Геоинформационные системы

Лекция 2. Позиционирование и навигация

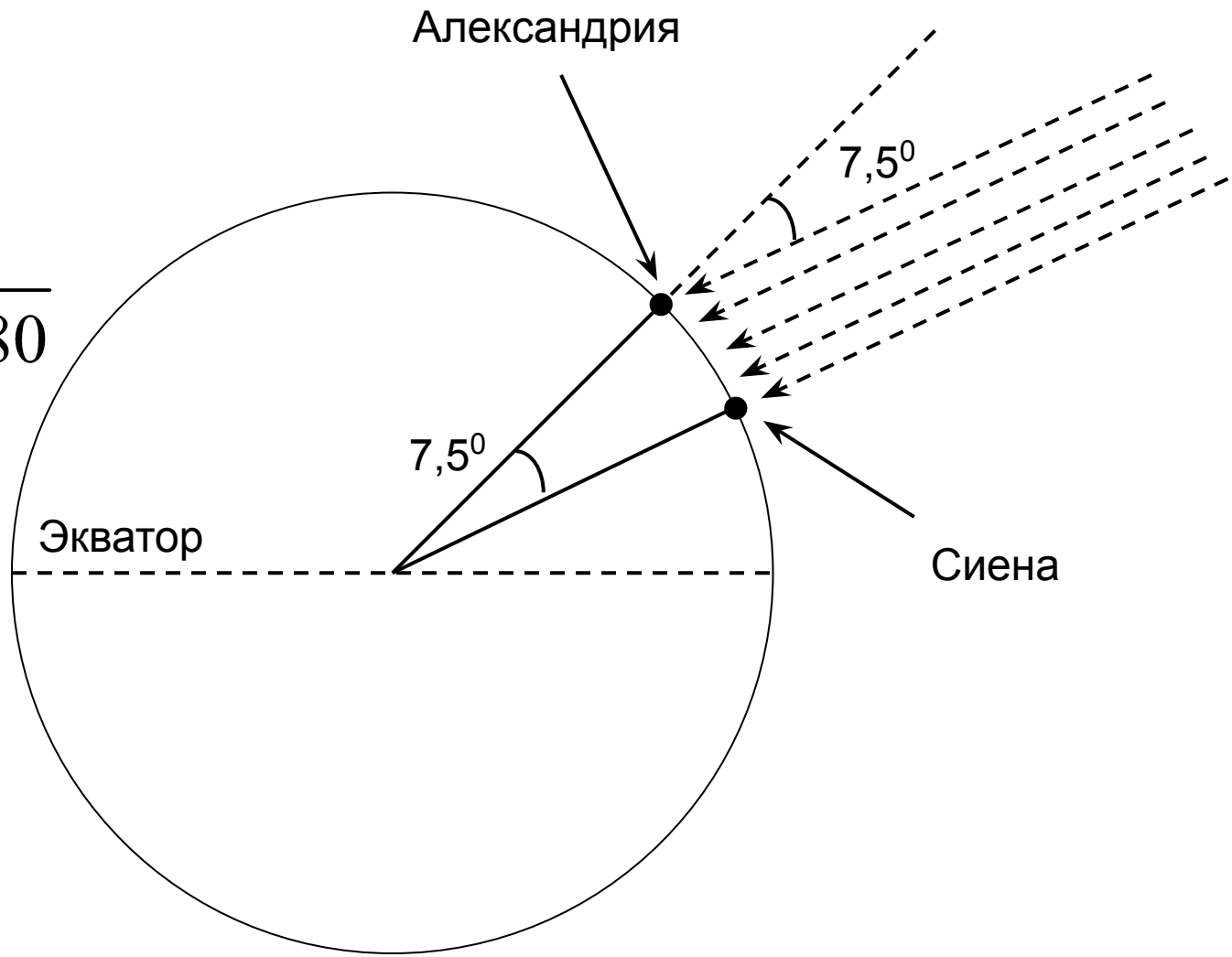
Вопросы

- Какие задачи выполняют ГИС?
- Что такое географические и атрибутивные данные?
- Что такое «Проекция» (**projection**) в смысле геоинформационных систем?
- В чём отличие ГИС от графических редакторов?

А земля-то круглая!

Эратосфен:
R=6400 км.

$$R = \frac{l}{\pi / 180}$$



Маятник Фуко

- свободное крепление маятника
- тяжёлый груз
- отсутствие влияния ветра
- Отсутствие бокового толчка при запуске маятника

