



Факультет географии и геоинформационных
технологий

Москва 2023

Геодезия и картография

Методы и средства измерения и изображения земной поверхности.
История и современность

Форма Земли

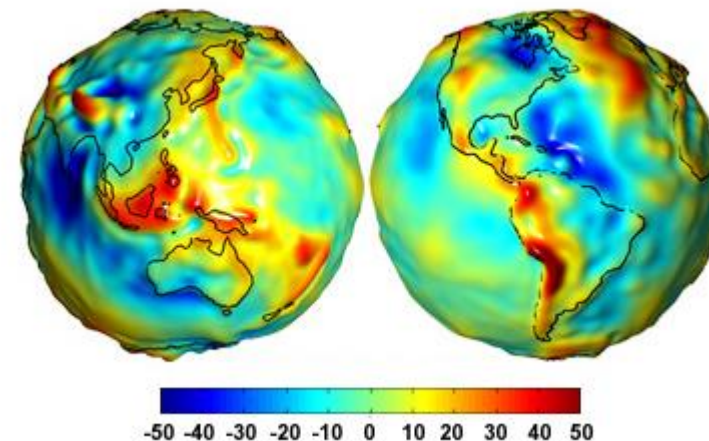
- Рельеф земной поверхности
- Эллипсоид вращения
- Геоид – поверхность, нормальная силе тяжести
- Сила тяжести $g = 9.82 \text{ м/с}^2$, центробежная сила – 0.035 м/с^2
- Градиент силы тяжести 0.3086 Н мГал/м



Определение координат

- Астрономическое
- Геоцентрическое
- Геодезическое

Earth's Gravity Field Anomalies (milligals)





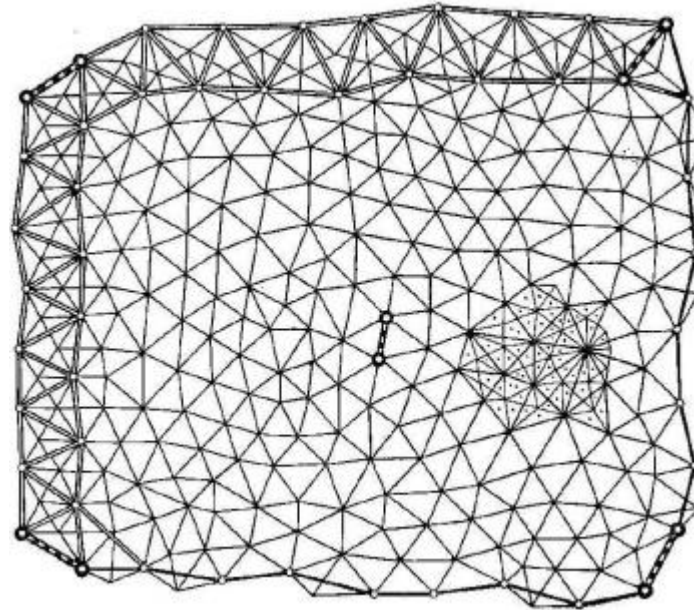
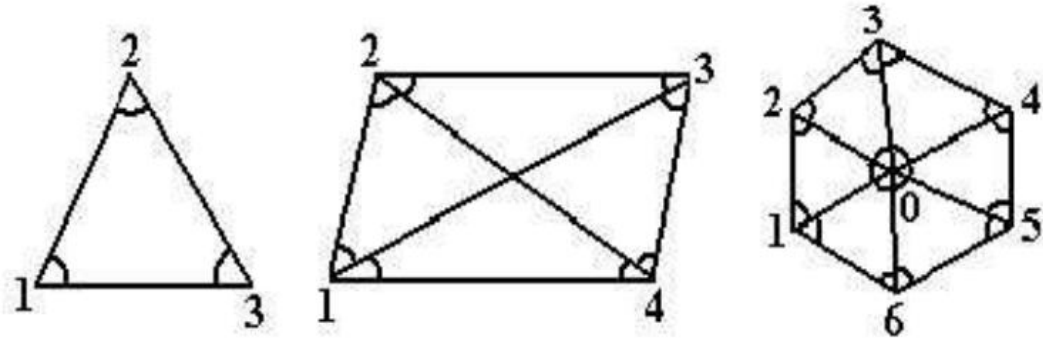
Форма Земли

- Эллипсоид вращения WGS84

Обозначения, размерность	Параметры	Примечания
a , м	6 378 137	Большая полуось
α	1/298,257 223 563	Сжатие
GM , км ³ /с ²	3 986 00,5 ´	Гравитационная постоянная
C_{20}	-484 166,855 10 ⁻⁹	Гармонический коэффициент
ω , рад/с	7292 115 10 ⁻¹¹	Угловая скорость Земли
c , м/с	299 792 458	Скорость электромагнитных волн в вакууме
γ_e , м/с ²	9,780 326 7715	Нормальная сила тяжести на экваторе
γ_p , м/с ²	9,832 186 3685	Нормальная сила тяжести на полюсе

Опорные геодезические сети

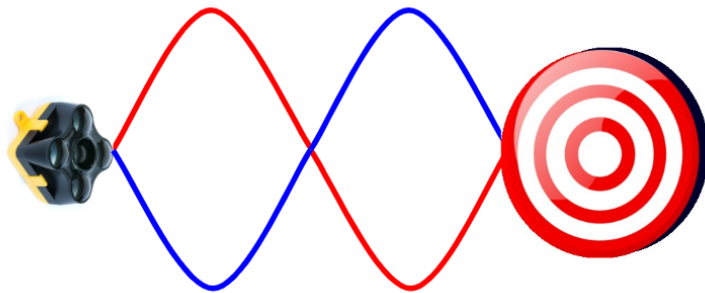
- Плановые: триангуляционные, трилатерационные
- Высотные: нивелирные, гравиметрические
- В России – СК-42, СК-95 (действующая) 4733 пункта, 8¹ полигонов, протяженность около 60 тысяч км
- Закрепление на местности (реперы, нивелирные марки)
- Угловая точность – $0.7'$, плановая – 7-10 см / 20 км
- Балтийская система нормальных высот 1977 г.,
- Точность определения высот пунктов 6 – 10 см.



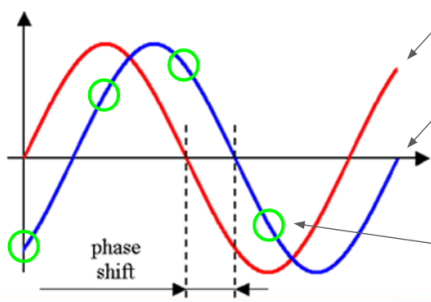


Современные оптические приборы

- Теодолиты, тахеометры
- Нивелиры
- Лазерные и ИК дальномеры



What happens inside the sensor?



This is the light the sensor **emits**

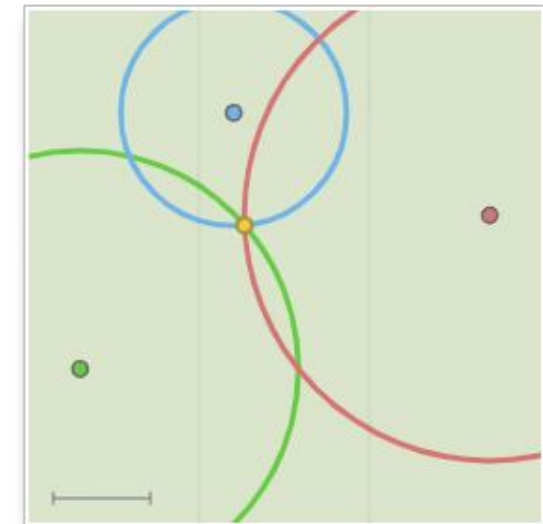
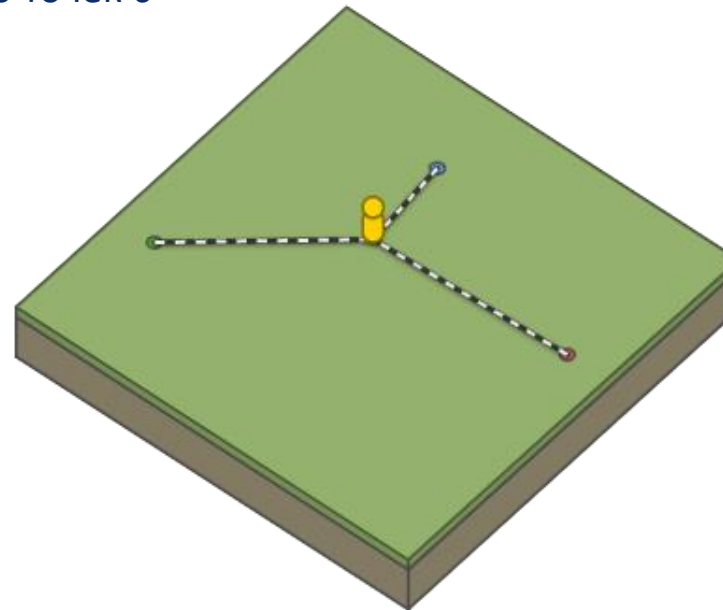
This is the light the sensor **receives**

Here the sensor measures the light it receives (four times)



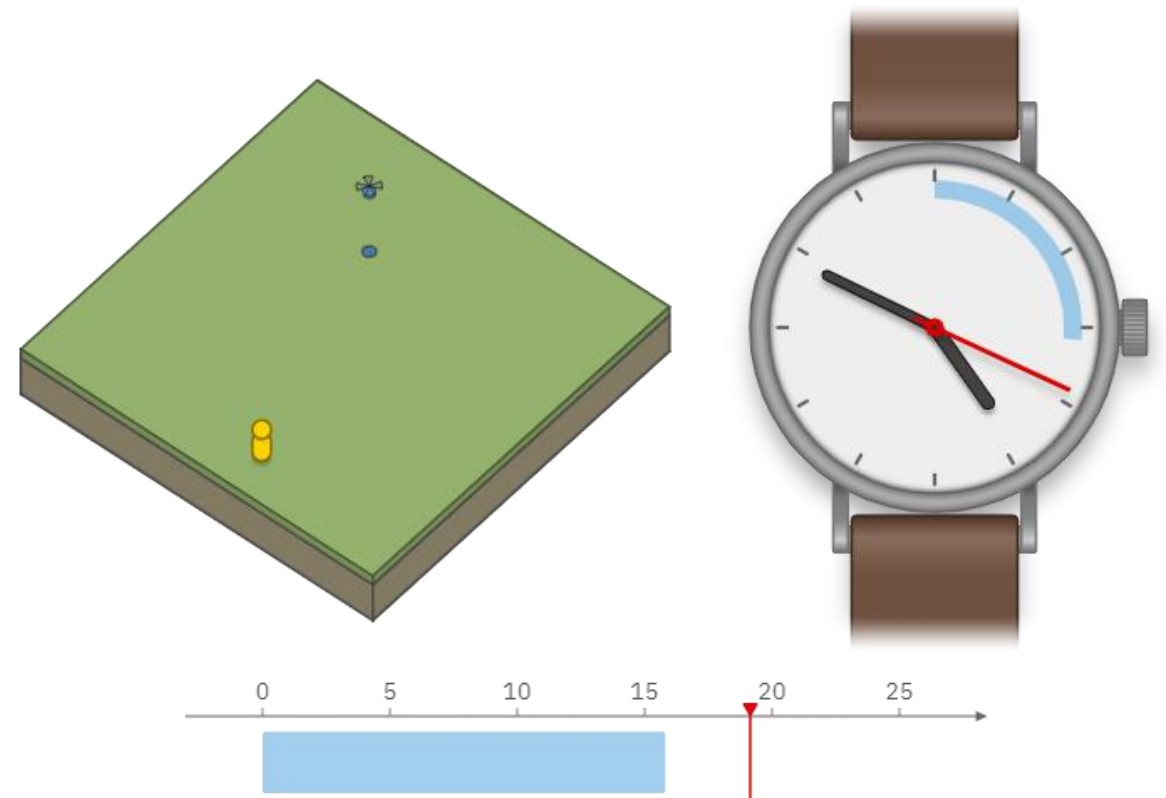
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Задача: найти положение объекта относительно точек с известными координатами



