

Лекция 3.

Общие сведения о Земле.

1. Форма и размеры Земли.
2. Значение формы и размеров Земли для географической оболочки.

Анаксимандр (610 – 547 до н.э)



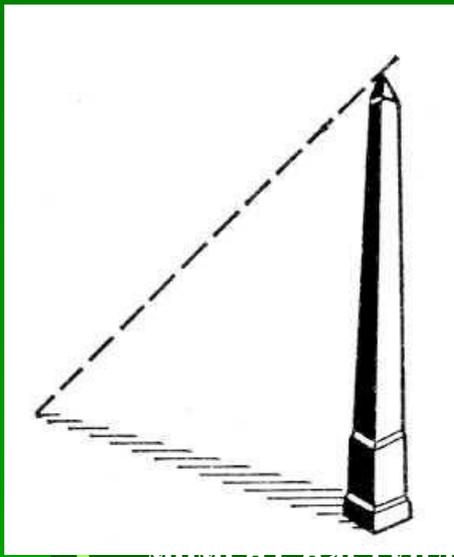
Анаксимандр создал одну из первых геоцентрических моделей космоса и положил начало теории небесных сфер. Анаксимандр оказался первым мыслителем, кто предположил, что Земля свободно покоится в центре мира без опоры.

Составил первую географическую карту,

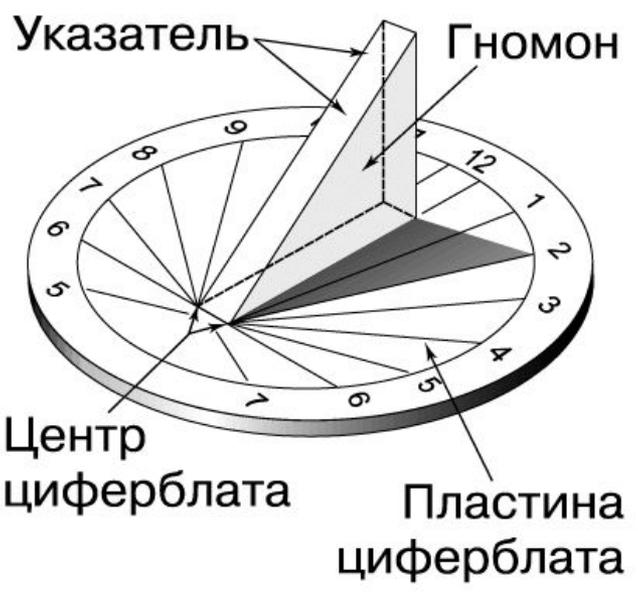
Изготовил первые в Греции солнечные часы и астрономические инструменты.

Возможно, познакомил Грецию с изобретенным в Вавилоне гномоном.

Предложил применять масштаб для соразмерного изображения объектов.

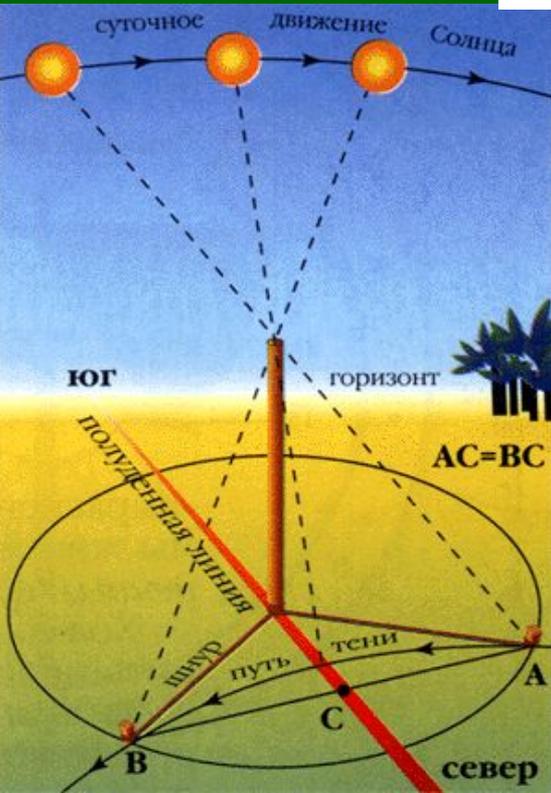


Угломерный инструмент
 использовался для определ
 столб на горизонтал
 этого простейшего
 значит фиксировать п
 и стороны свет
 над горизонтом и ш
 момент наступления истинного пол



она эклиптики к
 м и представлял
 отмечать дни
 мон, мы можем

долготу м
 Чем гном
 циферблате и
 в полдень. Э
 продолжитель
 меняться. Чт
 направлении
 предпринял г
 столицы Лаке
 главным изме
 циферблатом,
 циферблате о
 часы на мину
 Вавилоне



асываемая им тень
 прямая линия к север
 на часы, но все ча
 то дня длительност
 да время правиль
 ую звезду. Такое у
 коло 530 г. до н. э.
 поры более 2 тысяч
 о устанавливали либ
 были вертикальные
 ие века лишь астро
 минуты значения не



Солнечные часы



Пекин



Казань



Соловецкий монастырь



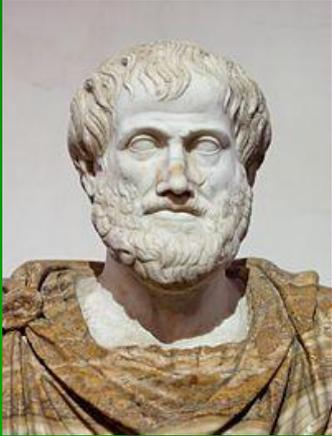
Пифагор



Космические тела произошли из центрального огня и вращаются вокруг него, прикрепленные к хрустальным сферам. Планеты, в том числе Земля, вращаются с запада на восток, обращенные к центральному огню всегда одной стороной, поэтому мы его не видим. Наше полушарие согревается отраженными Солнцем лучами центрального огня. Космология пифагорейцев представляет значительный шаг вперед:

- отказ от геоцентризма,
- признание шарообразной формы Земли,
- суточного обращения Земли вокруг центрального огня,
- объяснение солнечных затмений прохождением Луны между Солнцем и Землей,
- объяснение времен года наклоном земной орбиты по отношению к солнечной, представляли значительное приближение к истине.

Аристотель (384 – 322 до н.э.).



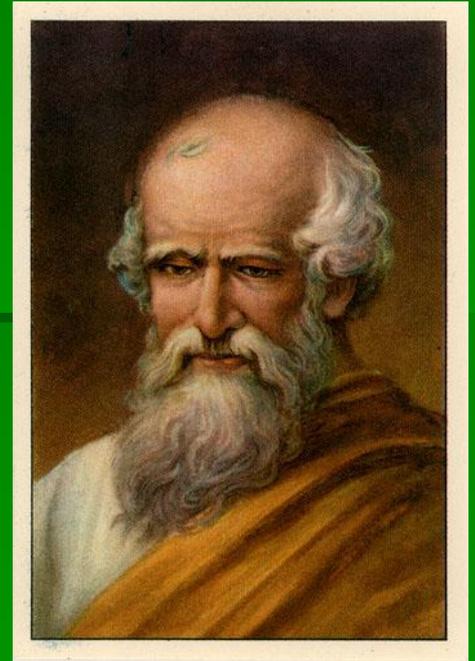
Первые подлинно научные свидетельства шарообразности Земли представил древнегреческий философ Аристотель (IV в. до н.э.). Наблюдая лунные затмения, он следил за тенью, отбрасываемой Землей на Луну. Эта тень всегда круглая. Значит, планета наша имеет шарообразную форму.