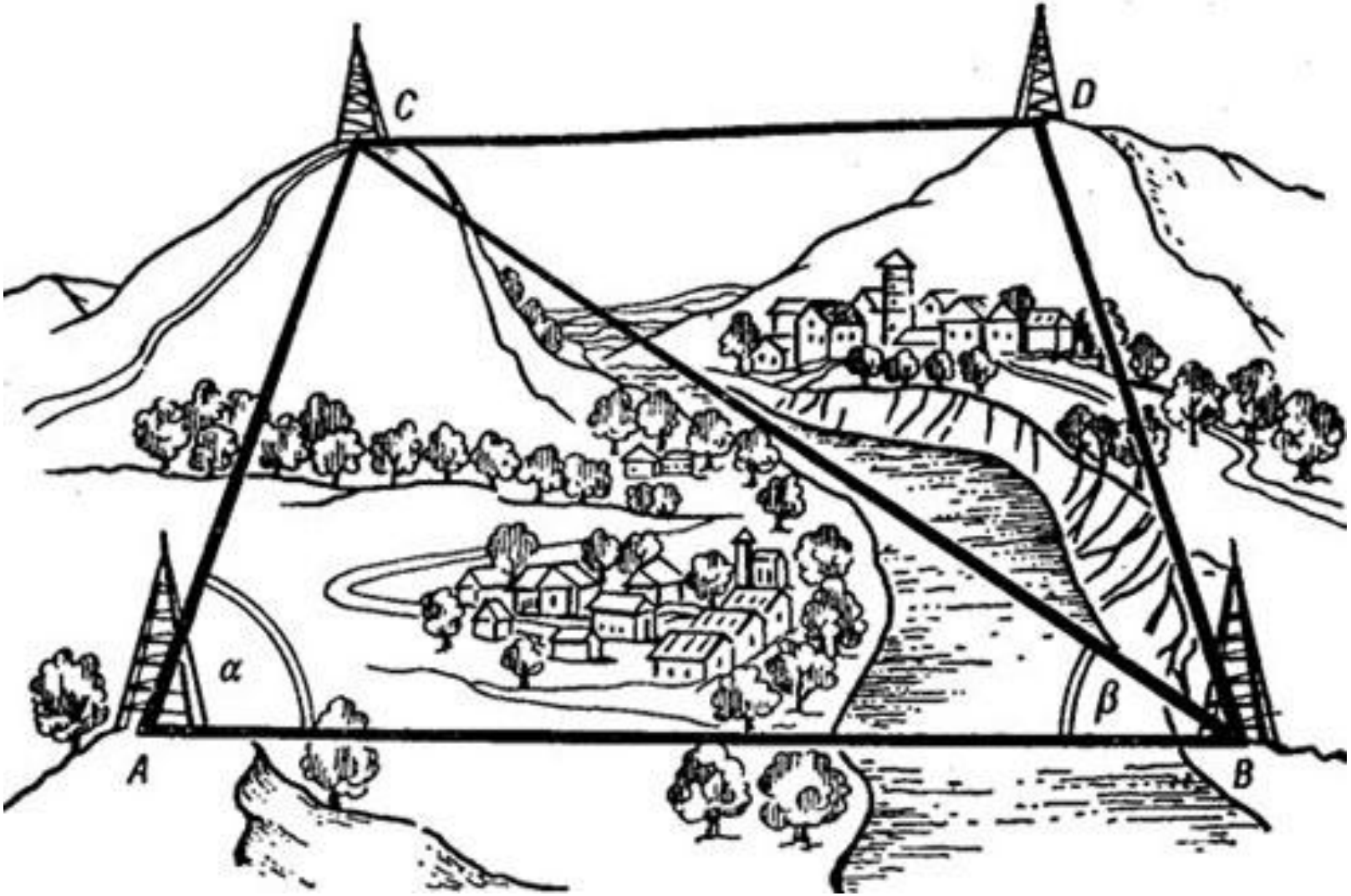
Географическая оболочка

целостная и непрерывная оболочка Земли, где её составные части проникают друг в друга и находятся в тесном взаимодействии. Между ними происходит непрерывный энергетический, минеральный и информационный обмен

<u>Состав</u>:

- Земная кора
- Тропосфера
- Стратосфера
- Гидросфера
- Биосфера
- Стратисфера

Триангуляция



Сферическая система координат

ISO 31-11:

***r* ≥ 0** — расстояние от начала координат до заданной точки *P*.

0 ≤ *θ* ≤ 180° — угол между осью Z и отрезком, соединяющим начало координат и точку *P*.

0 ≤ *φ* ≤ 360° — угол между осью X и проекцией отрезка, соединяющего начало координат с точкой *P*, на плоскость XY