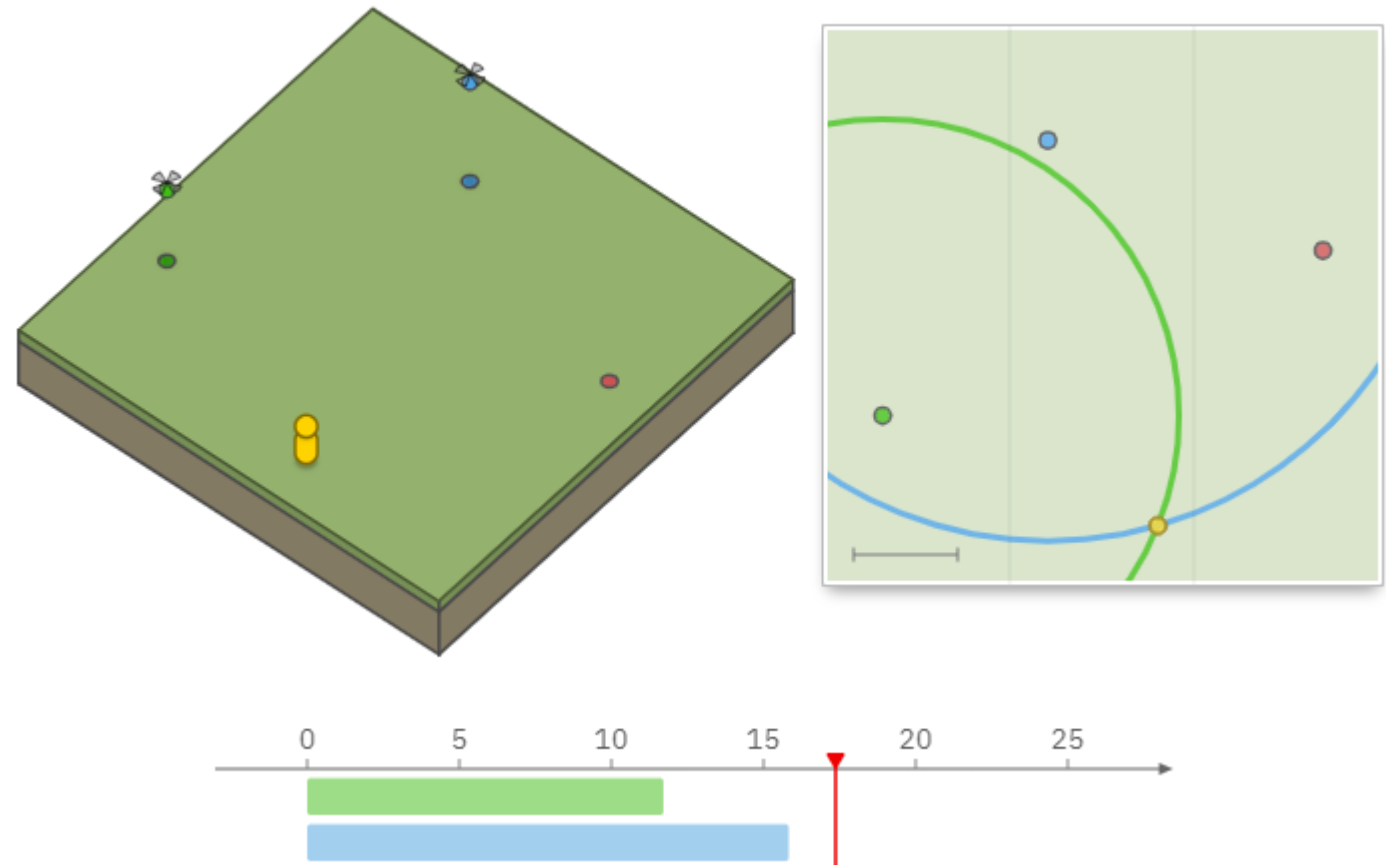
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Измерение расстояния с помощью времени



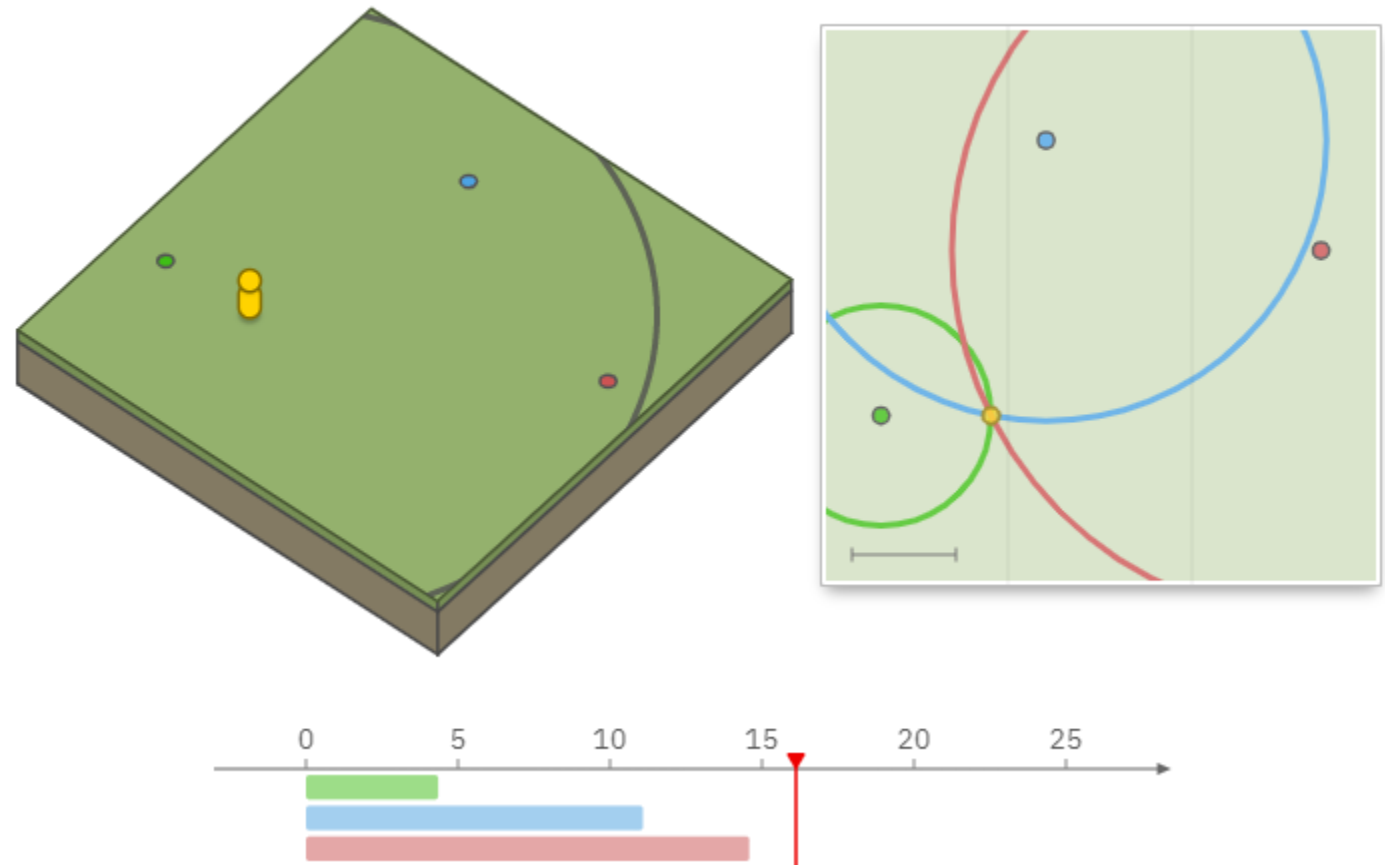
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Измерение расстояния с помощью времени



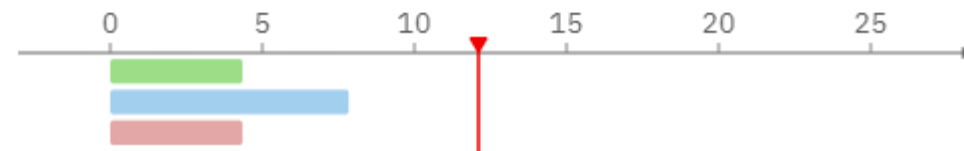
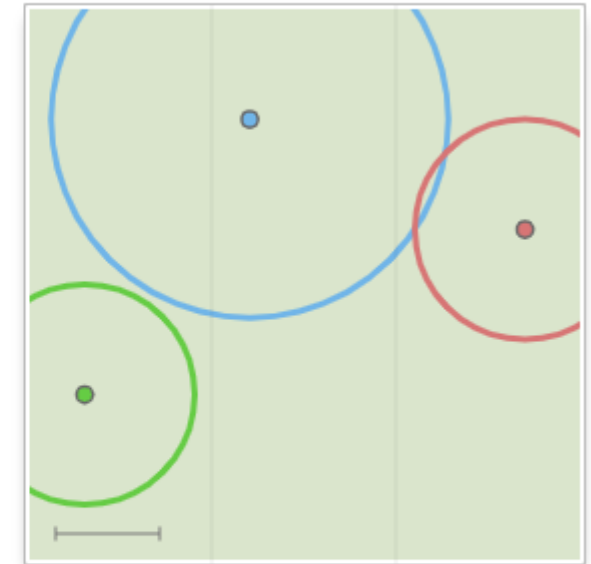
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Скорость распространения звука



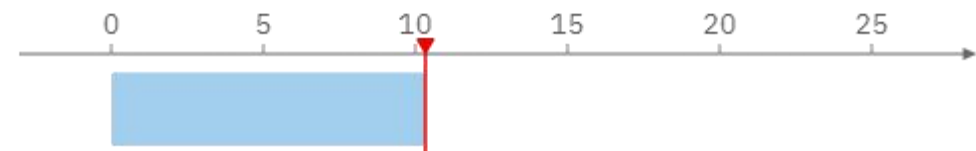
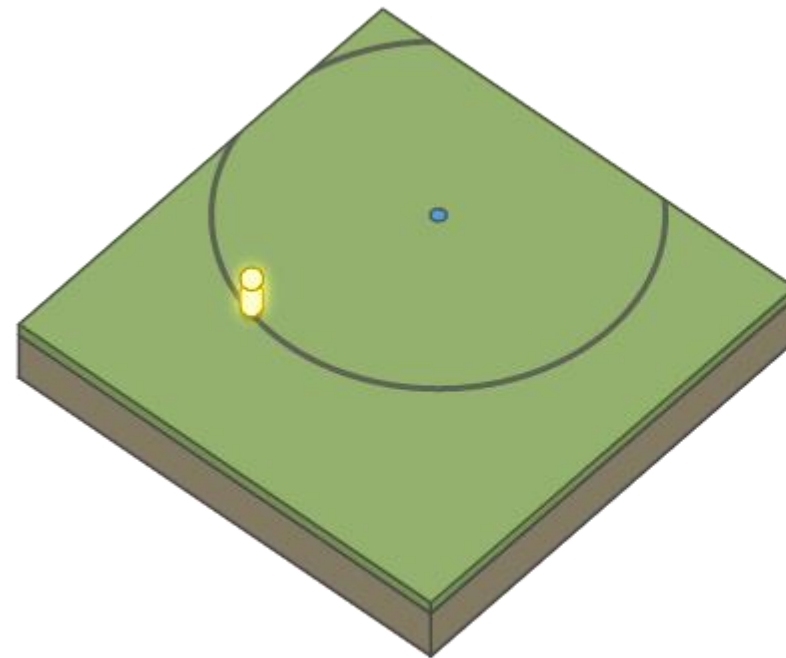
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- При увеличении количества целей задача не решается



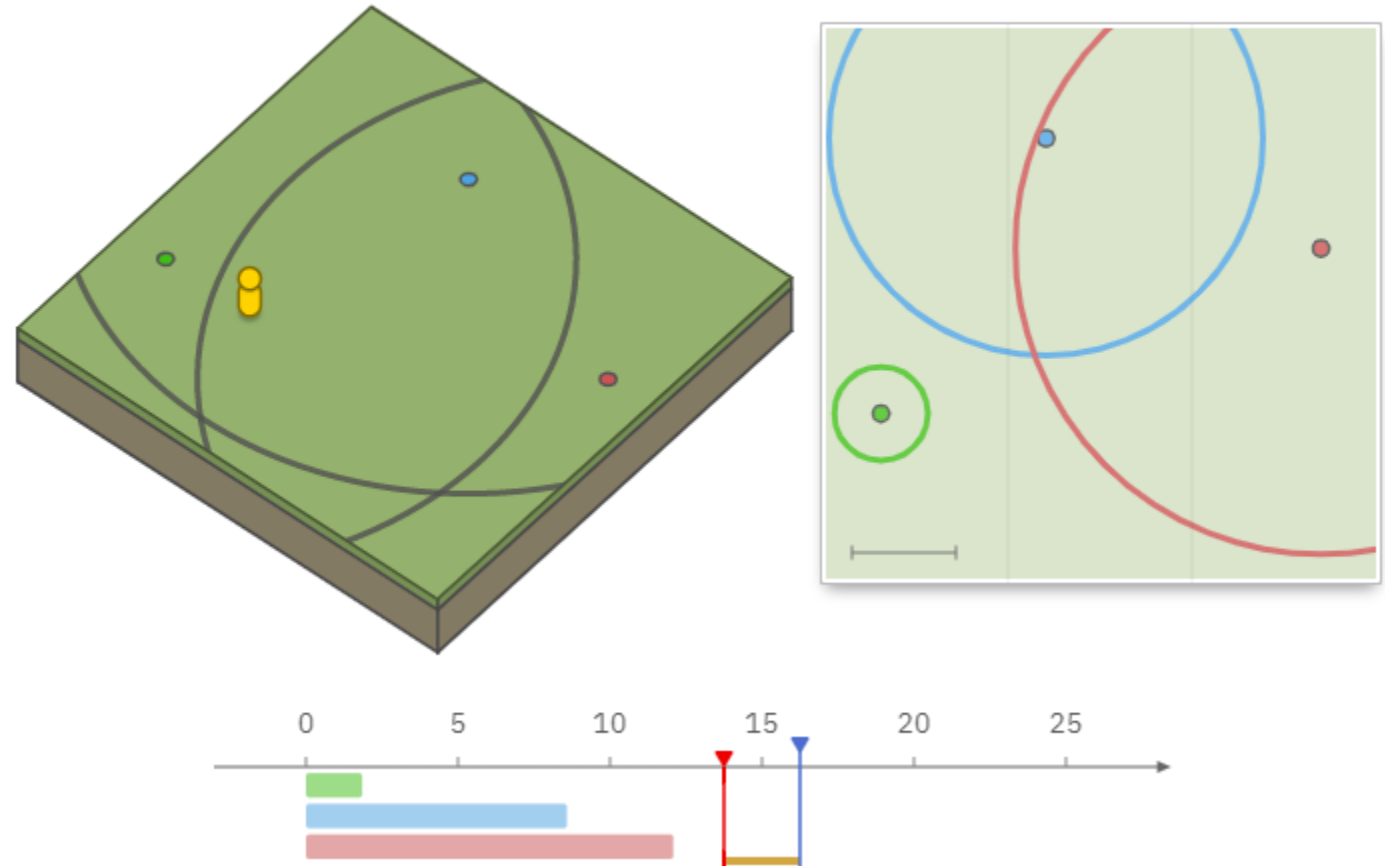
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Сигнал испускает не цель, а станция