Аристотель приводил и другие доказательства шарообразности Земли. Одно из них – то, что при движении на север или на юг мы видим в небе над собой уже другие созвездия.

Архимед

Небесный глобус Архимеда.

Вычисление расстояний между планетами. Эти расчеты дают возможность воссоздать облик "вселенной Архимеда". В ее середине находится Земля, вокруг нее обращаются Луна и Солнце. Орбиты трех ближайших планет Меркурия, Венеры и Марса - очерчены вокруг него. Радиусы планетных орбит кратны между собой и относятся как 1:2:4. По данным Архимеда, относительное (по сравнению с расстоянием от Земли до Солнца) значение радиуса орбиты Меркурия составляет 0,36 (в действительности 0,39, ошибка 8%), орбиты Венеры 0,72 (совпадает с действительным), Марса 1,44 (в действительности 1,52, ошибка 5%). Расчеты Архимеда, относящиеся к другим планетам, оказались неверными.



Гиппарх (180?190 – 125 до н.э)



астрономические времена года имеют неодинаковую продолжительность (весна длится примерно 94,5 суток, лето - 92,5 суток, осень - 88 суток и, наконец, зима продолжается приблизительно 90 суток).

Точку орбиты, в которой Солнце находится ближе всего к Земле, Гиппарх назвал **перигеем**, а наиболее удалённую точку - **апогеем**.

Составил **звёздный каталог** (координаты 850 звёзд, понятия **звёздной величины**).

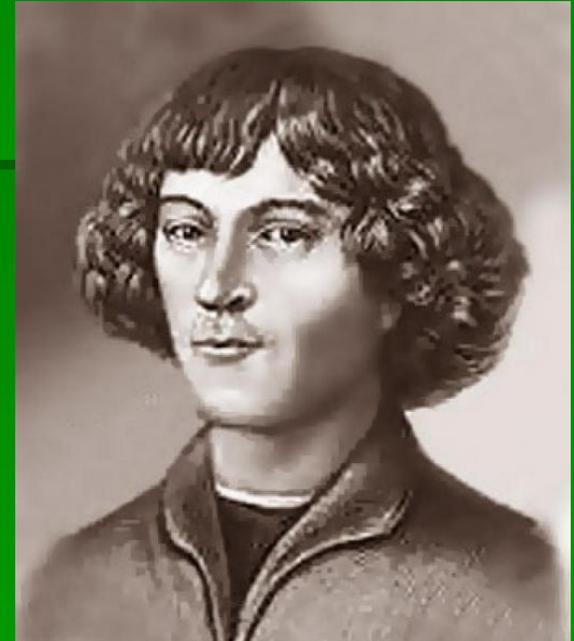
Открыл, что небесная сфера кроме суточного движения ещё очень медленно поворачивается вокруг полюса эклиптики относительно экватора (период 25735 лет) - **прецессия (предварение равноденствий)**.

Научился предсказывать **лунные и солнечные затмения** с точностью до одного часа.

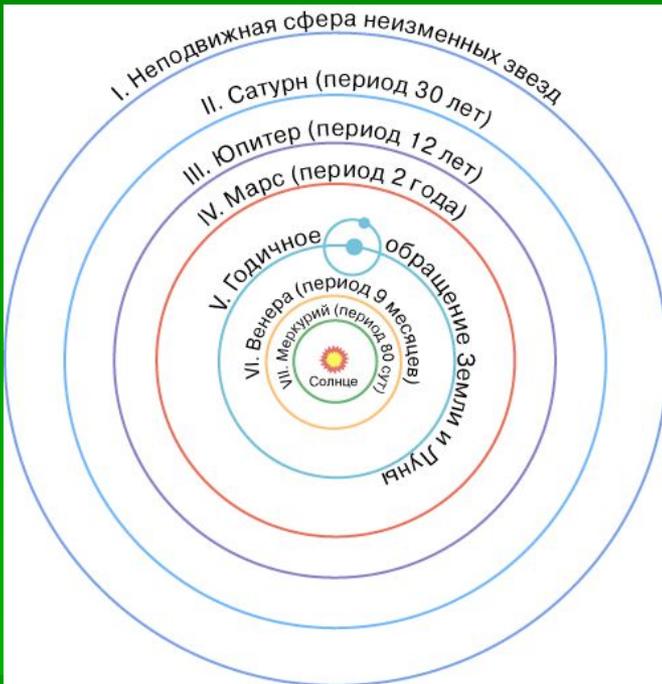
Николай Коперник (1473–1543)

Гелиоцентрическая система в варианте Коперника может быть сформулирована в семи утверждениях:

- орбиты и небесные сферы не имеют общего центра;
- центр Земли – не центр вселенной, но только центр масс и орбиты Луны;
- все планеты движутся по орбитам, центром которых является Солнце, и поэтому Солнце является центром мира;
- расстояние между Землей и Солнцем очень мало по сравнению с расстоянием между Землей и неподвижными звездами;



Гелиоцентрическая система в варианте Коперника может быть сформулирована в семи утверждениях:



- суточное движение Солнца — воображаемо, и вызвано эффектом вращения Земли, которая поворачивается один раз за 24 часа вокруг своей оси, которая всегда остаётся параллельной самой себе;
- Земля (вместе с Луной, как и другие планеты), обращается вокруг Солнца, и поэтому те перемещения, которые, как кажется, делает Солнце (суточное движение, а также годичное движение, когда Солнце перемещается по Зодиаку) — не более чем эффект движения Земли;
- это движение Земли и других планет объясняет их расположение и конкретные характеристики движения планет.

Меркатор (1512 – 1594) Герард ван Кремер

Голландский картограф.

В 25 лет Меркатор выступает со своей первой самостоятельной картографической работой: это карта Палестины.

В 1541 году Меркатор приступает к изготовлению глобуса Земли, который стал одним из лучших для того времени. Отличительной особенностью этого глобуса была нанесенная на его поверхность сетка кривых линий, предназначенных для облегчения морской навигации.

В 1569 году Меркатор издает карту мира, названную им «**Новое и наиболее полное изображение земного шара, проверенное и приспособленное для применения в навигации**». Она была выполнена на 18 листах.

К 1571 году Меркатор завершает работу, названную им «**Атлас, или картографические соображения о сотворении мира и вид сотворенного**». К «Атласу» прилагались карты. С тех пор слово «атлас» стало нарицательным для собрания карт. Издание «Атласа» увидело свет лишь в 1595 году, через год после смерти Герарда Меркатора.

Джордано Бруно (1548 – 1600)

Итальянский монах-доминиканец, философ и поэт. Будучи католическим монахом, Джордано Бруно развивал **неоплатонизм** в духе возрожденческого натурализма, пытался дать в этом ключе философскую интерпретацию учения Коперника. Бруно высказывал ряд догадок, опередивших эпоху и обоснованных лишь последующими астрономическими открытиями: о том, что звёзды – это **далёкие солнца**, о существовании неизвестных в его время планет в пределах нашей Солнечной системы, о том, что во Вселенной существует бесчисленное количество тел, подобных нашему Солнцу. Был осуждён светскими властями и католической церковью за свободомыслие как еретик и был сожжён. Спустя три столетия, в 1889 году на месте казни в честь Джордано Бруно был воздвигнут памятник. Однако, даже спустя четыреста лет, глава Римско-католической церкви отказался рассмотреть вопрос о его реабилитации.



