

EV Afonasin, AS Afonasina, AI Shchetnikov. Antique space. (Ancient cosmos)
Essays on the history of ancient astronomy and cosmology. St. Petersburg:
Publishing House of the Russian State Medical Academy, 2016. - 405 p. (In russian)

Its first part contains Russian translations of three most prominent ancient astronomy textbooks, Geminus' Introduction to the Phenomena, Cleomedes' On the Circular Motions of the Celestial Bodies, and Theon of Smyrna's The Mathematics Useful for Understanding Plato, all prepared by Andrey Schetnikov.

The second part of the book consists of **five essays**.

234

Andrey Schetnikov Measurement of distances in ancient Greek astronomy p 216 - 224
In the first essay, reconstructs and illustrates the ways ancient astronomers measured distances to removed celestial objects. Two attachments are devoted to al-Biruni's and early modern measurements of the distances to the Sun and the Moon.

Andrey Schetnikov Spherical Earth from the ancient Greeks to the era of the great Geographical discoveries p 225 - 268
In the second essay, entitled Spherical Earth: From the Ancient Greeks to the period of the great geographic discoveries, the same author deals with the origin and late development of the spherical Earth's doctrine in ancient Greece, as well as how it was assimilated in other cultures that came into the contact with Hellenistic culture directly or through a chain of tradition. Special attention is paid to the methods of mathematical geography, which allow to measure the circumference of the globe and to determine the coordinates of geographical points on its surface.

Anna Afonasina Measurement of time in Antiquity: clepsydra and its features 269 - 287
In the third essay, entitled Measuring Time in Antiquity. Clepsydra and its Peculiarities (on the basis of literary testimonies and archeological data from Amphiareion), discusses an episode in the universal history of metrology and standardization. Based on literary testimonies and archeological data the author first outlines the history of development of various types of the water clocks, clepsydra. Special attention is paid to the usage of clepsydra in public life (esp. in legal proceeding) and in medical practice. Then, considering the massive water clock from the sanctuary of the healer-god Amphiaraus in Oropos author shows that in the 4th cent. BCE the water clocks became an essential part of social life, and demonstrates the ways they calibrated the device according to a 24-hours scale. The author suggests that the massive water clock, designed for continuous measuring of time, subdivided at equal hours, was built at the sanctuary of Amphiaraus for medical purposes. Such hypothesis can be confirmed by a series of passages from the Hippocratic corpus, where the word "hour" is actually introduced, as well as by two more testimonies from the medical practice of Herophilus and Galen.

Eugene Afonasin Ancient meteorology p 288 - 344
The fourth essay deals with ancient meteorology. Its author focuses on archeological data and specialized works on the subject (mostly, but not exclusively, these by Aristotle, Theophrastus and Seneca). We see that Theophrastus frequently professes ideas that would surprise the philosopher of Stagira. For instance, the student of Aristotle frequently insists that the kosmos is a living and ordered universe (the whole), and its innate movement is something which cannot be explained with the help of hand-made teleological constructions, such as the first mover. The analysis of Theophrastus' (Syriac) Meteorology and a selection of the fragments of his lost scientific works is supplemented by some observations based on his Metaphysics.

Eugene Afonasin Demiurge in ancient cosmology p 345 - 388
The fifth essay Demiurge in the Ancient Cosmogony – begins with a brief survey of the Early Greek cosmogonies of Pherecydes of Syros and of the Orphics (the latter, on the basis of the Derveni papyrus). The major concerns are the figure of Chronos and the demiurgic activity of Zeus. Ancient cosmogony is compared with the contemporary theory of time by I. Prigogine, who, not unlike the Ancients and in contrast with the standard cosmological theory of the Big Bang, thinks that Time did not originate with our world and will not end with it. Then the author examines the kybernētēs metaphor and the ideas, associated with it in the Ancient philosophy against the background of a broader literary tradition.

ИССЛЕДОВАНИЯ

ИЗМЕРЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

А. И. ЩЕТНИКОВ

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО НЕДОСТУПНЫХ ЗЕМНЫХ ПРЕДМЕТОВ

Прежде чем древнегреческие ученые смогли измерить размеры Земли и перейти к измерению расстояний до Луны и Солнца, они должны были научиться измерять размеры недоступных земных предметов и расстояний до них. Предание говорит, что первым такими измерениями занялся Фалес Милетский (ок. 624 – ок. 545 до н. э.). Рассказ о том, как Фалес, будучи в Египте, измерил высоту пирамиды по ее тени, сохранился в нескольких поздних версиях. Сообщается также, что Фалес умел измерять расстояние до корабля в открытом море.

(11 A1 = Диоген Лаэртский, *О жизни философов* I 27) Иероним говорит, что Фалес измерял пирамиды по тени, подметив момент, когда тень равна нашему росту.

(11 A21 = Плутарх, *Пир семи мудрецов* 147a) В непомерный восторг привело фараона и то, как ты измерил пирамиду – без малейшего труда и не нуждаясь ни в каких инструментах: когда ты установил палку на край тени, которую создавала пирамида, касанием луча получились два треугольника, и ты показал, что тень к тени имеет то же отношение, что и пирамида к палке.

(11 A20 = Прокл, *Комментарий к Евклиду* 352.14–18) Евдем в *Истории геометрии* возводит эту теорему [т. е. теорему о равенстве треугольников по стороне и прилежащим к ней углам] к Фалесу. Ведь чтобы найти расстояние до находящихся в море кораблей тем способом, который связывают с Фалесом, необходимо ее использовать.

Оба этих измерения на первый взгляд относятся к «прикладной математике», и в этом смысле могут быть названы «практически полезными»; однако по некотором размышлении мы можем понять, что Фалес занимался ими совсем не ради извлечения практической пользы. Их ценность – иная: они призваны показать могущество человеческого разума, способного осуществить то, что кажется невыполнимым. А потому главный шаг в нашей истории действительно был сделан тогда, когда Фалес взялся измерять расстояние до корабля в открытом море; ведь если это возможно, то почему бы не попытаться измерить расстояние до Луны или Солнца?

Приглядимся теперь к измерениям Фалеса более подробно. Будучи не слишком сложными в осуществлении, они в то же время вовсе не просты в своем замысле: ведь этот замысел основывается на базовой математической модели, соединяющей в себе ряд важных понятий, относящихся к арифметике (пропорция как равенство отношений), геометрии (подобие сходно расположенных треугольников) и геометрической оптике (луч света и луч зрения).

Чтобы измерить высоту пирамиды по способу Фалеса, как он описан у Плутарха, мы должны допустить, что всякий вертикально поставленный предмет отбрасывает тень, пропорциональную его высоте: если предмет A во сколько-то раз выше предмета B , то и тень предмета A' во столько же раз длиннее тени предмета B' . Вымерив первую тень второй тенью, мы найдем соответствующее численное отношение; измерив затем высоту предмета B , мы рассчитаем высоту предмета A .

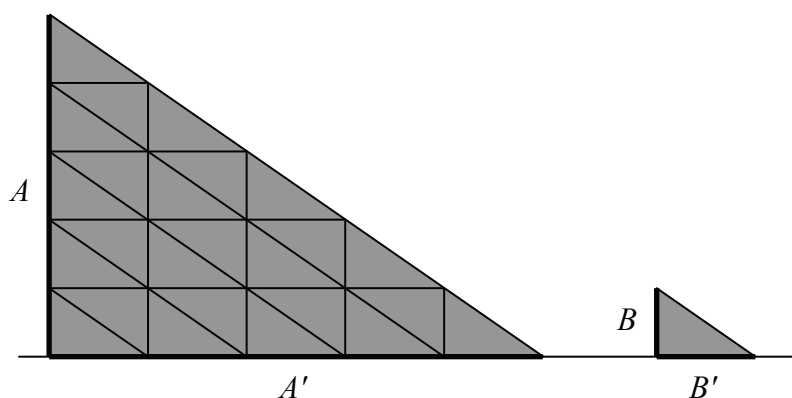


Рис. 1

Допустим теперь, что мы хотим объяснить кому-то, почему эта процедура дает правильный результат. Для этого нам надо составить схему, изображающую предметы и отбрасываемые ими тени (рис. 1); чтобы показать, как происходит отбрасывание теней, нам нужно будет провести параллельные солнечные лучи; при этом на схеме возникнут два подобных прямоугольных треугольника – одинаковых по форме, но разных по размерам; в заключение рассуждения нам нужно будет показать, как меньший из этих двух треугольников укладывается в большем и как это укладывание порождает нужную нам пропорцию.

Но это еще не все. Во-первых, нам придется объяснить, почему солнечные лучи на нашей схеме допустимо считать параллельными, хотя они расходятся от Солнца во все стороны. Во-вторых, нам надо будет научиться производить расчеты для того случая, когда мера B' не укладывается в величине A' нацело. Словом, нам придется развить систематическую теорию подобных треугольников и пропорций – ту самую теорию, на которую в дальнейшем будут опираться и астрономические измерения.

О деталях второго измерения Фалеса мы знаем совсем мало, поэтому опишем его предположительно. Чтобы измерять расстояние до кораблей в открытом море, выберем на берегу две достаточно удаленные друг от друга точки A и B , образующие *мерную базу*, и изобразим эту базу на планшете в некотором произвольно выбранном масштабе отрезком $A'B'$. Корабль,

находящийся в точке C , мы будем наблюдать из обоих концов мерной базы, перенося углы CBA и CAB между соответствующими лучами зрения на наш планшет. Лучи $A'C'$ и $B'C'$ пересекутся на планшете в точке C' , изображающей местоположение корабля на плане (рис. 2). Остается составить пропорцию: как на планшете отрезок $A'C'$ относится к отрезку $A'B'$, так и на местности расстояние AC относится к мерной базе AB .