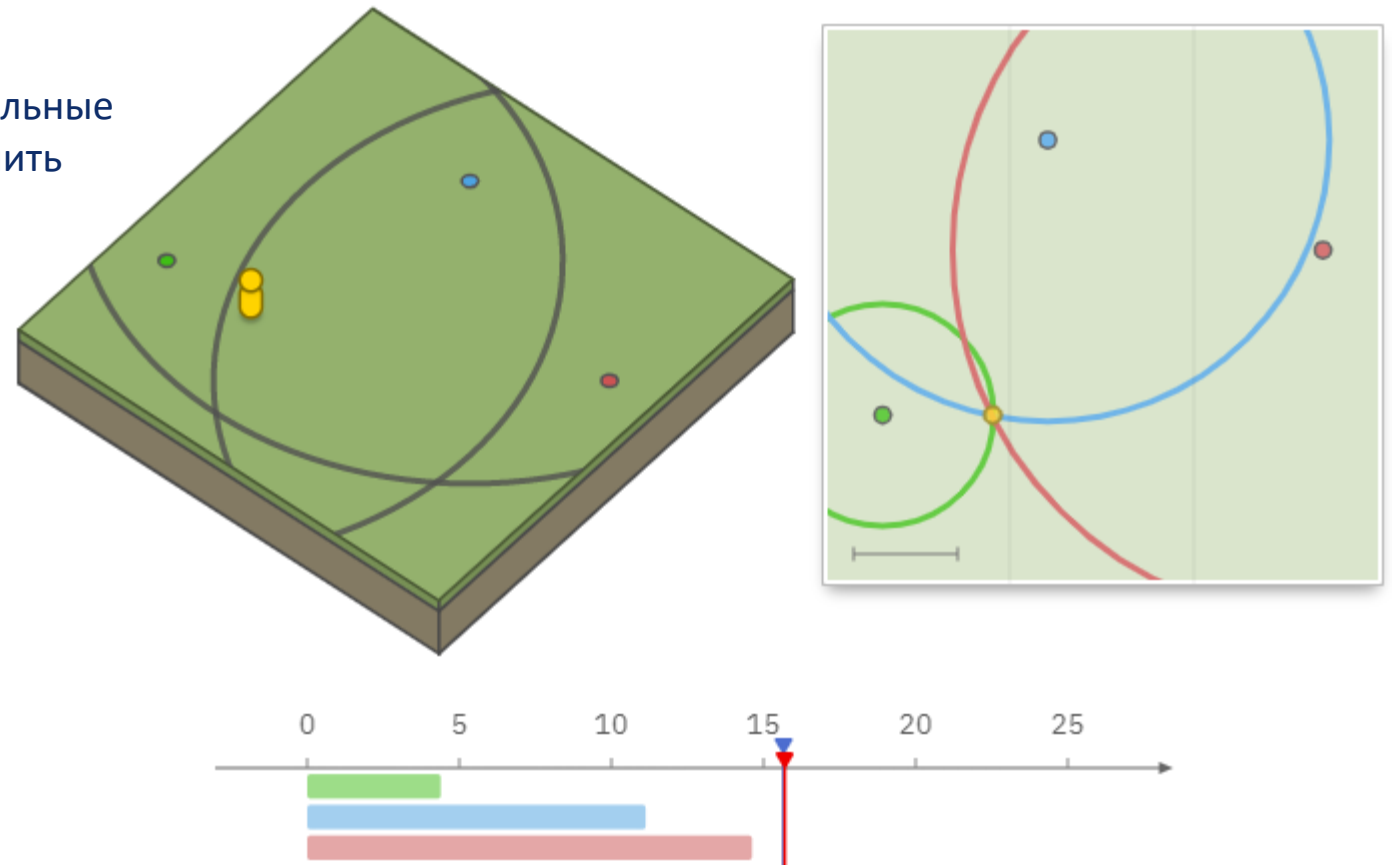
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Несинхронность отсчетов по времени



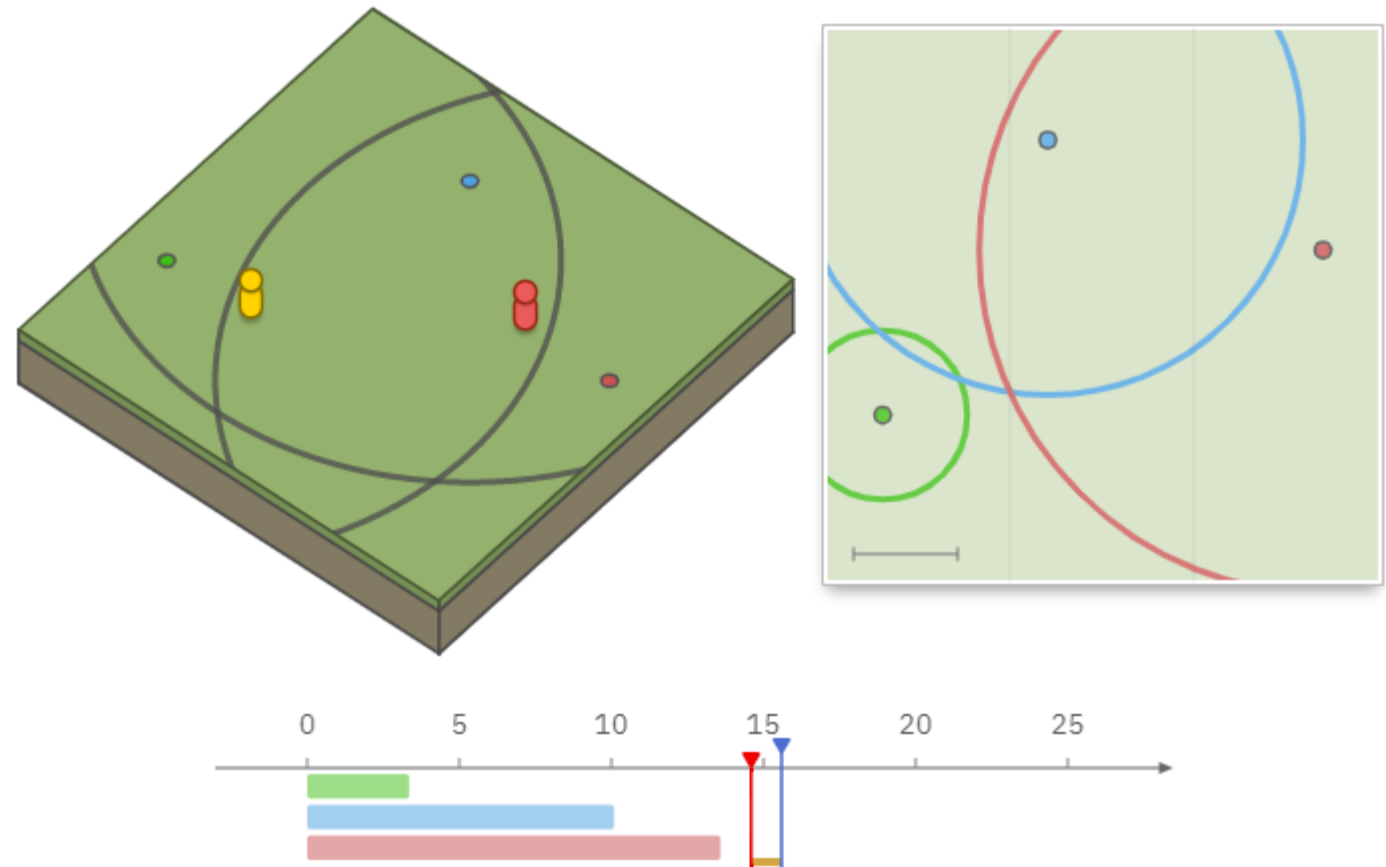
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Отклонение только в часах приемника, т.к. остальные синхронизированы между собой – можно оценить



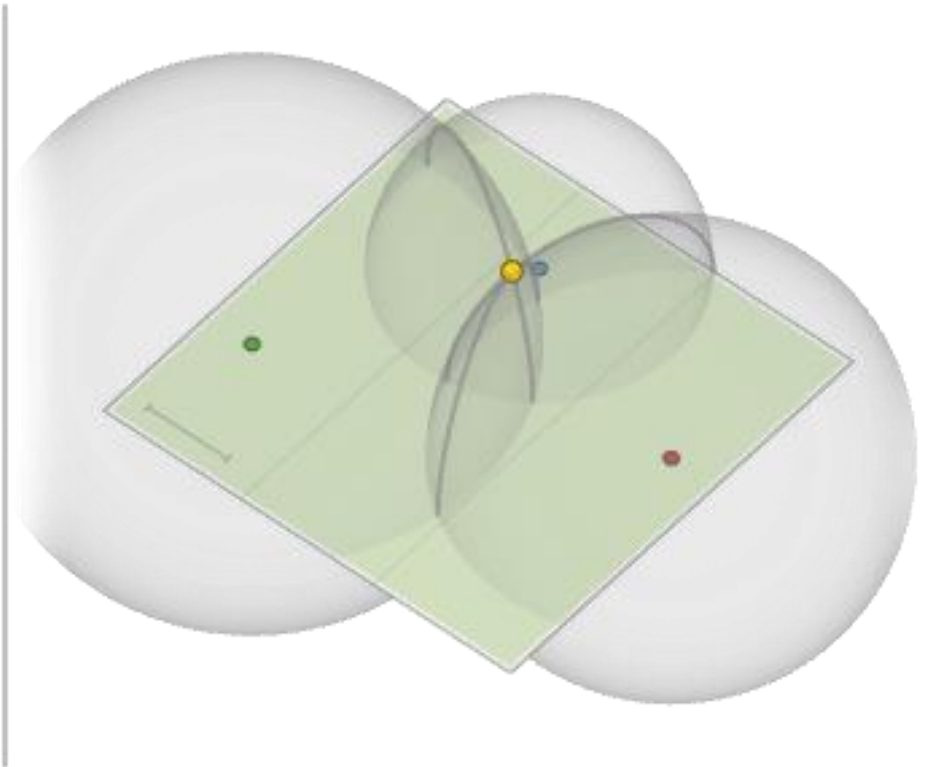
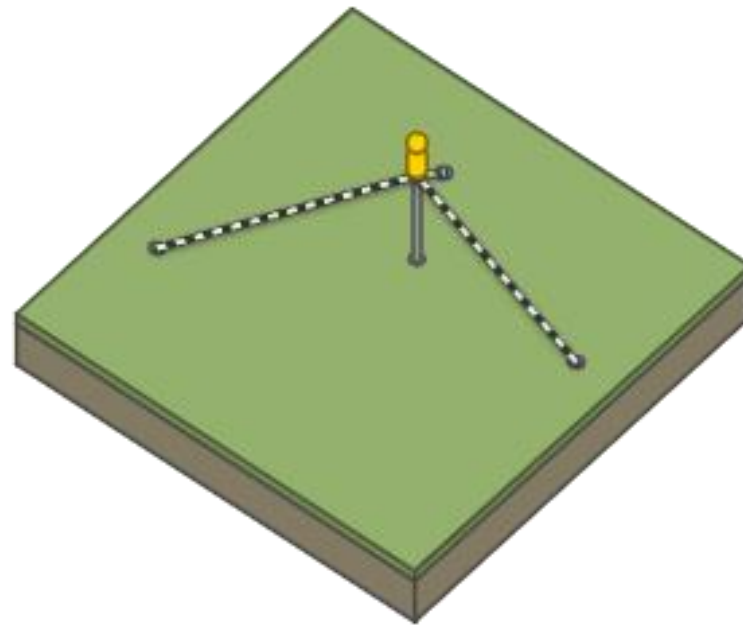
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Количество целей теперь не имеет значение