Галилео Галилей (1564–1642)

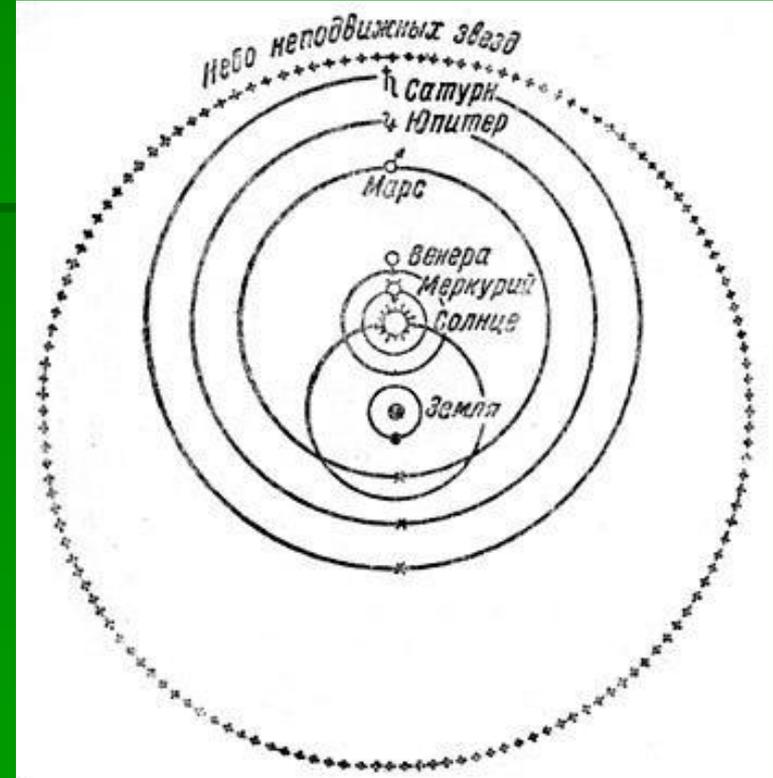
Галилей возвращается во Флоренцию и начинает работать над новой книгой, чтобы отстаивать свои взгляды на строение мира. Понятно, что открыто выступить в защиту учения Коперника и Кеплера он уже не мог. Нетерпимость церкви к идеям этих ученых достигла высочайшего уровня. В этом Галилей убедился, когда еще раз, уже в 1628 году, он посетил Рим с целью выяснить отношение высших иерархов католической церкви к учению Коперника. Но Галилей продолжает работать над книгой и в 1630 году заканчивает и представляет ее в Конгрегацию для получения разрешения на издание. Свою книгу Галилей назвал «Диалоги о двух главнейших системах мира – Птолемеевой и Коперниковой» («*Dialogo sopra I due massimi sistemi del mondo – ptolemaico e copernicano*»). Чтобы обмануть цензуру, Галилей написал книгу в виде диалога между двумя сторонниками Коперника с одной стороны и сторонником Аристотеля и Птолемея – с другой. При этом автор в предисловии вынужден был написать, что он не является сторонником учения Коперника и что это учение в книге не утверждается, а только обсуждается.

В период работы под «Беседами» Галилей продолжал астрономические наблюдения и сделал последнее свое открытие в астрономии: наличие либрации Луны, т.е. небольших периодических покачиваний Луны относительно центральной оси.

Тихо Браге(1546–1601)

Во многих отношениях Тихо Браге можно назвать **реформатором практической астрономии**, так как он значительно усовершенствовал как инструменты, так и самые приемы наблюдений. Важно то, что Тихо Браге производил **наблюдения строго систематически**. Труды Тихо Браге не пропали даром: они попали в верные руки **Кеплера**, который в течение 17 лет подвергал их заботливой обработке и в результате открыл, наконец, **законы движения планет**.

К периоду астрономической деятельности Тихо Браге относится **появление целого ряда комет**, которые он наблюдал, накопив запас **весьма точных определений их положений**. Тихо Браге мог сделать совершенно определенный вывод, что **кометы находятся где-то далеко за пределами лунной орбиты**. Наблюдения привели его к несомненному выводу, что **кометы представляют собой самостоятельные небесные тела** и что они движутся вокруг Солнца на расстоянии **большем, чем расстояние до Венеры**.



Гео-гелиоцентрическая система мира Тихо Браге

Идея «непогрешимой» шарообразности планеты не была полностью отвергнута ещё очень долго. Даже не принимая на веру догадки античных мыслителей, европейские учёные считали, что Земля – правильный шар. Так было до самого конца XVII столетия, когда англичанин **ИСААК НЬЮТОН** и голландец **ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС** нашли физические опровержения того, что Земля имеет форму правильного шара: **раз тело долго и быстро вращается, значит, оно должно быть сплющено сверху и снизу.** Ведь центробежные силы на экваторе действуют сильнее, чем у полюсов. И расстояние от полюса до полюса (полярный диаметр) будет короче, чем диаметр Земли в плоскости экватора.

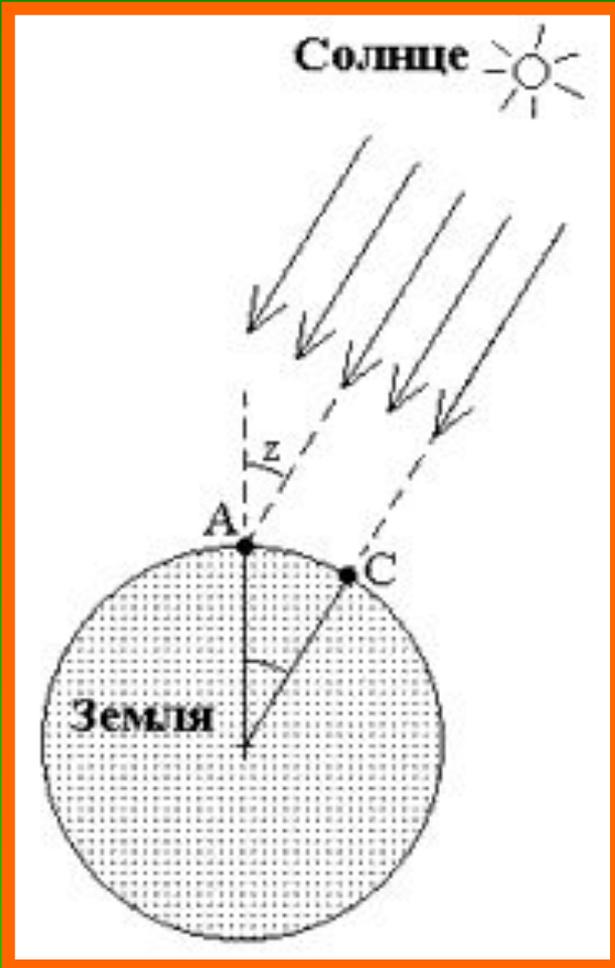
В 1680 г. Ньютон подсчитал, что наша планета сплющена вдоль оси вращения на $1/230$ долю этой оси. Как ни велик был авторитет знаменитого учёного, следовало проверить его вычисления на практике. И в 1734 г. французские исследователи во главе с астрономом **Жаком Кассини** отправились измерять длину земного меридиана на север – от **Парижа до Дюнкерка**, города у пролива Па-де-Кале, и на юг – от **Парижа до Перпиньяна** на берегу Средиземного моря.

