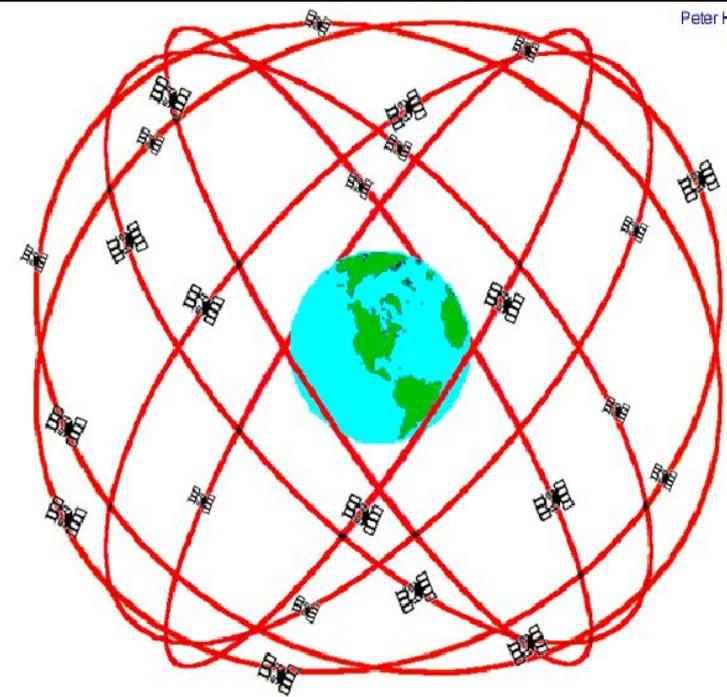
- Развертывание сети беззапросных станций:
 - На пунктах Космических Войск
 - На пунктах Росстандарта (Менделеево, Новосибирск, Иркутск, Хабаровск)

ГИЦИУ КС – г.Краснознаменск



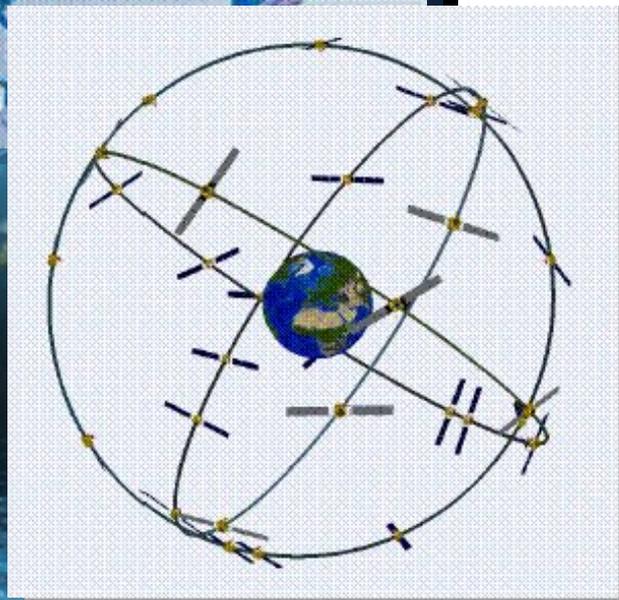


ГЛОНАСС



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

GPS

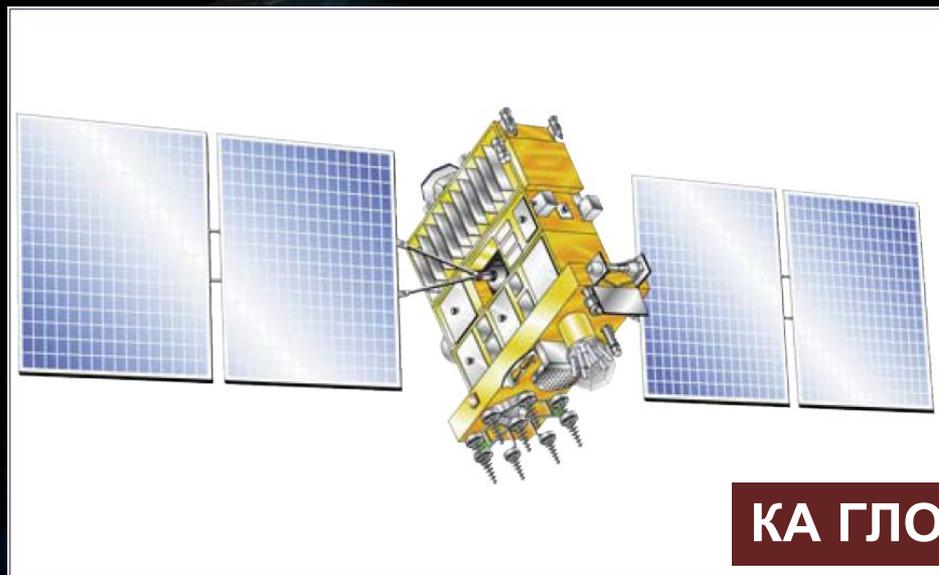


Galileo

КА Серии ГЛОНАСС



КА ГЛОНАСС М



КА ГЛОНАСС К

Космические аппараты системы ГЛОНАСС

1982

2003

2011

2013

«Глонасс»



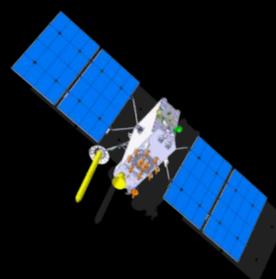
- ГСАС 3 года
- Нестабильность БСУ - $5 \cdot 10^{-13}$
- Сигналы:
L1SF, L2SF, L1OF
- Всего запущен 81 КА
- Реальный САС 4.5 года

«Глонасс-М»



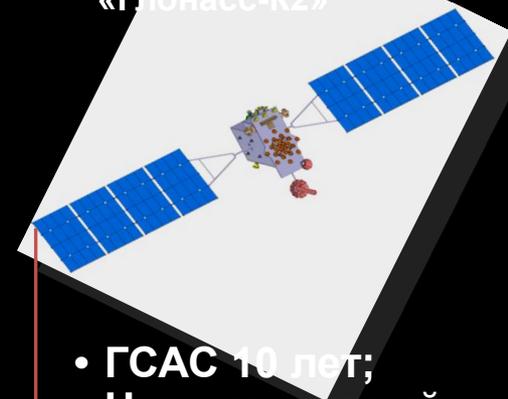
- ГСАС 7 лет
- Нестабильность БСУ - $1 \cdot 10^{-13}$
- Всего будет запущено 29 КА, еще планируется запустить 4 КА «Глонасс-М» в 2011 году

«Глонасс-К1»



- ГСАС 10 лет;
- Негерметичный
- Нестабильность БСУ - $5 \cdot 10^{-14}$
- Сигналы:
КА «Глонасс-М» + L3OC – тест
- Поиск и спасание
- Запущен 1 КА, 26.02.2011 г.

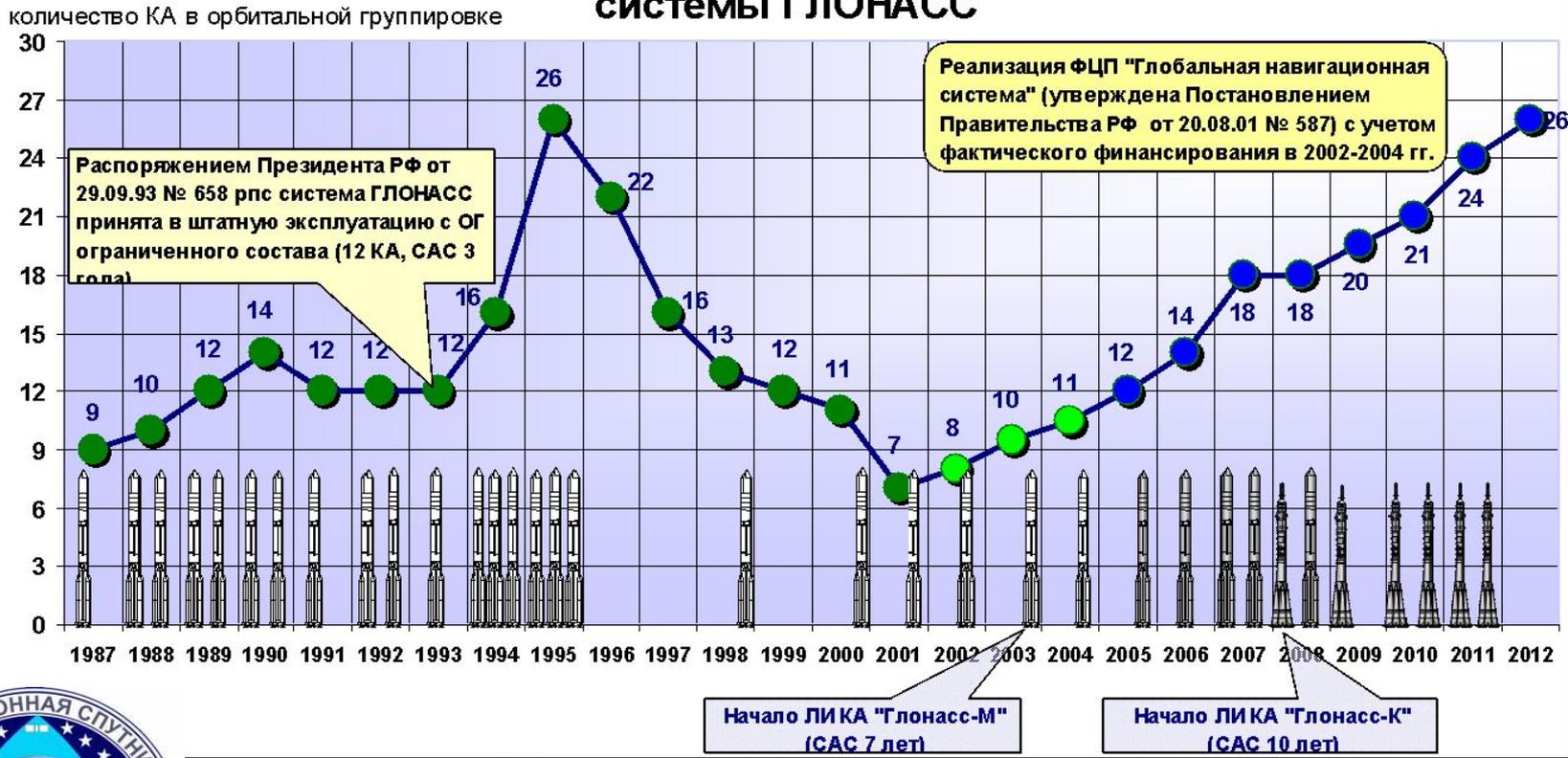
«Глонасс-К2»



- ГСАС 10 лет;
- Негерметичный
- Нестабильность БСУ - $1 \cdot 10^{-14}$
- Сигналы:
КА «Глонасс-М» L1OC, L3OC, L1SC, L2SC
- Поиск и спасание

История и перспективы развития группировки:

Программа развертывания орбитальной группировки системы ГЛОНАСС

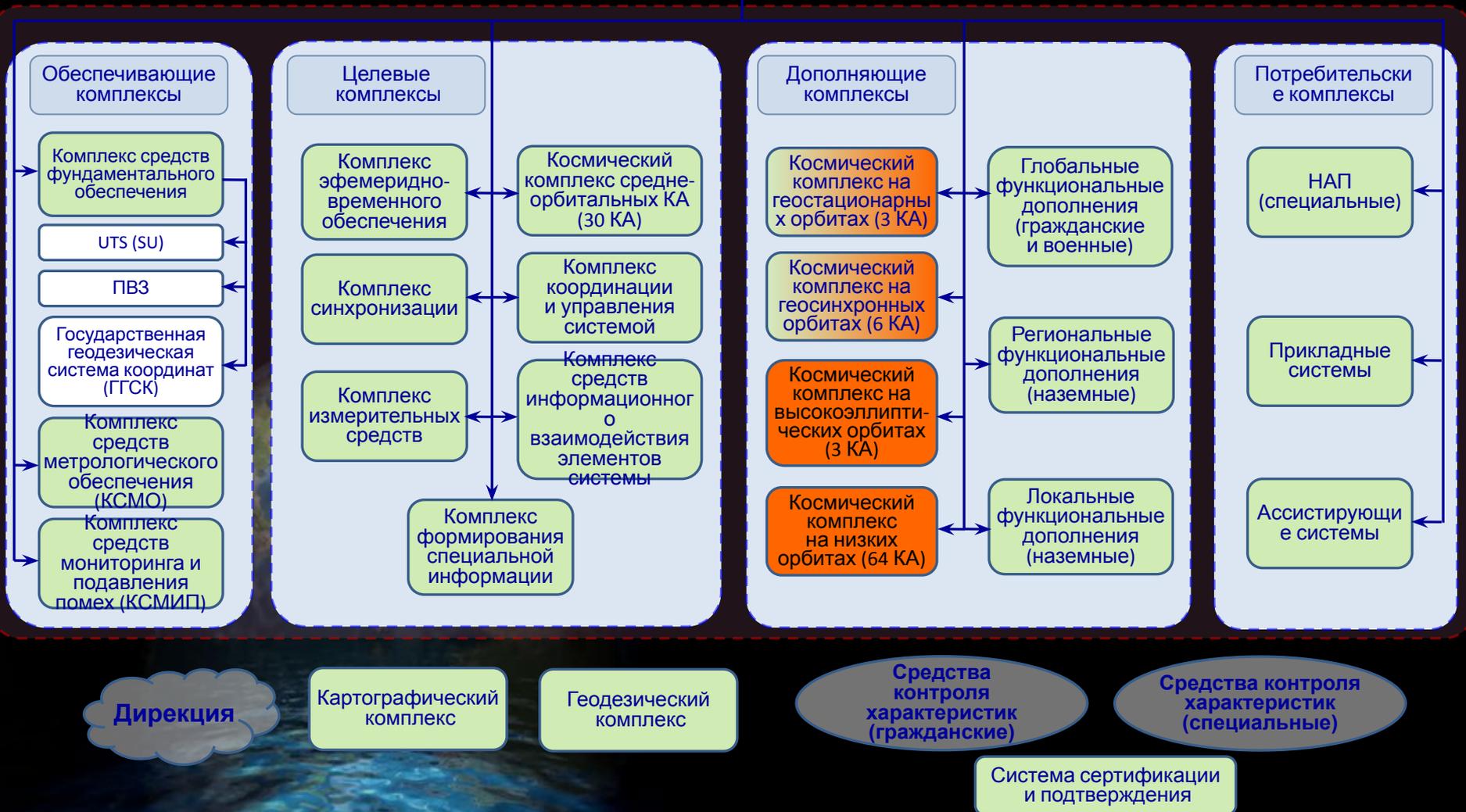


Этапы развития орбитальной группировки ГЛОНАСС:

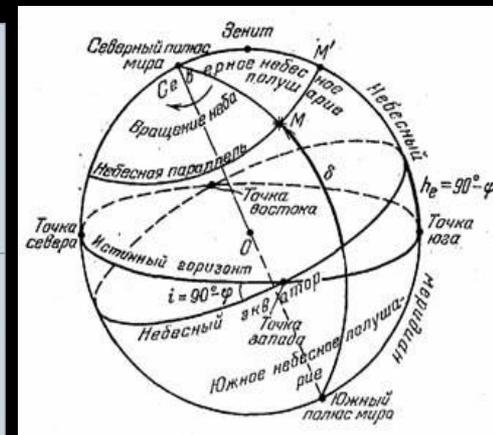
- 18 КА в группировке – 2007 г.
- 24 КА в группировке – 2010-2011 гг.

Система ГЛОНАСС расширенного состава

Система ГЛОНАСС расширенного состава



Развитие средств фундаментального обеспечения



Метрологическое обеспечение спутниковой геодезической аппаратуры для измерений в области длин баз 2000 и 4000 км с ошибкой не хуже 1 см

Создание групповой шкалы времени «Квазар-КВО» и средств ее связи с системой времени ГЛОНАСС

Еженедельные определения параметров вращения Земли (предельные погрешности)

- всемирное время - 0.03-0.05 мс
- координаты полюса - 0.7 мс дуги
- углы нутации и прецессии - 0.3 мс дуги

Оперативные ежедневные

Повышение точностных характеристик для координатно-временного и навигационного обеспечения

ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС» на период 2012-2020 годов

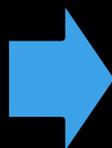
Работы по системе ГЛОНАСС на среднесрочную перспективу будут проводиться в рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС».

В настоящее время завершается ее согласование.

Основные задачи

Программы

**Поддержание
системы
ГЛОНАСС**



С гарантированными характеристиками навигационного поля на конкурентоспособном уровне

**Развитие системы
ГЛОНАСС**



В направлении улучшения тактико-технических характеристик с целью обеспечения ее конкурентоспособности и сохранения лидирующих позиций Российской Федерации в области спутниковой навигации

**Использование
системы
ГЛОНАСС**



На территории Российской Федерации и за рубежом

Основные направления развития системы ГЛОНАСС до 2020 года

- Надежная устойчивая навигации в условиях внешних воздействий
 - ✓ естественные помехи (возмущения ионосферы, магнитосферы,...)
 - ✓ искусственные помехи
 - непреднамеренные (индустриальные)
 - преднамеренные (глушение, ложный сигнал,...)
- Навигация в сложных условиях
 - ✓ в городских, сильно пересеченная местность,...
 - ✓ в закрытых помещениях
- Навигация во всех средах
 - ✓ поверхность Земли
 - ✓ воздушное пространство
 - ✓ околоземный космос
 - ✓ под водой
 - ✓ под землей
 - ✓ Поддержание доступности ГЛОНАСС 100% глобально
- Абсолютная точность в реальном времени 0,3 м
- Расширение функциональных возможностей

Система спутниковой радионавигации Galileo для Европы

В 2005 году в работе европейской спутниковой навигационной системы начался новый этап, связанный с запуском первого экспериментального спутника. Система станет полностью операционной, когда вокруг Земли разместится 31 спутник

Первый экспериментальный спутник GIOVE-A

Запущен 28 декабря 2005 года



- Цель: проверить работу наземного и космического оборудования системы Galileo

Полномасштабное функционирование системы

- 10 спутников на трех орбитальных плоскостях
- Высота 23,222 км
- 14 часов на оборот вокруг Земли
- Угол наклона: 56 градусов к экватору



На случай выхода из строя рабочего спутника на каждой орбитальной плоскости будет работать один резервный аппарат

Второй экспериментальный спутник GIOVE-B

Запущен 27 апреля 2008 года

- Цель: проверить работу высокоточных часов системы на орбите

Возможное применение

Система координирует позиционирование и временные сигналы между спутником и выявленными объектами

Авиация:

Диспетчерская служба, навигация и разведка



Спутник системы Galileo

Наземная станция



- Будет работать с существующими американскими и российскими системами глобального позиционирования
- Контролируется 14 наземными станциями мира; штаб-квартира центрального командования находится в Европе. Для невоенных пользователей
- Точность позиционирования до 1 м



На море:
слежение, позиционирование, инспекция, рыболовство



Безопасность в чрезвычайных обстоятельствах:
Поиск и спасение, патрулирование, противопожарная служба, скорая помощь



На дорогах:
Указатель направления движения, помощь в чрезвычайных ситуациях, информация о загруженности дороги



На железных дорогах:
Контроль за загруженностью железных дорог, мониторинг прохождения груза, информация для пассажиров



Прочее:
Для научных целей, изучения окружающей среды, сельского хозяйства, космоса, досуга

Мировая тенденция развития глобальных навигационных спутниковых систем

Глобальная среднеорбитальная группировка



Погрешность навигационных определений (0,95) 1,22 м
Доступность на открытом пространстве (угол места 5°) 100% (глобально)
Доступность в городе и горах (угол места 25°) 49,2 % (глобально)

Региональная высокоорбитальная группировка



Погрешность (0,95) 6,12 м
Доступность (угол места 5°) 45 % (регионально)

Функциональные дополнения



Погрешность (0,95) 1,0 м
Целостность 6 с (регионально)

Ассистирующие системы



Погрешность в реальном времени (0,95) 0.7 м
Погрешность в псевдореальном времени (0,95) 0.06 м

Доступность (угол места 25°) 95% (регионально)

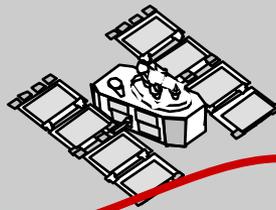
Целостность 6 с (глобально)
2 с (регионально)

Навигации в закрытых помещениях, подводных и подземных пространствах

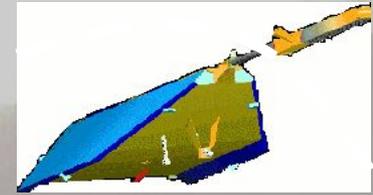
Мировой тенденцией является синергетическое объединение всех элементов спутниковых навигационных систем с целью предоставления высококачественных навигационных услуг



Эволюция
элементов
орбиты ИСЗ



Спутниковая
альтиметрия



Дифференциальные
спутниковые методы

Методы определения параметров гравитационного поля Земли

Наземные
гравиметрические
измерения



Геоид

Классическая схема определения параметров гравитационного поля Земли по данным об эволюции орбиты ИСЗ основана на интегрировании дифференциальных уравнений Лагранжа

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \mathfrak{R} \frac{\partial \mathcal{R}}{\partial \vec{E}}$$

где пертурбационная функция имеет вид:

$$\mathcal{R} = \mathcal{R}_{\oplus} + \mathcal{R}_M + \mathcal{R}_S + \mathcal{R}_{SP} + \dots$$

$$\vec{F} = \text{grad } V, \quad W = V + Q,$$

$$V = \frac{GM}{\rho} \left[1 + \sum_{n=2}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{\rho} \right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \varphi) \right]$$

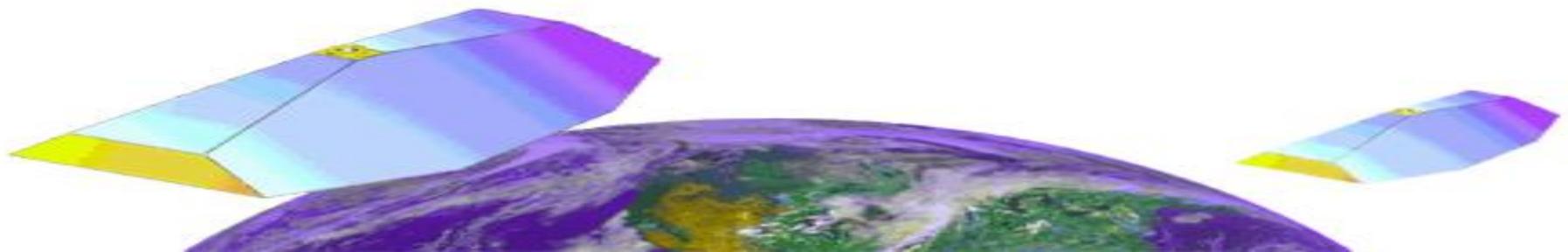
- ортогональность системы сферических функций,
- наглядность геофизической интерпретации,
- наилучшее (при фиксированном N) среднеквадратическое приближение,
- развитая теория определения коэффициентов ряда.

Спутниковые методы дифференциальных измерений в системах с изменяемой геометрией расположения элементов

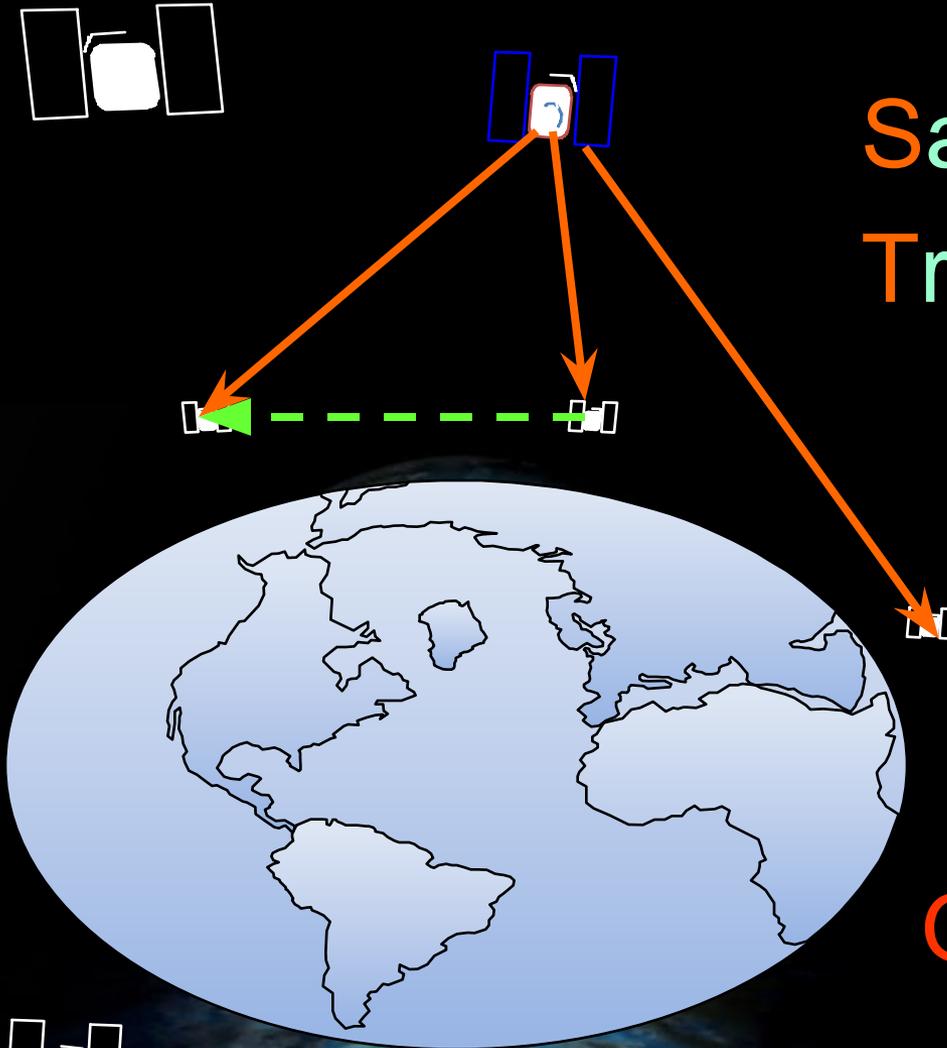
Межспутниковое слежение - Satellite-to-Satellite Tracking