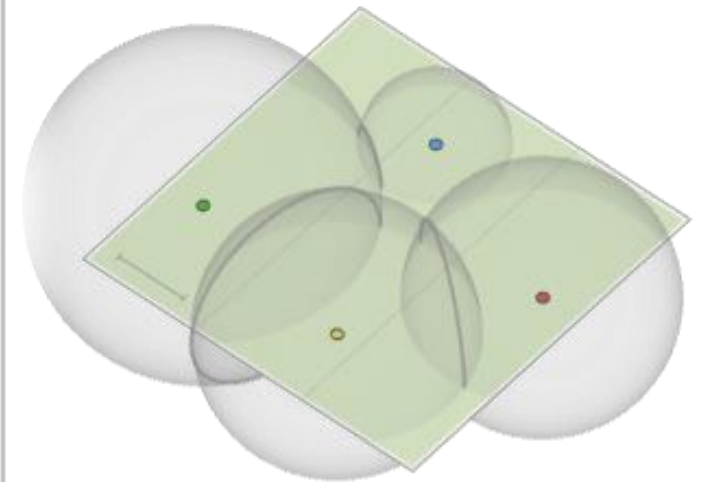
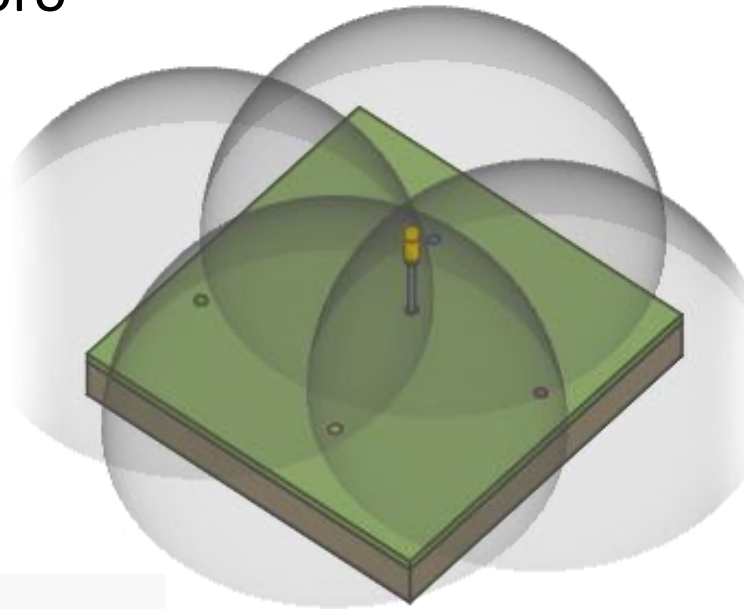
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Постановка задачи в трехмерном пространстве



Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Необходимость четвертого источника

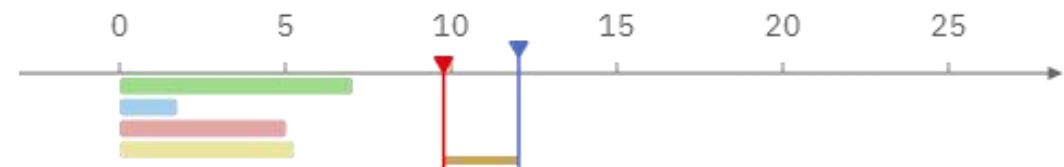


$$\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} = v \times (t_1 - b)$$

$$\sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} = v \times (t_2 - b)$$

$$\sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} = v \times (t_3 - b)$$

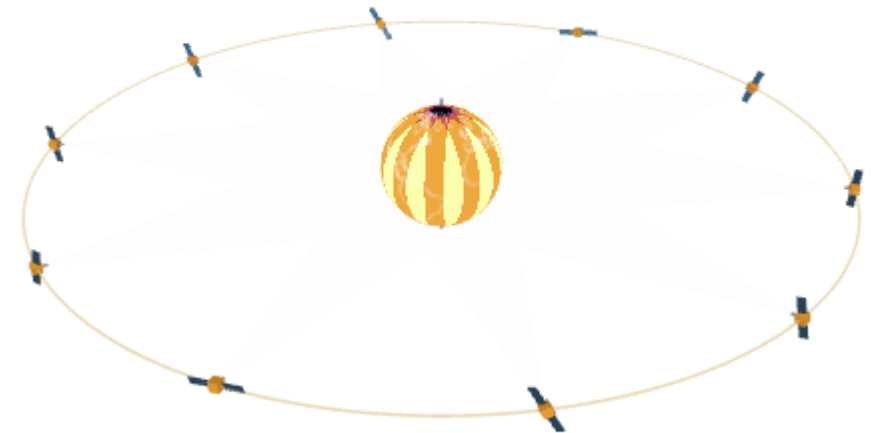
$$\sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} = v \times (t_4 - b)$$





Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

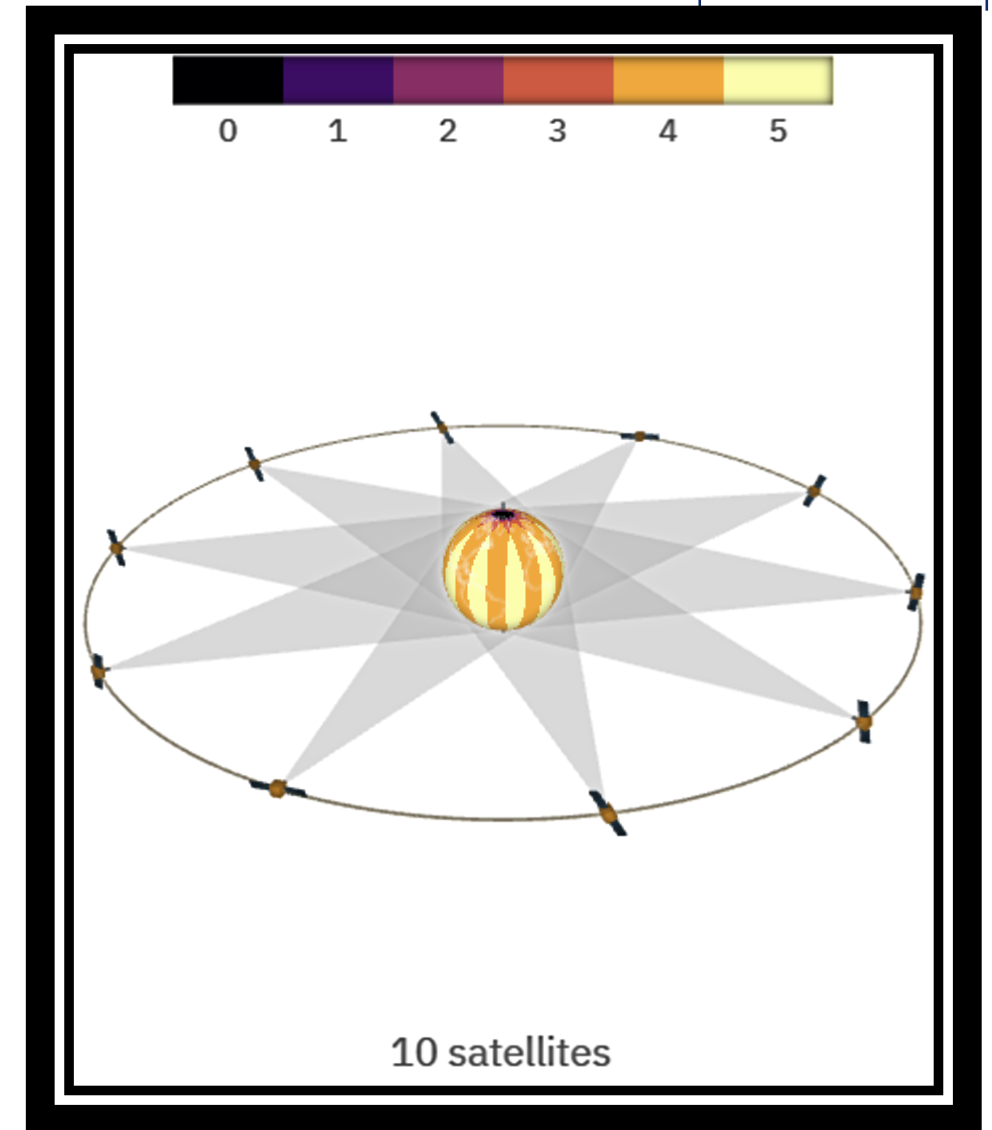
- Размещение источников сигнала



10 satellites

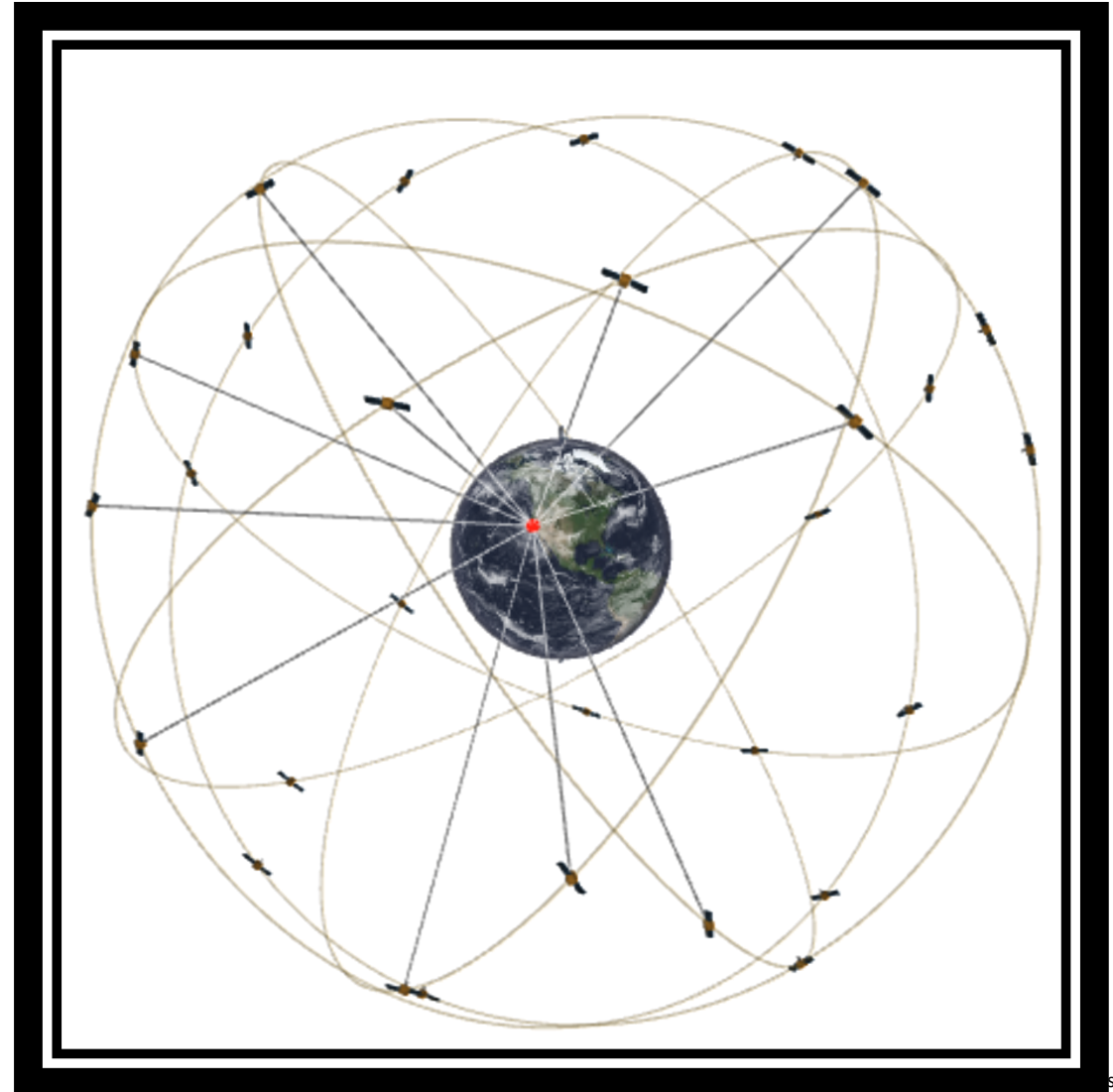
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Размещение источников сигнала



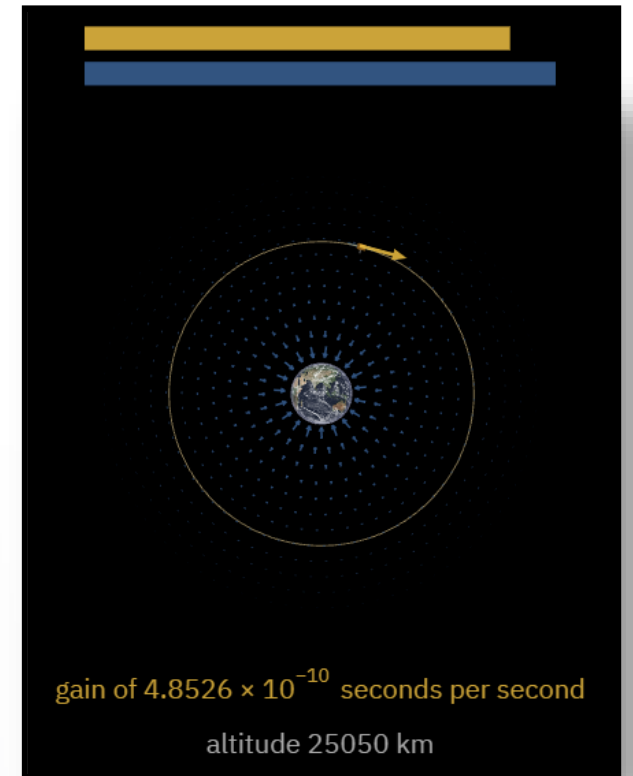
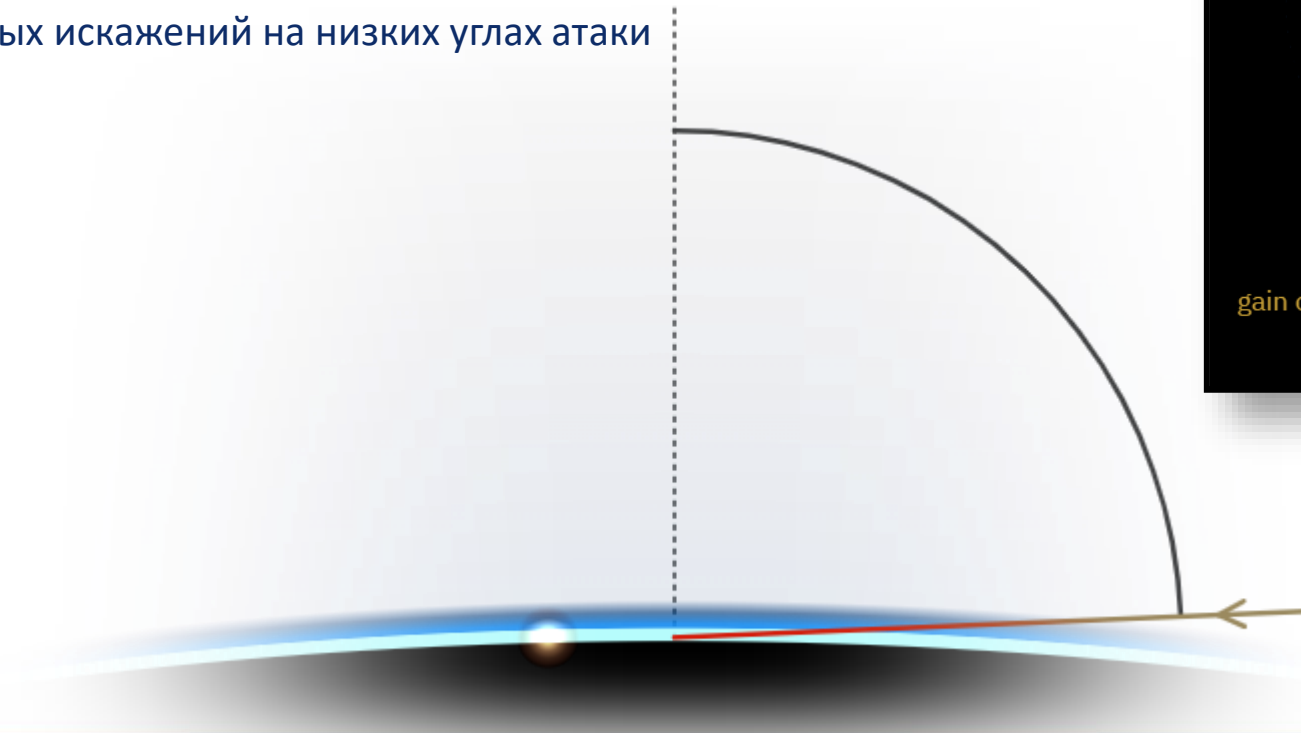
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Размещение источников сигнала



Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Компенсация релятивистских эффектов – замедление времени на спутнике и ускорение времени в связи с высокими скоростями движения
- Компенсация атмосферных искажений на низких углах атаки



Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- Вид передаваемой информации – номер спутника, эфемериды (координаты и скорость спутника), точное время на спутнике

TLM	HOW	Clock corrections, health
TLM	HOW	Ephemeris
TLM	HOW	Ephemeris
TLM	HOW	Almanac/other – page 1
TLM	HOW	Almanac – page 1

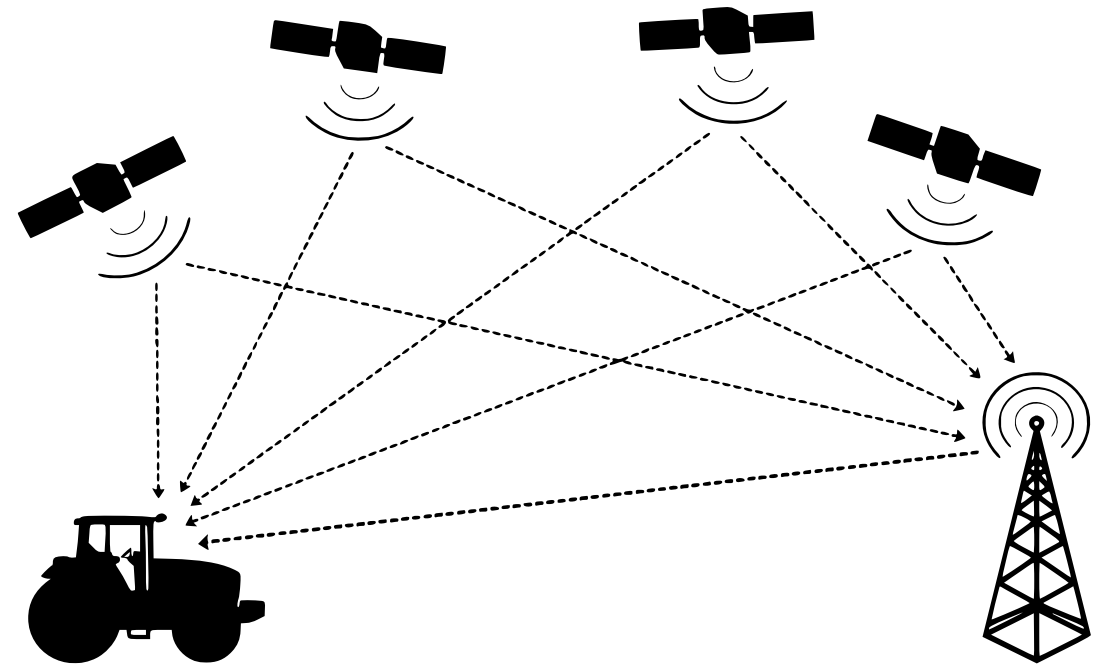
TLM	HOW	Clock corrections, health
TLM	HOW	Ephemeris
TLM	HOW	Ephemeris
TLM	HOW	Almanac/other – page 2
TLM	HOW	Almanac – page 2

...

TLM	HOW	Clock corrections, health
TLM	HOW	Ephemeris
TLM	HOW	Ephemeris
TLM	HOW	Almanac/other – page 25
TLM	HOW	Almanac – page 25

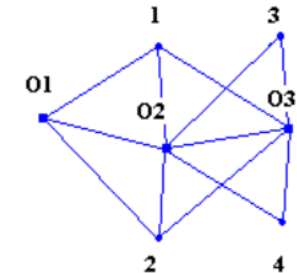
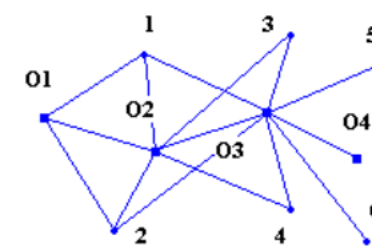
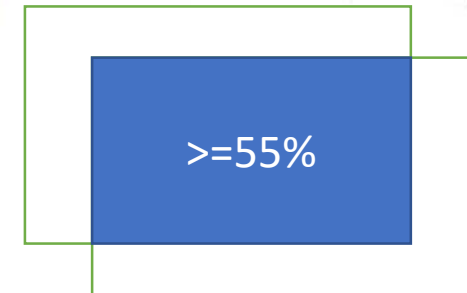
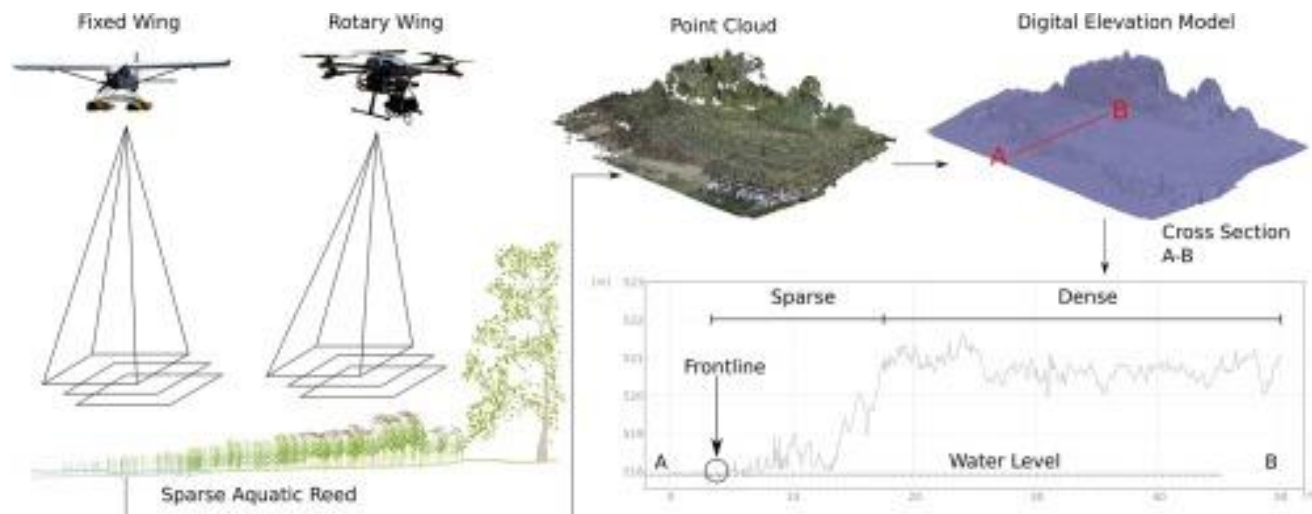
Системы глобального спутникового позиционирования GNSS и GPS

- RTK (real-time kinematics, кинематика реального времени) – высокоточное позиционирование с передачей поправок от базовой станции



Аэрофотосъемка и ортофотопланы

- Стереоскопатор
- АФС с БПЛА – structure-from-motion (орторектификация)
- Построение ЦММ





ий

мка

Технические методы и средства в географических исследованиях

Геодезия и картография

24

Разреженное (а) и плотное (б) облака точек,
модель местности (в) и ортофотоплан (г)
тестового участка



(а)



(б)



(в)



(г)



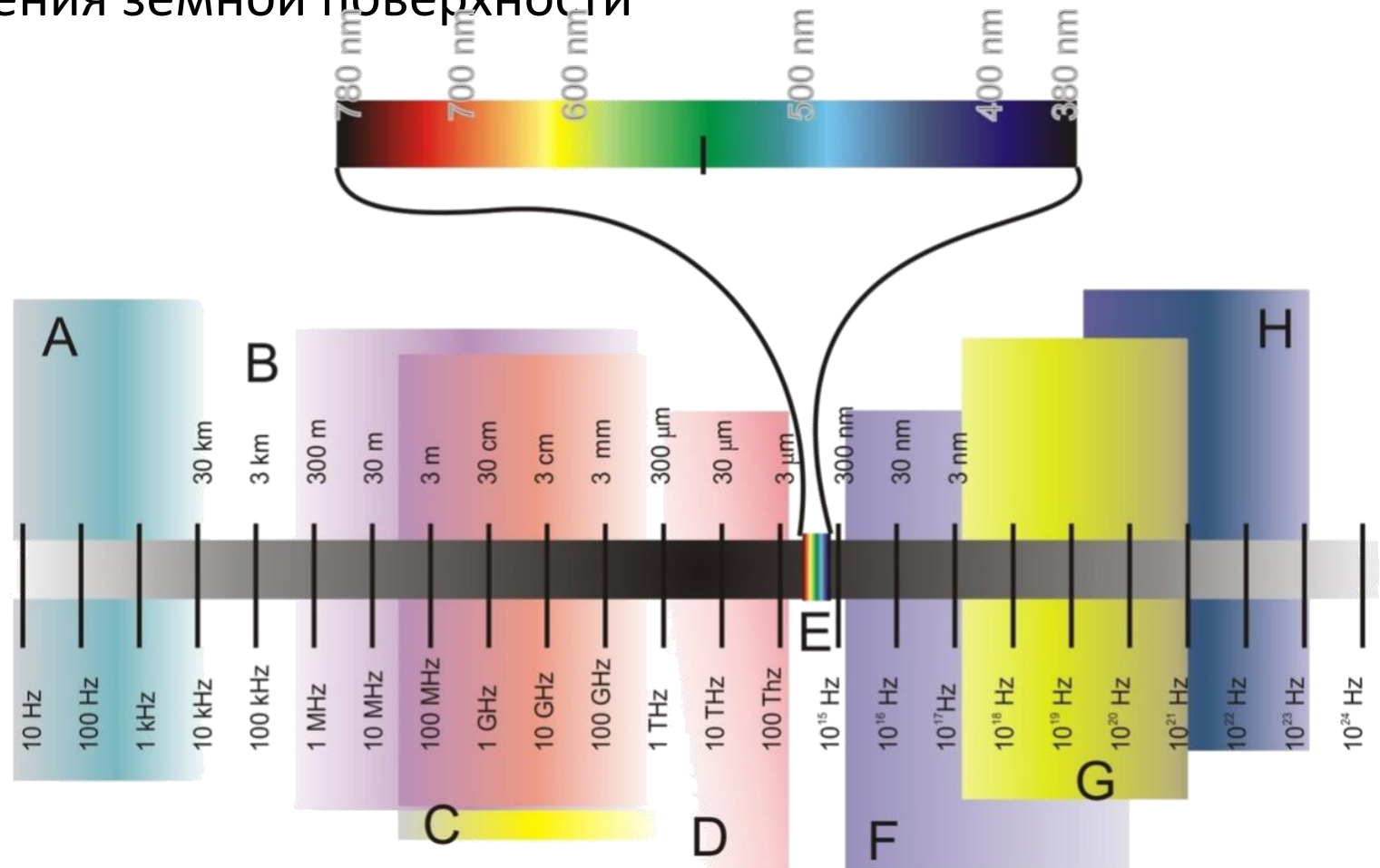
Дистанционные методы измерения земной поверхности

Радарная съемка

Лидарная съемка

Гравиметрическая съемка

- А – акустические волны (16 Гц – 20 кГц)
- В – радиоволны
- С – микроволны
- D – инфракрасные волны
- E, I – видимый свет
- F – ультрафиолетовое излучение
- G – рентгеновское излучение
- H – гамма-излучение