Сплющена ли Земля с полюсов, оставалось неясным (а если да, то насколько?). В век Просвещения так обстоять дело не могло, и Парижская академия наук послала ещё две экспедиции. Одну возглавил астроном **Шарль Кондамин**; она работала в Южной Америке. А другую – **Пьер Луи Мопертюи**; ей «достался» север Европы – скандинавская Лапландия.

После нескольких лет странствий в тяжёлых условиях Андского высокогорья и скандинавской тундры учёные привезли свои ценнейшие данные в Париж (Мопертюи в 1737 г., а Кондамин в 1742 г.). Здесь их обработал Кассини, и был сделан окончательный вывод: Ньютон прав, расстояние от центра Земли до экватора больше, чем до полюса!

...Итак, сегодня очевидно: наша планета немного сплющена с полюсов, поэтому её экваториальный радиус больше, чем у идеального шара, а вдоль оси вращения радиус Земли на 5 км меньше, чем у правильной геометрической сферы.

Измерение размеров Земли



В день летнего солнцестояния в Сиене (С) лучи Солнца падают вертикально, а в Александрии (А) падали под углом $z = 7^\circ$. Расстояние между Сиеной и Александрией было известно – 5000 египетских стадий (790 км) Следовательно, можно **вычислить** длину меридиана. Итак, 7 градусов составляют $7/360 = 1/51$ часть окружности Земли по меридиану, и 7 градусов составляют 790 км, тогда вся окружность будет в 51 раз больше и составит 39500000 км. Радиус Земли вычисляется из формулы длины окружности $l = 2 \pi R$, $R = l/2\pi = 39500000 / 6,28 = 6290$ км.

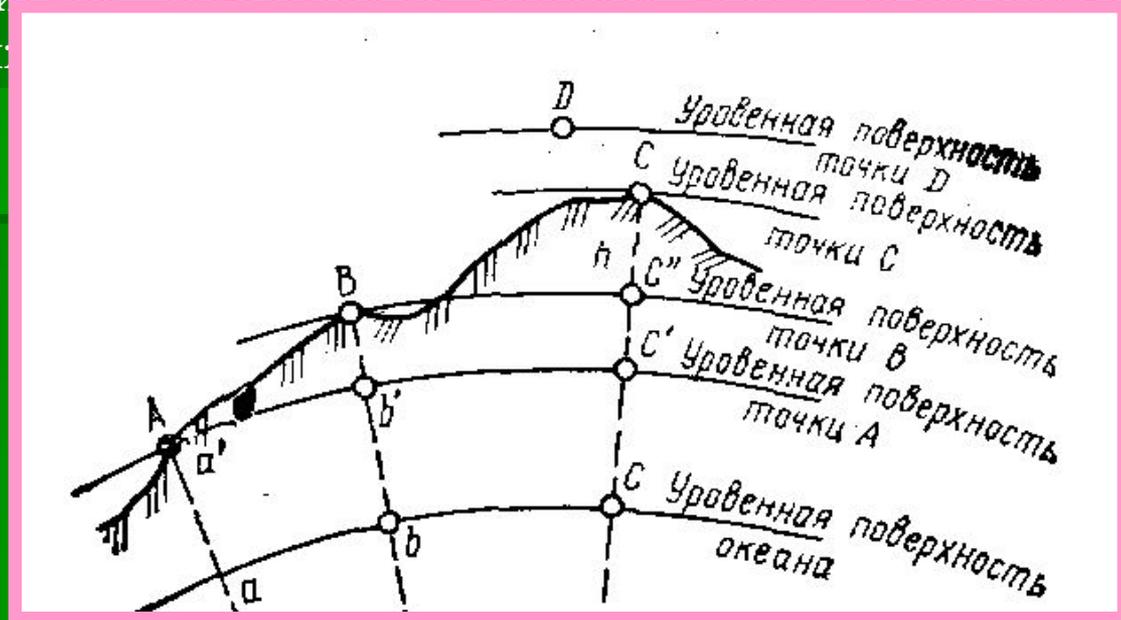
Точность измерений Эратосфена всего лишь 1–1,5 % !!!

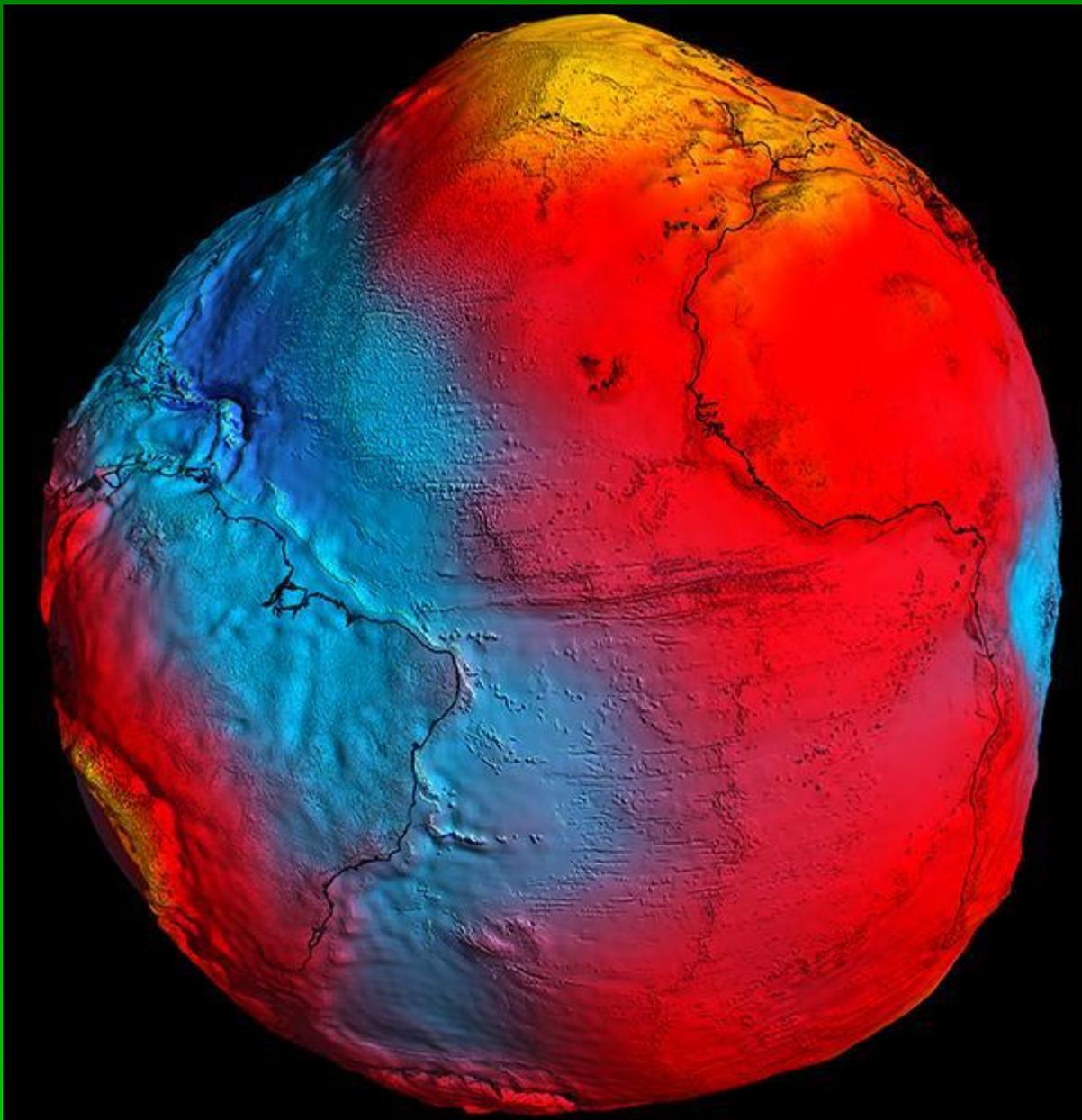
Как Христофор Колумб спустя полторы тысячи лет сумел принять неведомые острова около нынешней Америки за Индию, кажется его лукавством)