варианты HL SST (High-Low) и LL SST (Low-Low)

Спутниковая градиентометрия - Satellite Gravity Gradiometry



Advanced satellite techniques



Satellite-to-Satellite
Tracking - SST

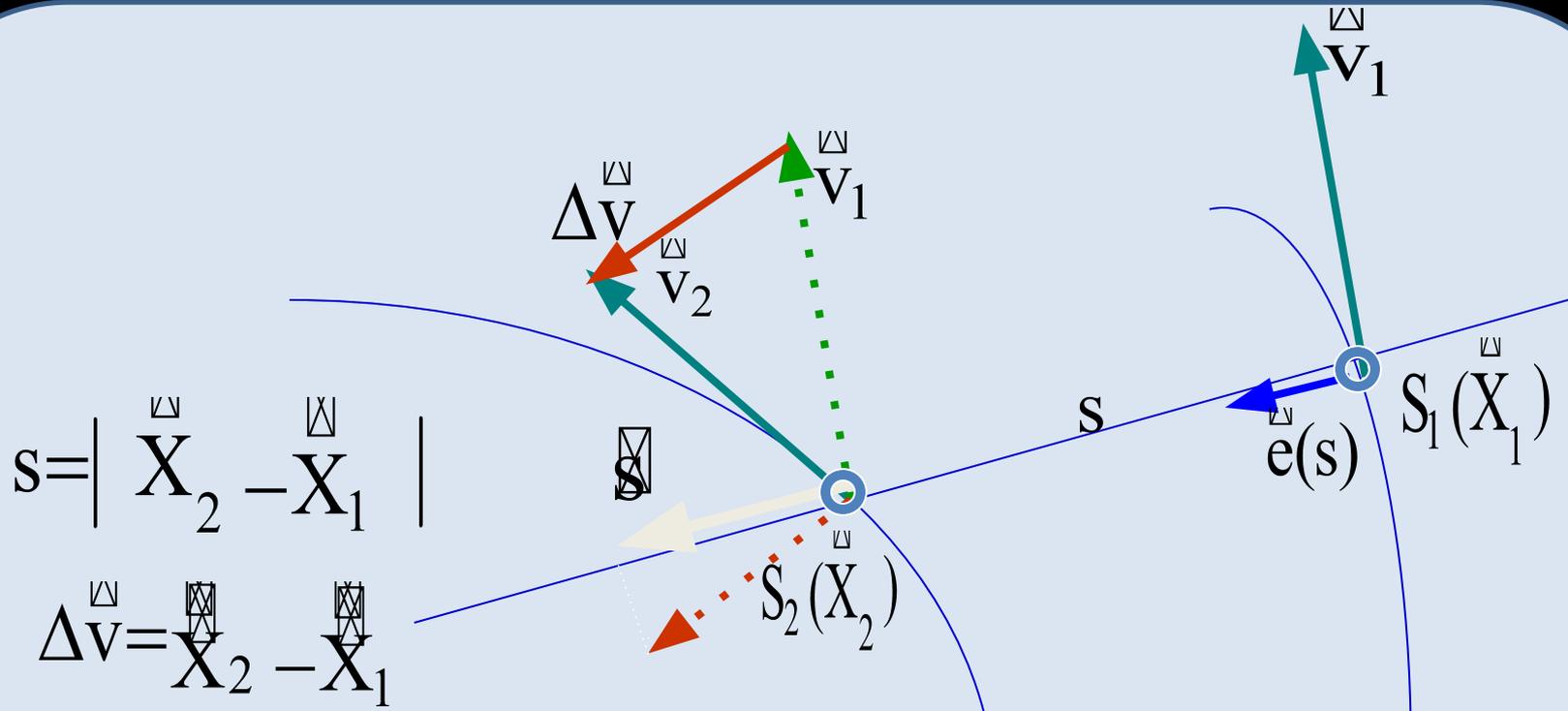
High-Low SST

Low-Low SST

Satellite Gravity
Gradiometry - SGG

Кинематическая схема межспутникового слежения

SST



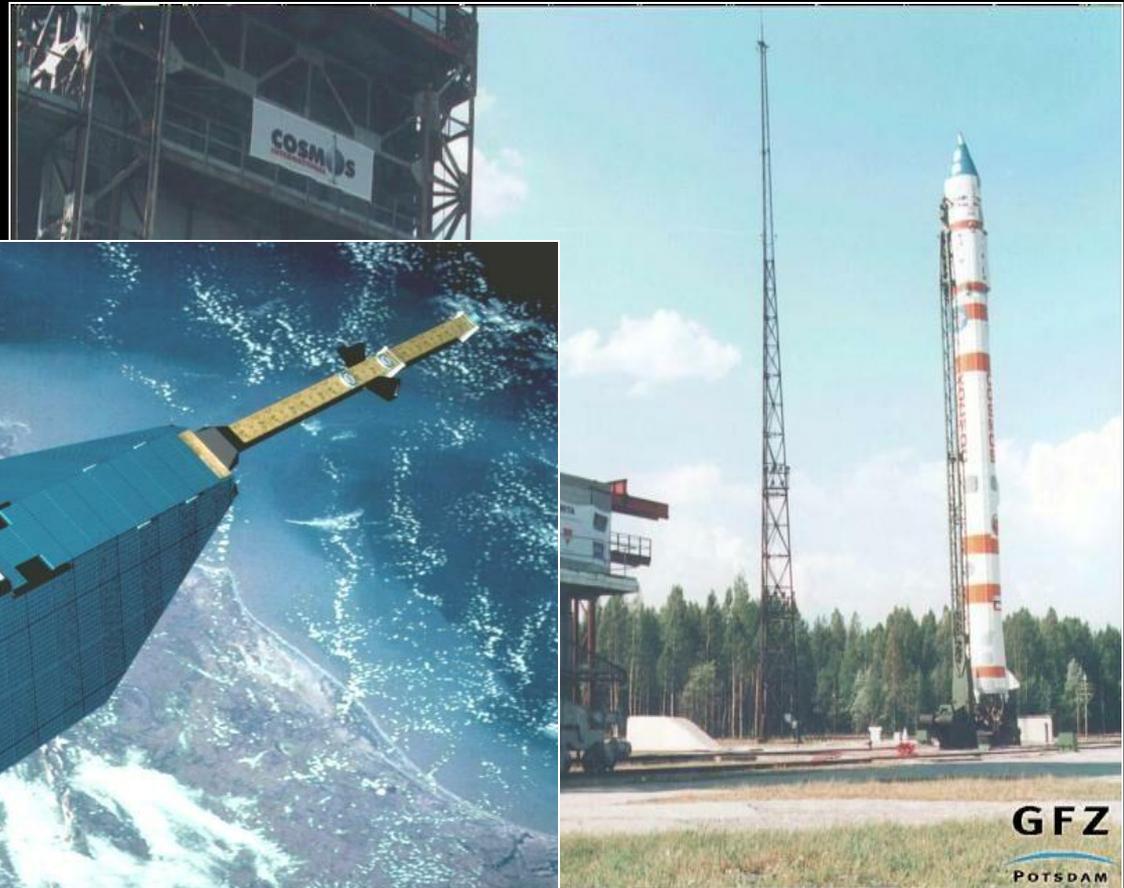
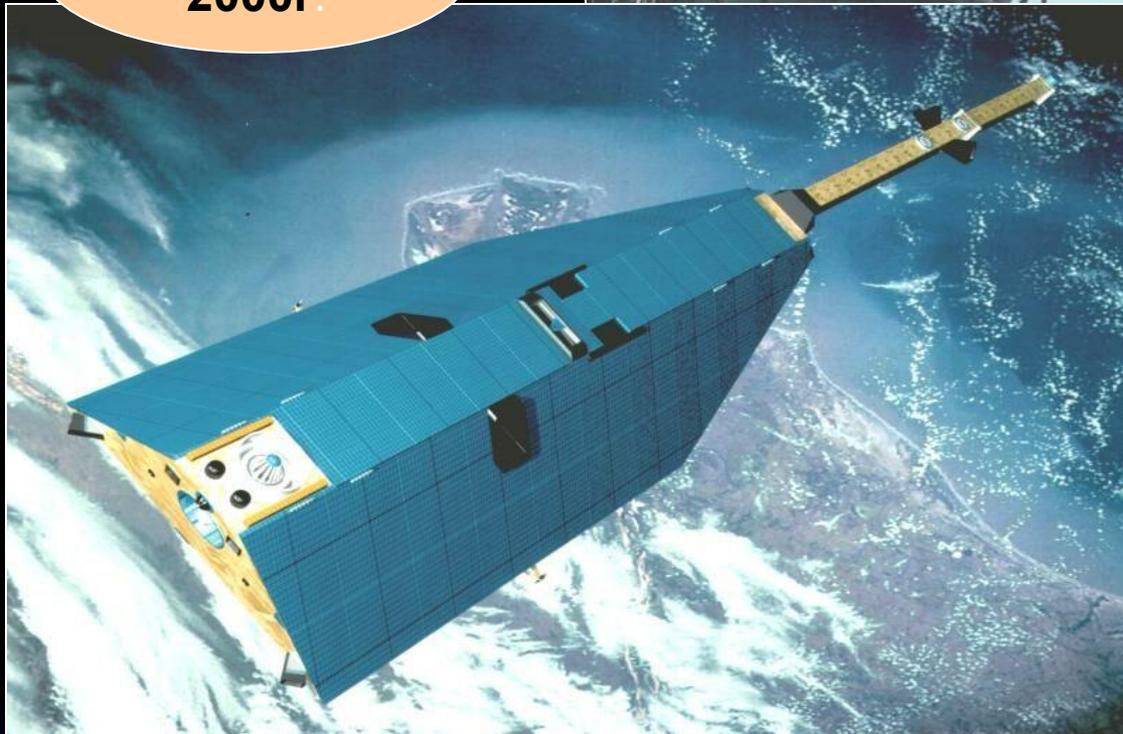
$$s = \left| \underline{X}_2 - \underline{X}_1 \right|$$

$$\Delta \underline{v} = \underline{v}_2 - \underline{v}_1$$

$$\underline{s} = (\Delta \underline{v} \cdot \underline{e}(s)) = \frac{1}{s} (\underline{X}_2 - \underline{X}_1) (\underline{v}_2 - \underline{v}_1)$$

CHALLENGING Mini-satellite Payload for geophysical research and application

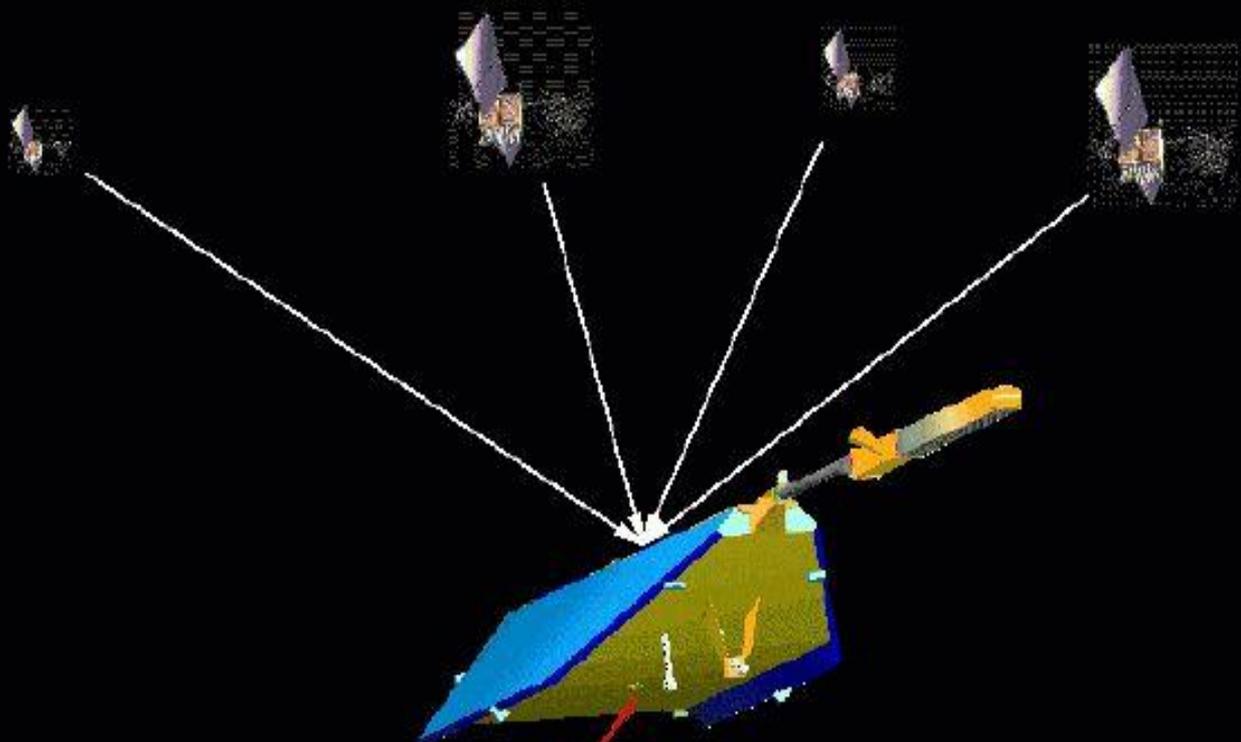
15 июля
2000г.