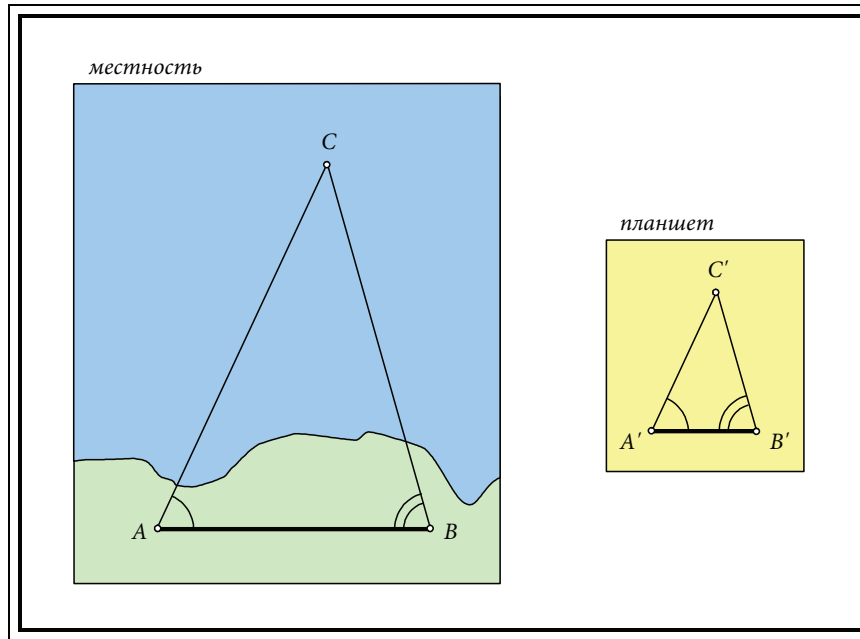


Рис. 2

До какой степени эти измерительные упражнения Фалеса были продолжены его непосредственными последователями, мы не знаем. Известно, впрочем, что ок. 530 до н. э. мегарец Евпалин по поручению тирана Поликрата организовал на Самосе строительство километрового тоннеля, которое велось одновременно с двух концов, так что расхождение в центре составило всего 10 метров (см. Ван дер Варден 1959, 141). Точность провешивания луча достигает здесь порядка 1° , так что это строительство требовало весь-

ма точного геодезического обеспечения, составления масштабных планов и применения специальных оптических приборов – диоптров.

Следующее имеющееся у нас свидетельство об измерениях размеров недоступных земных предметов относится уже к эллинистической эпохе: в нем сообщается о геодезических занятиях Дикеарха (вторая половина IV в. до н. э.) и Эратосфена (276–194 до н. э.), измерявших высоту гор.

(Плиний, *Естественная история* II 65.62) Один из самых ученых мужей, Дикеарх, по приказу царей измерял высоты гор; он сообщал, что самая высокая из гор Пелион имеет 1 250 шагов высоты.

(Теон Смирнский, *Изложение* 124.21) Эратосфен и Дикеарх нашли, что высота высочайших гор над низинами составляет десять стадиев по отвесу, получив этот результат с помощью диоптра, позволяющего по результатам наблюдений измерять удаленные размеры.

(Гемин, *Введение в явления* 17.5) Высота Киллены меньше 15 стадиев, как показал в своих измерениях Дикеарх; а Атабирион по отвесу меньше 8 стадиев.

ОБЪЯСНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ И ЛУННЫХ ЗАТМЕНИЙ

Ряд свидетельств связывает имя Фалеса с теорией солнечных затмений. Одни из них, восходящие к сообщению Геродота, говорят о том, что Фалес предсказал солнечное затмение; другие же, более многочисленные, хотя и более поздние, сообщают о том, что Фалес объяснил природу затмения. Мы начнем с сообщений первого типа, а затем перейдем ко вторым.

(11 A5 = Геродот, *История* I 74) И случилось так, что когда завязалась битва, день внезапно стал ночью. Это пресечение дня предсказал ионийцам на будущее Фалес Милетский, назначив в качестве срока тот самый год, в который оно как раз и произошло.

(11 A5 = Климент Александрийский, *Строматы* I 65) Евдем в *Истории астрономии* говорит, что Фалес предсказал затмение Солнца, произошедшее в то время, как завязали между собой сражение мидяне и лидийцы.

Неоднократно указывалось на то, что Фалес в принципе мог предсказать день солнечного затмения, если он был знаком с соответствующими вавилонскими таблицами. Предсказать же тот факт, что затмение будет полным, он был не в состоянии – таблицы не позволяли этого делать.

(11 A1 = Диоген Лаэртский, *О жизни философов* I 22) Согласно некоторым, что он написал только два сочинения – *О солнцевороте* и *О равноденствии*, прочее сочтя непостижимым. Считается, что он первым занялся астрономией и предсказал солнечные затмения и солнцевороты, как говорит Евдем в *Истории астрономии*. Считается, что он первым открыл прохождение Солнца от тропика к тропику и первым сказал, что величина Солнца составляет $\frac{1}{720}$ часть от солнечного круга, равно как и величина Луны – $\frac{1}{720}$ от лунного круга.

(11 A3 = Схолии к Платону 600a) Он первым был назван мудрецом, так как открыл, что Солнце затмевается из-за покрытия Луной, и первым из эллинов узнал про Малую Медведицу и солнцевороты, а также рассуждал о величине Солнца и о природе.

(11 A17 = Теон Смирнский, *Изложение* 198.14) Евдем в *Истории астрономии* сообщает, что Фалес первым открыл затмение Солнца и то, что его период, относящийся к солнцеворотам, не всегда получается равным.

(11 A17a = Стобей II 24.1) Фалес первым сказал, что Солнце затмевается Луной, оказавшись с ней на отвесе, поскольку она землеобразна по природе. Причем это наблюдается в зеркальном положении по отношению к диску.

(11 A17b = Стобей II 27.5) Фалес первым сказал, что Луна освещается Солнцем.

Этот второй круг свидетельств в своей совокупности дает достаточно полную картину природы лунных фаз и затмений. Солнце затмевается непрозрачной Луной, когда оба светила оказываются на одной прямой по отношению к находящемуся на Земле наблюдателю; при этом равенство видимых с Земли угловых размеров Солнца и Луны приводит к тому, что при полном солнечном затмении диск Луны закрывает диск Солнца полностью, но без избытка. К этой картине следует добавить еще и тот факт, что лунные затмения происходят только в полнолуние, а солнечные – только в новолуние; в этом доводе учение о фазах Луны соединяется с учением о солнечных и лунных затмениях в одно целое.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДВУХСФЕРНОЙ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ И НЕБА

Чтобы заняться вычислениями величины земной окружности, нужно сначала прийти к мысли о том, что Земля является шаром. Похоже, что у Фалеса такого учения еще не было; а вот его младший современник и последователь по ионийской школе Анаксимандр (ок. 610 – ок. 550 до н. э.),

согласно одному из свидетельств, учил о сферичности Земли и ее центральном положении внутри космоса.

(12 A1 = Диоген Лаэртский, *О жизни философов* II 1) Анаксимандр учил, что Земля лежит посредине, будучи по порядку центральной, а по сути – шарообразной. Луна светит не сама, но освещается Солнцем. Солнце величиною не меньше Земли и представляет собою чистейший огонь. Он первым изобрел гномон и поставил его на солнечных часах в Лакедемон, чтобы указывать солнцестояния и равноденствия и следить за временем. Он первый нарисовал очертания земли и моря и, кроме того, соорудил небесную сферу.

Впрочем, большинство свидетельств описывает модель Анаксимандра гораздо более экзотично, если не сказать – удивительно:

(12 A11 = Ипполит, *Опровержение всех ересей* I 6.1) Земля – небесное тело, ничем не поддерживаемое, и она покоится вследствие равного расстояния от всего. Форма у нее округлая, закругленная, подобная каменному барабану колонны: из двух плоских поверхностей по одной ходим мы, а другая ей противоположна. Светила возникают в круге огня, отделившись от космического огня, и охваченные воздухом. Отдушинами же служат некие трубковидные проходы, через которые виднеются светила; поэтому, когда отдушины закрываются, происходят затмения. Луна видна то полной, то ущербной вследствие закрытия или открытия проходов. Круг Солнца в 27 раз больше *** Луны; выше всего находится Солнце, ниже всего – круги неподвижных звезд.

Модель следующего ионийского философа, Анаксимена (ок. 580 – ок. 520 до н. э.) описывается рядом источников также весьма экзотично, с плавающей по воздуху плоской Землей (это учение сохранялось еще у Анаксагора и Демокрита); однако наряду с этими описаниями имеется и такое свидетельство:

(13 A13 = Стобей II 11.1) Анаксимен и Парменид полагают, что небо – это крайняя оболочка, вращающаяся вокруг Земли.

Похоже, что мысль о сферичности Неба утвердилась среди греческих мыслителей даже несколько раньше мысли о сферичности Земли. Возможно, что предположение о сферичности Земли первыми высказали пифагорейцы; приписывается оно также Пармениду (ок. 540 – ок. 450 до н. э.).

(Диоген Лаэртский, *О жизни философов* VIII 25) Александр в *Преемствах философов* говорит, что в пифагорейских записках содержится вот что... Имеются

четыре стихии – огонь, вода, земля, воздух; перемешиваясь и превращаясь целиком, они порождают из себя космос – одушевленный, разумный, шаровидный, в середине которого – Земля, тоже шаровидная и населенная со всех сторон.

(28 А1 = Диоген Лаэртский, *О жизни философов* IX 21) Парменид первым выдвинул утверждение, что Земля шарообразна и лежит в середине.

В целом же мы можем лишь сожалеть о том, что становление основной модели древнегреческой астрономии, со сферической Землей и вращающимся вокруг нее сферическим Небом, крайне плохо отражено в имеющихся у нас источниках; однако Аристотель (384–322 до н. э.) в своем трактате *О небе* всецело принимает эту модель и приводит ряд доводов, обосновывающих ее правильность; а ее математическому описанию посвящен трактат *О движущейся сфере*, созданный в конце IV в. до н. э. Автоликом из Питаны.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СФЕРИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

Доводы, обосновывающие сферичность Земли, известны по многим античным сочинениям. Это и упомянутый выше трактат Аристотеля, и астрономические труды Теона Смирнского, Клеомена, Птолемея и других авторов, и такие книги, как *Естественная история* Плиния Старшего, и ряд других сочинений.

Эти доводы делятся на две группы. К первой группе относятся доказательства «от наблюдаемых явлений»; ко второй – доказательства «от природы вещей». Первое доказательство «от явлений» связано с наблюдениями за лунными затмениями. Если верно то, что Луна при затмении попадает в земную тень, и если мы видим, что граница этой тени всегда дугообразна, мы можем заключить, что вся тень целиком имеет круглое поперечное сечение. Однако эта тень отбрасывается Землей; и если бы Земля имела форму, отличную от формы шара, сечение тени не было бы круглым при любых взаимных положениях Земли и Солнца.

Второе доказательство связано с видом звездного неба при перемещении наблюдателя с юга на север. В более северных широтах мы видим небесный полюс находящимся выше над горизонтом; Солнце же поднимается над горизонтом ниже, чем на юге; и некоторые звезды, которые видны на юге, не видны в северных странах, а звезды, которые в северных странах видны постоянно, в южных областях оказываются заходящими. Это доказывает, что Земля округла с юга на север.