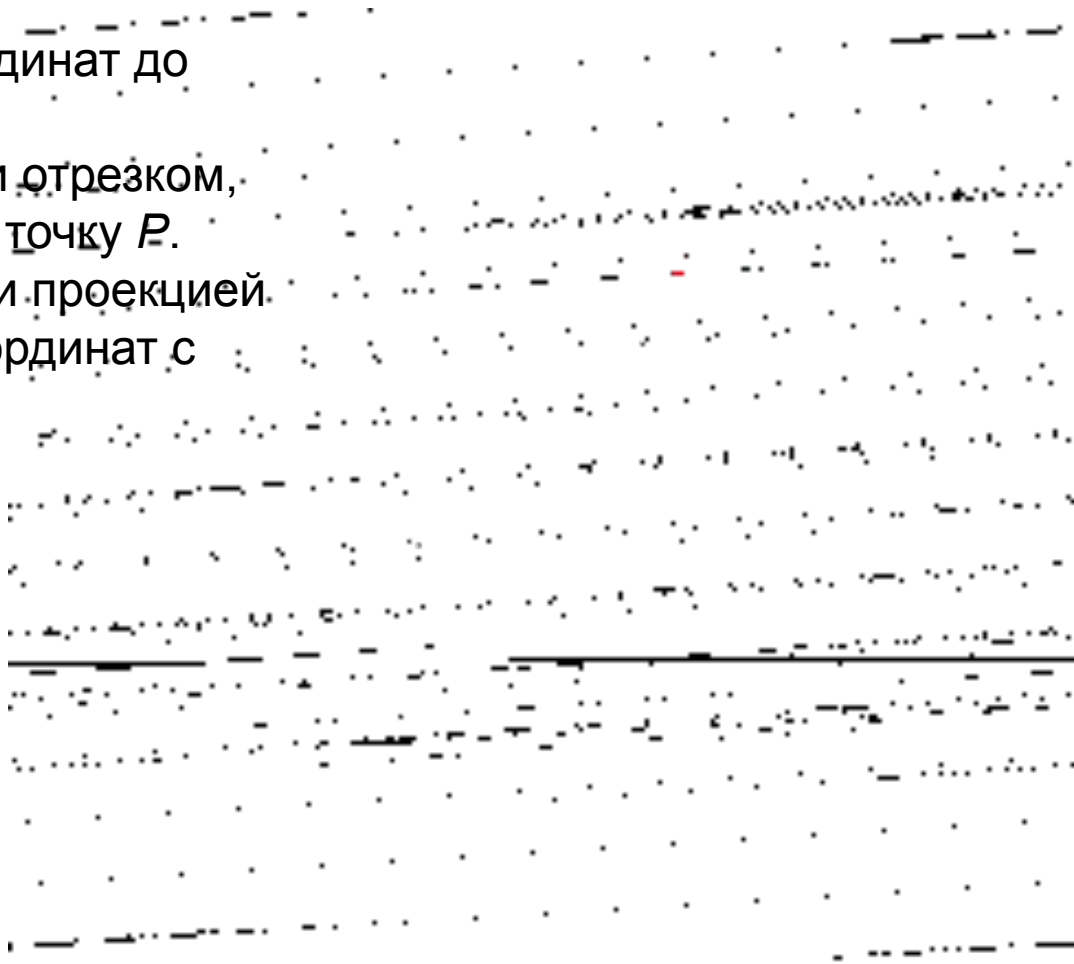
θ – зенитный (полярный) угол

φ – азимутальный угол

$$x = r\sin\theta\cos\varphi$$

$$y = r\sin\theta\sin\varphi$$

$$z = r\cos\theta$$

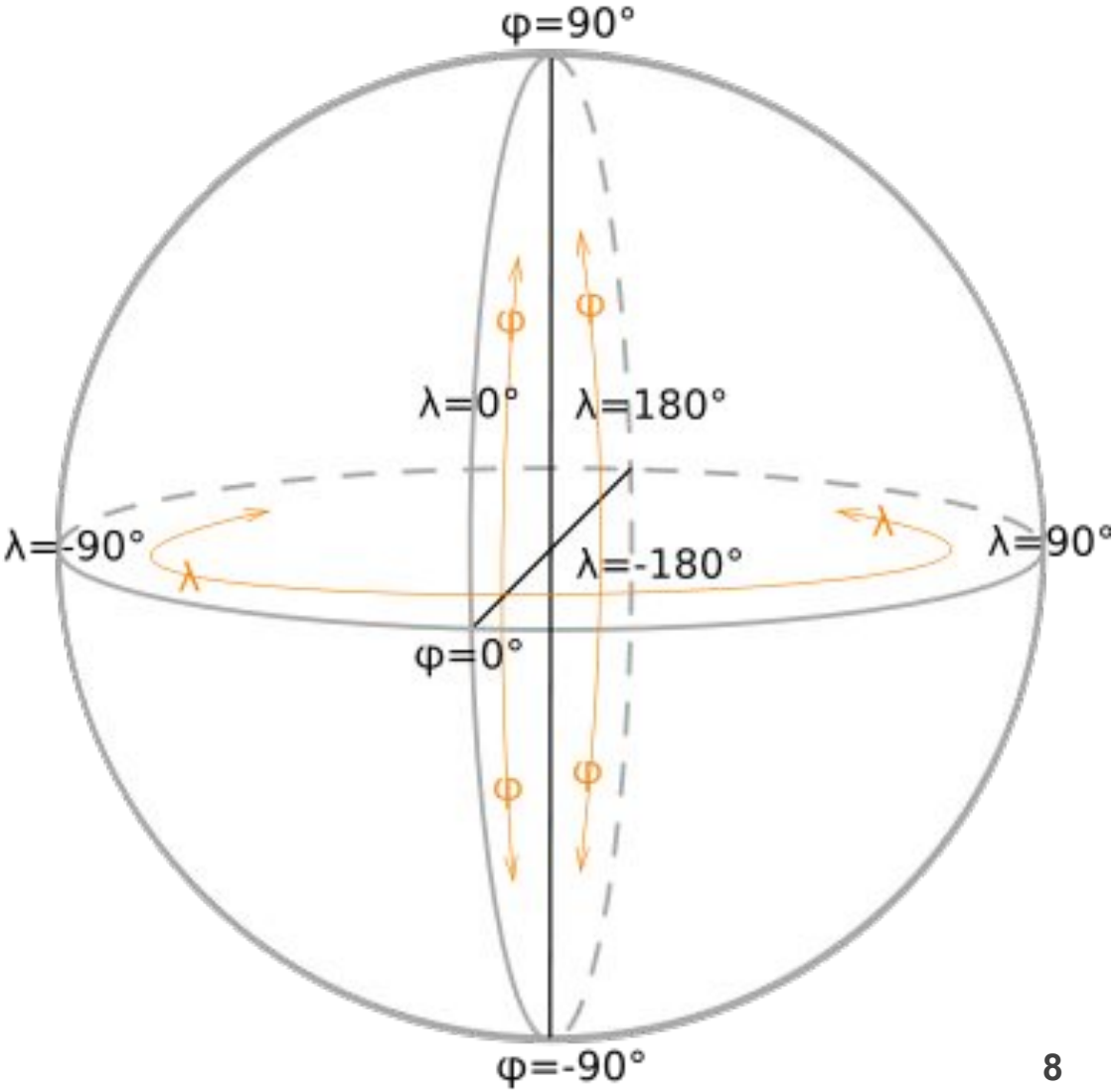


Географические координаты

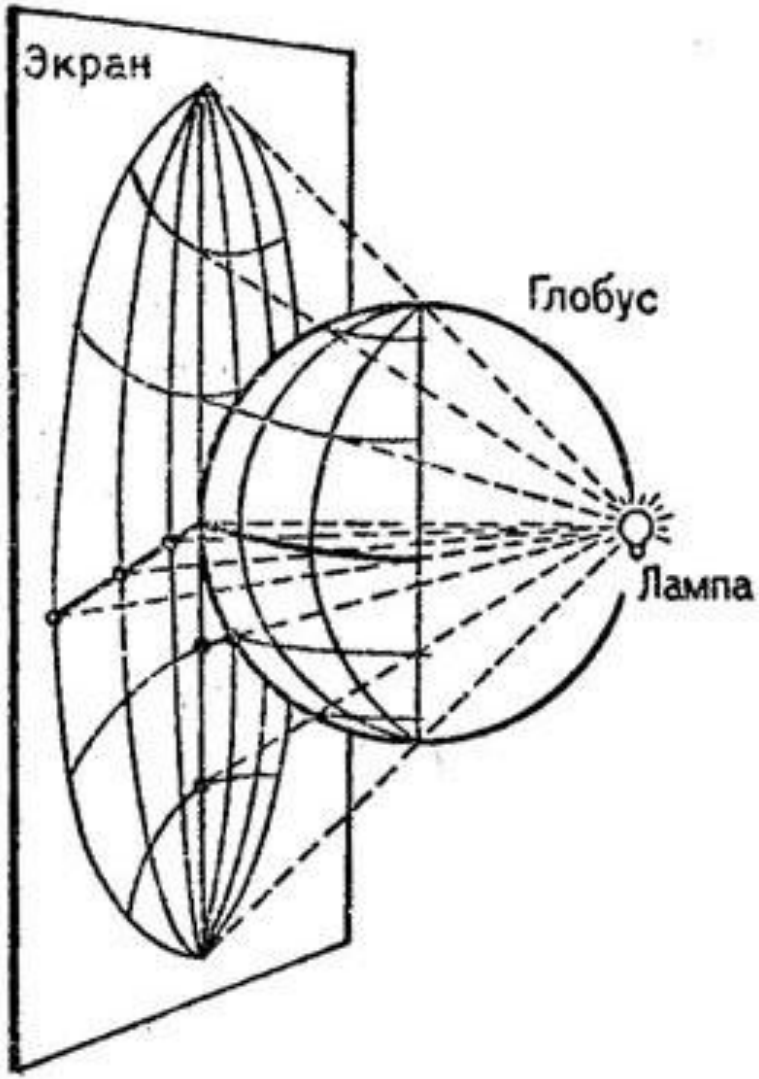
Широта́ — угол между местным направлением зенита и плоскостью экватора

Долгота́ — угол между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального нулевого меридиана, от которого ведётся отсчёт долготы

