

От тени до метра

Благодаря хитрому способу люди имели представления о размерах Земли еще до того, как смогли обогнуть ее на своих кораблях.

➡ Никита Копа

Еще в IV веке до нашей эры древнегреческий ученый Аристотель догадался, что Земля имеет форму шара. Такой вывод Аристотель сделал исходя из того, что земная тень, видимая на Луне во время лунных затмений, всегда круглая, ведь только шар, в каком бы положении он ни находился, отбрасывает круглую тень. А уже через сто лет другой грек, Эратосфен, вычислил размер нашей планеты.

С ПОМОЩЬЮ ПОВОЗКИ

Метод расчета размера Земли, предложенный Эратосфеном, оказался столь удачным, что его использовали на протяжении тысячелетий. Менялись только пункты, между которыми

▼ «Преподавание Эратосфена в Александрии», картина Бернардо Строцци.

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА ЗЕМЛИ МЕТОДОМ ЭРАТОСФЕНА



Эратосфен знал, что в день летнего солнцестояния, в полдень, когда Солнце находится наиболее высоко, в городе Сиена (сейчас он называется Асуан), на юге Египта, предметы не отбрасывают тени. Происходит это из-за того, что солнечные лучи падают на Землю вертикально. В то же самое время и в этот же день в расположенной на севере Египта Александрии, где жил Эратосфен, стены и колонны отбрасывали тень, хотя и довольно короткую. Ученый измерил длину тени от обелиска, стоявшего неподалеку от Александрийской библиотеки, где он работал, и, зная высоту этого обелиска, вычислил, что в Александрии солнечные лучи отклоняются от вертикали на семь с небольшим градусов. Значит, заключил Эратосфен, Александрия стоит от Сиены, где лучи падают на Землю отвесно, на эти самые семь с небольшим градусов, то есть примерно на 1/50 окружности.

Расстояние от Александрии до Сиены равнялось, по данным Эратосфена, 5000 стадиев. А коль скоро 1/50 земной окружности составляет 5000 стадиев, то длина всей окружности – 250 000 стадиев. Если Эратосфен использовал так называемый египетский стадий, равный 157,5 м, то результат оказывается просто неправдоподобно точным – 39 375 км, что лишь на 633 км меньше истинного значения (40 008 км). И это при том, что расстояние между городами в то время определялось через количество дней, затраченных на переход от одного города до другого. К тому же дополнительная ошибка возникла из-за того, что Эратосфен считал, что Александрия и Сиена находятся на одном меридиане, тогда как на самом деле меридианы этих двух городов отстоят друг от друга на три градуса, а это значит, что расстояние между ними на самом деле больше, чем 1/50 земной окружности.

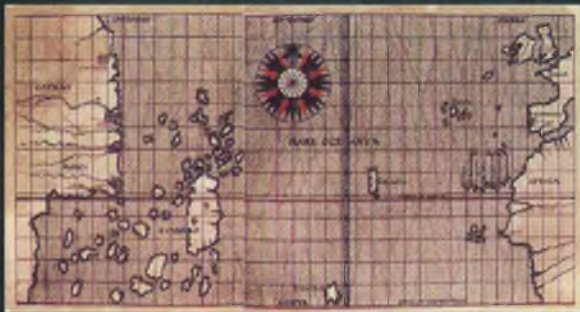


ОШИБКА КОЛУМБА

Если размеры Земли были приблизительно известны уже древним грекам, почему же так сильно ошибся Колумб, считавший, что если плыть из Европы на запад, то преодолев всего 5000 километров, окажешься в Японии? Дело в том, что великий мореплаватель основывал свои расчеты на карте итальянского географа Паоло Тосканелли, который,

как теперь известно, при ее составлении ошибся в расчетах, вдвое увеличив протяженность Азии с запада на восток и, соответственно, сократив ширину предполагаемого океана, разделявшего Европу и Японию. Кроме того, Тосканелли брал данные о размере Земли не из работы Эратосфена, а из трудов другого древнегреческого ученого – Птолемея, исходя же

из них получается, что длина земной окружности составляет всего 28 800 км. Впрочем, возможно, что Колумб, знавший географию очень хорошо, специально называл минимальную цифру, чтобы не пугать большим расстоянием тех, кто давал деньги на снаряжение его экспедиции.



◀ Карта Паоло Тосканелли. Немудрено, что пользовавшийся ею Колумб открыл совсем не то, что хотел!

▶ Христофор Колумб.