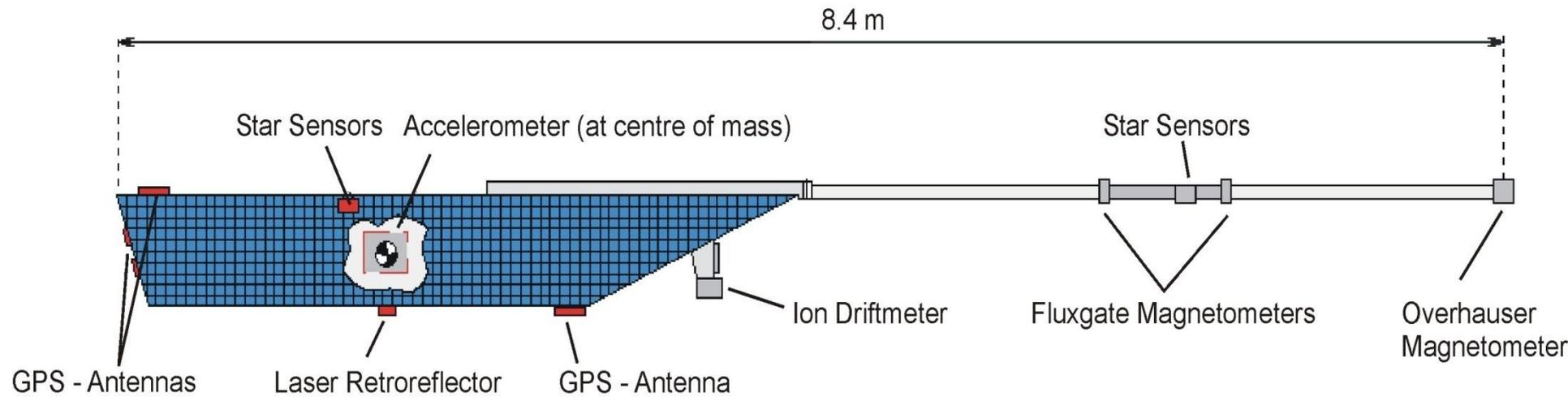
Измерения, выполняемые в интересах гравиметрии:

- Координаты ИСЗ CHAMP и псевдодальности, измеряемые бортовыми GPS-приемниками между высокими ИСЗ созвездия GPS (высота около 19 000 км) и низким ИСЗ CHAMP (высота около 400 км).
- Измеряемые трехкомпонентным бортовым акселерометром составляющие вектора мгновенных ускорений ИСЗ CHAMP.
- Измеряемые звездным видеоприбором углы ориентации осей антенн бортовых GPS-приемников относительно звезд.
- Бортовая альтиметрия поверхности акватории Мирового океана.
- Наземная лазерная локация ИСЗ CHAMP.



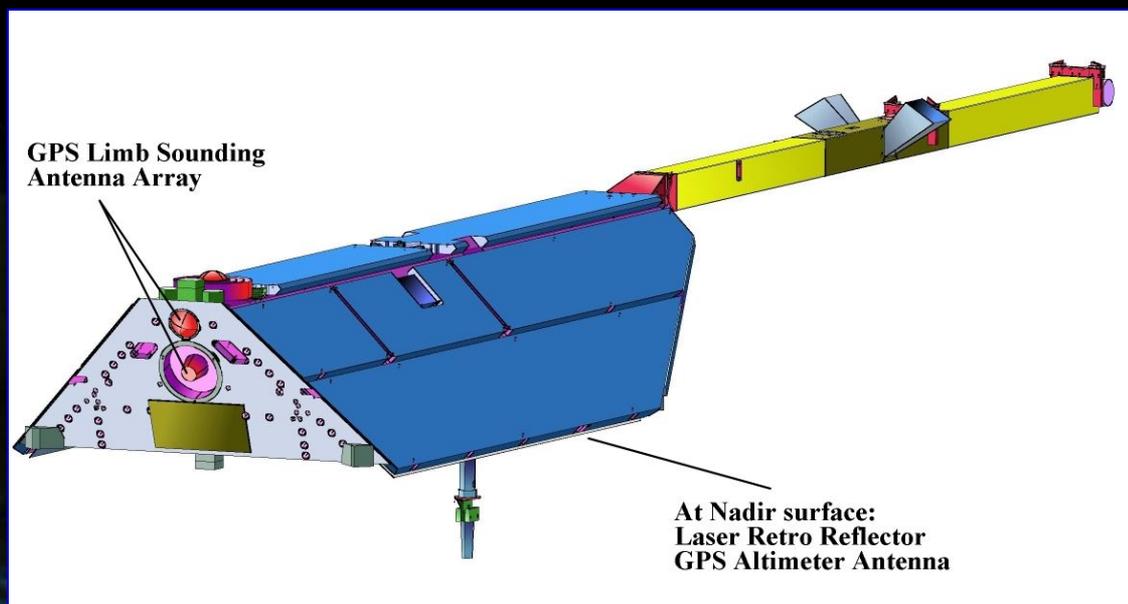
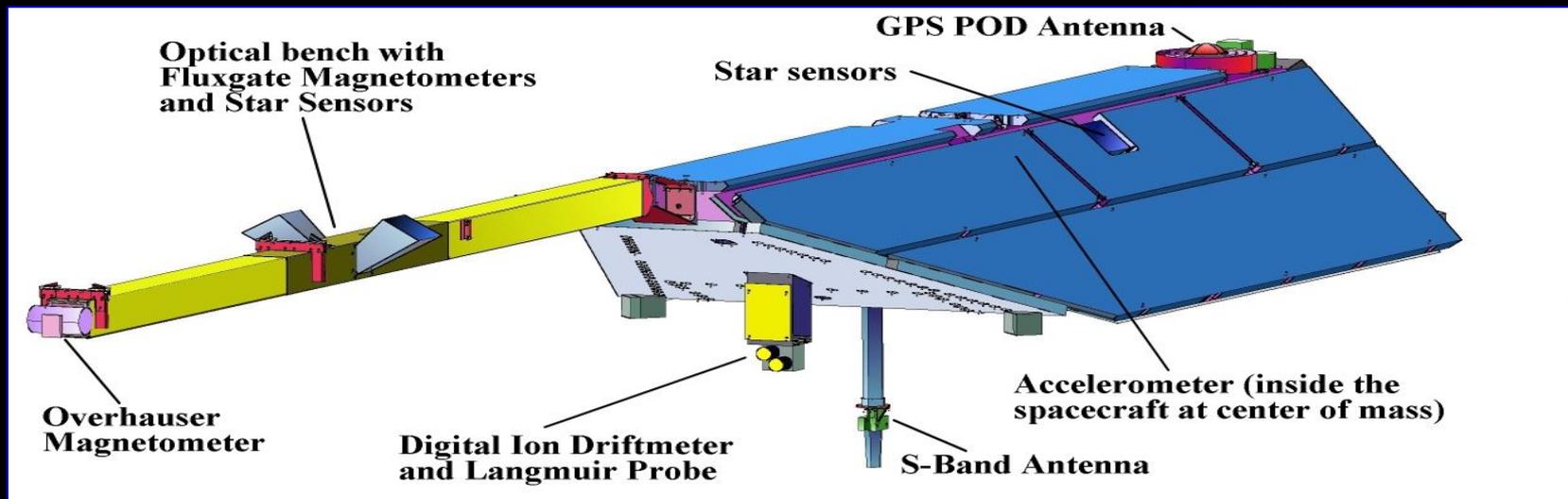


HL SST



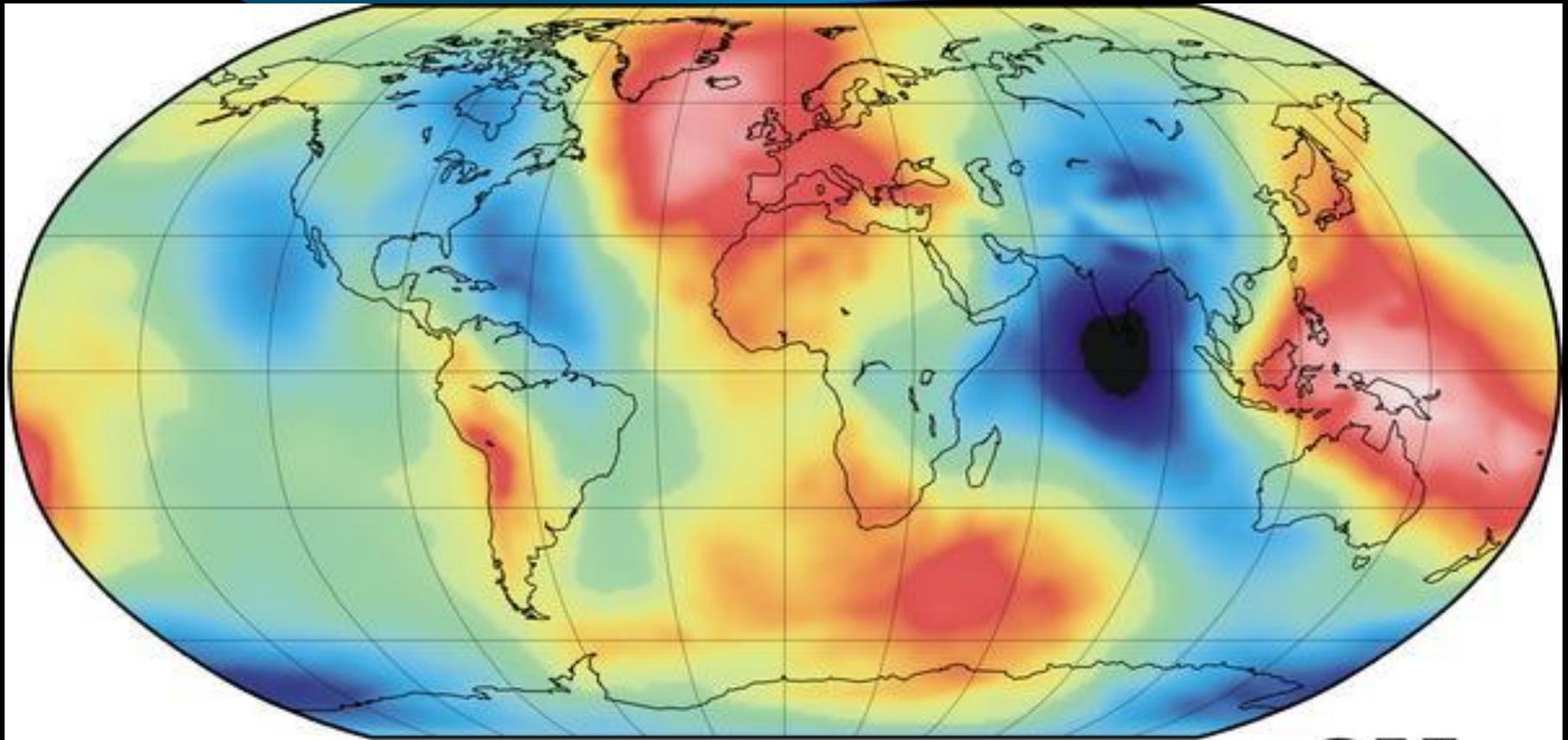
CHAMP mission benefits for a fundamental progress in gravity field recovery:

- near-polar orbit ($i=87^\circ$) for a complete coverage of the Earth
- continuous high-low GPS satellite-to-satellite tracking and a very low orbit (450 km, decaying to 300 km)
- on-board accelerometer for a direct measurement of hard-to-model non-gravitational surface forces, mainly air drag
- long mission lifetime (5 years) to resolve temporal gravity