Доказательство того, что Земля округла с востока на запад, более изощрено. Чтобы обосновать это утверждение, надо доказать, что восход Солнца происходит по одним и тем же часам раньше на востоке, и позже – на западе. Но как сделать это, если у нас нет точных часов, которые можно перевозить с одного места на другое? На помощь вновь приходят лунные затмения. Допустим, что некое лунное затмение началось в Вавилоне в полночь по местному времени; а жители Гадиры, лежащей у Геркулесовых столпов, наблюдали начало этого затмения в 9 часов вечера по местному времени. Отсюда мы можем сделать вывод, что Гадира лежит примерно на 3 часа западнее Вавилона, что составляет $\frac{1}{8}$ от полных суток, или 45° долготы.

Наконец, остается еще один довод, самый популярный, в котором рассказывается о том, как уходящий в море корабль постепенно скрывается за горизонтом, и как при приближении к берегу постепенно встают из-за горизонта прибрежные горы. Однако этот довод оказывается убедительным лишь после того, как мы уже доказали сферичность Земли другими, более изощренными способами; ведь в противном случае все моряки до всяких астрономических изысканий знали бы из своего опыта, что Земля имеет форму шара, однако это не так!

Здесь мне хотелось бы особо подчеркнуть ту сторону дела, что становление математической географии, устанавливающей сферическую форму Земли и относительное расположение отдельных пунктов по широте и по долготе, оказывается привязанным к становлению математической астрономии: мы можем с уверенностью судить о Земле как о сфере, соотнося ее с другой, небесной сферой, центр которой совпадает с центром Земли, а радиус которой в гигантское число раз превосходит радиус Земли.

Это гигантское различие радиусов неба и Земли древнегреческие астрономы выражали в следующих словах, «Земля не имеет воспринимаемого отношения к величине неба и является в нем точкой по положению». Это утверждение должно быть доказано «из явлений»; для этого нужно показать, что наблюдатель, находящийся на поверхности Земли, видит ровно половину небесной сферы: ведь если бы размеры Неба были бы сопоставимыми с размерами Земли, это было бы не так (рис. 3).

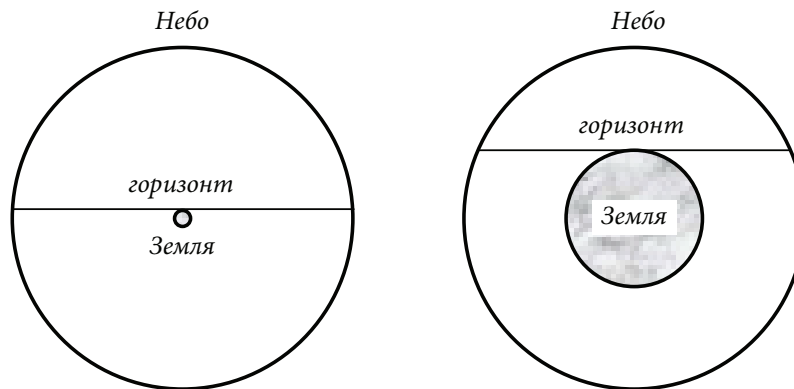


Рис. 3

Что касается доказательств сферичности Земли «от природы вещей», характернейшим из них является такое: все тяжелые тела стремятся к центру космоса, поэтому отдельные части Земли образуют сферическую фигуру, ведь в противном случае одни части поверхности были бы удалены от центра на большее расстояние, а другие – на меньшее, что нарушило бы равновесие. Как пишет Аристотель (*О небе* 297a8–12),

Земля по необходимости имеет шарообразную форму: ведь каждая из ее частей имеет вес вплоть до середины, и так как меньшая теснима большей, то они не могут образовать волнистую поверхность, но подвергаются взаимному давлению и уступают друг другу до тех пор, пока не будет достигнута середина.

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ

Исторически первое сообщение о попытках измерить размер Земли передает Аристотель во II книге *О небе* (298a15–17):

И те математики, которые пытаются вычислять через пропорции величину окружности, говорят, что она составляет около 400.000 [стадиев].

Одним из математиков, о которых говорит Аристотель, скорее всего был крупнейший астроном IV в. до н. э. Евдокс Книдский (ок. 406–355 до н. э.). Страбон в *Географии* (II, 5) сообщает о том, что Евдокс производил на Книде наблюдения появляющегося на горизонте Канопуса. Севернее Книда эта

звезда совсем не видна; зато она видна южнее, и чем дальше на юг плыть, тем выше она поднимается. Возможно, что именно на этих наблюдениях основывался полученный Евдоксом результат.

Две классических процедуры измерения размеров Земли описаны Клеомедом в трактате *О круговращении небесных тел*. Первая процедура была осуществлена Эратосфеном (276–194 до н. э.), вторая – Посидонием (ок. 135 – ок. 50 до н. э.).

В основу обеих процедур положена одна и та же идея: чтобы измерить размеры Земли, в качестве опоры для измерений надо взять небеса, поскольку одни и те же светила доступны одновременному наблюдению в разных местах на Земле. И поскольку расстояние от Земли до любого небесного светила превышает радиус Земли в такое большое число раз, постольку все лучи, приходящие от одного и того же светила к разным точкам на поверхности Земли, мы можем считать параллельными.

В обеих процедурах измеряется некоторая дуга земного меридиана: с одной стороны, измеряется ее действительная длина, с другой стороны – ее угловая величина, которая находится, как взаимный наклон двух отвесов или двух горизонтов. Зная угловую величину этой дуги, мы узнаем, какую долю она составляет от полной величины большого круга; измерив явным образом ее действительную длину, мы узнаем в итоге полную длину большого круга.

В методе Посидония, предположительно повторяющем измерения Евдокса, производится измерение наибольшей высоты Канопуса над горизонтом на Родосе и в Александрии; в методе Эратосфена измеряется высота Солнца над горизонтом в полдень летнего солнцестояния в Александрии и в Сиене.

Приведем отрывок из Клеомеда (I, 10), в котором описана процедура Эратосфена. Схема этой процедуры изображена ниже на рис. 4.

Эратосфен говорит, что Сиена и Александрия лежат на одном меридиане. Поскольку меридианы в космосе являются большими кругами, такими же большими кругами с необходимостью будут и меридианы на Земле. И поскольку таков солнечный круг между Сиеной и Александрией, то и путь между ними на Земле с необходимостью идет по большому кругу. Затем он говорит, что Сиена лежит на круге летнего тропика. И если бы летнее солнцестояние в созвездии Рака происходило ровно в полдень, то солнечные часы в этот момент времени с необходимостью не отбрасывали бы тени, поскольку Солнце находилось бы

точно над головой. А в Александрии в этот же час солнечные часы отбрасывают тень, поскольку этот город лежит к северу от Сиены. Эти города лежат на одном меридиане и на большом круге. На солнечных часах в Александрии проведем дугу, проходящую через конец тени гномона и его основание, и этот отрезок дуги произведет большой круг на чаше, поскольку чаша солнечных часов расположена на большом круге.

Далее, вообразим две прямые, опускающиеся под Землю от каждого гномона и встречающиеся в центре Земли. Солнечные часы в Сиене находятся отвесно под Солнцем, и воображаемая прямая проходит от Солнца через вершину гномона солнечных часов, производя одну прямую от Солнца до центра Земли. Вообразим еще одну прямую, проведенную от конца тени гномона через вершину гномона к Солнцу на чаше в Александрии; и она будет параллельна уже названной прямой, поскольку уже сказано, что прямые от разных частей Солнца к разным частям Земли параллельны. Прямая, проведенная от центра Земли к гномону в Александрии, образует с этими параллельными равные накрестлежащие углы. Один из них – с вершиной в центре Земли, при встрече прямых, проведенных от солнечных часов к центру Земли; а другой – с вершиной на конце гномона в Александрии, при встрече с прямой, идущей от этого конца к концу его же тени от Солнца, где эти прямые встречаются наверху. Первый угол опирается на дугу от конца тени гномона до его основания, а второй – на дугу с центром в центре Земли, проведенную от Сиены до Александрии. Эти дуги подобны между собой, поскольку на них опираются равные углы. И какое отношение имеет дуга на чаше к своему кругу, такое же отношение к своему кругу имеет и дуга от Сиены до Александрии. Но найдено, что на чаше она составляет $\frac{1}{50}$ часть своего круга. Поэтому и расстояние от Сиены до Александрии с необходимостью будет составлять $\frac{1}{50}$ часть большого круга Земли. Но оно равно 5.000 стадиев. Поэтому весь круг равен 250.000 стадиям.

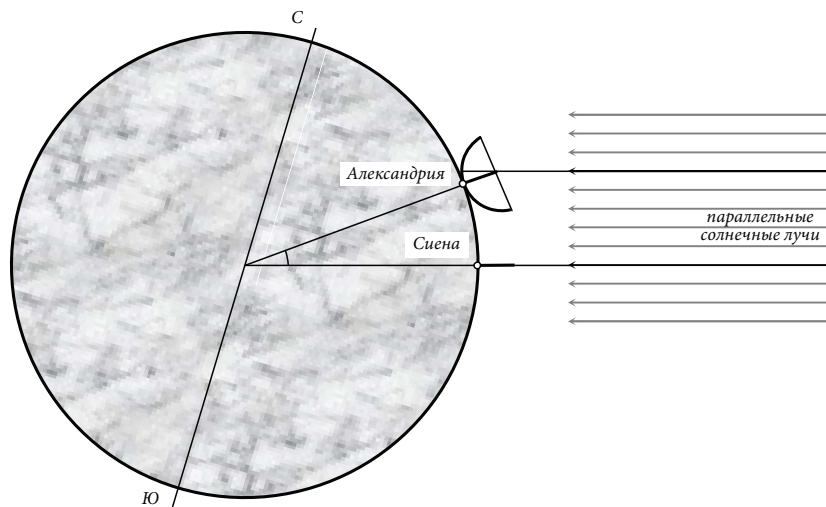


Рис. 4

Перечислим погрешности такой методики измерения. Во-первых, это ошибки, связанные с измерением углов. По современным данным разница широт Александрии и Сиены составляет $7^{\circ}08'$, Эратосфен же указывает разницу в $360^{\circ} : 50 = 7^{\circ}12'$. Этот результат получен с очень хорошей точностью, однако такое совпадение достигнуто за счет случайной компенсации ошибок. Действительные погрешности угловых измерений Эратосфена превышают $\frac{1}{2}^{\circ}$: Сиена лежит не на тропике, но на $38'$ севернее тропика, и Александрия отстоит от тропика не на $7^{\circ}12'$, но на $7^{\circ}46'$.