проводилось измерение расстояния, а самое главное – способ этого измерения. Весьма точные результаты получили в 827 году арабские ученые, жившие на территории современного Ирака: они измерили длину 1° широты мерной лентой и получили 111,088 км. Длина земной окружности, исходя из этой цифры, составляет 39 992 км – ошибка всего на 16 км! Однако в Европе эта работа оставалась неизвестной – до начала эпохи Великих географических открытий практической надобности в точном знании размера Земли не было. Только когда выяснилось, что открытые Колумбом земли оказались не Японией, а новым неизвестным материком, люди поняли, что информация о размере Земли крайне важна. Поэтому в 1528 году французский ученый Жан Фернель измерил дугу **меридиана*** между Парижем и находящимся в ста с небольшим километрах к северу

от него Амьеном. В отличие от своих арабских предшественников, Фернель получал расстояние счетом оборотов колеса своей повозки, поэтому неудивительно, что результат у него получился менее точный – 110,41 км в 1° широты: умножив 110,41 км на 360°, Фернель высчитал, что длина земной окружности составляет 39 748 км.

СПЛЮСНУТА ИЛИ РАСТЯНУТА?

Прошло полтора столетия, и великий английский физик Исаак Ньютон пришел к выводу, ▶▶

■ Исаак Ньютон, портрет работы Готфрида Кнеллера.

*Терминал

Меридиан – условная линия, проходящая от Северного до Южного полюса Земли. Все точки меридиана имеют одинаковую долготу – координату на сферической поверхности.

■ Жан Фернель, математик, астроном и врач.





► Джованни Доменико Кассини составил первую карту Луны, высчитал расстояние от Земли до Солнца и до Марса, но не верил в закон всемирного тяготения и ошибся в определении формы Земли.



*Терминал

Параллель – условные линии, параллельные земному экватору. Все точки параллели имеют одинаковую широту – вторую координату на сферической поверхности.

►► что Земля не идеальный шар, она немного сплюснута у полюсов из-за центробежной силы, возникающей при ее вращении. Проверить эту гипотезу взялся знаменитый французский ученый Джованни Доменико Кассини. Для этого он организовал измерение градусной дуги через всю Францию: от Па-де-Кале до испанской границы. Ведь если Земля сплюснута у полюсов, рассуждал Кассини, то кривизна дуги меридиана

у полюсов должна быть немного меньше, чем у экватора (см. дополнительный текст внизу слева), а значит, длина градуса широты постепенно возрастает от экватора к полюсам, то есть на севере Франции градус широты окажется немного больше, чем на юге. В 1718 году работы были закончены, но результат оказался обратным ожидаемому: на севере Франции длина одного градуса получилась меньше, чем на юге (позднее выяснилось, что наблюдения были неточными). На основании этого Кассини решил, что Земля не сплюснута у полюсов, а наоборот, вытянута вдоль оси вращения.

► Сейчас расстояния между отдельными точками Земли определяют с точностью до миллиметра. Для таких измерений используют систему, состоящую из наземных лазеров и космических спутников.

ПОЧЕМУ ЧЕМ БЛИЖЕ К ПОЛЮСАМ, ТЕМ ДЛИННЕЕ ОКАЗЫВАЕТСЯ ДЛИНА ДУГИ ГРАДУСА ШИРОТЫ?



Чтобы окончательно решить вопрос о форме Земли, Французская академия наук решила снарядить две большие экспедиции в районы с максимально различающейся широтой, чтобы разница в длинах градусов, если она существует, точно обнаружилась. В 1735 году одна экспедиция отправилась на экватор, в Перу, другая – поближе к полюсу, на север Швеции. Результаты экспедиций доказали сжатие Земли у полюсов. Величина этого сжатия несколько раз уточнялась, и сейчас считается, что расстояние между полюсами примерно на 43 км меньше, чем между двумя противоположными точками на экваторе.

«НЕПРАВИЛЬНЫЙ» МЕТР

В 1791 году французы в очередной раз взялись за измерение длины меридиана, ведь новая единица измерения длины, принятая после Великой французской революции, – метр – была определена как одна десятиmillionная расстояния от полюса до экватора, а значит, нужно было как можно точнее определить это расстояние.



▲ Метр как одна десятиллионная расстояния от Северного полюса до экватора.