Форма Земли

Поверхность Земли, которую принято называть **физической** или **топографической поверхностью**, представляет собой сочетание океанов и материков со сложными геометрическими формами.

Средний уровень Мирового океана принято называть **уровенной поверхностью** Земли. Немецкий физик **И.Б. Листинг** (1808– 1882) предложил для фигуры, ограниченной этой поверхностью, специальное название – **геоид («подобный Земле»)**. Форму Земли, ограниченную поверхностью океана в спокойном состоянии, мысленно продолженной под всеми материками называют геоидом. Геоид определяется как фигура – поверхность, которой всюду перпендикулярна направлению силы тя





Спутник
Европейского
космического
агентства GOCE,
вышедший на орбиту
Земли в марте 2009-го,
выполнил все
необходимые
измерения для точного
построения модели
геоида.

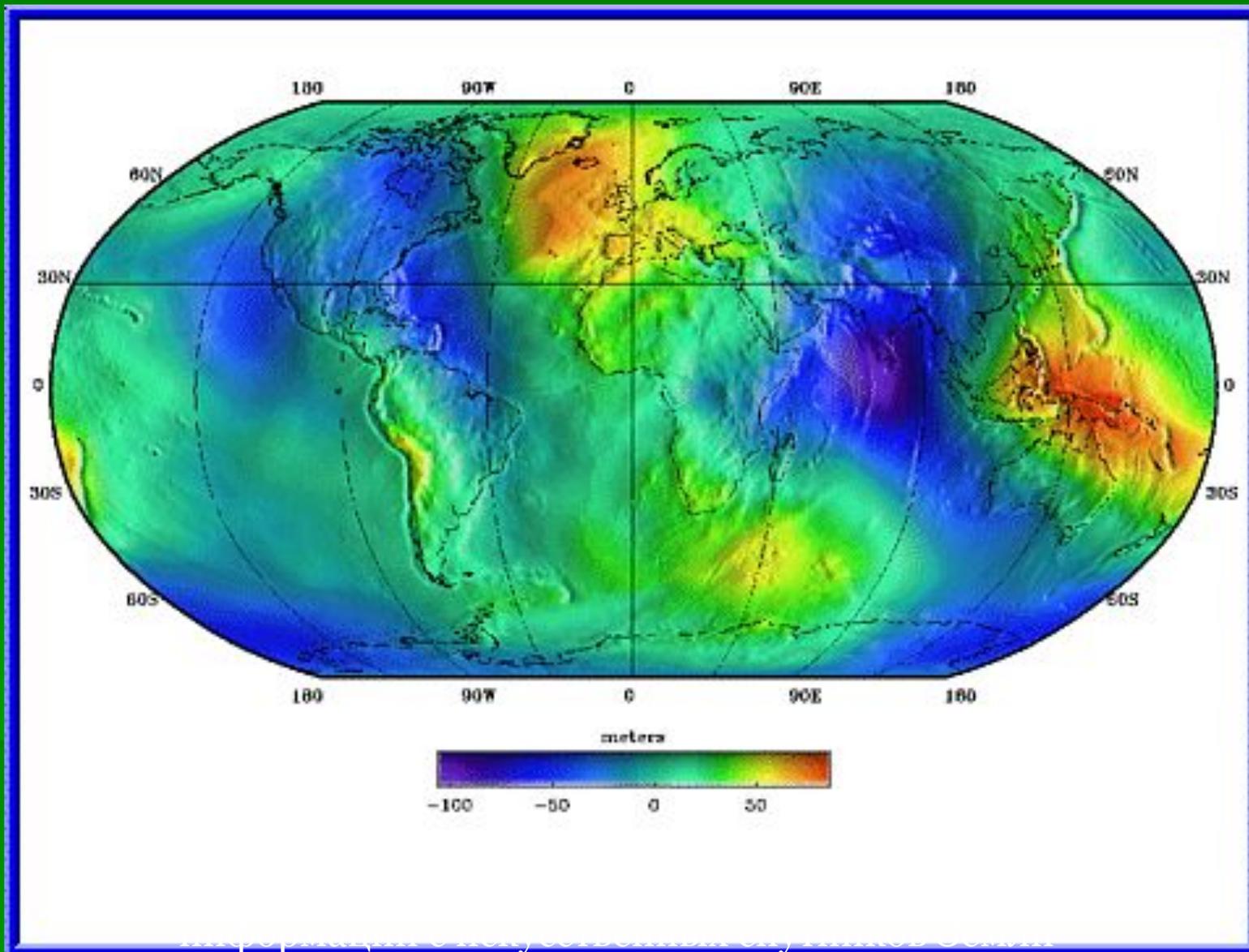
Поднятия и опускания над эллипсоидом составляют в среднем от ± 50 до ± 100 м. Их называют волнами геоида.

Выступы и понижения геоида были точно измерены из Космоса. На поверхности Океана выделяются шесть гигантских неровностей – планетарных аномалий с поперечником 3–5 тыс. км.

Максимальное возвышение геоида наблюдается в Тихом океане близ острова Новая Гвинея (+78 м),