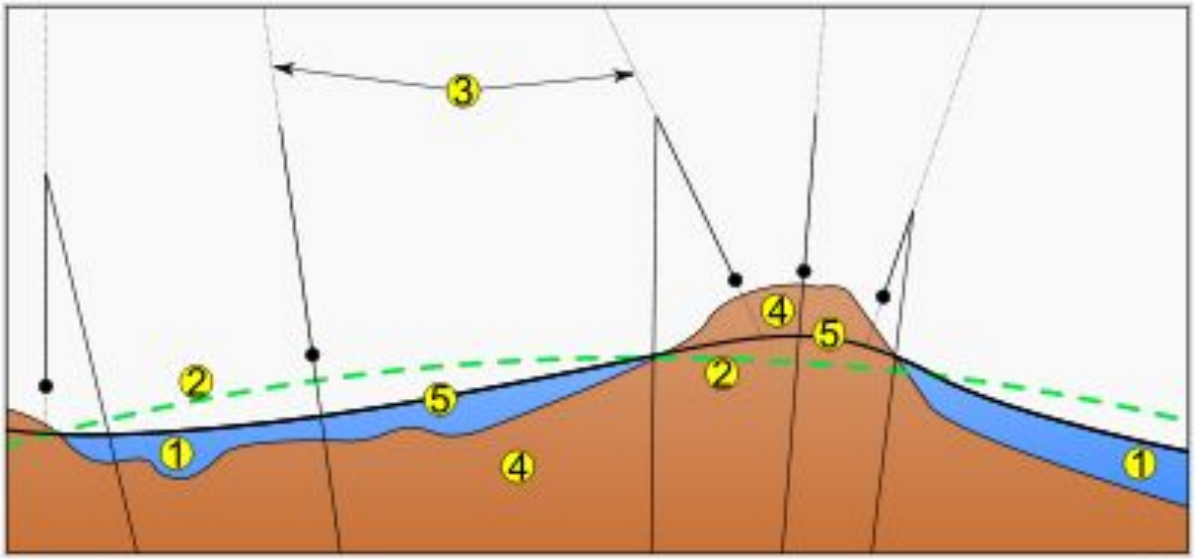
Высота́ над уровнем моря



Проекция земли



Геоид



1. Мировой океан
2. Земной эллипсоид
3. Отвесные линии
4. Тело Земли
5. Геоид

- фигура, которую образовала бы поверхность Мирового океана и сообщающихся с ним морей при некотором среднем уровне воды, свободной от возмущений
приливами, течениями, разностями атмосферного давления и т.д.