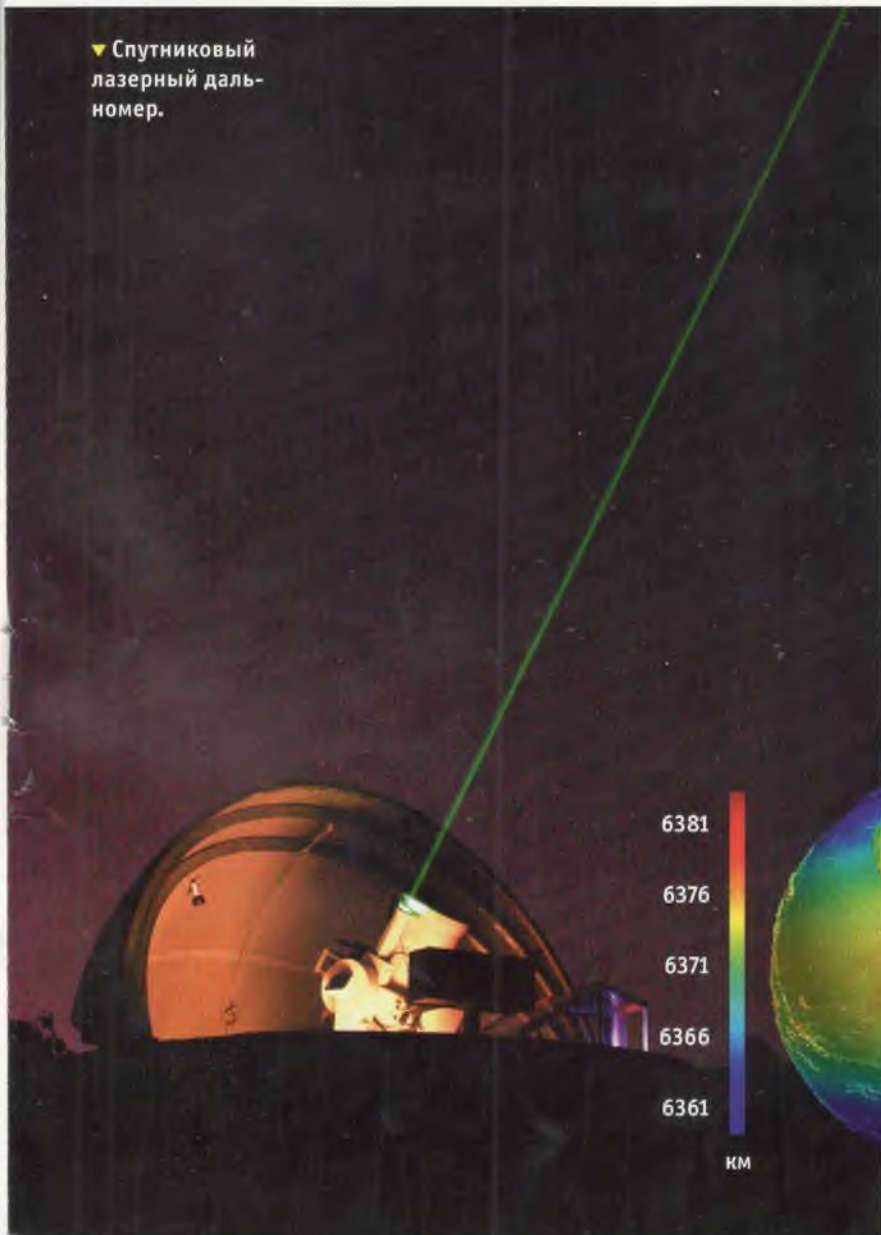
МОРСКАЯ МИЛЯ

К концу XVI века англичане, ставшие к тому времени одной из ведущих морских наций, привязали единицу измерения расстояния к градусу широты. Это удобно – не нужно переводить расстояния, полученные в градусах и минутах, в другие единицы измерения. Поэтому для вычисления расстояний в море в Англии, а затем и в других странах, стали применять единицу, равную одной минуте ($1/60$ градуса) широты – морскую милю. Однако из-за того, что градус широты оказался неодинаковым на разном расстоянии от экватора, длина морской мили получилась плавающей – от 1862 м на полюсе до 1843 м на экваторе. С 1929 года морской милей считается расстояние, равное 1852 м.



ФОТО: J. RG WEINGRILL

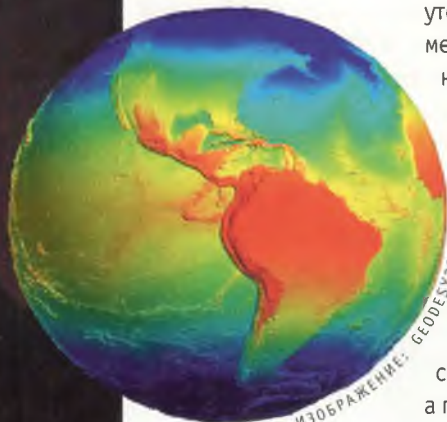
▼ Спутниковый лазерный дальномер.



Для этого градусная дуга Кассини была измерена более точными приборами и продолжена на юг до Барселоны, чтобы середина дуги находилась почти на одинаковом расстоянии от Северного полюса и от экватора. Это позволило избежать ошибки, возникающей

▲ На этом изображении цветом показаны расстояния от центра Земли до ее поверхности.

из-за сплюснутой формы Земли. По результатам измерений был изготовлен платиновый метр, который и использовался в дальнейшем в качестве эталона. Однако последующие уточнения показали, что этот метр оказался немного короче, чем должен был бы быть. Но изменять метр не стали, поскольку на нем уже была основана вся метрическая система мер, и длина земной окружности, проведенной через полюса, составляет сейчас не ровно 40 000, а примерно 40 008 км. ■



ИЗОБРАЖЕНИЕ: GEODESY2000