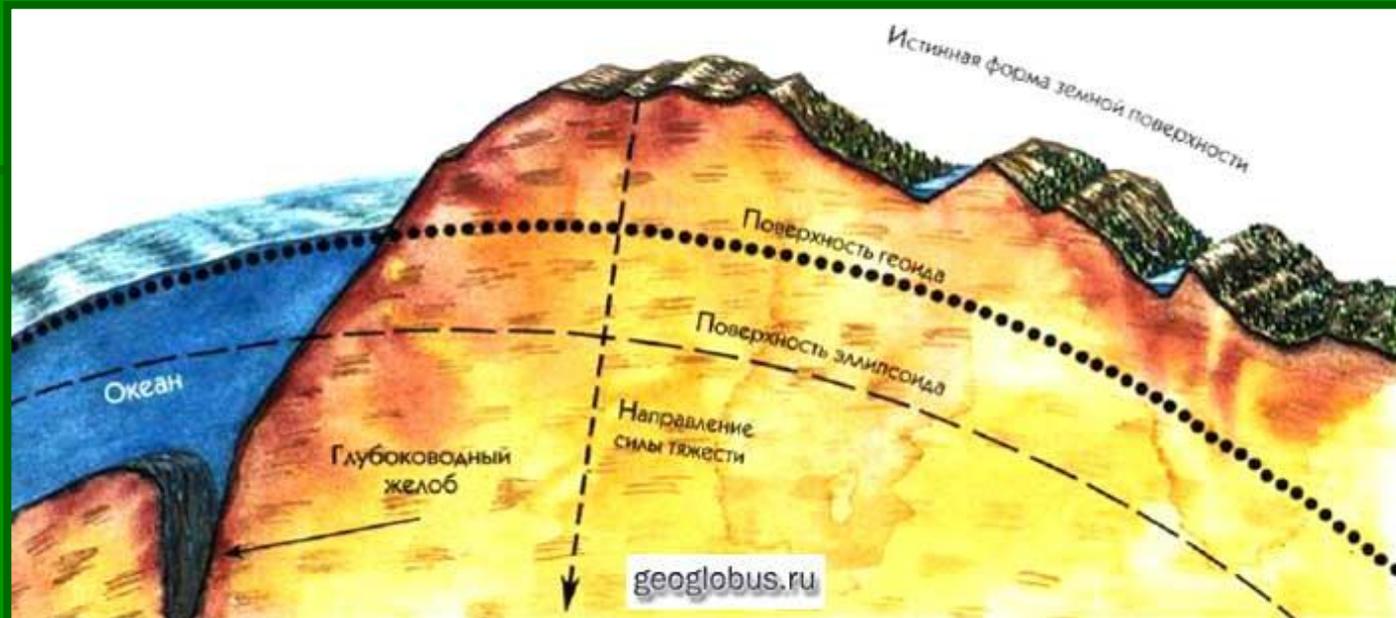
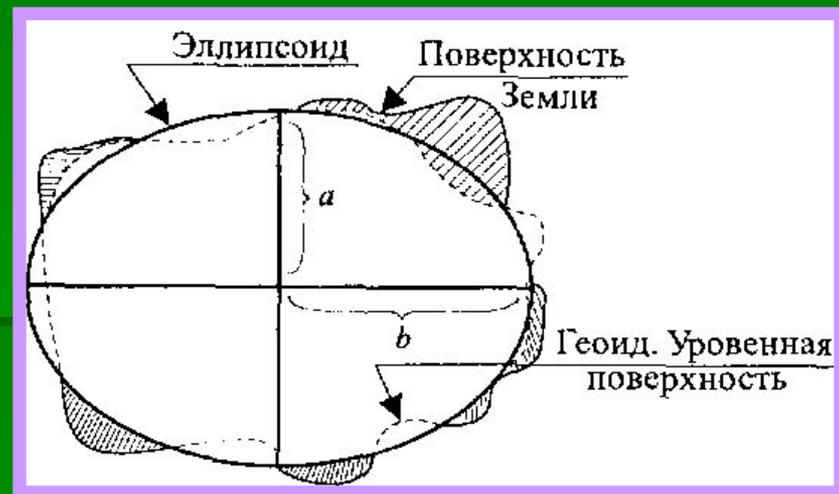
минимальные отметки – в Индийском океане у острова Шри-Ланка (–112 м).

Так что общий размах выпуклостей и вогнутостей поверхности Океана достигает 190 м. Исследования показали, что источниками крупнейших аномалий океанической поверхности служат массы вещества, расположенные на глубинах порядка 400–900 м: под «буграми» на поверхности Океана расположены массы вещества повышенной плотности, а под «впадинами» – массы пониженной плотности. Обобщенные черты рельефа водной поверхности Океана видны на рисунке.



(по Р. К. Клиге и др.)

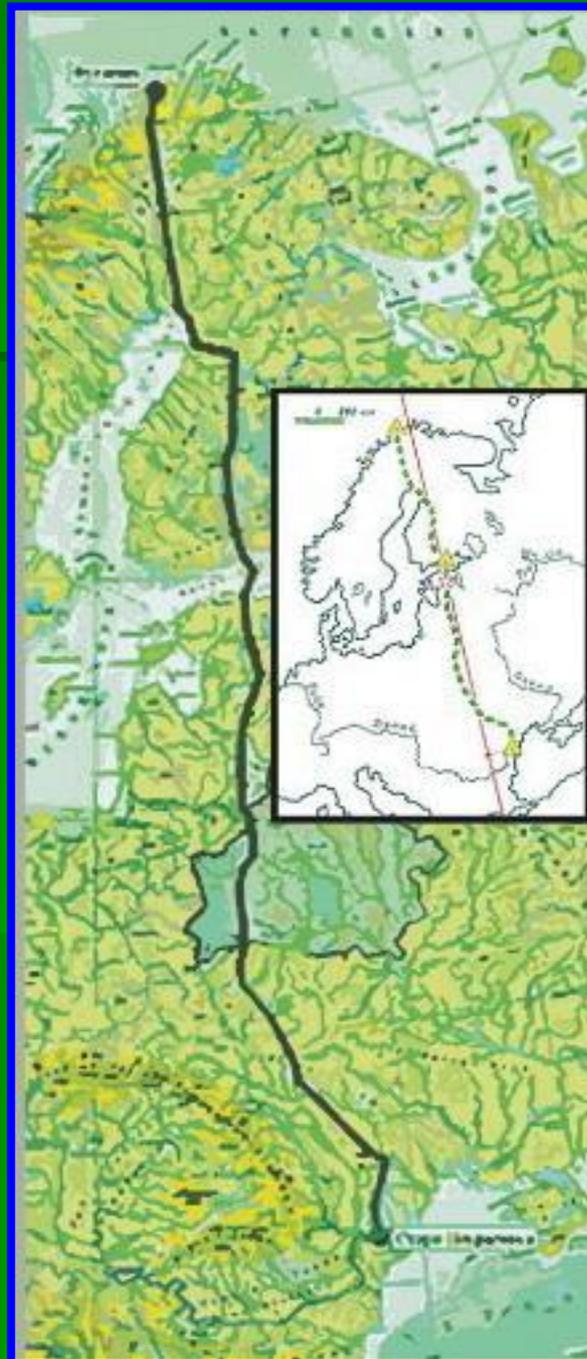
Наиболее близкой, математически определенной геометрической фигурой к геоиду, характеризующей фигуру и размеры Земли, является **земной эллипсоид**, или **сфероид** (теоретическая фигура Земли). Эллипсоидом называется фигура, образованная вращением эллипса вокруг малой оси.



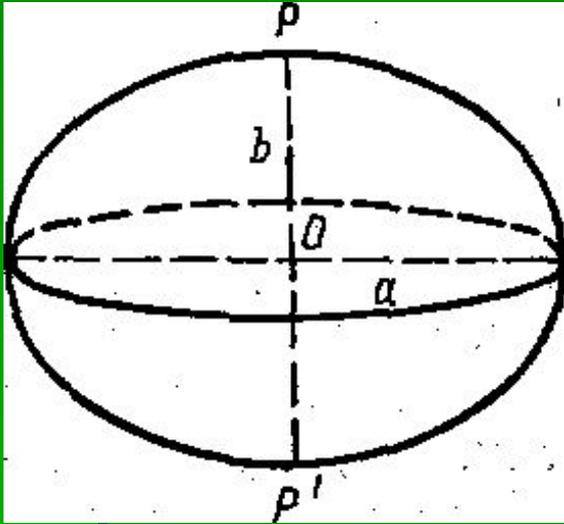
Дуга Струве



Дуга Струве состояла из отдельных 258 пунктов протяженностью 2880 км (с 1816 по 1855 гг.). В объект всемирного наследия ЮНЕСКО вошли 34 таких пункта (в Беларуси — 5 пунктов).