Квазигеоид

— фигура, предложенная в 1950-х г.г. русским учёным М. С. Молоденским в качестве строгого решения задачи определения фигуры Земли. Квазигеоид определяется по измеренным значениям потенциалов силы тяжести

- Совпадает с геоидом на территории мирового океана
- Отклоняется не более чем на 2 м. на суше

Земной эллипсоид

- *эллипсоид вращения, размеры которого подбираются при условии наилучшего соответствия фигуре квазигеоида для Земли в целом или отдельных её частей*

Виды:

- общеземной эллипсоид
- референц-эллипсоид

Параметры:

- большая полуось (экваториальный радиус) эллипсоида, *a*
- малая полуось (полярный радиус), *b*
- геометрическое (полярное) сжатие , $f = \frac{a - b}{a}$

Общеземной эллипсоид

- Малая полуось должна совпадать с осью вращения Земли.
- Центр эллипсоида должен совпадать с центром масс Земли.
- Высоты геоида над эллипсоидом h_i должны подчиняться условию наименьших квадратов:

$$\sum_i \boldsymbol{h}_i^2 = \min$$

Современные общеземные эллипсоиды

- **GRS80** (Geodetic Reference System 1980)
  - рекомендован для геодезических работ;
- **WGS84** (World Geodetic System 1984)
  - применяется в GPS
- **ПЗ-90** (Параметры Земли 1990 года)
  - на территории России для геодезического обеспечения орбитальных полетов, в ГЛОНАСС
- **IERS96** (International Earth Rotation Service 1996)
  - рекомендован Международной службой вращения Земли для обработки наблюдений

Почему так много?

- Доступные технологии измерения
- Место исследований
- Картируемая область
- Политические причины (Страны Варшавского договора против НАТО)

<u>Средние значения:</u>

Экваториальный радиус: 6,378km

Полярный радиус: 6,357km

ARCINFO поддерживает 26 сфероидов

Референц-эллипсоид (национальный)

Приближение формы поверхности земли эллипсоидом вращения

- Используются для учёта особенностей отдельной страны
- Не совмещены с центром масс Земли
- Устанавливают квазигеоцентрические координаты
- Различия координат геоцентрических и квазигеоцентрических систем могут превысить сотню метров

Основные референц-эллипсоиды

Учёный	Год	Страна	a, км	1/f
Деламбр	1800	Франция	6375,653	234,0
Бессель	1841	Германия	6378,397	299,2
Кларк	1886	Великобритания	6378,206	294,28
Хейфорд	1910	США	6378,388	297,0
Красовский	1940	СССР	6378,245	298,3

Широта и долгота

- Измерение: градусы(^{0}) минуты (“) секунды(‘)
- Цифровые градусы (xx,xxxx...):

dd= d° + m”/60 + s’/3600

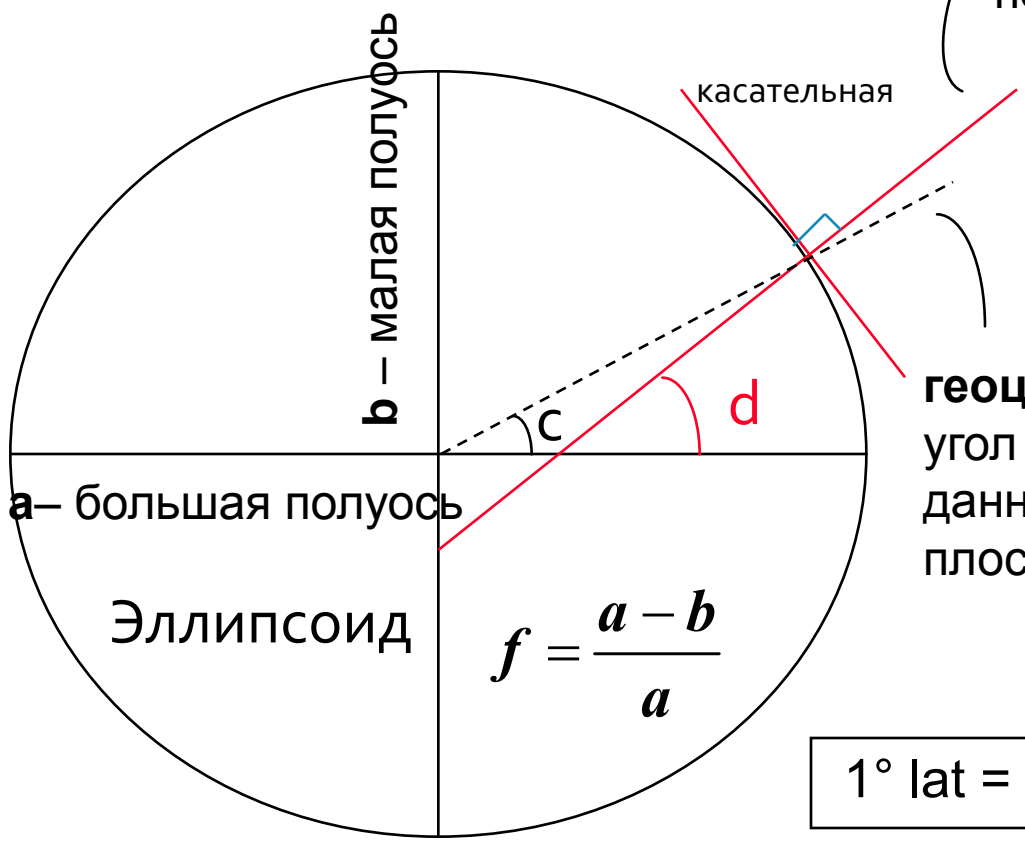
- 1^0 на экваторе – 30 м.
- Для точного измерения требуются вычисления с двойной точностью

Измерение широты

всегда используется географическая широта

географическая широта (d): угол, образуемый вектором, перпендикулярным к поверхности сфероида

Земля – не идеальный сфероид!