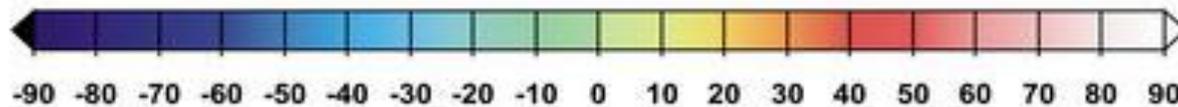


**Расположение
бортовых антенн
GPS-приемников**

Фигура геоида по данным ИСЗ СНАМР

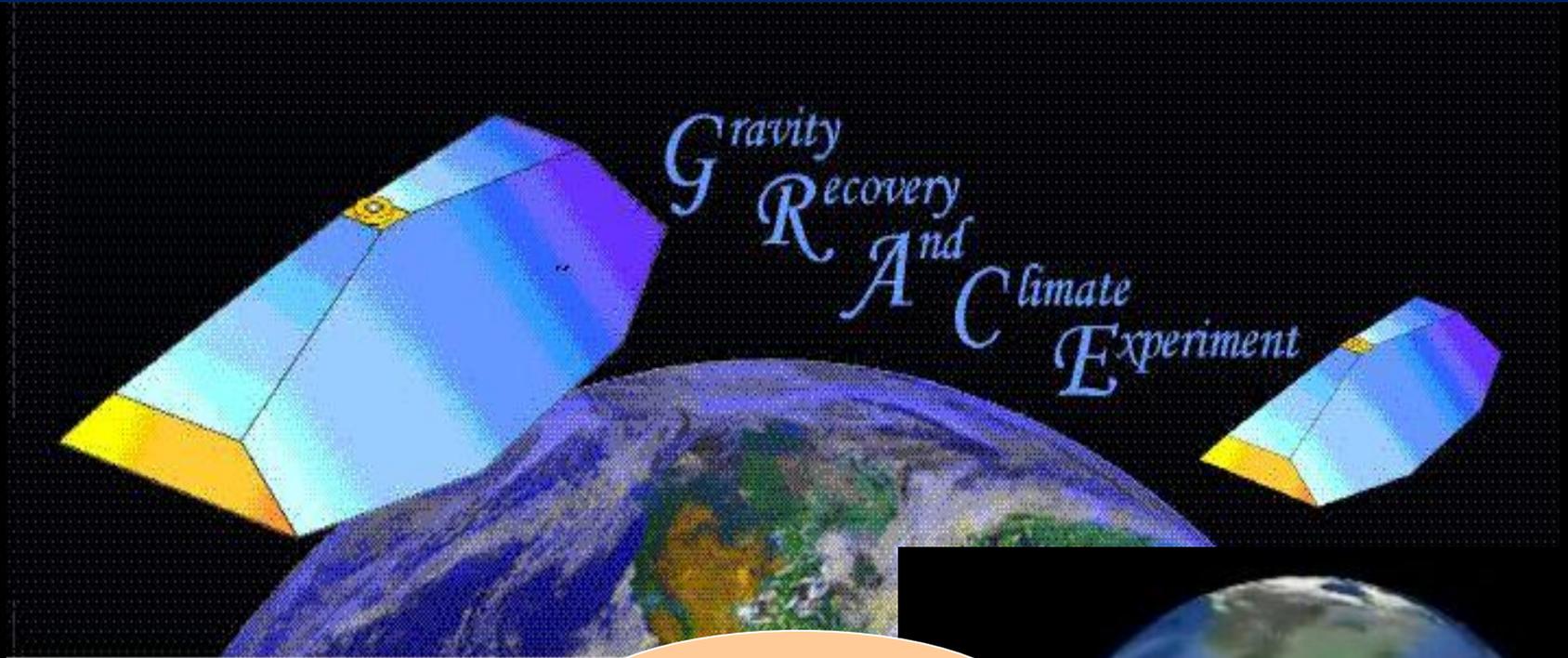


EIGEN-3p

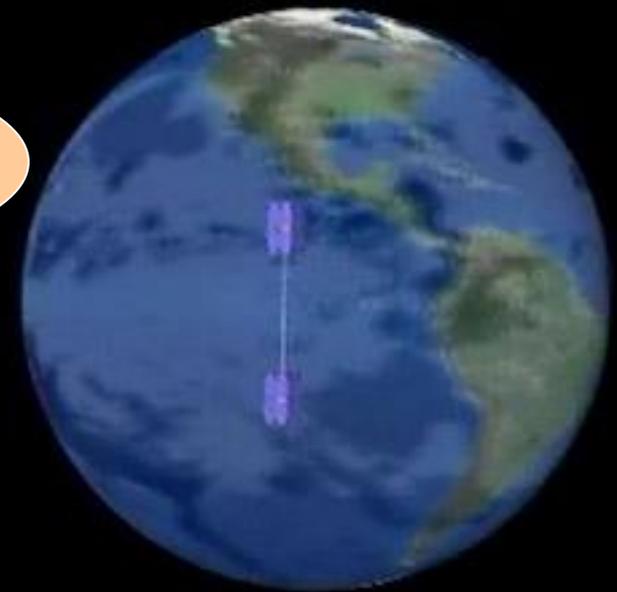


GFZ
POTSDAM

Gravity Recovery And Climate Experiment

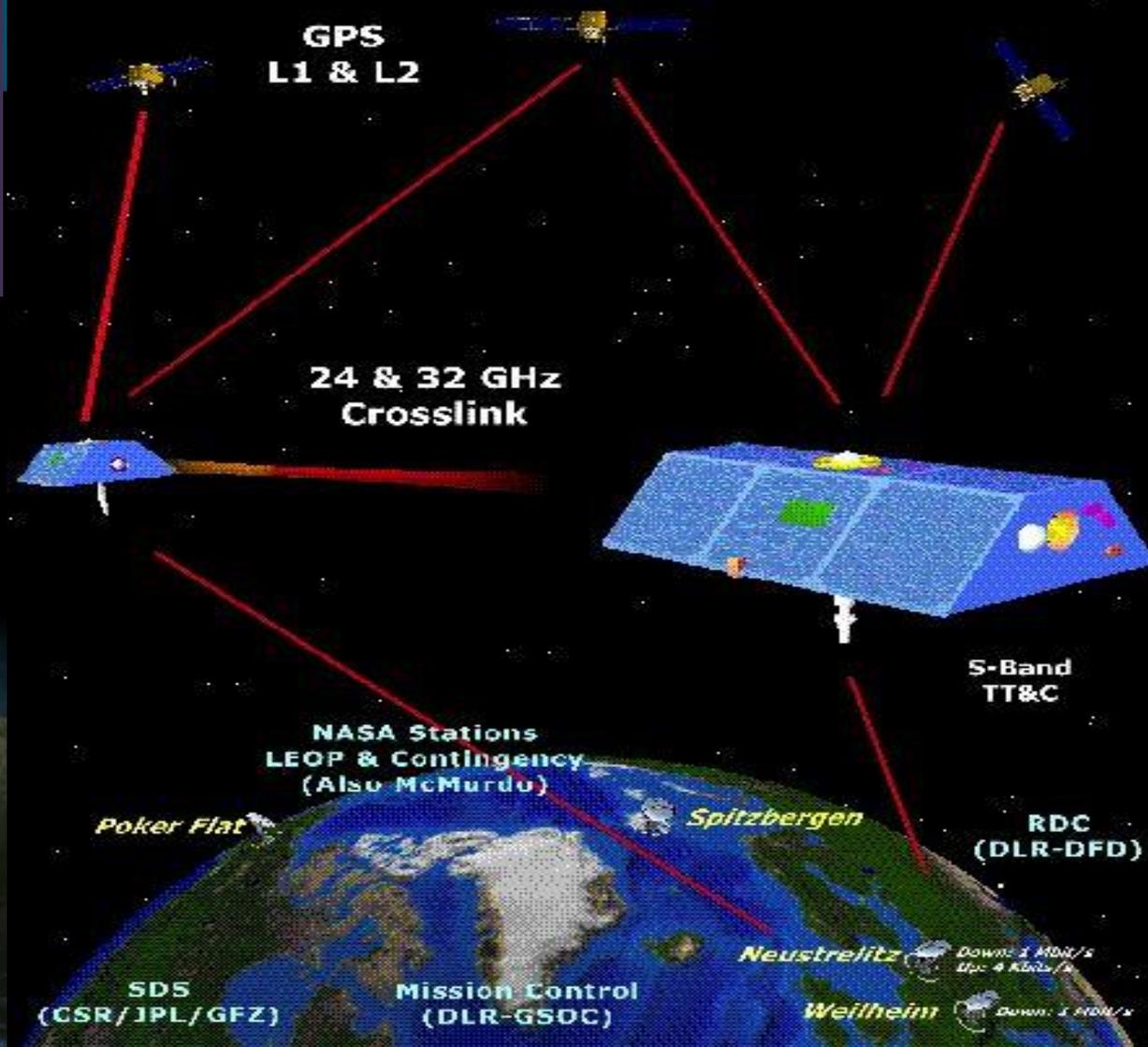


17 марта
2002г.



Позиционирование
ИСЗ GRACE путем
привязки к ИСЗ
созвездия GPS

LL SST + HL SST

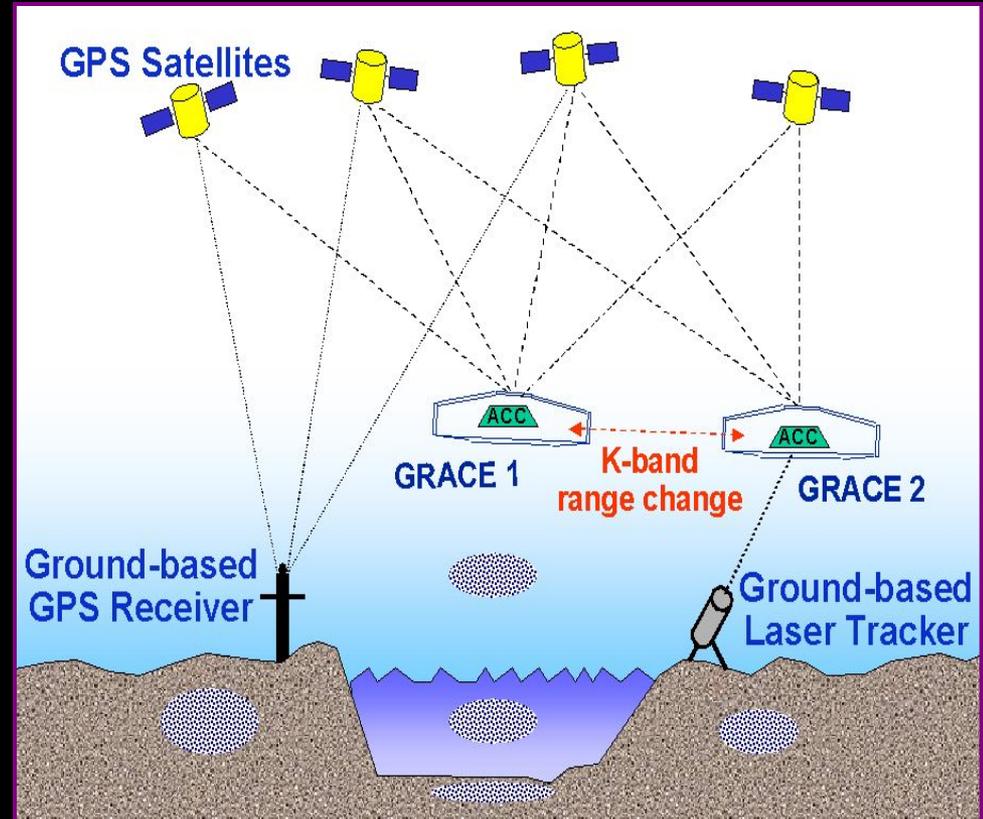
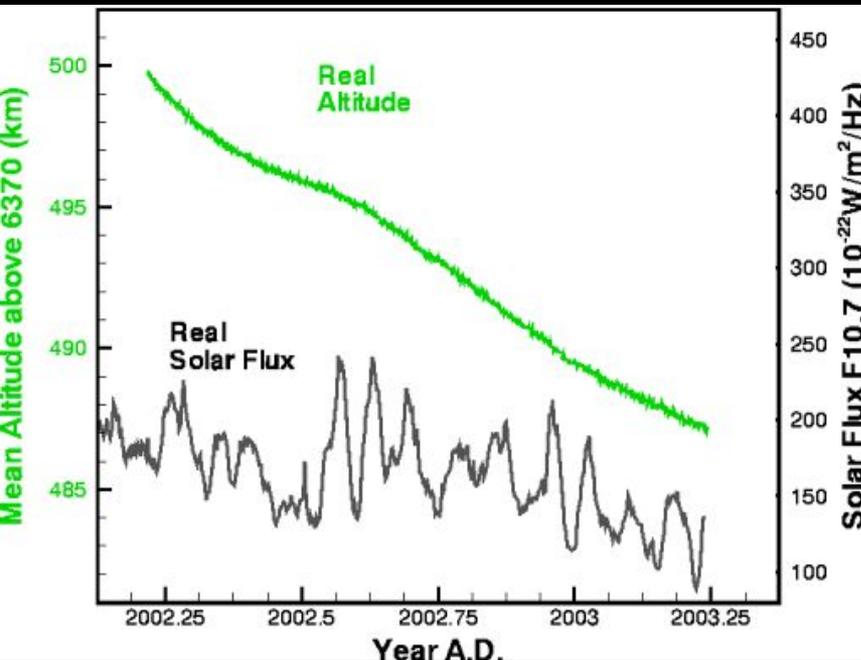


Observations:

- GPS GRACE A/B hl code & phase
- GRACE A/B II K-band range & range rate
- 3D-surface forces accelerations