Основные элементы земного эллипсоида:



- Большая полуось $a = WO/2$;
- Малая полуось $b = P_N P_S/2$;
- Полярной сжатие $\alpha = (a-b)/a$

Для сфероида радиус кривизны меридиана меньше у экватора и больше у полюса. Меридианы представляют собой эллипсы.

Малая ось $b (P_N P_S)$ – полярная ось.

Большая ось $a (WO)$ – перпендикулярна малой оси, проходит через центр – экваториальная ось.

Элементы эллипсоидов Бесселя и Красовского, (в метрах)

	Эллипсоид Бесселя, 1841 г.	Эллипсоид Красовского, 1942 г.
Большая полуось a	6377327	6378245
Малая полуось b	6 356 079	6356663
Сжатие α	1:299,2	1:298,3
Радиус шара с равной поверхностью	6 370 290	6 371 116
Радиус шара с равным объемом	6 370 283	6 371 110
Длина четверти меридиана	10 000 856	10 002 138

Современные общеземные эллипсоиды и их параметры

- **GRS80 (Geodetic Reference System 1980)** разработан Международной Ассоциацией Геодезии и Геофизики (International Union of Geodesy and Geophysics) и рекомендован для геодезических работ;
- **WGS84 (World Geodetic System 1984)** применяется в системе спутниковой навигации GPS;
- **ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 года)** используется на территории России для геодезического обеспечения орбитальных полетов. Этот эллипсоид применяется в системе спутниковой навигации ГЛОНАСС;
- **IERS96 (International Earth Rotation Service 1996)** рекомендован Международной службой вращения Земли для обработки РСДБ-наблюдений.

Современные общеземные эллипсоиды и их параметры

Название	Год	Страна/организация	а, км	точность m_a , м	1/f	точность mf
GRS 80	1980	МАГГ (IUGG)	6378,137	± 2	298,257222101	$\pm 0,001$
WGS84	1984	США	6378,137	± 2	298,25722356	$\pm 0,001$
ПЗ-90	1990	СССР	6378,136	± 1	298,257839303	$\pm 0,001$
IERS96	1996	МСВЗ (IERS)	6378,136	—	298,25645	—

Размеры земного эллипсоида

$$S = 510 \text{ млн км}^2$$

$$S = 149 \text{ млн км}^2 \text{ суша}$$

$$\text{объем Земли } 1,083 \cdot 10^{12} \text{ км}^3$$

$$\text{экваториальный радиус} = 6378,245 \text{ км}$$

$$\text{полярный радиус} = 6356,863 \text{ км}$$

$$r_{\text{средний}} = 6371,110 \text{ км}$$

$$a - b = 21,4 \text{ км}$$

$$(a - b) / a = 1/298,3 = 0,003355$$

$$\text{длина окружности экватора} = 40075,696 \text{ км}$$

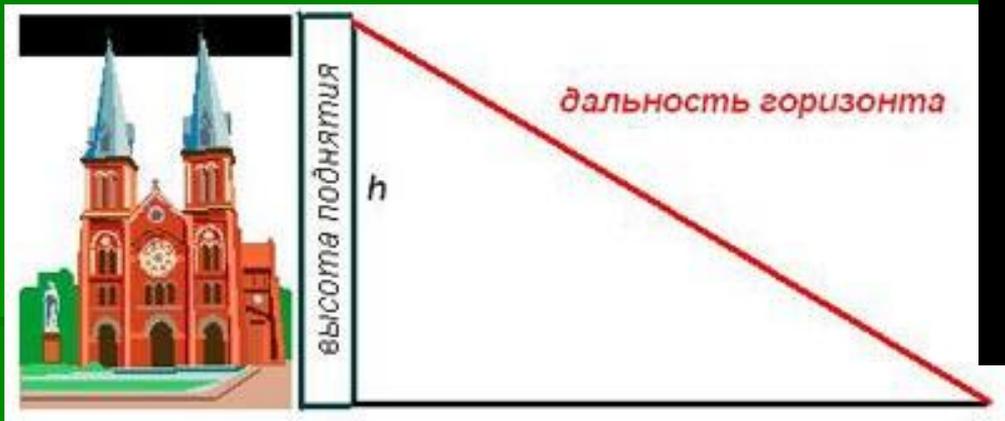
$$\text{длина окружности меридиана} = 40008,550 \text{ км}$$

чаще всего мы принимаем их за 40000 км

$$\text{средняя плотность} = 5,5 \text{ г/см}^3$$

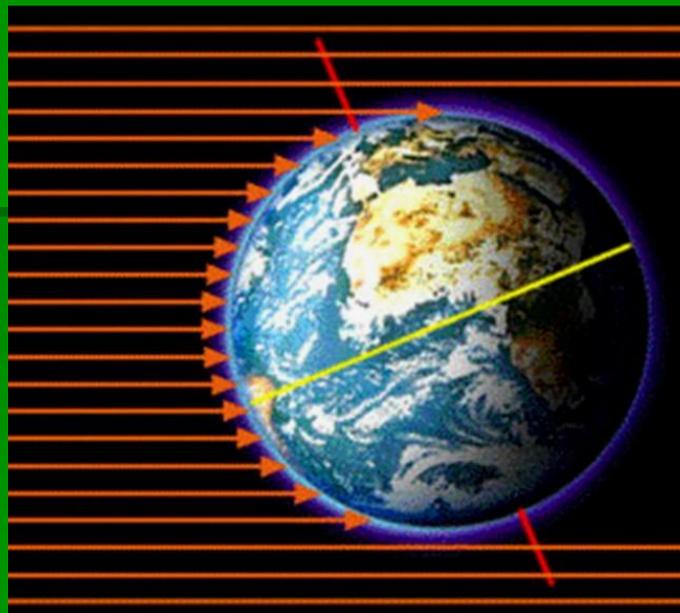
Доказательства шарообразности Земли

1. При восходе Солнца лучи его освещают сначала облака, высокие предметы, то же и при заходе: Солнце уже за горизонтом, а его лучи все еще освещают облака и другие предметы.
2. Постепенное появление корабля из-за линии горизонта.
3. Постепенное увеличение радиуса видимого горизонта при поднятии наблюдателя (ровная местность 4-5 км) 20 м - 16 км.
4. Небесные тела имеют шарообразные формы (Луна, Солнце). Естественно думать, что и Земля не исключение.
5. Тень Земли, отбрасываемая на Луну при лунных затмениях, всегда имеет форму части правильного круга.
6. Изменения вида звездного неба при перемещении наблюдателя по меридиану.
7. Форма отражения звездного неба в больших водных пространствах. Звездное небо в спокойной поверхности больших водоемов отражается как в выпуклом зеркале.
8. Постоянство круглой формы видимого горизонта.
9. Кругосветные путешествия в одном направлении.
10. Начало дня на Востоке. Если бы Земля была плоской, то день начинался бы сразу на всей Земле.
11. Полеты спутников и космических ракет.