геоцентрическая широта (c): угол между направлением на данную точку из центра Земли и плоскостью экватора

1° lat = 1° long = 111,2215 км. (WGS84)

Системы координат б. СССР

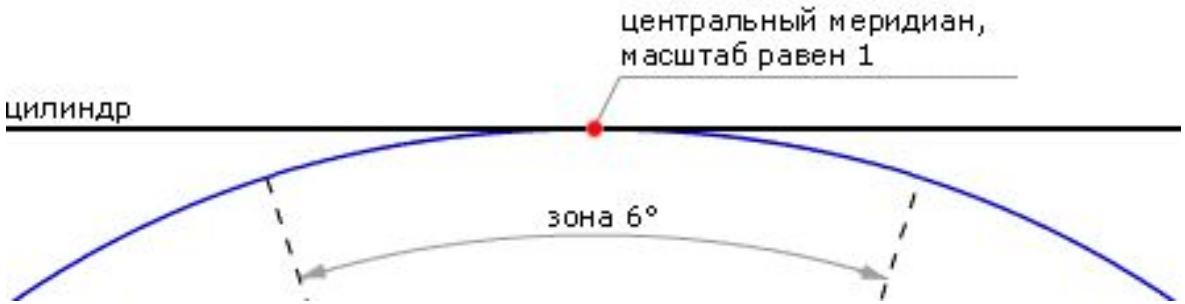
- СК-42 (1942 г.)
  - система координат, основанная на эллипсоиде Красовского. принята в 1942 г в СССР для геодезических и картографических работ для гражданского использования
- СК-95
  - Современная система координат, с 2000 г.
- СК-63
  - Система координат военного назначения
  - ГОСТ Р 51794-2001

Проекции на плоскость

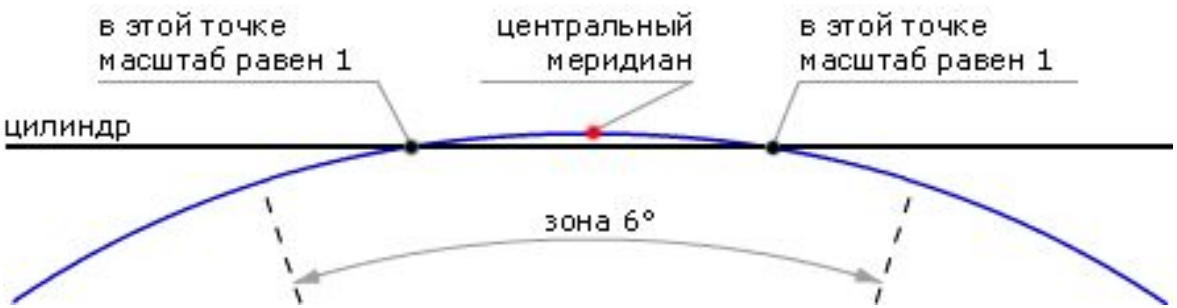
- *Гаусса-Крюгера*
- *Меркатора* - Universal Transverse Mercator (UTM)

- **Зона** - это участок земной поверхности, ограниченный двумя меридианами (6^0)