Радарная съемка земной поверхности

RADAR – RADio Detection And Ranging – радиочастотное обнаружение и измерение расстояния

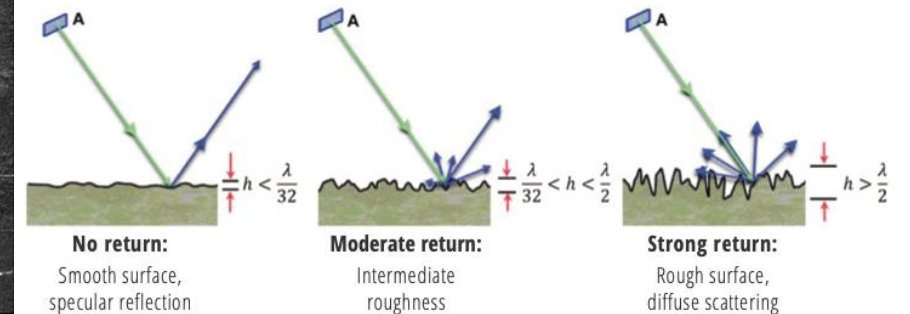
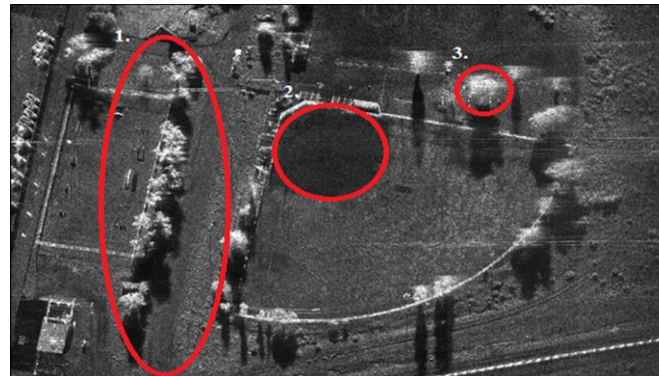
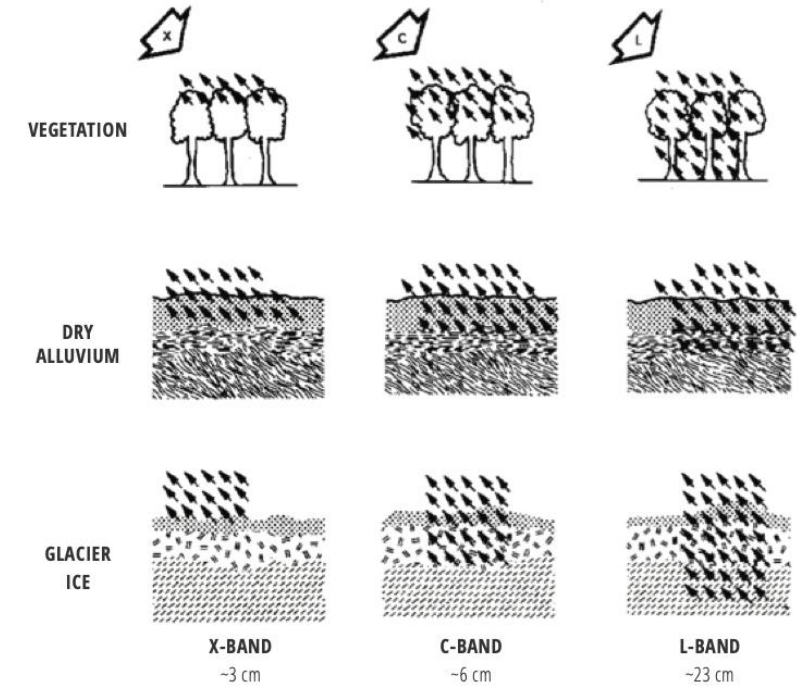
- обнаружение целей и вычисление расстояния до них
- Ограничения L_{min} и L_{max}
- Нет ограничений по времени работы (день/ночь)
- Активный способ измерения характеристик поверхности
- Может проникать сквозь облачность, растительность и почву, отражать характеристики поверхности



Радарная съемка земной поверхности

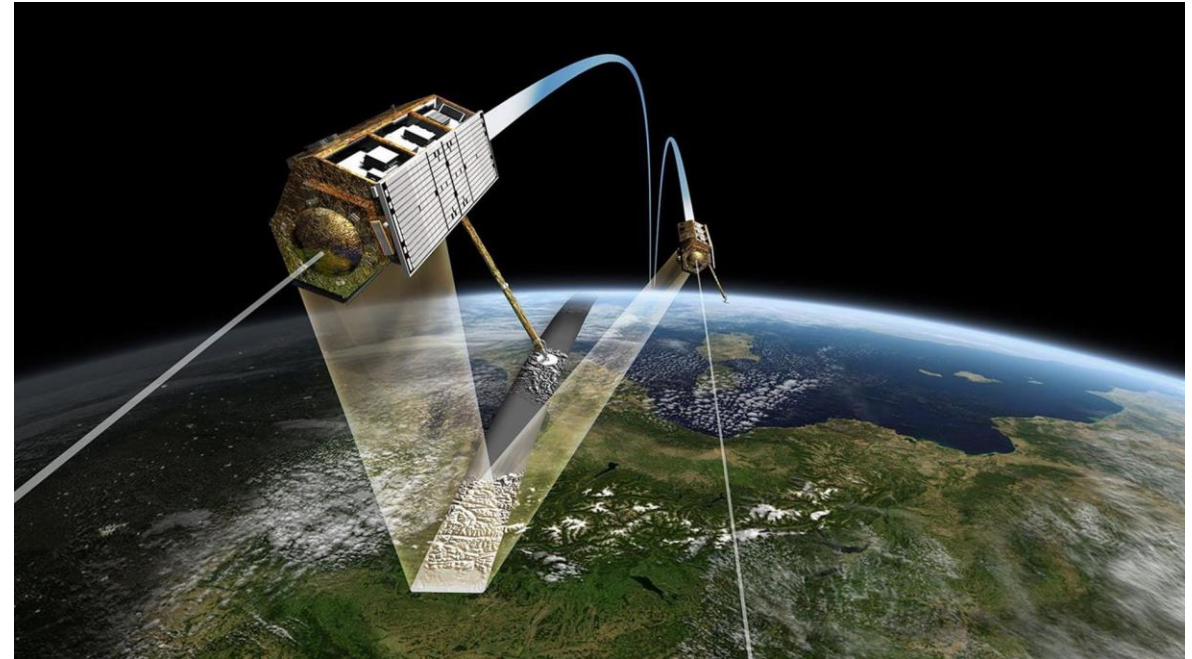
SIR - Spaceborne Imaging Radar

- Синтезированная апертура
- Длина волны $\lambda = v/f$, v — скорость, f — частота
- X-band (~3 см), C-band (~6 см), L-band (~23 см)



Радарная съемка земной поверхности

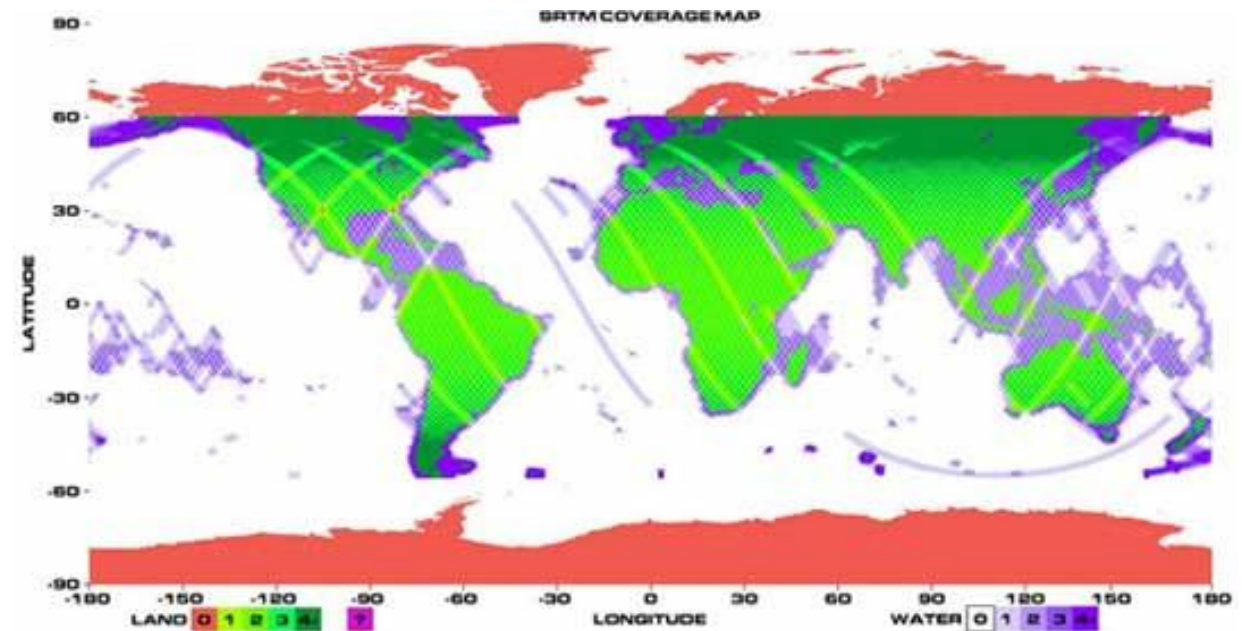
- 1997 – GTOPO30 (5' – 30'', 10 – 1 км)
- 2004 – SRTM (3'', 90 м)
- 2009 – ALOS (1', 30 м)
- 2016 – ALOS World 3D (5 м)*
- 2016 – TanDEM-X DEM (12 м)*
- Продукты: SRTM (1,2,3), MERIT DEM, TanDEM-X, FABDEM



Радарная съемка земной поверхности

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission (2000 – 2004, NASA)

- 56° ю.ш. – 60° с.ш.
- 90 метров (3")
- 3 версии с уточнениями до 30 м (1") – 2014
- Высота орбиты = 225 км
- Ширина полосы сканирования 15–90 км, угол +/- 23 °
- Частота 10, 20, 40 Гц
- 1395–1736 импульсов/сек



Радарная съемка земной поверхности

ALOS (Advanced Land Observing Satellite)

- Высота орбиты 692 км
- Разрешение 2.5 м
- Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)
- Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2),
- Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)





Радарная съемка земной поверхности

TerraSAR-X and TanDEM-X

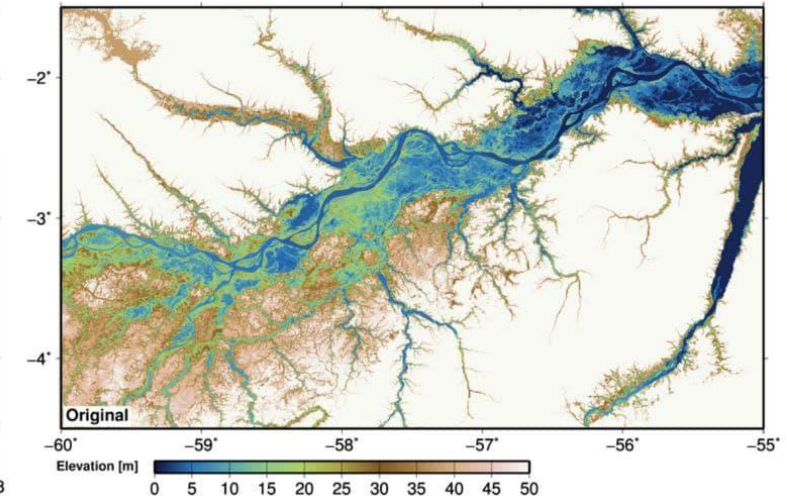
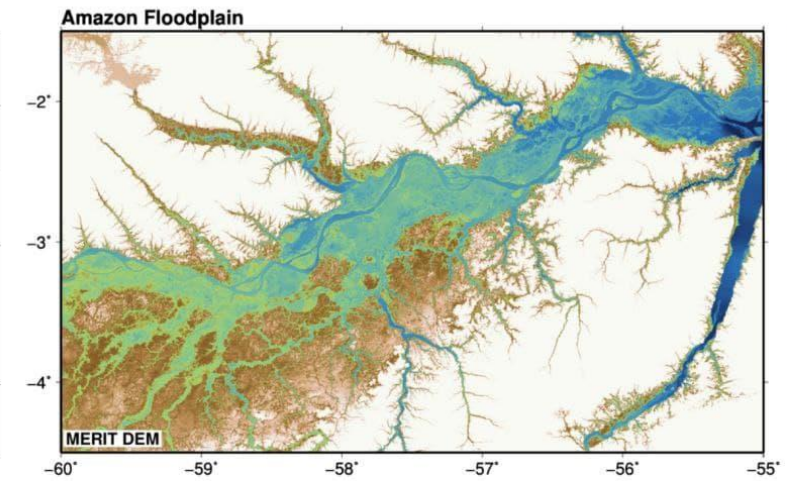
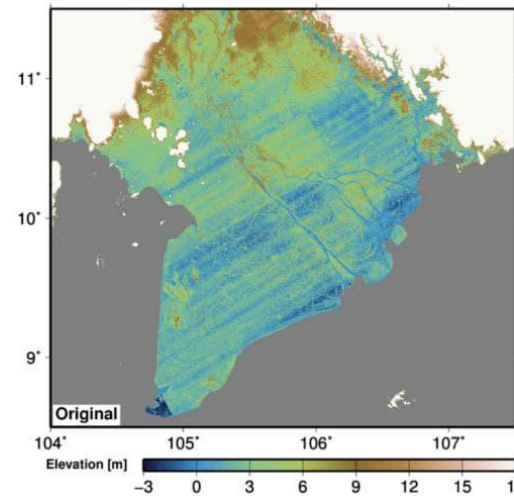
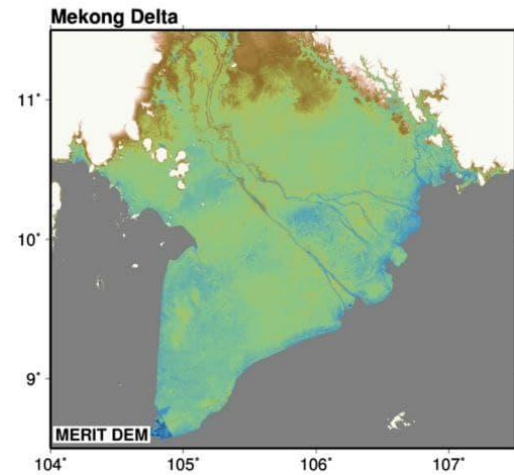
- Высота орбиты 514 км
- Разрешение 2x1 м
- 5 (10) x 10 км