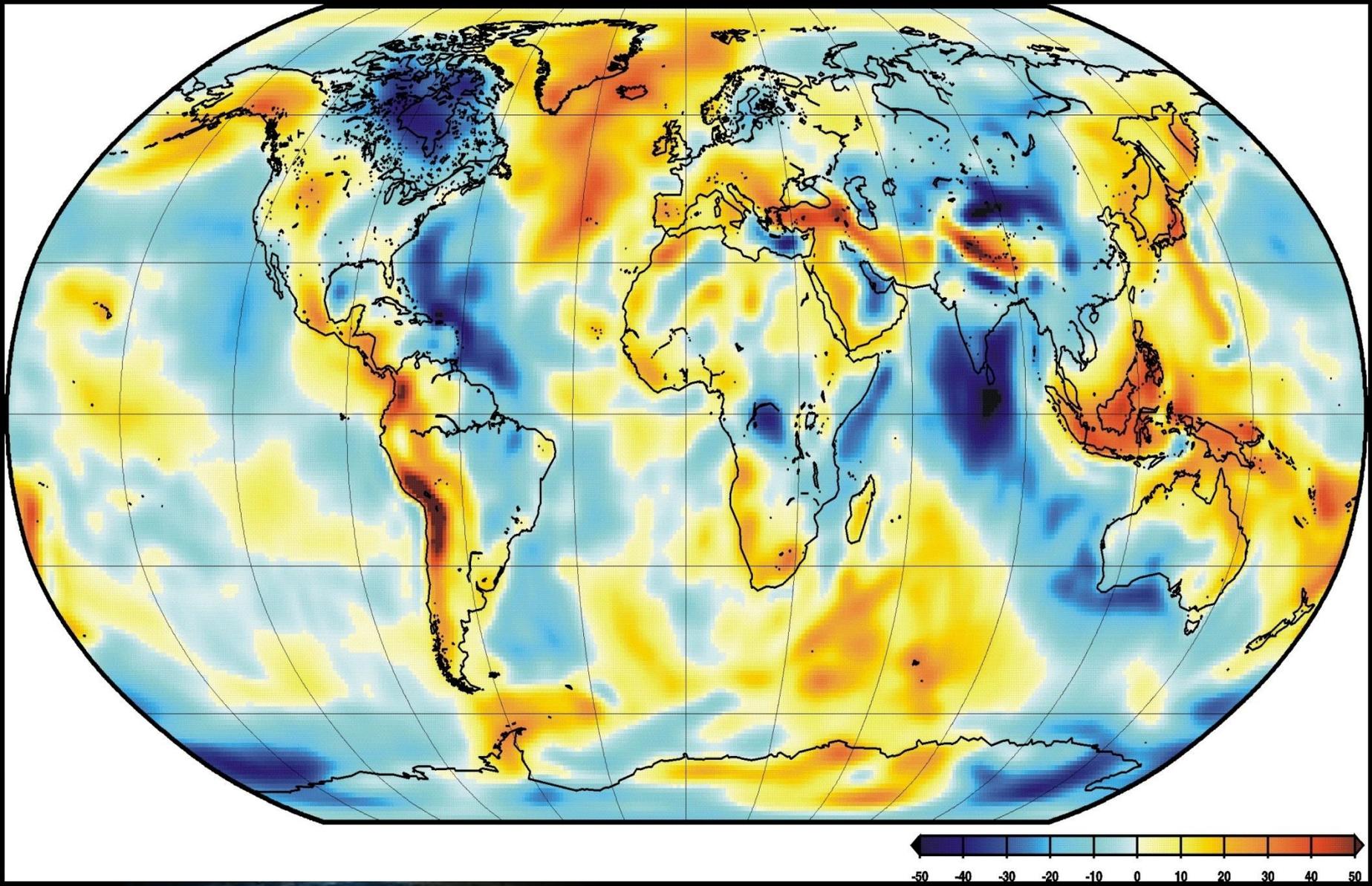
GRACE Mission Concept

Measurement of $\{r_i, \dot{r}_i\}$



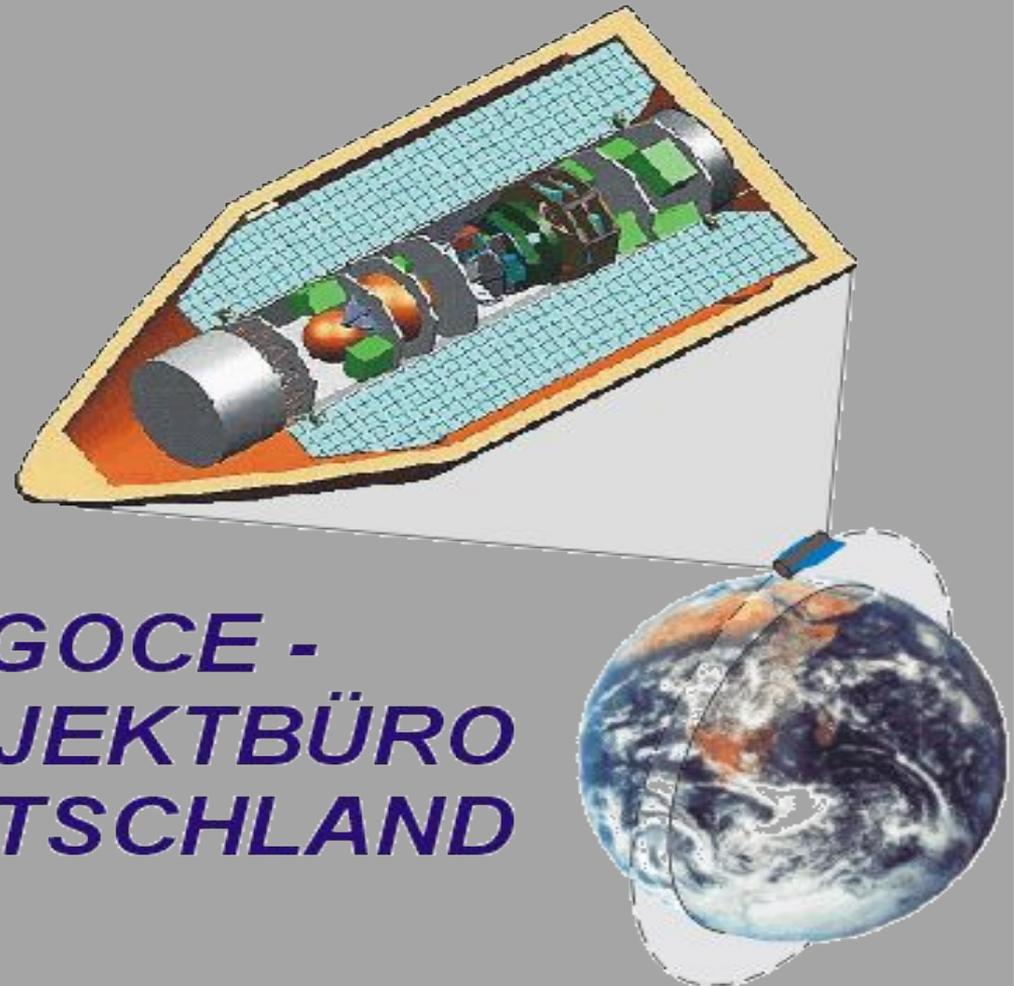
Orbit:

- Inclination 89 deg
- Eccentricity 0.002



Gravity anomalies [mgal] from 10 days of GRACE data

Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer



**GOCE -
PROJEKTBÜRO
DEUTSCHLAND**

Тензор вторых производных потенциала силы тяжести

SGG

$$W = V + Q = U + T$$

$$\Gamma = \text{grad grad}$$

$$\Gamma = \begin{pmatrix} W_{xx} & W_{xy} & W_{xy} \\ W_{xy} & W_{yy} & W_{yz} \\ W_{xz} & W_{yz} & W_{zz} \end{pmatrix}$$

W - потенциал
силы тяжести,

V - потенциал
силы притяжения,

Q - центробежный
потенциал,

U - нормальный
потенциал,

T - возмущающий
потенциал.

$$W=U+T, \quad \mathbf{X}_i(P) = \frac{\partial T(P)}{\partial \mathbf{X}_i}, \quad i=1,2,3$$

$$d\mathbf{X}_i = \mathbf{X}_i(P_2) - \mathbf{X}_i(P_1) = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 T}{\partial \mathbf{X}_i \partial \mathbf{X}_j} d\mathbf{X}_j,$$

$$\mathbf{X}(P_2) - \mathbf{X}(P_1) = (d\mathbf{X}_1, d\mathbf{X}_2, d\mathbf{X}_3)^T$$

Измерение вторых производных сводится к измерению

- а) компонент вектора относительного ускорения,**
- б) компонент вектора относительного положения пробных масс градиентометра.**

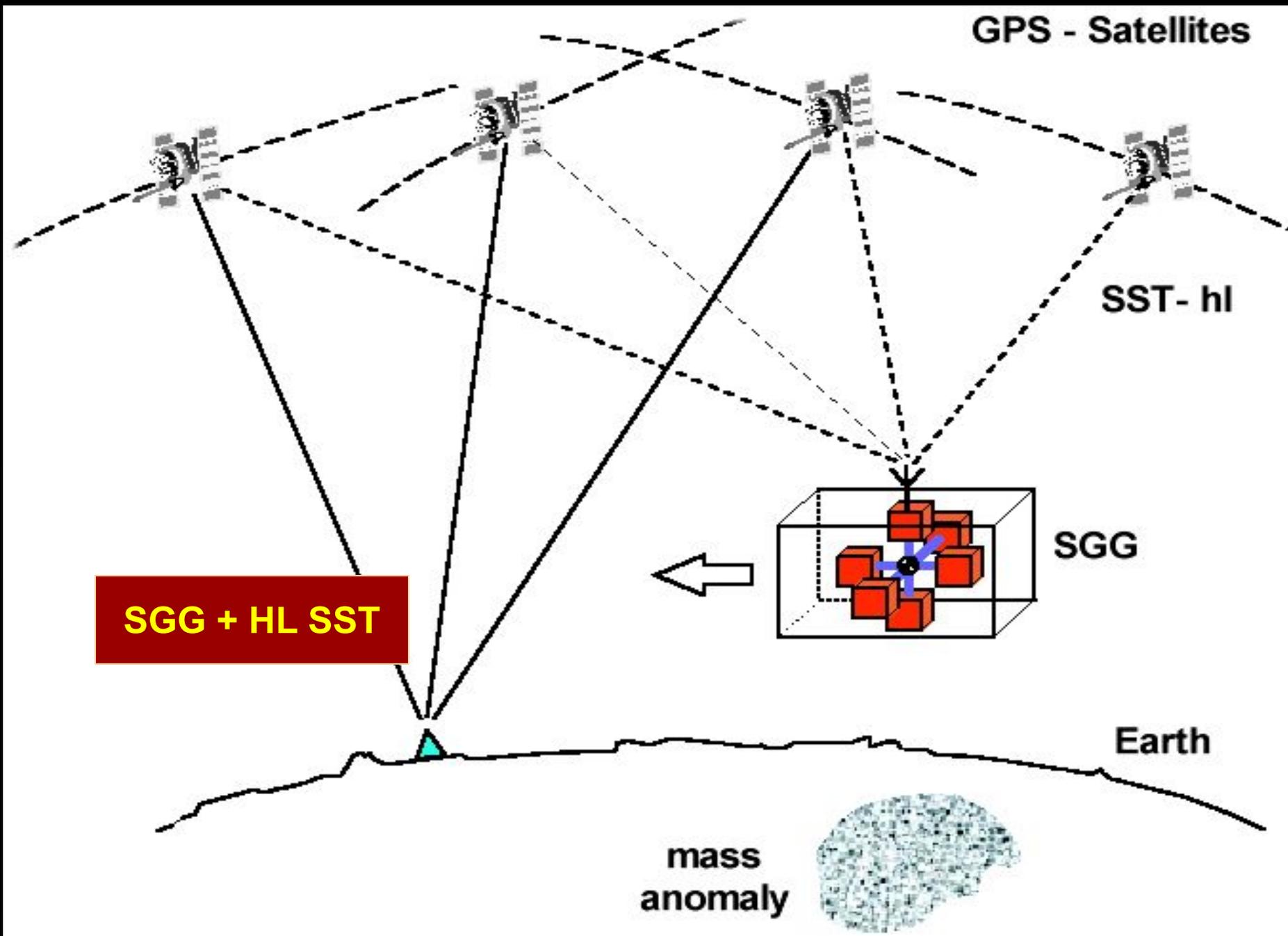
Спутник GOCE - первый спутник выполняющий градиентометрические измерения.



Главные цели миссии GOCE:

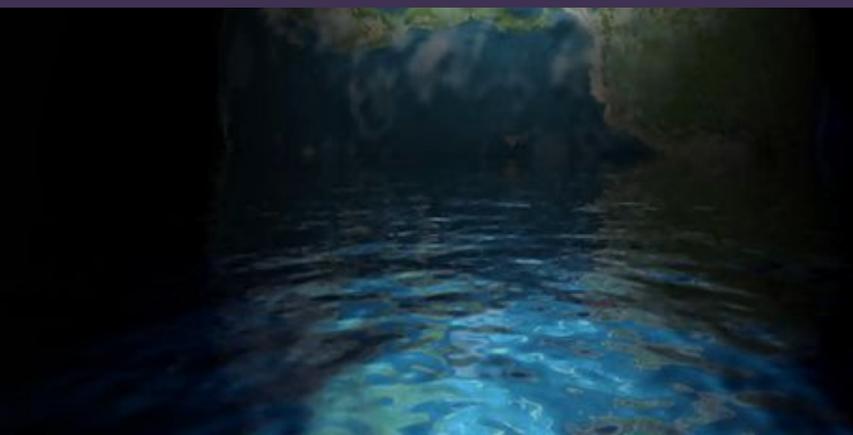


- **определить гравитационные аномалии с точностью 1 mGal;**
- **определить фигуру геоида с точностью 1-2 см в пространственном разрешении более чем 100 километров.**



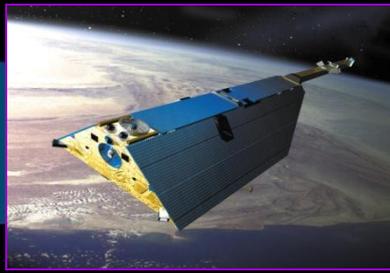
Спутник GOCE - первый спутник с установленным на своем борту градиентометром

Электростатический гравитационный градиентометр (EGG), предназначенный для измерений компонент тензора гравитационного градиента.