Во-вторых, это погрешность, возникающая при измерении расстояния между городами. Если это расстояние измерялось днями движения каравана, относительная погрешность, как мне представляется, вполне могла достигать 20%, если не больше. Если же эти города соединяла хорошая и достаточно прямая дорога, по которой могли ездить повозки, эта погрешность могла быть заметно уменьшена.

Еще одна погрешность связана с тем, что Александрия и Сиена в действительности не лежат на одном меридиане, но разнесены на 3° по долготе, вследствие чего расстояние между их параллелями меньше расстояния между самими городами.

Исследователи оценивают точность измерений Эратосфена по-разному: в зависимости от того, каким именно стадием он пользовался (см. Дитмар 1965, Dutka 1993). В любом случае, мы должны признать, что измерения Эратосфена дали греческим ученым адекватное представление о размере Земли. Перейдем теперь к измерениям Посидония, также описанным у Клеомеда (I, 10).

Сообщают, что Родос и Александрия лежат на одном меридиане, и считается, что расстояние между этими городами составляет 5.000 стадиев. Допустим, что это так. Затем Посидоний говорит о звезде по имени Канопус. Если двигаться по меридиану с севера, ее становится видно на Родосе, и она видна прямо над горизонтом при надлежащем повороте космоса. Если проплыть от Родоса 5.000 стадиев до Александрии, то обнаружится, что в Александрии эта звезда поднимается на некоторую высоту над горизонтом; и когда она восходит до середины неба, ее высота составляет $\frac{1}{4}$ от одного знака зодиака, то есть $\frac{1}{48}$ часть от зодиака в целом. Теперь получается, что отрезок земного меридиана между Родосом и Александрией с необходимостью составляет $\frac{1}{48}$ его часть, поскольку горизонт на Родосе и горизонт в Александрии отделяют $\frac{1}{48}$ часть зодиакального круга. И поскольку на Земле этот отрезок считается равным 5.000 стадиям, то все остальные упомянутые отрезки тоже будут равны 5.000 стадиям. Тем самым находится величина земного круга, равная 240.000 стадиям, если только от Родоса до Александрии их 5.000; если же нет, то в отношении расстояний.

Ошибки Посидония заметно превышают ошибки Эратосфена. Во-первых, он оценивает разность широт Родоса и Александрии в $360^\circ : 48 = 7^\circ 30'$, хотя на самом деле она равна 5° . Столь заметная погрешность проистекает из неудобства наблюдений небесных светил на горизонте, поскольку здесь и видимость оказывается наихудшей, и рефракция велика. Во-вторых, измерять расстояния по морю заметно хуже, чем по суше, так как здесь мы можем основываться лишь на времени плавания корабля. Наконец, Родос и Александрия не лежат на одном меридиане, но разнесены на $1^\circ 50'$ по долготе.

УГЛОВЫЕ РАЗМЕРЫ СОЛНЦА И ЛУНЫ

Измерить угловые размеры Солнца и Луны совсем просто. Для этого нужно заслонить светило некоторым предметом так, чтобы видимый поперечник этого предмета совпал с видимым размером светила (рис. 5). Делать это лучше всего на восходе или закате: и закрывающий предмет удобнее дер-

жать на одной горизонтали с глазом, и Солнце (если мы имеем дело с ним) не будет слепить нам глаза.

Зная, сколько раз поперечник закрывающего предмета укладывается в своей окружности, можно заключить, что столько же раз диаметр светила укладывается в своей окружности. Чтобы найти это отношение, надо узнать, сколько раз поперечник предмета укладывается в отрезке между глазом и предметом, а затем умножить результат на 2π – отношение длины окружности к ее радиусу. Для грубого расчета можно принять $\pi = 3$; для более точного – воспользоваться приближением Архимеда $\pi = 3\frac{1}{7}$.

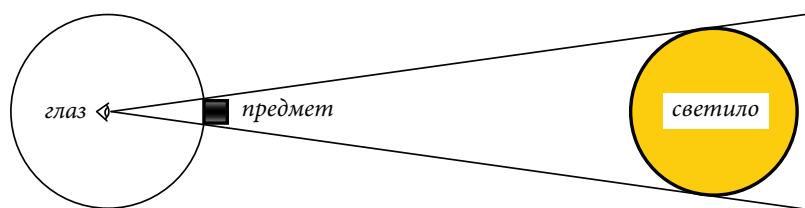


Рис. 5

Если поперечник закрывающего предмета заметно превышает диаметр зрачка, можно считать зрачок точечным. Если же эти размеры сопоставимы, надо будет сделать поправку на конечный размер зрачка; остроумный учет этой поправки предлагает Архимед (282–212 до н. э.) в *Псаммите*.

По результатам измерений Архимеда, приведенным в *Псаммите*, Солнце укладывается в своей окружности более 632, но менее 800 раз. Здесь же Архимед сообщает, что Аристарх Самосский (ок. 310 – ок. 230 до н. э.) нашел ранее, что Солнце составляет $\frac{1}{720}$ от своего круга. Мы уже видели, что этот результат приписывался Фалесу, в чем нет ничего невозможного; некоторое смущение вызывает тот факт, что $\frac{1}{720}$ от полного круга – это в точности $\frac{1}{2}^\circ$, и похоже, что этот результат подогнан под вавилонскую градусную меру, а Фалес вряд ли был с ней знаком.

В книге Аристарха Самосского *О величинах и расстояниях Солнца и Луны* одно из базовых положений гласит, что «Луна стягивает $\frac{1}{15}$ часть знака Зодиака», что примерно в 4 раза превышает истинное значение. Однако как мог Аристарх допустить такую грубую ошибку? Этот факт вызывает тем большее недоумение в свете приведенного выше свидетельства Архимеда.

Для дополнительного контроля я произвел измерение видимого диаметра Луны из окна своего дома, воспользовавшись подручными средствами. Цилиндр диаметром 14 мм полностью закрывает Луну на расстоянии 160 см. Для уменьшения эффектов, связанных с конечным размером зрачка, наблюдение велось через отверстие диаметром около 1 мм. Поперечник Луны укладывается в большом круге $1600 \cdot \frac{44}{7} : 14 = 718$ раз, для круглого счета 720; это и есть результат, приписываемый Фалесу и Аристарху.

Древним был известен еще один любопытный способ измерения видимого углового диаметра Солнца и Луны, который описывает Клеомед (II, 1):

С помощью водяных часов показывается, что если бы Солнце было однофутковым, то большой небесный круг составлял бы 750 футов. Ведь при помощи водяных часов обнаруживается, что Солнце составляет $\frac{1}{750}$ своего круга. За то время, пока Солнце поднимается из-за горизонта, из них вытекает, скажем, киаф; а за целые сутки из них вытекает 750 киафов воды. И говорят, что этот способ был впервые придуман египтянами.

К этому способу надо сделать два замечания. Во-первых, измерения надо проводить в день весеннего или осеннего равноденствия, когда Солнце находится на небесном экваторе. Во-вторых, в расчеты нужно внести поправку, учитывающую наклон экватора по отношению к горизонту. Если θ – широта местности, Δt – время солнечного восхода, T – длительность солнечных суток, то угловой поперечник Солнца равен

$$360^\circ \cdot \frac{\Delta t}{T} \cdot \cos \theta.$$

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ЛУНЫ И РАССТОЯНИЯ ДО НЕЕ: ПЕРВЫЙ МЕТОД

Первый метод измерения диаметра Луны основан на наблюдении лунного затмения и сравнении видимого диаметра Луны с видимым диаметром земной тени. Этот способ описывает Аристарх Самосский в книге *О величинах и расстояниях Солнца и Луны*; аналогичное описание приводит Клеомед (II, 1). Прежде всего, вспомним о равенстве видимых размеров Солнца и Луны; в силу этого равенства можно заключить, что во время полного солнечного затмения Луна касается земной поверхности самой вершиной своего теневого конуса (рис. 6). Тем самым на расстоянии от Земли до Луны поперечник земной тени уменьшается по сравнению с диа-

метром самой Земли в точности на диаметр Луны. Принимая наблюдения Аристарха, согласно которым Луна укладывается в земной тени 2 раза, заключаем, что Луна меньше Земли в 3 раза.

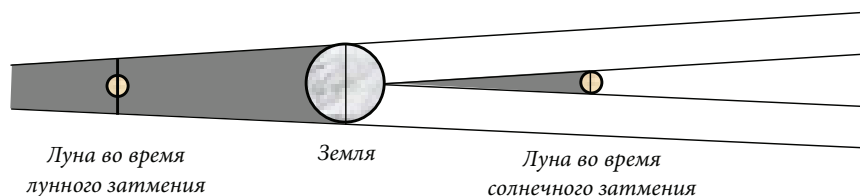


Рис. 6

Это рассуждение, конечно же, основывается на следующем базовом допущении, обсуждаемом Аристархом: расстояние до Солнца во много раз превосходит расстояние до Луны, и размеры Солнца заметно превосходят не только размеры Луны, но и размеры Земли. Именно поэтому образующие обоих конусов в рассмотренной схеме можно считать параллельными.

Оценим на основании данных Аристарха-Архимеда расстояние до Луны. Считая диаметр Земли большим диаметра Луны в 3 раза, и принимая для π значение $3\frac{1}{7} = \frac{22}{7}$, получаем, что радиус лунной орбиты составляет $720 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{7}{22} = 66$ земных радиусов.

Основным источником погрешностей этой методики является неточность определения видимого поперечника земной тени. Поскольку тень целиком нам не видна, но видна лишь нечеткая граница тени на поверхности Луны, воображаемое достраивание тени до целого круга не является простой задачей. Клеомед (2.1) приводит для определения диаметра лунной тени такие рассуждения:

Говорят, что Луна при затмениях дважды укладывается в земную тень. Ведь за какое время она входит в тень, в течение такого же времени она и скрывается в тени, так что получаются три равных времени: одно – вхождения, второе – сокрытия, третье – выхода из тени первого диска, прямо обозначенное вслед за вторым временем.