Радарная съемка земной поверхности

MERIT DEM

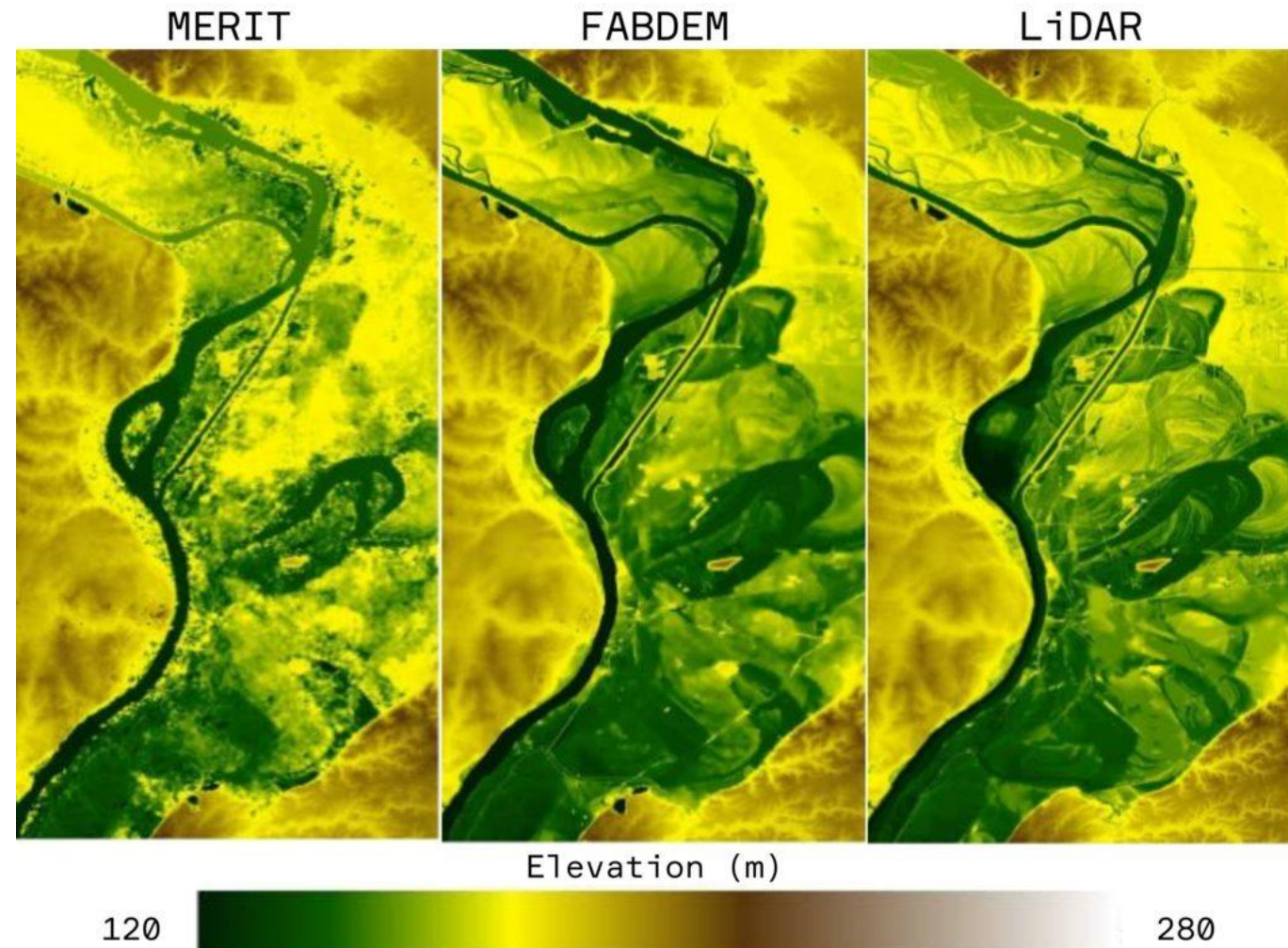
- Multi-Error-Removed Improved-Terrain DEM



Радарная съемка земной поверхности

FABDEM

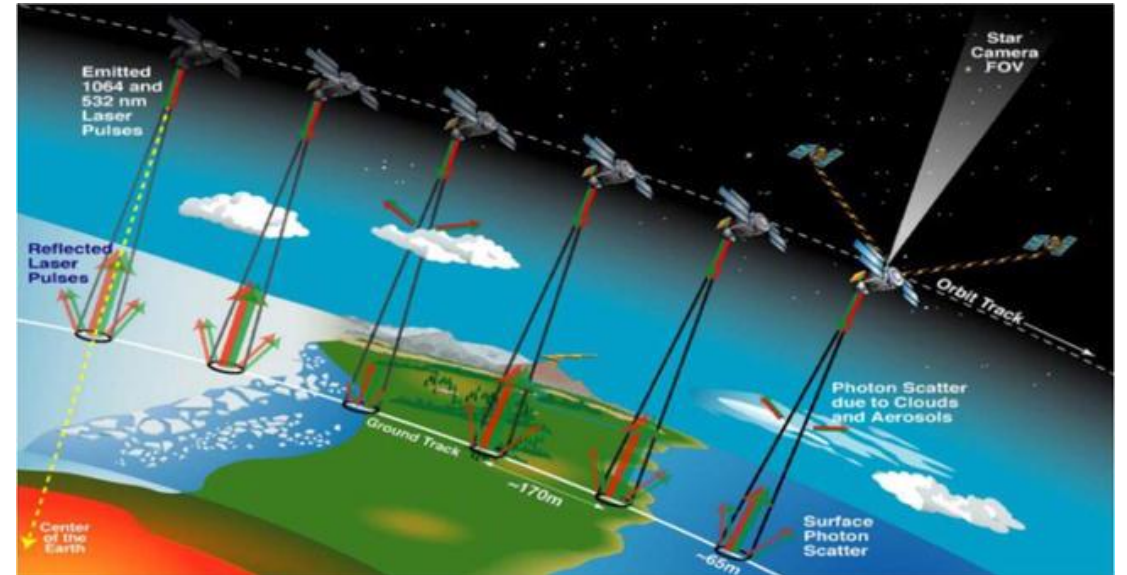
- Forest And Buildings removed DEM



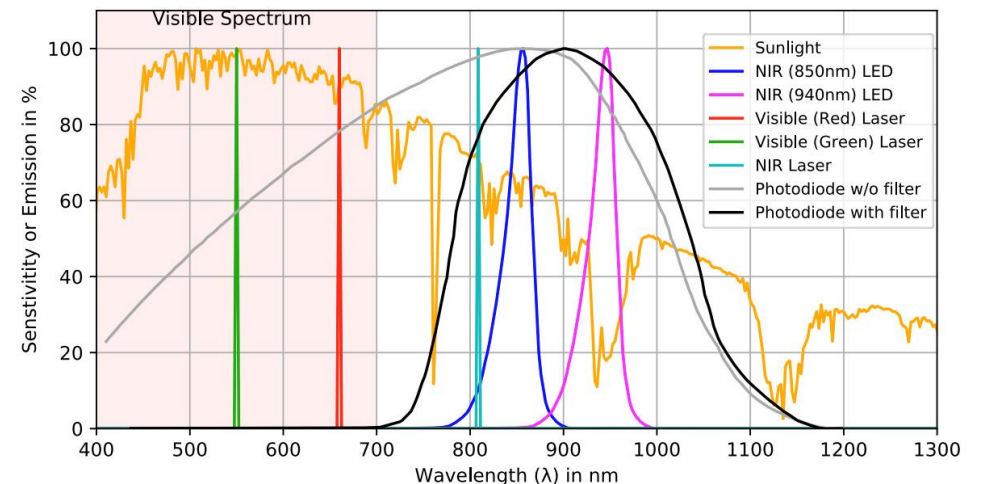
Лидарная съемка земной поверхности

LiDAR – Light Detection And Ranging – обнаружение и измерение расстояния с помощью света

- Импульсы когерентного света 500 – 1000 нм
- Более точное сканирование, чем радар
- Больше ограничений (погода)



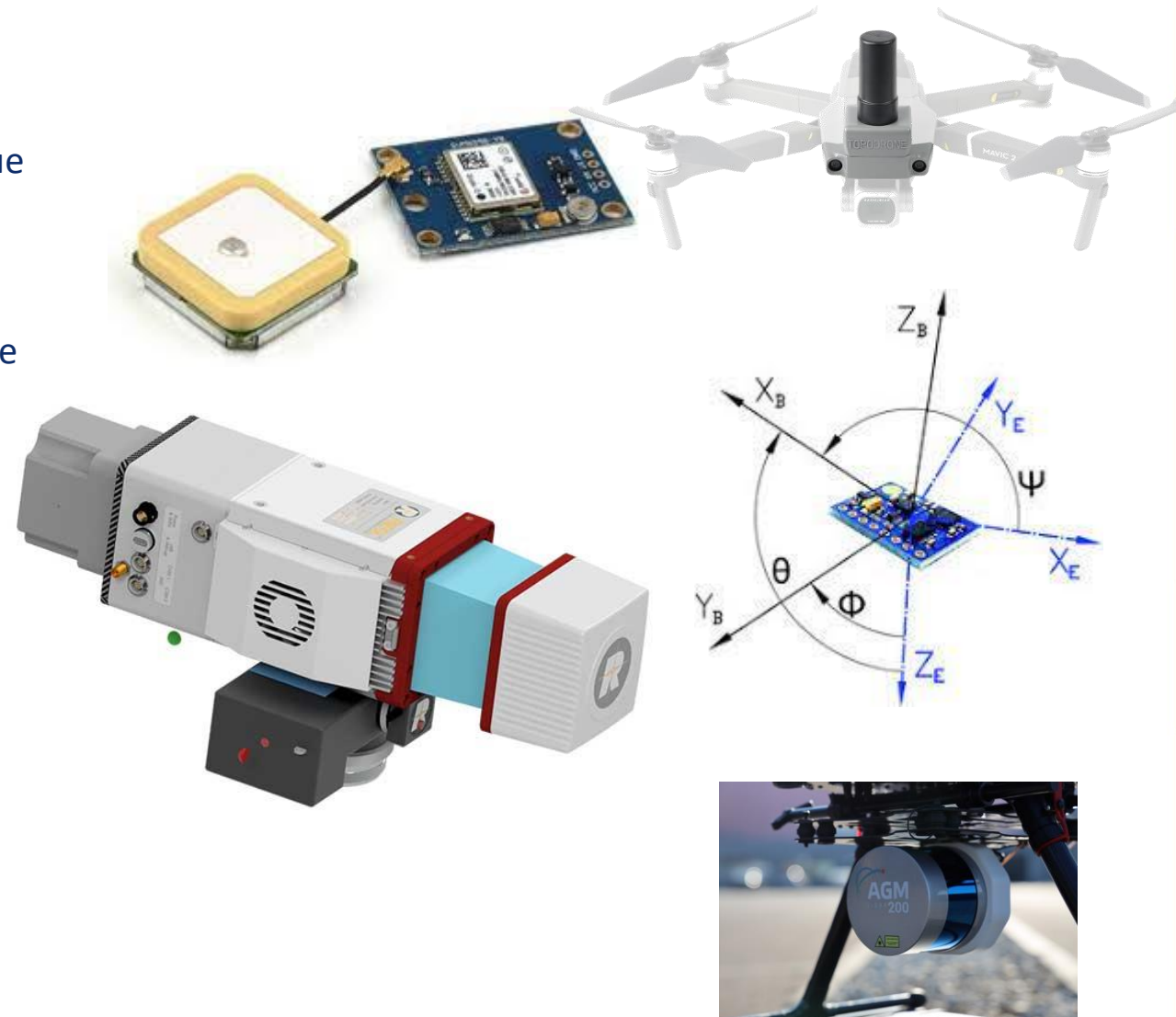
Normalized Spectral Sensitivity(Photodiodes)/Emission(Emitters) for components



Лидарная съемка земной поверхности

LiDAR – Light Detection And Ranging – обнаружение и измерение расстояния с помощью света