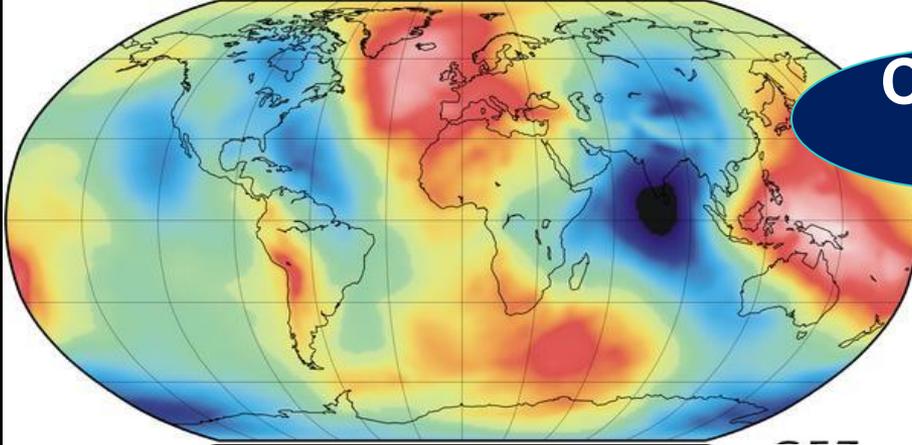


- EGG - трехосный градиентометр, состоящий из 3 пар, снабженных сервоприводами акселерометров на сверхстойчивой углеродной основе.
- Принцип работы EGG основан на измерении сил, необходимых для сохранения пробной массы в центре спецучастка. Пара идентичных акселерометров, установленных на расстоянии 50 см, формируют "градиентометрическое плечо". Различие между ускорением, измеренным каждым из этих двух акселерометров, является основной градиентометрической величиной (дифференциальным измерением),



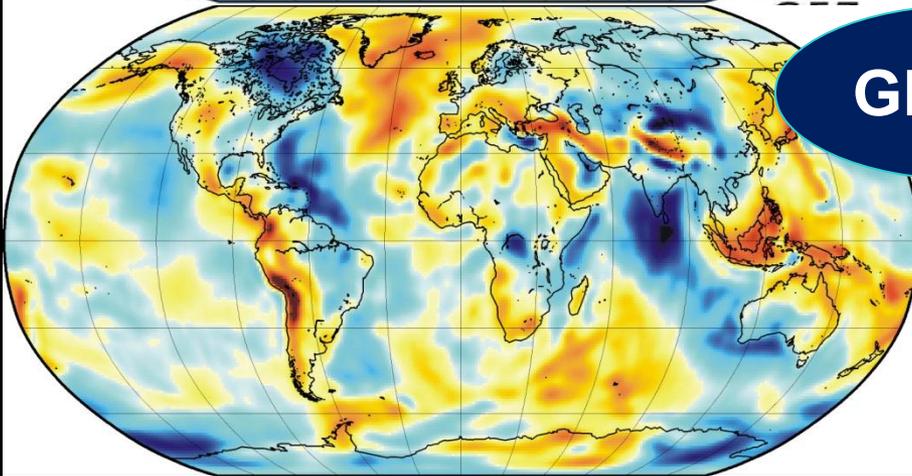


	CHAMP (launched 15 July 2000)	GRACE -A, -B (launched 17 Mar.2002)	GOCE (Aug. 2006)
orbit inclination	87°	89°	96.5°
orbit altitude	454 . 400 (2002) .. 300 km	500 ... 300 km	250 km
mission lifetime	5 years	5 years	2 x 0.5 years
surface force sensor	accelerometer	accelerometer	drag-free
gravity sensor	GPS-CHAMP SST	GPS-GRACE SST, low-low SST (220 km)	GPS-GOCE SST, Gradiometer
gravity field recovery ($\lambda/2$)	achieved: 10 cm, 0.5 mgal @ 500 km goal: 1cm @400 km, 3 month	achieved: 10 cm,1 mgal @250 km goal: 1 cm @150 km 1 mm@500 km,monthly	goal: 1 cm, 1 mgal @ 100km -

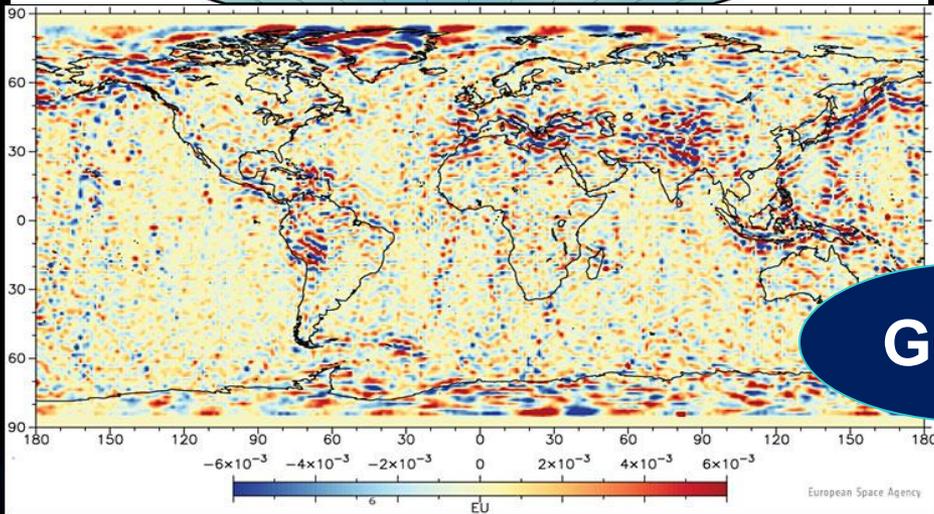


CHAMP

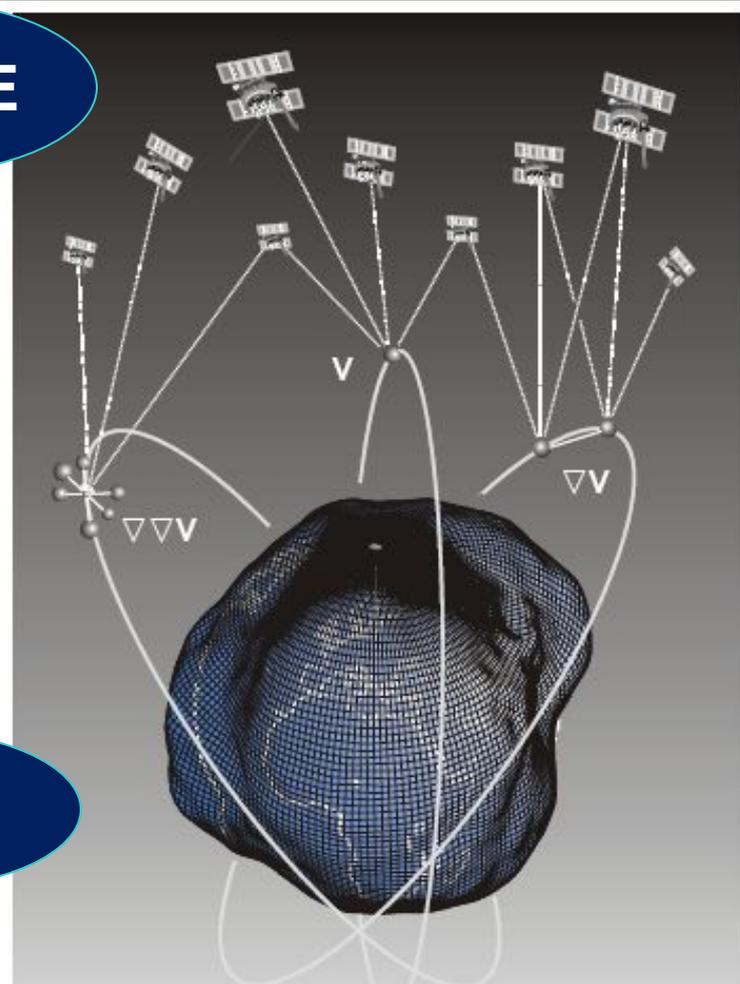
Разрешение
подробностей
фигуры геоида
по данным:



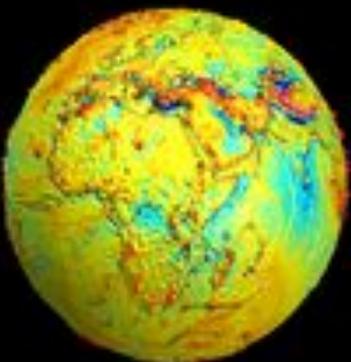
GRACE



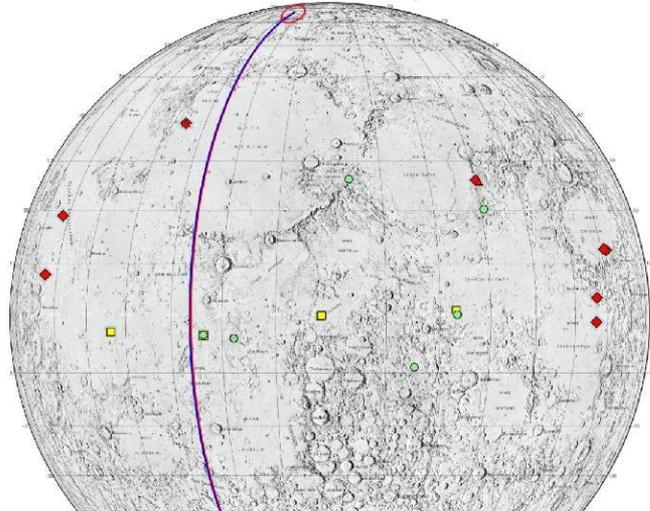
GOCE



Модели гравитационного поля Земли



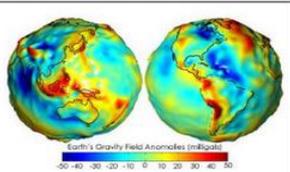
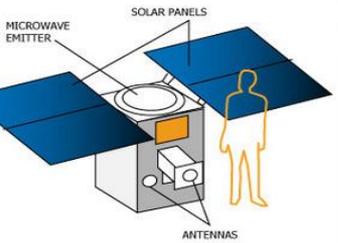
	Имя	Год	Размер ность	Данные	
1	EGM 96	1996	360		
2	EIGEN-GRACE 01S	2003	140	GRACE	0.936
3	EIGEN-GRACE 02S	2004	150	GRACE	0.828
4	EIGEN-CG01C	2004	360	CHAMP, GRACE	0.370
5	EIGEN-CG03C	2005	360	CHAMP, GRACE, Δg , A	0.355
6	EIGEN-GL04S1	2006	150	GRACE, LAGEOS	0.748
7	EIGEN-GL04C	2006	360	GRACE, LAGEOS, Δg , A	0.336
8	ITG-GRACE 02S	2006	170	GRACE	0.639
9	EIGEN 5S	2008	150	GRACE, LAGEOS	0.737
10	EIGEN 5C	2008	360	GRACE, LAGEOS, Δg , A	0.303
11	EGM 2008	2008	2190	GRACE, Δg , A	0.208
12	CGM 03S	2008	180	GRACE	0.710
13	CGM 03C	2009	360	GRACE, Δg , A	0.334
14	ITG-GRACE 2010S	2010	180	GRACE	0.595
15	GOCO 01S	2010	224	GOCE, GRACE	0.473
16	GOCO 02S	2011	250	GOCE, GRACE	0.434
17	GO_CONS_GCF_2_TIM_R3	2011	250	GOCE	0.417
18	GO_CONS_GCF_2_DIR_R3	2011	240	GOCE, GRACE, LAGEOS	0.423
19	EIGEN 6S	2011	240	GOCE, GRACE, LAGEOS	0.449
20	EIGEN 6C	2011	1420	GOCE, GRACE, LAGEOS, Δg , A	0.214
21	EIGEN 6C2	2012	1949	GOCE, GRACE, LAGEOS, Δg , A	0.212
22	GOCO 03S	2012	250	GOCE, GRACE	0.418



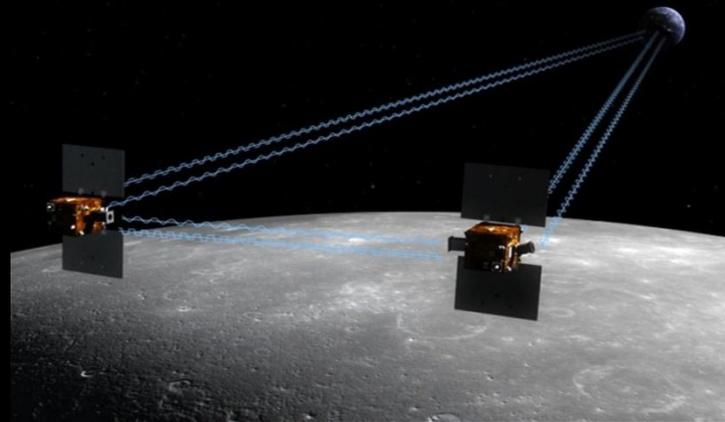
SPACE
Two For the Moon: the GRIL Mission

The Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRIL) mission consists of two identical spacecraft, sent to orbit the moon at 30 miles (50 km) altitude.