УТОЧНЕНИЕ ПЕРВОГО МЕТОДА У ГИППАРХА И ПТОЛЕМЕЯ

Папп в *Математической библиотеке* (VI, 71) приводит уточненные результаты для диаметра Луны и расстояния до нее, полученные крупнейшим астрономом античного мира Гиппархом (ок. 190 – ок. 110 до н. э.). Согласно этим результатам, Луна укладывается в круге своей орбиты 650 раз; диаметр Луны укладывается в поперечнике земной тени $2\frac{1}{2}$ раза, и поэтому Луна меньше Земли в $3\frac{1}{2}$ раза. Отсюда получаем, что радиус лунной орбиты составляет $650 \cdot \frac{2}{7} \cdot \frac{7}{22} = 59$ земных радиусов.

Как получил свои результаты Гиппарх, мы не знаем (см. реконструкцию его методов в работах Swerdlow 1969, Toomer 1973). Зато нам известны более поздние выкладки Клавдия Птолемея (ок. 87 – 165 н. э.), из которых устанавливаются и видимый размер Луны, и величина земной тени. Эти выкладки, описанные в *Альмагесте* (V, 14), основаны на сравнении результатов двух частных лунных затмений, наблюдавшихся вавилонскими астрономами. В первом затмении наибольшая фаза составляла $\frac{1}{4}$ от диаметра Луны; при этом вычисленное по времени затмения угловое расстояние от центра Луны до узла лунной орбиты было равно $\omega_1 = 9^\circ 20'$. Во втором затмении наибольшая фаза составляла $\frac{1}{2}$ от диаметра Луны; при этом угловое расстояние от центра Луны до узла лунной орбиты было равно $\omega_2 = 7^\circ 48'$ (рис. 7; одно затмение происходит вблизи восходящего узла лунной орбиты, а другое – вблизи нисходящего).

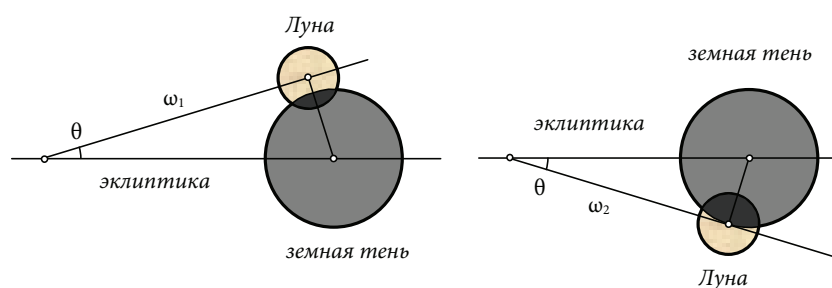


Рис. 7

Приближенно заменяя сферические прямоугольные треугольники плоскими, из подобия треугольников заключаем, что

$$\frac{r_{\tau} + \frac{1}{2}r_{\pi}}{r_{\tau}} = \frac{\omega_1}{\omega_2},$$

откуда

$$\frac{r_{\tau}}{r_{\pi}} = \frac{\omega_2}{2(\omega_1 - \omega_2)} = \frac{7^{\circ}48'}{3^{\circ}04'}.$$

Это отношение Птолемей приближает с избытком как $2\frac{3}{5}$, хотя с такой же точностью его можно приблизить с недостатком как $2\frac{1}{2}$, сохранив результат Гиппарха.

Определим теперь угловые размеры лунной тени. Из наблюдений известно, что угол θ между лунной орбитой и эклиптической составляет 5° ; тем самым

$$d_{\tau} = 2r_{\tau} = 2\omega_2 \cdot \sin\theta = 1^{\circ}21'20''.$$

Отсюда находится видимый поперечник Луны; по данным Птолемея он составляет $d_{\pi} = d_{\tau} : 2\frac{3}{5} = 31'20''$.

Основная погрешность этого измерения связана с определением наибольшей фазы затмения. Эта фаза определялась на глаз в «дактилях», составлявших $\frac{1}{12}$ видимого диаметра Луны; бóльшая точность здесь недоступима.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ЛУНЫ И РАССТОЯНИЯ ДО НЕЕ: ВТОРОЙ МЕТОД

Второй метод измерения диаметра Луны основывается на одновременном наблюдении солнечного затмения в двух пунктах, находящихся на одном меридиане на разных широтах. Этот метод применялся Гиппархом, опиравшимся на наблюдения солнечного затмения 14 марта 190 до н. э. (в астрономической датировке –189 г.). Папп в *Комментарии на Альмагест* (68.5–11) сообщает о результатах Гиппарха следующее:

В первой книге О размерах и расстояниях он берет следующее наблюдение: затмение Солнца, которое в районе Геллеспонта было полным, так что не было видно ни одной его части, в Александрии Египетской было затемнено на $\frac{4}{5}$ диаметра. С его помощью он доказывает в первой книге, считая радиус Земли рав-

ным единице, что наименьшее расстояние Луны равно 71, наибольшее – 83, и среднее – 77.

Основанные на этом же наблюдении рассуждения имеются у Клеомеда (II, 3). Исходя из предположения о том, что Солнце удалено от нас во много раз дальше, чем Луна, и его параллаксом в этой задаче можно пренебречь, мы можем заключить, что поперечник Луны составляет 5 расстояний между Геллеспонтом и Александрией (рис. 8). По данным Клеомеда это расстояние составляет 10.000 стадиев. Тем самым диаметр Луны будет составлять 50.000 стадиев. Этот результат завышен более чем в два раза; если пользоваться оценкой Эратосфена для диаметра Земли в 80.000 стадиев, и оценкой Гиппарха, согласно которой диаметр Земли в $2\frac{1}{2}$ раза больше диаметра Луны, диаметр Луны должен быть равен 22.860 стадиев.

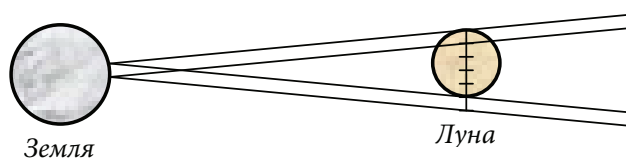


Рис. 8

Первый источник ошибки – это завышение расстояния от Александрии до Геллеспонта, связанное с трудностью измерения морских путей (по Страбону это расстояние равно 7.000 стадиев). Впрочем, разность широт между двумя городами может быть измерена астрономически, и это измерение будет более точным; надо думать, что такими астрономическими данными пользовался Гиппарх. Приняв разность широт Александрии и Геллеспонта в 9° , получаем, что широтное расстояние между городами равно 1000 км, и поперечник Луны равен 5000 км; действительный же поперечник Луны равен 3750 км, так что верный результат даже при этих данных превышен в 1,35 раза.

Второй источник ошибки связан с невозможностью точного измерения фазы затмения на глаз. Наблюдение полного затмения на Геллеспонте можно считать достоверным; но насколько достоверно то, что фаза частного затмения в Александрии была равна $\frac{4}{5}$, а не, скажем, $\frac{3}{4}$? А ведь при фазе в $\frac{3}{4}$ и расстоянии в 1000 км результат получился бы равным 4000 км с ошибкой всего в 7%.

Кроме того, нужно внести в результат поправку, связанную с тем, что во время затмения Солнце могло наблюдаться не на перпендикуляре к воображаемому отрезку, соединяющему Геллеспонт и Александрию.

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ЛУНЫ: ТРЕТИЙ МЕТОД

Третий метод определения расстояния до Луны основанный на измерении ее параллакса, описывает Клавдий Птолемей в *Альмагесте* (V, 13). В этом методе предполагается, что мы умеем вычислять для данного момента времени действительное положение Луны на небе относительно центра Земли. Идея метода основывается на следующем утверждении: поскольку Луна наблюдается не из центра Земли, но с земной поверхности, мы увидим ее несколько сдвинутой по отношению к тому месту на небе, куда ее помещает теоретическое предсказание (рис. 9).

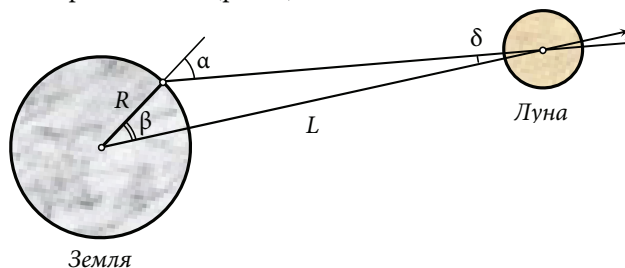


Рис. 9

Пусть углы между вертикалью наблюдателя и направлениями на Луну, проведенными из пункта наблюдения и из центра Земли, равны α и β соответственно. Угол параллакса δ , под которым радиус наблюдателя виден из центра Луны, есть $\delta = \alpha - \beta$. Расстояние между центрами Земли и Луны L может быть выражено через радиус Земли R по теореме синусов, аналогом которой пользуется Птолемей:

$$\frac{L}{R} = \frac{\sin(\pi - \alpha)}{\sin \delta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \beta)}.$$

Чтобы угол параллакса δ был по возможности бóльшим, угол α также должен быть по возможности бóльшим. Для фиксации момента времени, к

которому будут приводиться расчеты положения Луны, измерения надо проводить при прохождении Луны через небесный меридиан. При этом, чтобы Луна проходила через небесный меридиан на наибольшем удалении от зенита, для наблюдений желательно выбрать такой день, когда Луна находится вблизи точки зимнего солнцестояния.

В приводимых Птолемеем наблюдательных данных $\alpha = 50^\circ 55'$; вычисленный для момента наблюдения угол $\beta = 49^\circ 48'$; отсюда

$$\frac{L}{R} = \frac{\sin(50^\circ 55')}{\sin(1^\circ 07')} \approx 40.$$

Получив этот результат, Птолемей переходит к дальнейшим расчетам, основанным на его модели движения Луны. Эта модель хорошо описывает перемещение Луны по долготе и широте, однако для лунных расстояний она дает очень странный результат: эти расстояния могут меняться почти в два раза. Это, конечно же, неправда: ведь поперечник видимого диска Луны меняется всего лишь на 14% (обсуждение этой модели см. Бронштэн 1988). Однако Птолемей пользуется этой моделью для расчетов расстояний, несмотря на ее непригодность. Производя пересчет к сизигиям (то есть к новолуниям и полнолуниям), он получает, что среднее расстояние до Луны в сизигиях составляет 59 земных радиусов. Из-за движения Луны по эпициклу, радиус которого в модели Птолемея равен 5 земным радиусам, расстояние до Луны в сизигиях по Птолемею может меняться от 54 до 64 земных радиусов.