цилиндр касается эллипсоида по экватору

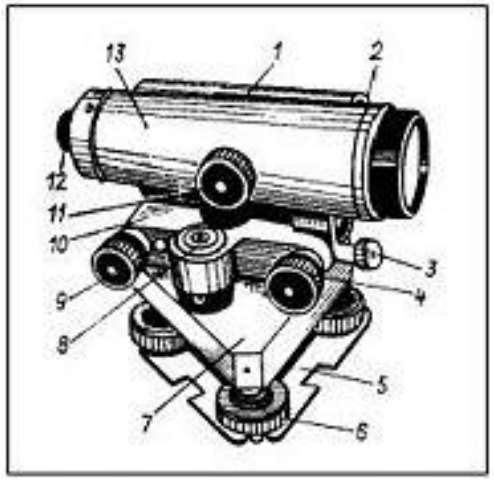


цилиндр касается эллипсоида по меридиану

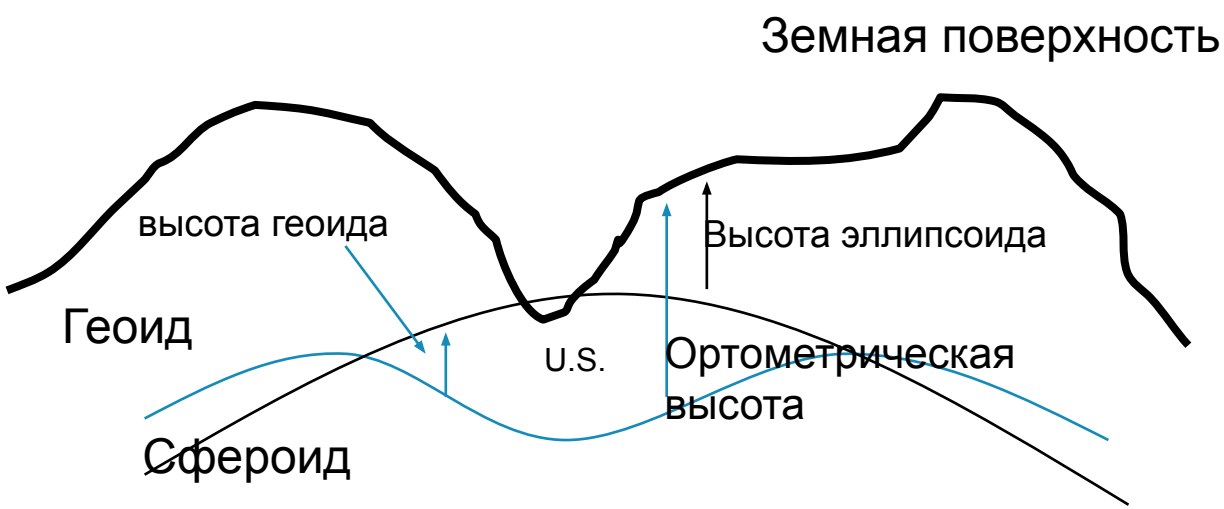


Геодезические инструменты

- Триангуляция
- Теодолиты
- Уровни
- Нивелиры
- Тахеометры
- GPS



Проблема измерения высот



На западе высоты отсчитывают от геоида
В РФ – от квазигеоида

Уровень моря

-положение свободной поверхности Мирового океана, измеряемое по отвесной линии относительно некоторого условного начала отсчёта

Виды:

- Мгновенный
- Приливной
- Среднесуточный
- Среднемесячный
- Среднегодовой
- Среднемноголетний

Кронштадтский футшток

Вопрос

Чем объясняется смена времен года?

- Обращением Земли вокруг Солнца
- Наклоном оси вращения Земли к плоскости орбиты
- Сохранением направления оси в пространстве

Смена времён года

Что бы было, если…

- **Случай 1.** *ось Земли была перпендикулярна к плоскости эклиптики*
- **Случай 2.** *ось Земли расположилась бы в плоскости эклиптики*
- **Случай 3.** *ось Земли расположилась бы с наклоном 45º к плоскости эклиптики?*

Вопрос

А сколько у нас океанов?

- Атлантический океан
- Индийский океан
- Северный Ледовитый океан
- Тихий океан
- Южный океан (с 2000 г., район южнее 60 параллели южной широты)

Вопрос

- Что называют большой полуосью?
- Что называют малой полуосью?

Орбиты

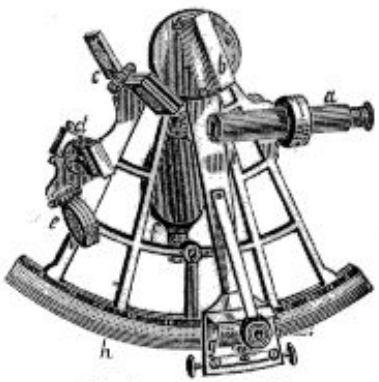
- **Геостационарная** - круговая орбита над экватором Земли, находясь на которой, искусственный спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси, и постоянно находится над одной и той же точкой на земной поверхности.
- **Геосинхронная** - орбита вокруг Земли, для которой период обращения находящегося на ней спутника равен звёздному периоду вращения Земли (23 час. 56 мин. 4,1 с.)

UTC (универсальное координированное время)

- UTC – замена GMT
- Равномерная шкала атомного времени
- Не переводится зимой и летом
- Часовые пояса – как смещение относительно UTC

Навигация

- Астрономическая
  - Секстант (измерение широты)
  - Хронометр (измерение долготы)
  - Компас
- Спутниковая
  - GPS
  - ГЛОНАСС
  - GNSS
  - Galileo
  - IRNSS
- Рентгеновское излучение от других звезд



Sextant, p. 1932.

Спутниковые навигационные системы

Основные элементы:

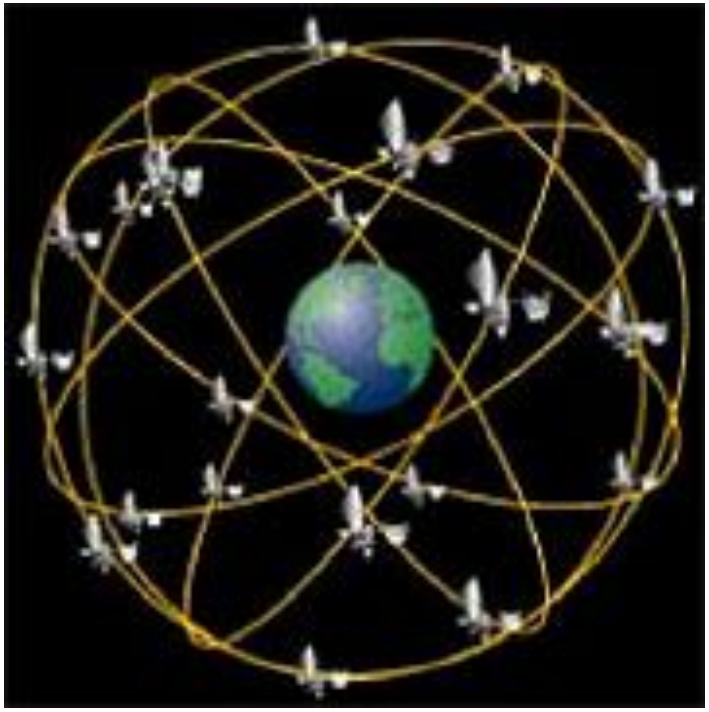
- Орбитальная группировка
- Наземная система управления и контроля
- Приёмное клиентское оборудование
- Информационная радиосистема для передачи поправок

Особенности:

- Собственное время
- Отсутствие привязки к космическим объектам
- Релятивистские эффекты (37.7 мкс/сутки)
- Гравитационные потенциалы

GPS

- С 1973 г.
- Принадлежит Минобороны США
- 24 спутника (32 максимум)
- 6 орбитальных траекторий
- Два диапазона приема
  - Standard Positioning Service (SPS)
  - 95% времени обеспечивает точность 13 м. по горизонтали, 22 м. по вертикали
  - Precise Positioning Service (PPS)
- Орбита на высоте 20,2 тыс. км
- Облет орбиты – 12 ч.



ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система)

- с 1982 г.
- 20 функционирующих спутников (30 в плане)
- Два диапазона приема
- 3 орбитальных траектории

Покрытие:

- Россия – 100%
- Европа – 98%
- Остальной мир - >80%

GALILEO

- Не контролируется ни государственными, ни военными учреждениями
- 3 орбитальных траектории
- 30 спутников

<u>Службы:</u>

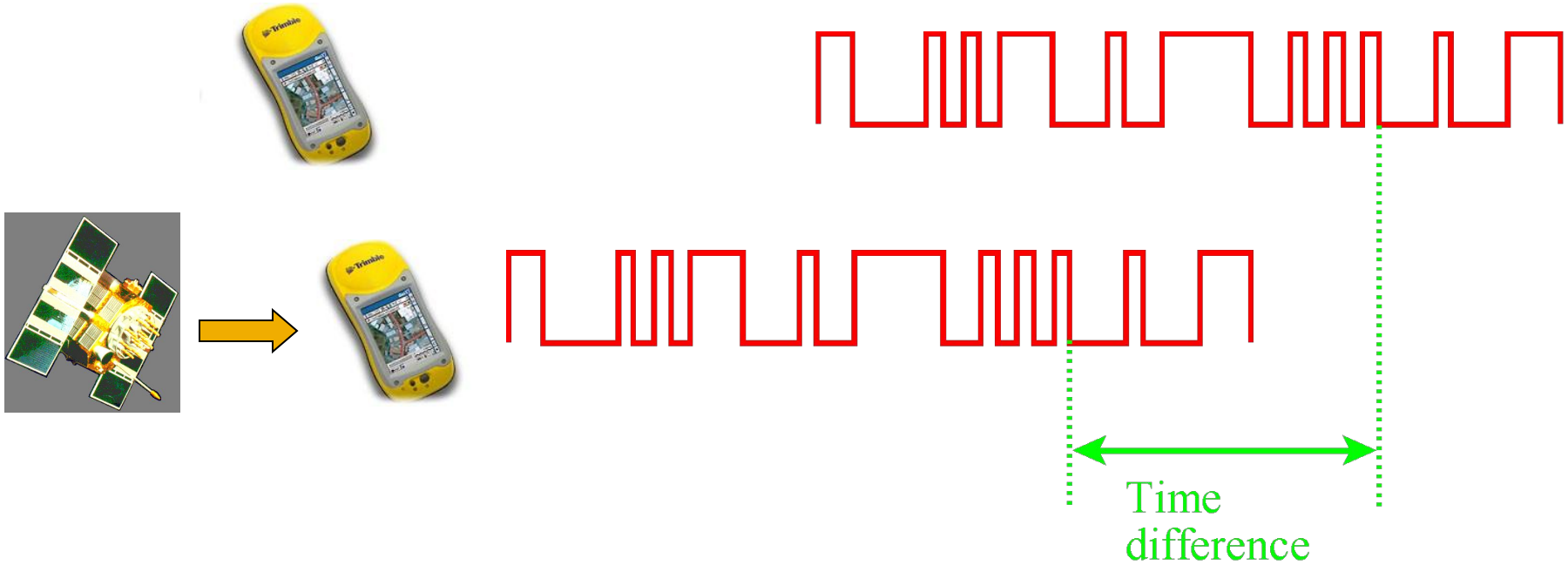
- Открытая общая служба
- Служба повышенной надёжности
- Коммерческая служба
- Правительственная служба
- Поисково-спасательная служба

Иные

- Навигационная система Индии (IRNSS)
  - покрытие самой Индии и частей сопредельных государств
  - 7 спутников на геостационарных орбитах
- Навигационная система Китая (Бэйдоу)
  - покрытие Китая и сопредельных государств
  - 2 спутника

Измерение расстояний и времени

- Скорость света X Время = расстояние
- Для вычисления всех трех координат нужны 4 спутника



Снижение точности (DOP)

- Орбиты спутников
- Наличие объектов-помех, закрывающие Необходимые области неба
- Влияние атмосферы
- Отражение радиоволн
- Отсутствие атомных часов

GPS Error Budget

- Ionosphere.....5.0 meters (0.4)
- Troposphere.....0.5 meters (0.2)
- Ephemeris data.....2.5 meters (0)
- Satellite clock drift.....1.5 meters (0)
- Multipath.....0.6 meters (0.6)
- Measurement noise..... .....0.3 meters (0.3)
- ~~Selective availability.....30-100 meters~~

- Total.....~ 10 meters

How accurate is GPS?

- Recreational and mapping grade.....10-15 m
  - C/A code
  - Autonomous
- Recreational and mapping grade.....1-5 m
  - C/A code
  - With differential correction
- Submeter mapping grade.....10 cm to 1 m
  - C/A code & carrier
  - With differential correction
- Survey grade.....1 cm
  - Dual frequency
  - Advanced survey methods

Словарь

- **Футшток** – уровнемер в виде рейки (бруса) с делениями, установленный на водомерном посту для непосредственных визуальных наблюдений
- **Эклиптика** – большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение Солнца
- **WGS84** – общеземной эллипсоид, используемый в GPS
- **Latitude** – широта
- **Longitude** – долгота
- **geodetic latitude** – географическая широта
- **geocentric latitude** – геоцентрическая широта
- **DOP (*Dilution of precision*)** – снижение точности расчёта координат в системах позиционирования
- **UTC** – Universal Coordinated Time
- **GMT** – Greenwich Mean Time