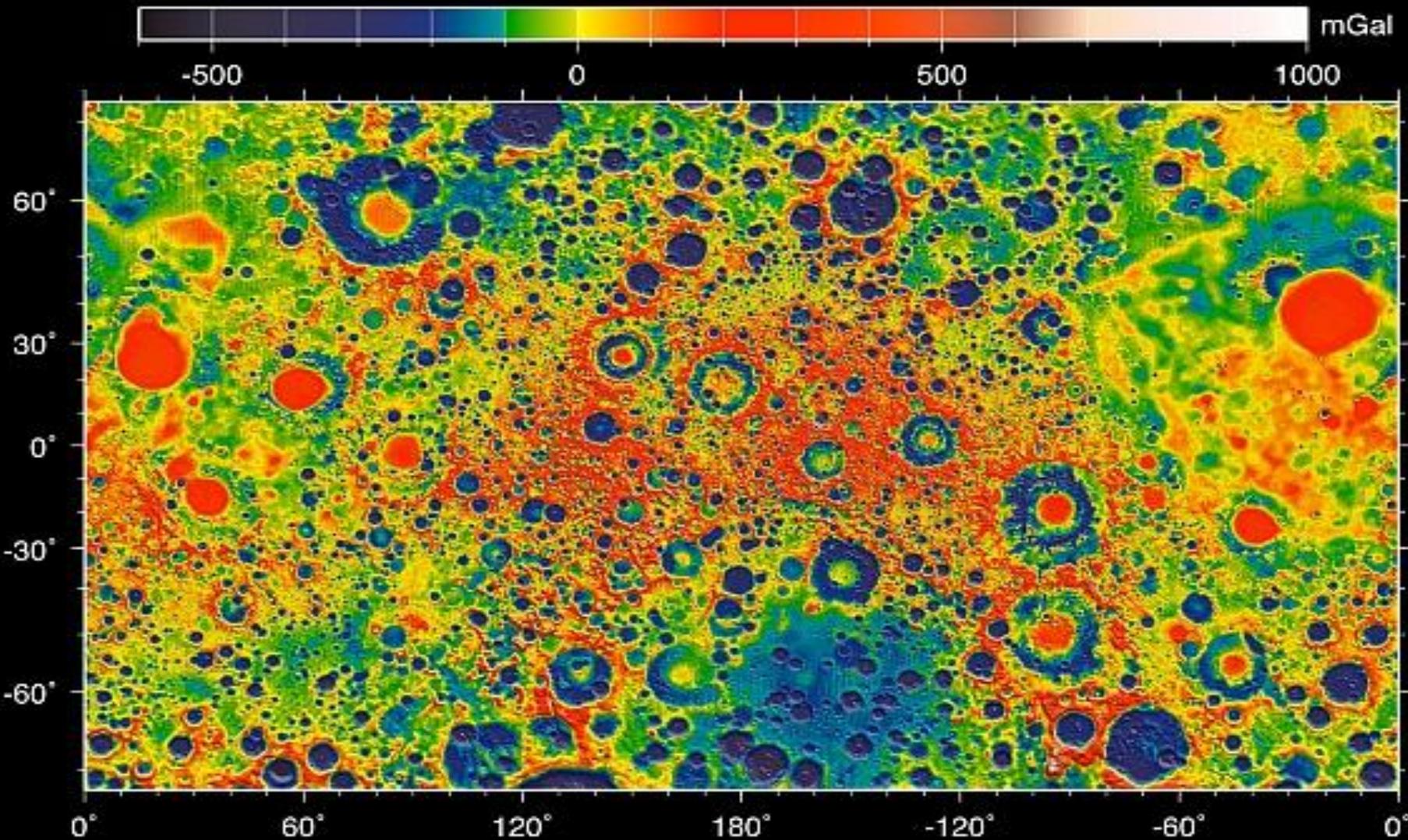
Rather than observe the surface of the moon directly, the GRIL satellites constantly monitor a microwave beam transmitted between them. The microwaves are precisely measured to determine the changing distance between the spacecraft as they pass through the moon's gravity field.



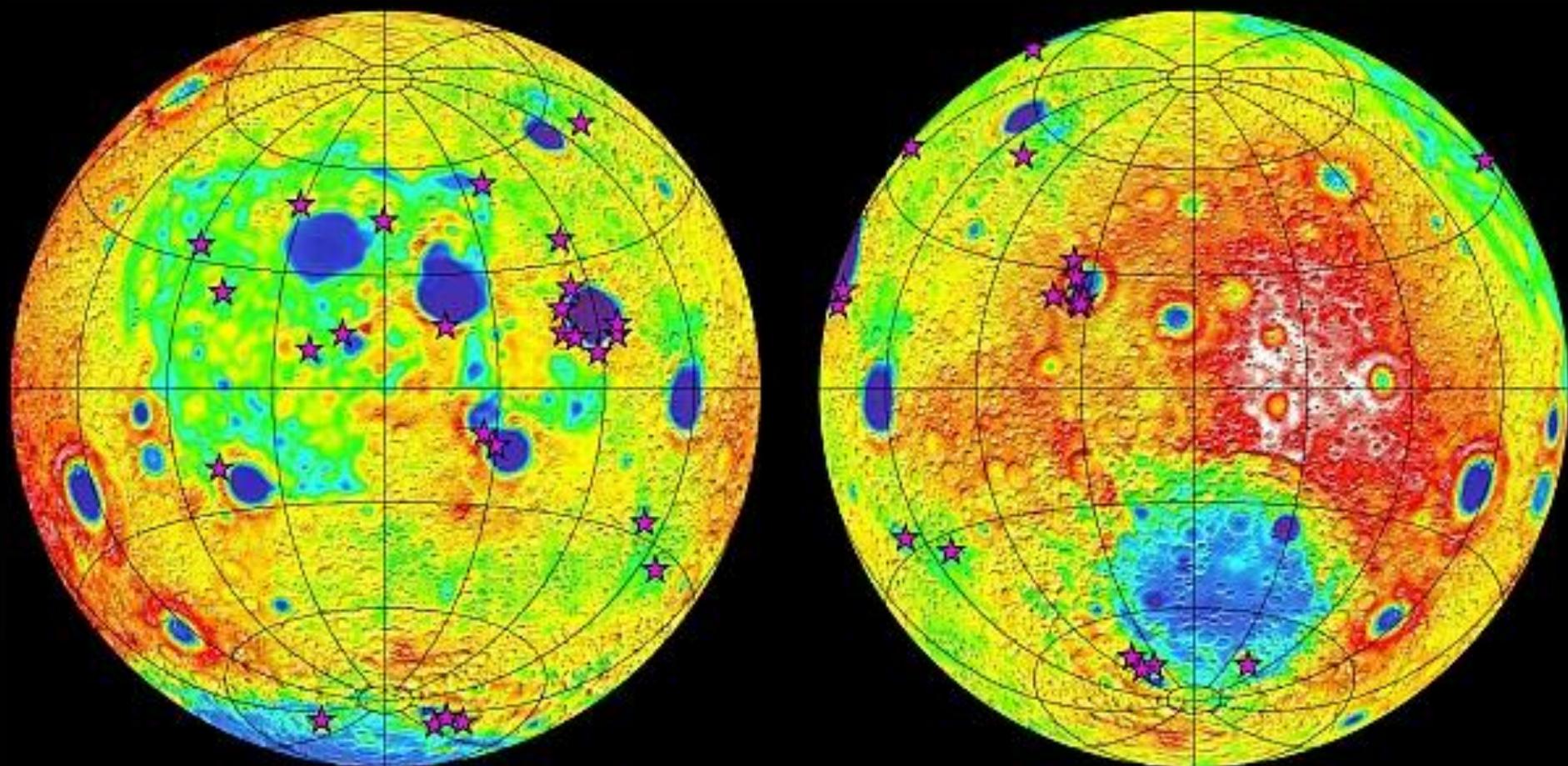
A similar set of probes called GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) has already mapped the Earth's lumpy gravity field.



Gravity Recovery And Interior Laboratory



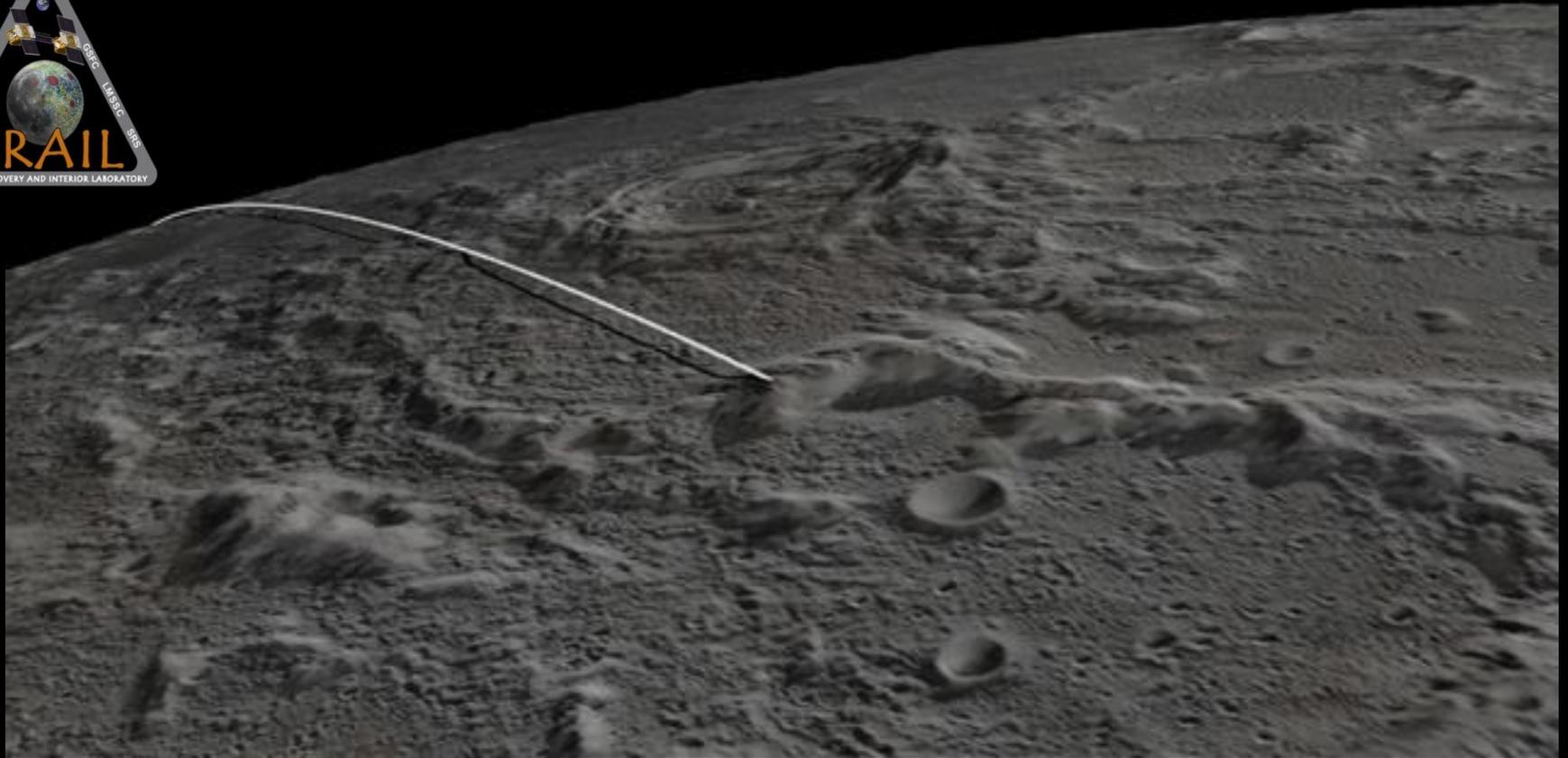
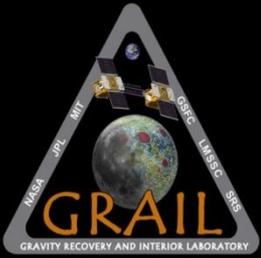
Аномалии силы тяжести на Луне по данным программы GRAIL



★ Olivine-rich exposures



Crustal thickness (km)



Аппараты-близнецы Ebb (отлив) и Flow (прилив) врезались в гору на северном полюсе Луны 17 декабря 2012 года. Место столкновения решили назвать в честь сотрудницы миссии и первой женщины-астронавта Сэлли Райд, которая в июле этого года скончалась от рака.

Благодарю за внимание!



14.08.2007 10:50