Достоверность этих измерений и расчетов вызвала сильное недоверие исследователей (см. Ньютон 1985, 188–192). Во-первых, для получения в наблюдении достоверного результата в 60 земных радиусов угол параллакса δ должен быть уменьшен в полтора раза, до $45'$, а это означает, что ошибка его измерения составила $22'$ или $\frac{3}{4}$ видимого поперечника Луны, что неправдоподобно. Во-вторых, подгонка окончательного ответа под известный Птолемею результат Гиппарха явно бросается в глаза, а ведь для пересчета лунного расстояния к сизигиям Птолемей использовал такую кинематическую модель, которая, как мы понимаем, совершенно непригодна для определения лунных расстояний.

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО СОЛНЦА: ПЕРВЫЙ МЕТОД

Это измерение представляется гораздо более интересным, но и гораздо более трудным по сравнению с предыдущим. Архимед в *Псаммите* пишет, что из его предшественников Евдокс считал диаметр Солнца в 9 раз большим диаметра Луны, Фидий, отец Архимеда – в 12 раз больше, а Аристарх пытался доказать, что диаметр Солнца более чем в 18 раз, но менее чем в 20 раз больше диаметра Луны.

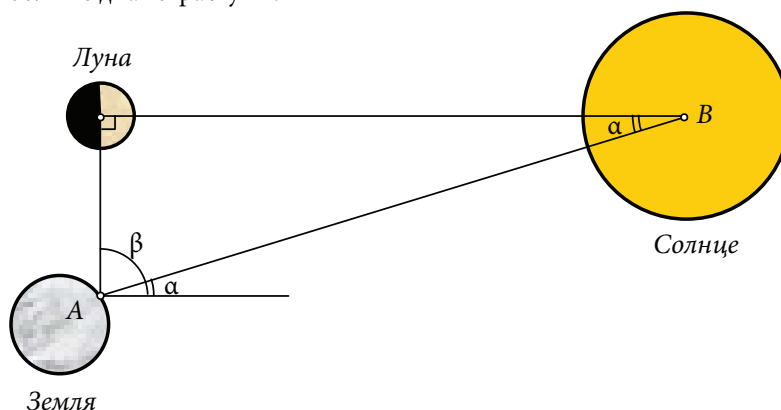


Рис. 10

Рассуждения Аристарха описаны им самим достаточно подробно. Они основываются на следующем примечательном и в какой-то мере неожиданном наблюдении. Посмотрим на Луну, когда она освещена ровно наполовину. Ясно, что направление «Луна-Солнце» в этот момент перпендикулярно направлению «Луна-Земля»: ведь Солнце освещает Луну сбоку (рис. 10). Часто бывает так, что мы видим на небе половинку Луны и одновременно с ней – Солнце; посмотрим, какой угол β образуют между собой направления «Земля-Луна» и «Земля-Солнце», проведенные от наблюдателя к центрам обоих светил. Простейшее оценочное измерение показывает, что этот угол весьма близок к прямому; а это означает, что расстояние от Земли до Солнца во многие разы превышает расстояние от Земли до Луны.

Надо думать, что это наблюдение и соответствующий вывод из него делались и раньше. Идея же Аристарха состояла в использовании этой схемы для измерения расстояния от Земли до Солнца, которое он попытался вы-

разить в расстояниях от Земли до Луны. Если мы сумеем измерить угол α , дополняющий угол β до прямого угла, путем дальнейших расчетов мы сумеем узнать, во сколько раз искомая гипотенуза AB больше уже известного нам катета AC .

К сожалению, весь этот проект оказался чреватый колоссальными погрешностями, – но ведь Аристарх об этом не знал! Прodelав свои измерения, он пришел к выводу о том, что $\alpha = 3^\circ$, и сделал на этой основе свои расчеты. В действительности же $\alpha = 10'$, и его исключительно трудно измерить. А из отношения углов мы можем заключить, что Аристарх уменьшил расстояние от Земли до Солнца примерно в 20 раз.

Главным источником ошибки в этом методе является трудность определения момента, в который надо производить наблюдение. За один час угловое расстояние между Луной и Солнцем меняется примерно на $\frac{1}{2}^\circ$. Момент времени, когда Луна освещена ровно наполовину, должен быть определен с соответствующей точностью. Сделать это прямым наблюдением Луны невозможно; но расчетный путь тоже не дает ничего обнадеживающего ввиду неравномерности наблюдаемого движения Луны по орбите.

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО СОЛНЦА: ВТОРОЙ МЕТОД

Известно, что Гиппарх также измерял размер Солнца и расстояние до него и нашел, что объем Солнца больше объема Земли в 1880 раз, по сообщению Теона Смирнского (197.10), либо в 1050 раз, по сообщению Клеомена (II, 1). Извлекая кубический корень, находим отношение солнечного и земного диаметров для первого случая $12\frac{1}{3}$, для второго случая $10\frac{1}{6}$; эти результаты схожи с результатом Аристарха, и столь же безосновательны.

Клавдий Птолемей представил свои выкладки в *Альмагесте* (V, 15). Будучи завязанными на принятую Птолемеем модели движения Луны, они представляются крайне сомнительным уже в своих исходных посылах. Приведем их для общей полноты картины, чтобы еще раз почувствовать пределы тех измерительных методов, которыми пользовались греческие астрономы.

Птолемей начинает со следующей посылки: угловой размер Луны, определенный по ее параллаксу, составляет $31'20''$ в сизигиях, если Луна при этом удалена от Земли на наибольшее расстояние, равное 64 земным радиусам; при этих условиях угловой размер Луны равен угловому размеру

Солнца. (Эта посылка неверна – ведь из нее следует, что кольцевые солнечные затмения невозможны, а они все-таки бывают. Но посмотрим, как строится рассуждение дальше.) При этом условии видимый поперечник Луны укладывается в круге лунной орбиты $360^\circ : 31'20'' = 689$ раз. Тем самым радиус Луны, отнесенный к земному радиусу, равен $(3\frac{1}{7} \cdot 64) : 689 = 0,292$.

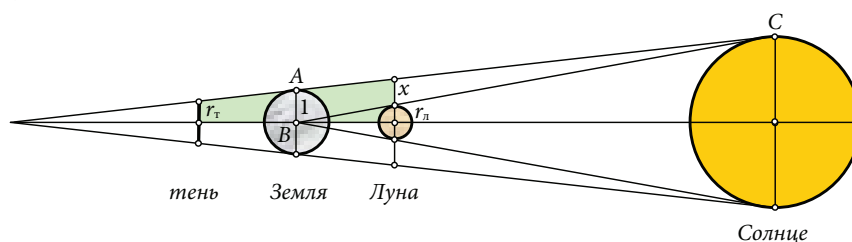


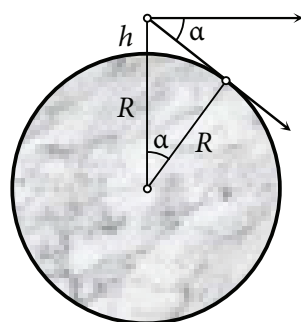
Рис. 11

Далее Птолемей использует схему, изображенную на рис. 11. В трапеции, основаниями которой являются земная тень и сечение Луны, сумма оснований равна удвоенной средней линии: $r_т + r_л + x = 2$; радиус Земли принят за единицу. По приведенным выше данным, $r_т = 2\frac{3}{5} r_л$; отсюда $x = 2 - 3\frac{3}{5} r_л = 2 - 1,05 = 0,05$.

Заметим далее, что лучи AC и BC на перегоне от Земли до Луны сошлись на $\frac{1}{20}$ исходного интервала. Тем самым их полное схождение произойдет на 20 таких перегонах, а потому расстояние от Земли до Солнца в 20 раз больше расстояния от Земли до Луны. Отсюда следует, что диаметр Солнца в 20 раз больше диаметра Луны, и в $20 \cdot 0,292 = 5,84$ раза больше диаметра Земли. (На самом же деле диаметр Солнца больше диаметра Земли в 109 раз, что свидетельствует о полной бесперспективности этого метода.)

ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ЗЕМЛИ У АЛ-БИРУНИ

Выдающийся среднеазиатский ученый Абу Райхан Бируни (973–1048) описывает в своей *Геодезии* (Бируни 1966, 214–217) альтернативный метод измерения диаметра Земли, не требующий астрономических наблюдений.



Земля

Рис. 12

Для выполнения этого измерения нужно найти высокую гору, поднимающуюся над берегом моря или плоской равниной, и определить с помощью геодезических методов ее высоту h по отвесу. Затем, поднявшись на вершину, следует определить угол α между направлением на линию горизонта и перпендикуляром к отвесу (рис. 12). Элементарные выкладки приводят к формуле

$$\frac{R}{h} = \frac{\cos \alpha}{1 - \cos \alpha}.$$

Бируни сообщает, что первым этим методом воспользовался Санад ибн Али (ок. 830), наблюдавший с высокой горы понижение Солнца в момент его захода в море. Сам Бируни произвел аналогичные наблюдения, находясь в Индии в крепости Нандна. Недалеко от крепости возвышалась гора, высоту которой Бируни определил в 650 локтей. При наблюдении с ее вершины линия визирования опустилась от горизонтали на $0^\circ 34'$; синус этого угла с хорошей точностью равен 0,01. Радиус Земли, рассчитанный по этим данным, равен 13.000.000 локтей. Отсюда один градус земного меридиана равен 227.000 локтей. Поскольку в одной миле, которой пользовался Бируни, содержится 4000 локтей, тем самым один градус земного меридиана равен $56\frac{3}{4}$ милям (это расчет мой, у самого Бируни по его таблицам получился результат в 56 миль).

Бируни сравнивает свой результат с результатами, которые получили из астрономических наблюдений две группы ученых, работавших в 827 г. в долине Синждара; у одной группы это 56 миль, у другой – $56\frac{2}{3}$ мили. Однако полученное высокое согласие его результатов с результатами предшественников вызывает у меня некоторое недоверие. В самом деле, мог ли геодезический инструмент, которым он пользовался, обеспечить точность, большую 5'? А ведь ошибка в 5' приводит здесь к погрешности измерения в 15% и к погрешности результата в 30%. А чтобы получить результат с погрешностью в 2%, надо измерять угол с погрешностью в 1%, то есть с точностью в 20", что невероятно.