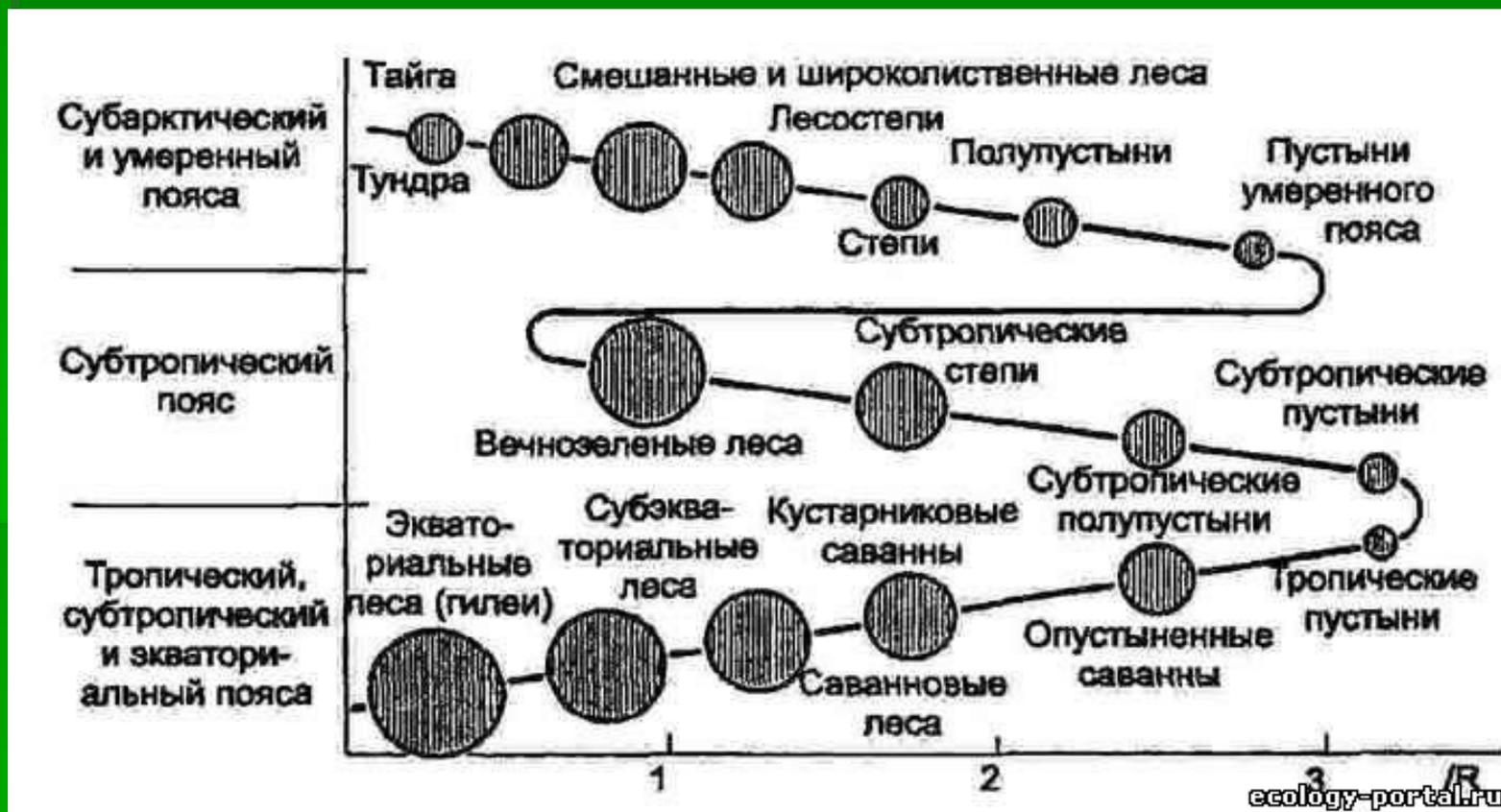


Значение шарообразной формы Земли

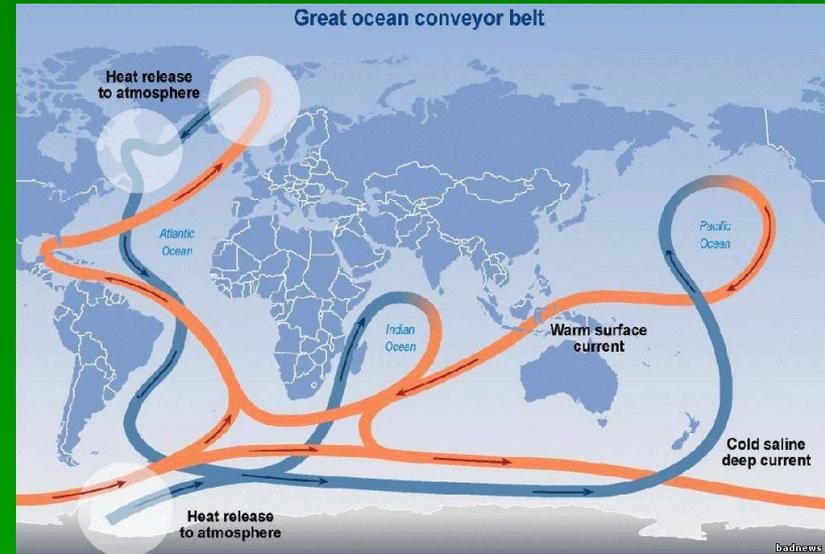
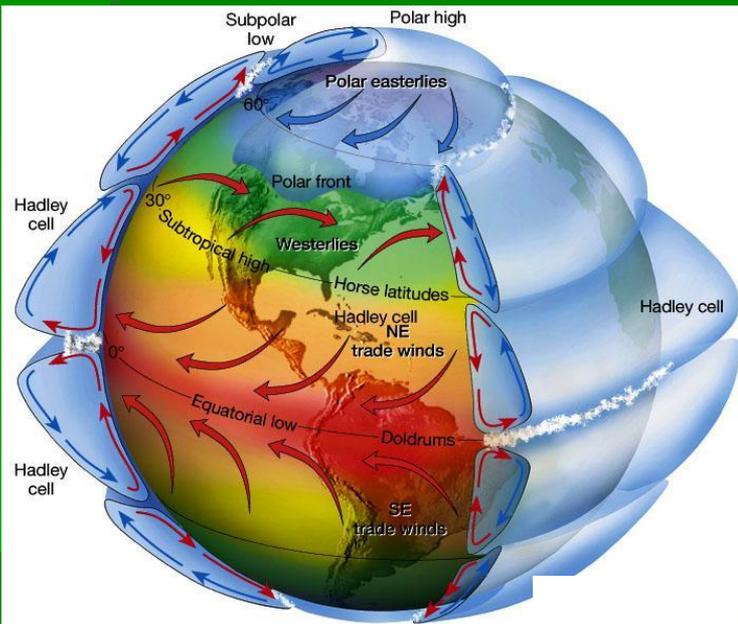
1. На выпуклую шарообразную поверхность Земли солнечные лучи падают под различными углами, интенсивность нагревания земной поверхности уменьшается от экватора к полюсам.



2. Шарообразность в сочетании в вращением в поле солнечной радиации обуславливает зональность природы.



3. Шарообразность влияет на общую циркуляцию атмосферы, океанические течения, приливы. Шарообразность делает ГО единым замкнутым целым.



4. Шарообразная форма планеты обуславливает разделение ее на освещенные Солнцем и не освещенные, следовательно влияет на тепловой режим планеты.