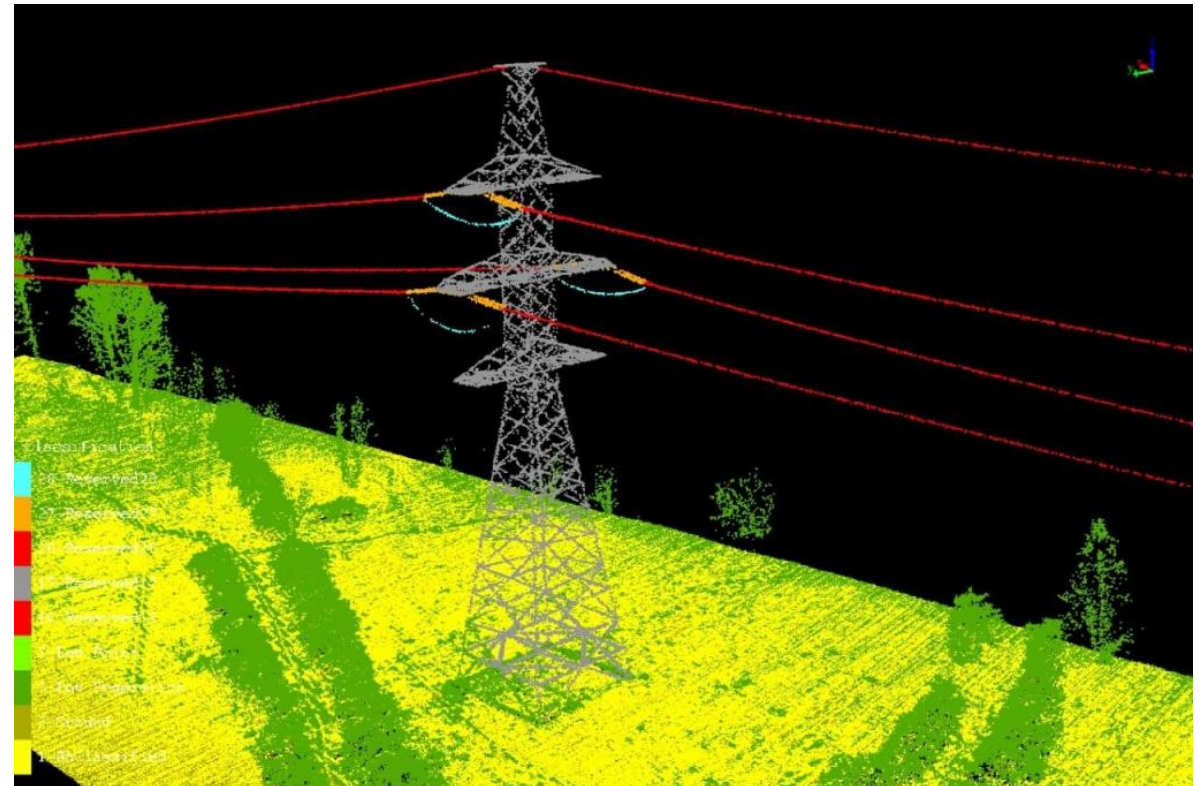
- GPS
- IMU – Inertial measurement unit (инерционное измеряющее устройство)
- Источник и приемник излучения (+зеркало)
- Вычислительное устройство – (микро)компьютер



Лидарная съемка земной поверхности

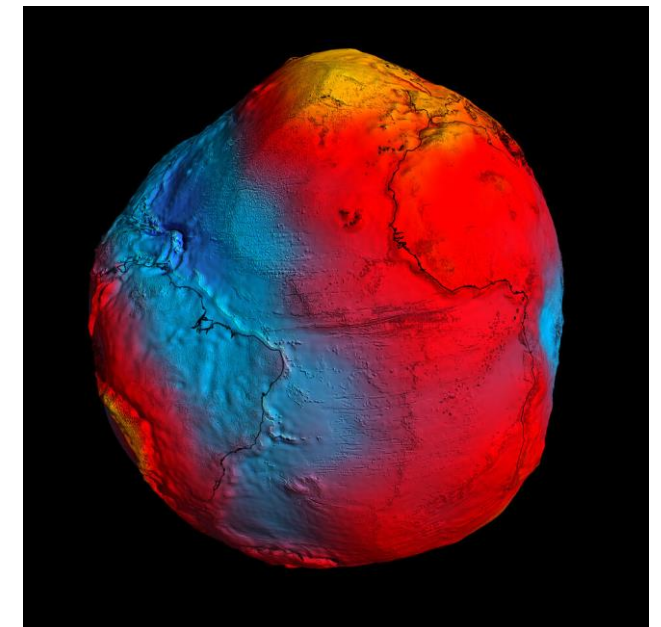
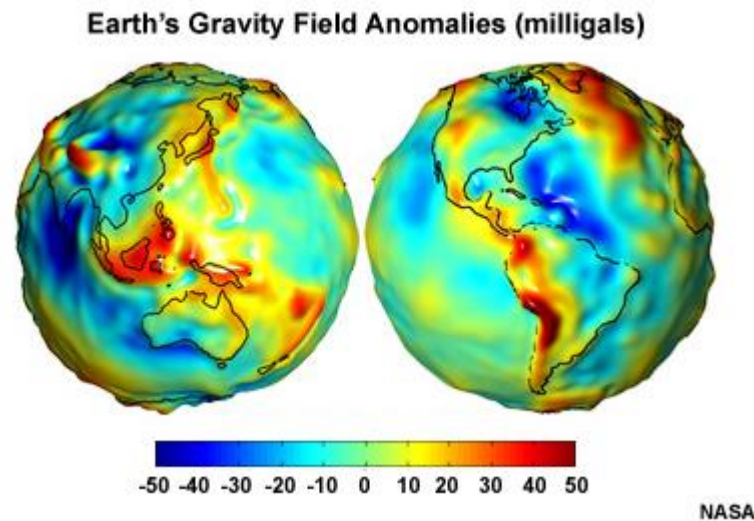
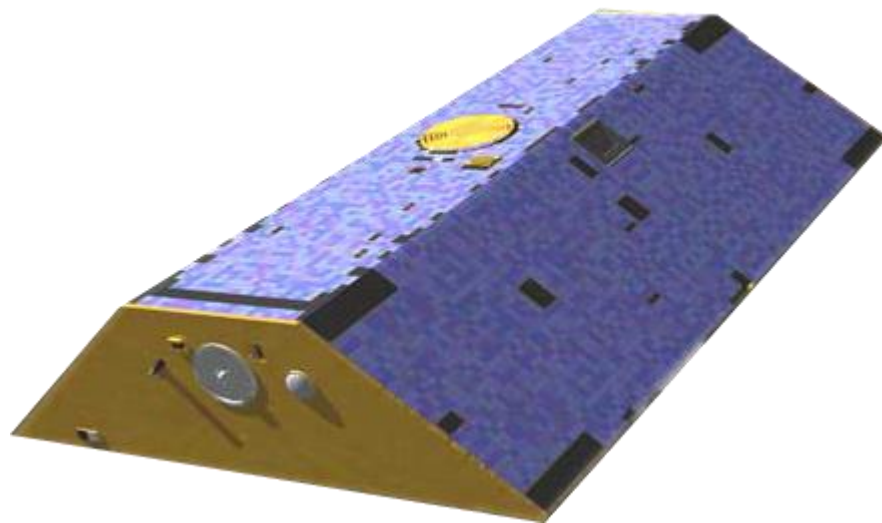
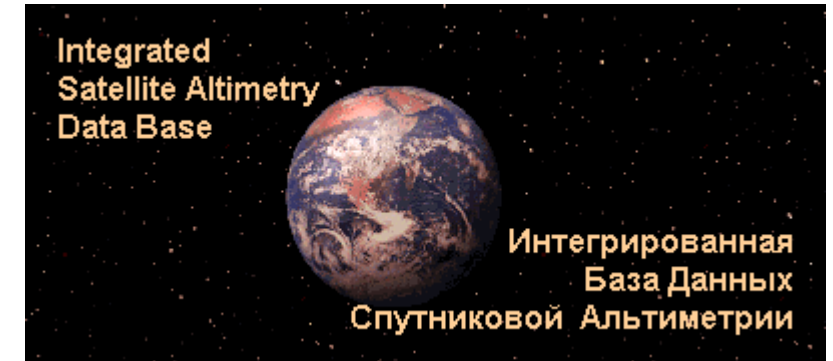
LiDAR – Light Detection And Ranging – обнаружение и измерение расстояния с помощью света

- Облака точек местности высокой плотности (разрешения)



Гравиметрическая съемка

- 1985 – 1995 ГЕОИК (МО СССР – РФ), Геофизический Центр РАН
- ESA GOCE
- NASA GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment)

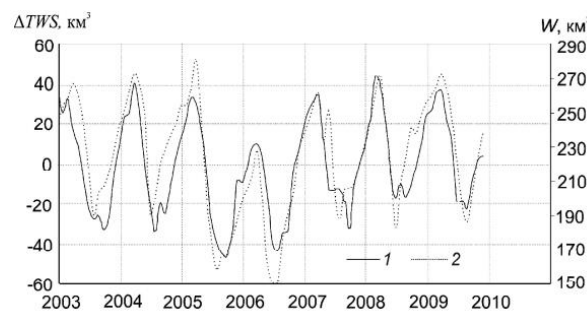
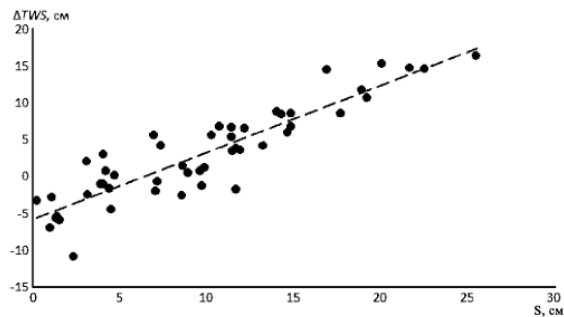




GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment)

2002 – 2017

- Два спутника, измеряющие расстояние между ними
- Точные системы позиционирования – GPS, IMU, астрокамеры
- Точность измерения 0.01 Гал (0.0001 м/с^2)
- Интерпретация данных – гравитационное поле, движение литосферы, вариация поверхности моря
- Водные ресурсы



BlackJack GPS rece



K-Band Horn



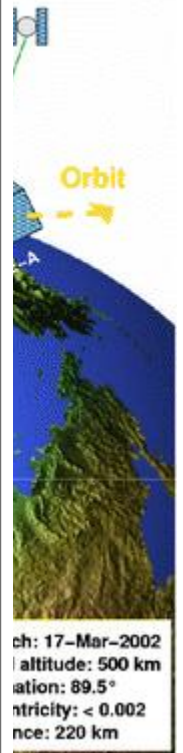
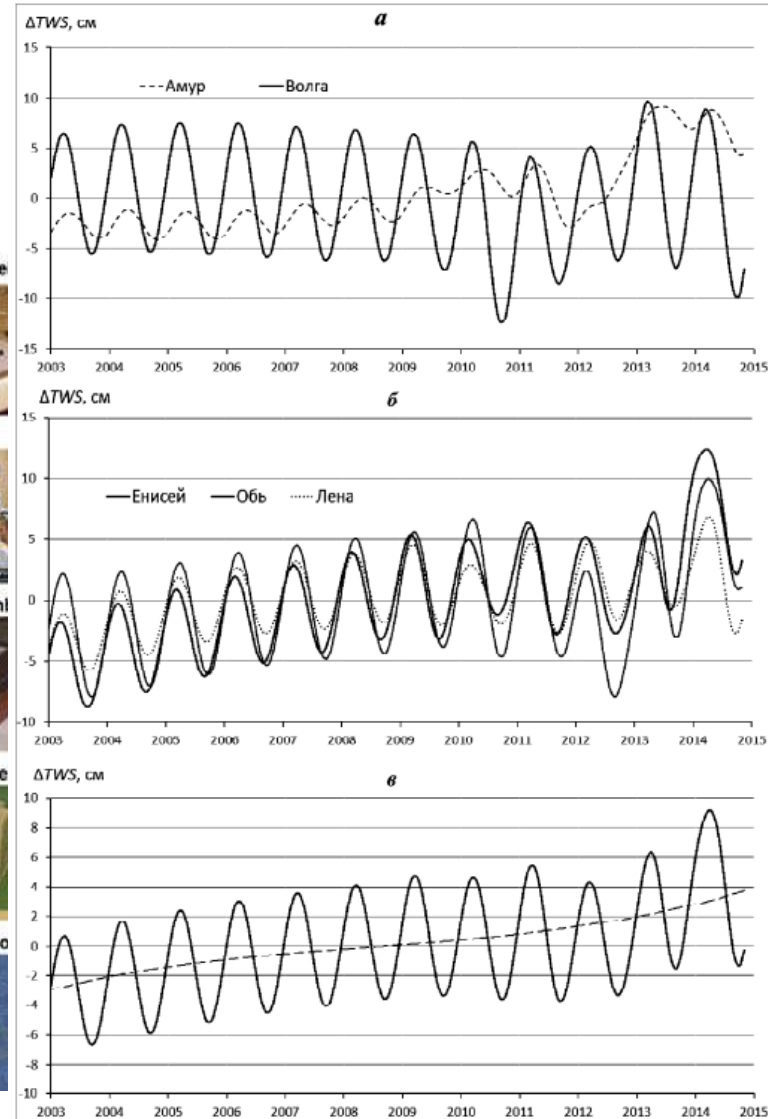
Star Camera Assembl



SUPERSTAR Accele



Laser Retro Reflecto





Домашнее задание

Тест! Ссылка на почту в ближайшее время...