Я склонен подозревать, что порядок действий Бируни в этой ситуации был таким. Прежде всего, он взял значение радиуса Земли R , полученное его предшественниками, доверяя ему как весьма точному. Затем он измерил высоту горы h и вычислил косинус угла, на который должна отклониться от горизонтали линия визирования:

$$\cos \alpha = \frac{R}{R+h}.$$

Косинус был пересчитан в синус, а по синусу найден угол. Зная угол, можно заранее настроить визирную линейку так, чтобы она отклонялась на этот угол от горизонтали. Теперь можно подняться на вершину, выставить вертикаль инструмента, посмотреть в визир и убедиться, что он направлен в точности на горизонт. Правда, сделать какие-либо измерительные поправки при этом вряд ли удастся, но согласие результатов скорее всего будет достигнуто.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2: ПЕРВЫЕ ДОСТОВЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО СОЛНЦА

Основную идею для абсолютного измерения какого-нибудь расстояния внутри Солнечной системы дает метод параллакса. Пусть два астронома одновременно наблюдают одну и ту же планету из двух различных точек Земли. Если мысленно совместить обе картины, то два изображения планеты на фоне далеких звезд будут смещены одно относительно другого. Задача состоит в том, чтобы измерить это смещение и вычислить по нему расстояние до планеты.

Попробуем понять, какова реальная сложность такого рода измерений. Для этого воспользуемся известными данными о размерах планет и расстояниях до них. К примеру, пусть наблюдения ведутся за такой планетой, как Марс. Диаметр Марса равен 6750 км, расстояние от Земли до Марса в великое противостояние составляет около 60 млн. км. В это время Марс виден с Земли под углом $23''$ – так же, как десятикопеечная монета с расстояния 150 м.

Марс в поперечнике в два раза меньше Земли. Пусть расстояние между пунктами наблюдения равно диаметру Марса, тогда и параллактический сдвиг будет равен поперечнику диска Марса. Если мы хотим определить расстояние до Марса с точностью в 5%, нам нужно будет померить параллакс с такой же точностью. Тем самым нам нужно будет измерить небесные координаты какой-либо точки на видимом диске Марса с точностью в $1''$.

Еще одна проблема состоит в том, что оба наблюдения надо выполнять в разных местах одновременно – с точностью до нескольких секунд. В самом деле, Марс в противостоянии движется относительно Земли со скоростью 360 км/мин, сдвигаясь на 5% диаметра диска за 1 минуту. Поэтому если оба наблюдения не уложатся в минутный интервал, относительный сдвиг изображений будет вызван уже не только параллаксом, но и перемещением Марса на фоне неподвижных звезд.

Поскольку при наблюдениях возможны технические неполадки, могут быть проблемы с погодой и т. п., нужно заранее согласовывать программу наблюдений – чтобы за одну ночь в назначенные моменты времени делалось несколько замеров, а сами наблюдения велись в течение нескольких недель.

Первую приемлемую оценку расстояния от Земли до Солнца таким способом получили Дж. Д. Кассини и Ж. Рише. В 1672 году, когда Марс находился в великом противостоянии с Землей, они провели свои наблюдения одновременно в Париже и в Кайенне – административном центре Французской Гвианы. Наблюдавшийся параллакс составил $24''$. По результатам этих наблюдений было найдено расстояние от Земли до Марса, которое было затем потом пересчитано в расстояние от Земли до Солнца – 140 млн. км. (По современным данным, это расстояние составляет 150 млн. км.)

Если бы параллактическое смещение можно было наблюдать на фоне некоторого «экрана», измерения несколько упростились бы. Кеплер еще в 1624 году предложил измерять расстояния между объектами Солнечной

системы, наблюдая прохождение Венеры по диску Солнца из разных точек Земли.

Прохождение Венеры – это достаточно редкое явление, поскольку Венера в момент соединения с Солнцем должна оказаться точно на эклиптике. В XVIII веке оно наблюдалось в 1761 и 1769 годах. Надо было организовать наблюдения из разных точек Земли, по возможности максимально удаленных друг от друга; для этого под эгидой Французской Академии Наук была организована большая международная программа, в которой участвовали ученые из разных стран, проводившие наблюдения во всех концах Земли. (Конечно, простая поездка за тридевять земель ради одного только наблюдения прохождения Венеры, которое может к тому же не состояться из-за плохой погоды – это слишком накладное мероприятие; поэтому наблюдение прохождения Венеры входило в программу многих комплексных географических экспедиций, направленных в далекие края разными странами.) В результате проведенных наблюдений для астрономической единицы была получена величина в пределах от 147 до 153 миллионов километров.

СФЕРИЧЕСКАЯ ЗЕМЛЯ ОТ ДРЕВНИХ ГРЕКОВ ДО ЭПОХИ ВЕЛИКИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ

А. И. ЩЕТНИКОВ

ВВЕДЕНИЕ

Возникший в XIX веке культурно-идеологический миф о том, что образованные люди средневековой Европы, в отличие от своих древнегреческих предшественников, считали Землю плоской, достаточно широко обсуждался в литературе; истории создания этого мифа и его опровержению посвящена книга Дж. Б. Рассела *Изобретение плоской Земли* (Russell 1991).

Эта тема исходно была связана с обсуждением плавания Христофора Колумба. Знал ли Колумб, что до настоящей Индии ему никак не доплыть, потому что расстояние до нее в западном направлении слишком велико? Или же он всецело руководствовался картой Тосканелли, на которой расстояние на запад от берегов Европы до Японии было примерно таким же, как действительное расстояние до Центральной Америки, а о других измерениях размеров Земли ему ничего не было известно? Если Колумбу все-таки были известны действительные размеры земного шара, то не выходит ли так, что он с самого начала плыл не в Индию, а к другим землям за Атлантическим океаном, о которых у него были какие-то сведения? Литература по этому вопросу также весьма обширна. Интересующемуся читателю я могу рекомендовать весьма обстоятельный очерк по этой теме, принадлежащий Мамедбейли (1961).

Означенные выше вопросы в этом обзоре я обсуждать вообще не буду, поскольку меня в гораздо большей степени интересует другая сторона дела.

На примере учения о круглой Земле мы можем посмотреть, как устроена научная традиция и как она работает. Это учение возникло в истории человеческой культуры один-единственный раз – в Древней Греции, в V веке до н. э. Развившись до некоторой совокупности доказательств, рабочих моделей и дальнейших умозаключений, оно приобрело стандартную форму изложения, в которой и передавалось от греков к латинянам, индийцам, сирийцам, затем – на исламский Восток, а от мусульман – к жителям Западной Европы. И именно этой стандартной формой, ее сохранением и отклонениям, возникающим при ее трансляции, мы займемся ниже.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ УЧЕНИЯ О СФЕРИЧЕСКОЙ ЗЕМЛЕ

Начальное становление теории двух сфер, согласно которой сферическая Земля находится в центре сферического Неба, может быть описано лишь в самых общих деталях по причине отсутствия у нас необходимых источников. Прежде всего, можно с уверенностью сказать, что такой теории не было ни у египтян, ни у вавилонян, так что она является греческим изобретением (см. Нейгебауер 1968, Ван-дер-Варден 1991). Вавилонская астрономия занималась расчетами и предсказаниями видимых движений небесных светил; и похоже, что вопрос о том, как эти светила располагаются в пространстве на самом деле, вавилонян не занимал. Греки же, напротив, с самого начала своих занятий науками целенаправленно занялись выдвижением астрономических гипотез, объясняющих небесные явления.

Идею о том, что Земля имеет форму шара, традиция приписывает Пифагору, а также его младшему современнику Пармениду (см. Жмудь 1990, 115). Геометрическая модель двух сфер, небесной и земной, включающая в себя учение о суточном вращении звездного неба, о годовом движении Солнца по эклиптике и о том, какие небесные явления наблюдаются в различных климатах Земли, развивалась греческими математиками по меньшей мере с конца V века до н. э. К сожалению, детали этой истории нам почти неизвестны, зато известен конечный результат: математическому описанию этой модели посвящен трактат *О движущейся сфере*, созданный Автоликом из Питаны в конце IV века до н. э., и являющийся первым целиком дошедшим до нас древнегреческим сочинением по математике.

АРИСТОТЕЛЬ

Первое подробное изложение учения о сферической Земле дает Аристотель (384–322 до н. э.) в трактате *О небе*. Этот трактат – не астрономический; большая его часть посвящена изложению собственных философских идей Аристотеля, касающихся общего устройства Вселенной. Прежде всего, здесь вводится понятие о двух видах простых движений: первое – это вращение по кругу с постоянной скоростью, второе – это движение по прямой к центру мира и в противоположном направлении от этого центра. Первый вид движения приписывается самому Небу и прочим небесным телам, второй вид – четырем элементам. Шарообразное небо, движущееся равномерным круговым движением, объявляется вечным и неуничтожимым. Сферическая Земля помещается в центр космоса и объявляется неподвижной: ее частям присуще только движение по прямой, поэтому вращательным движением она двигаться не может.

В трактате *О небе*, помимо философских спекуляций, содержатся доводы научного характера, посвященные доказательствам шарообразности Земли и излагаемые в 14 главе II книги. Прежде всего, шарообразность Земли объясняется, исходя из соображений механического равновесия взаимодействующих частей:

Земля по необходимости имеет шарообразную форму: ведь каждая из ее частей имеет вес вплоть до середины, и так как меньшая теснима большей, то они не могут образовать волнистую поверхность, но подвергаются взаимному давлению и уступают друг другу до тех пор, пока не будет достигнута середина (297a8–12).

Этот довод воспроизводился впоследствии не только в астрономических сочинениях, но также и в работах по механике: основанные на нем доказательства мы видим в первой книге трактата Архимеда *О плавающих телах*, и в частности, в предложении 2, где доказывалось, что «поверхность установившейся неподвижно жидкости имеет форму шара с тем же центром, что и у Земли».

Приводит Аристотель и ряд доказательств шарообразности Земли, основанных на наблюдениях небесных явлений. Первое доказательство связано с наблюдениями лунных затмений:

Это доказывалось, исходя из явлений, воспринимаемых чувствами. Ведь в противном случае сегменты при лунных затмениях не были бы такими. Обычно месячные фазы принимают всевозможные формы (они бывают и прямыми, и двояковыпуклыми, и вогнутыми), а в затмениях отграничивающая линия всегда дугообразна. Следовательно, раз Луна затмевается потому, что ее заслоняет Земля, то причина такой формы – окружность Земли, и Земля шарообразна (297b23–30).

Второе доказательство связано с изменениями картины звездного неба при передвижении наблюдателя к северу или к югу:

Из наблюдений звезд с очевидностью следует не только то, что Земля круглая, но и то, что ее размер невелик. Стоит нам немного переместиться к югу или к северу, как круг горизонта явно становится другим: звездное небо над головой значительно меняется, и при переезде на север или на юг видны не одни и те же звезды. Так, некоторые звезды, видимые в Египте и в окрестности Кипра, не видны в северных странах, а звезды, которые в северных странах видны постоянно, в указанных областях заходят. Таким образом, из этого ясно не только то, что Земля круглой формы, но и то, что эта сфера невелика: иначе столь незначительные перемещения не вызывали бы столь быстрых изменений (297b31–298a9).

Далее Аристотель приводит важные, хотя и курьезные соображения географического характера, в некотором смысле намечающие будущий путь Колумба:

Поэтому те, кто полагают, что область Геракловых столпов соприкасается с областью Индии и таким образом море является единым, придерживаются не таких уж невероятных воззрений. В качестве довода они указывают на слонов, род которых обитает в обеих крайних областях: края таковы потому, что соприкасаются между собой (298a9–15).

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ

Об измерениях размеров Земли в античную эпоху можно прочитать в предыдущем очерке, поэтому здесь я ограничусь кратким обзором. Аристотель в трактате *О небе* сообщает о первых попытках измерения длины земной окружности:

Математики, которые берутся вычислять величину окружности, говорят, что она составляет около сорока мириад [стадиев]. Судя по этому, тело Земли долж-

но быть не только шарообразным, но и небольшим по сравнению с величиной других звезд (298a15–20).

Одним из математиков, о которых говорит Аристотель, скорее всего был крупнейший астроном IV века до н. э. Евдокс Книдский (ок. 406–355 до н. э.). Страбон в *Географии* (II, 5.14) сообщает о том, что Евдокс производил на Книде наблюдения появляющегося на горизонте Канопуса. Севернее Книда эта звезда совсем не видна; зато она видна южнее, и чем дальше на юг плыть, тем выше она поднимается. Возможно, что именно на этих наблюдениях основывался полученный Евдоксом результат.

Сорок мириад – это 400.000 стадиев. Каким стадием пользовался Евдокс, мы не знаем; но всякий стадий составляет 100 пар шагов или 600 ступней, просто шаги и ступни в разных системах мер могут несколько различаться между собой. Один стадий, переведенный в наши метры, составляет несколько меньше 200 метров; поэтому 400.000 стадиев – это несколько меньше 80.000 километров. А охват Земли по современным данным составляет приблизительно 40.000 километров. Так что сообщаемый Аристотелем результат завышен в полтора–два раза, хотя и дает правильную оценку размеров Земли по порядку величины. Основным источником ошибки, по-видимому, в данном случае оказалась сложность измерения расстояний между географическими пунктами по морю; для повышения точности такие измерения желательно производить на суше.

Еще две процедуры измерения размеров Земли описаны в трактате Клеомеда. Первое из них было осуществлено Эратосфеном (276–194 до н. э.). Считая, что Александрия и Сиена находятся на одном меридиане, Эратосфен оценил расстояние между ними в 5.000 стадиев. Далее, ему было известно, что Сиена находится на летнем тропике, поскольку в полдень летнего солнцестояния вертикальные предметы в Сиене не отбрасывают тени. В это же время в Александрии Солнце наблюдается по отношению к вертикали под углом, который по результатам измерений Эратосфена составляет $\frac{1}{50}$ от меридионального круга. Отсюда следует, что дуга меридиана между Александрией и Сиеной составляет $\frac{1}{50}$ полного охвата Земли. Тем самым полный охват Земли по Эратосфену составляет 250.000 стадиев.

Клеомед сообщает также об оценке размеров Земли, произведенной Посидонием (ок. 135 – ок. 50 до н. э.). В этой процедуре предполагается, что на одном меридиане находятся Родос и Александрия, и расстояние между

этими двумя пунктами оценивается в 5.000 стадиев. Известно, что Канопус на Родосе лишь незначительно поднимается над горизонтом, а в Александрии поднимается на « $\frac{1}{4}$ знака», то есть на $\frac{1}{48}$ часть меридионального круга. Отсюда следует, что охват Земли составляет 240.000 стадиев.

Страбон в *Географии* (II, 2.2) приписывает Посидонию другой результат измерений охвата Земли, равный 180.000 стадиев. Клавдий Птолемей в своей *Географии* также пользуется охватом Земли в 180.000 стадиев, приписывая этот результат географу Марину Тирскому, своему предшественнику, жившему в I веке н. э.

ГРЕЧЕСКИЕ УЧЕБНИКИ АСТРОНОМИИ

Ранних греческих учебных текстов по астрономии до наших дней не дошло. Зато мы имеем четыре текста эллинистической эпохи, излагающих «стандартную модель» мироустройства, принятую в это время.

Сочинение Гемина *Введение в явления* датируется 70 годом до н. э. Трактат Клеомеда *Учение о круговращении небесных тел* написан между серединой I века до н. э. и концом II века н. э. В сочинении Теона Смирнского *Изложение математических предметов, полезных при чтении Платона*, написанном в первой половине II века н. э., имеется большой астрономический раздел; Теон пишет, что он опирается на некий обзор математических наук, составленный перипатетиком Адрастом Афродизийским, жившим в I веке н. э. Все три названных текста носят обзорный, учебный характер, и в своей совокупности представляют нам широкую картину астрономических познаний, которой обладали образованные люди этой эпохи.

К этим трем учебникам надо добавить также знаменитый *Альмагест* Клавдия Птолемея (ок. 87–165 н. э.). Большая часть этого сочинения посвящена рассмотрению астрономических моделей движения небесных тел и уточнению параметров этих моделей на основе наблюдений. Однако вводный раздел носит достаточно общий характер и излагает общепринятую модель устройства мира.

Опишем теперь саму эту модель, следуя греческим источникам. Прежде всего, в этом описании обосновывается несколько связанных между собой исходных посылок: Земля шаровидна, она находится в центре сферического космоса и относится к его размерам, как «точка к величине». Шаровидность Земли в меридиональном направлении подтверждается изменением общей

картины неба при перемещении с юга на север: меняет свою высоту небесный полюс и вместе с ним наклоняется все небо, так что некоторые южные звезды делаются невидимыми, зато некоторые северные звезды становятся незаходящими. Шаровидность Земли в широтном направлении, с востока на запад, подтверждается наблюдениями за лунными затмениями: если одно и то же затмение наблюдается в местах с разной долготой, то в пунктах, расположенных восточнее, это затмение происходит в более позднее местное время, а в пунктах, расположенных западнее – в более раннее местное время.

То, что Земля находится в центре космоса, не имеет воспринимаемого отношения к величине неба и является в нем точкой по положению, обосновывается тем, что мы всегда видим над горизонтом половину небесной сферы, и диаметрально противоположные светила одновременно заходят и восходят, а также тем, что небесные светила, за исключением Луны, не имеют видимых параллаксов.

Далее обзор переходит к описанию небесной сферы: ее полюсов, параллелей, экватора, меридианов. Рассматривается также, каким образом вращение небесной сферы наблюдается в разных земных широтах, в том числе на земном экваторе и полюсах, и вводится понятие о полярных небесных кругах, отграничивающих для данного наблюдателя области незаходящих и невосходящих звезд.

После этого обсуждается истинное годовое движение Солнца по эклиптике, вносятся понятия о точках равноденствия и солнцестояния, тропические круги. Поверхность Земли разделяется на климатические пояса в соответствии с разделением небесной сферы, после чего описывается смена времен года с точки зрения наблюдателей, находящихся в этих поясах: что в течение года происходит с видимым дневным путем Солнца на экваторе, на северном и южном тропиках, в умеренных зонах, на полярных кругах, на северном и южном полюсе.

Еще одна тема, характерная для такого введения – это разделение всей земной поверхности на четыре части экватором и меридиональным кругом. В одной из таких частей живем мы, это наша ойкумена. Во второй части, находящейся с нами по одну сторону от экватора, живут наши «соседи». В третьей части, с которой мы граничим по экватору, живут «противожи-

тели». Наконец в четвертой части, диаметрально противоположной по отношению к нам, живут наши антиподы.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

Первую попытку подвести под географическую науку математический фундамент сделал Эратосфен; и не случайно он же произвел первое детально описанное измерение размеров Земли. Эту же линию математизации географии продолжил величайший греческий астроном Гиппарх из Никеи, живший в середине II века до н. э. Гиппарх признавал единственно правильным приемом составления карт такой, при котором координаты наносимых на карту пунктов определяются с помощью астрономических наблюдений.

Географические сочинения Эратосфена и Гиппарха до нас не дошли; мы знаем о них только по отдельным извлечениям у Страбона и других авторов. Страбон, живший на рубеже I века до н. э. и I века н. э., во введении к *Географии* говорит о связи своего предмета с астрономией и геометрией в следующих словах:

(I, 1.12) Гиппарх в своем сочинении против Эратосфена прекрасно доказывает, что и частный человек, и любитель наук нуждаются в знании географии, но не могут овладеть ей в достаточной степени без понимания неба и без умения определять затмения. К примеру, невозможно узнать, севернее ли Александрия Египетская Вавилона или южнее и насколько, без рассмотрения климатов. Сходным образом узнать, ближе ли какие-нибудь страны к востоку или к западу, можно только через сравнение затмений Солнца и Луны.

(I, 1.20) География более всего нуждается в поддержке геометрии и астрономии. И это воистину так. Ведь без применения методов этих двух наук нельзя точно определить фигуры, климаты, величины и все такое прочее. Но так как все относящееся к измерению Земли в целом доказывается в других сочинениях, то в этом нашем труде я должен допустить и признать правильными доказанные там положения о шаровидности мира и шаровидности земной поверхности; а еще я должен первым делом допустить, что тела влекутся к середине.

Еще одно дошедшее до нас географическое руководство было составлено Клавдием Птолемеем. Как и подобает математику, Птолемей стремился основываться на данных о местоположении географических пунктов, полученных астрономическим путем:

Математический метод в географии – это самая главная ее часть. Ведь прежде всего следует рассмотреть форму и величину всей Земли, а также ее положение относительно того, что ее охватывает, чтобы можно было после этого говорить и о нашей части – какова она и под какой параллелью небесной сферы находится каждый ее пункт. Исходя из этого, можно будет говорить о продолжительности ночи и дня, неподвижных звездах в зените и тех, которые всегда вращаются над Землей, и о том, что мы связываем с понятием об обитаемом мире. Это возвышенные и прекрасные теории, позволяющие с помощью математики обозревать само небо, каково оно по природе и как оно нас окружает, и образ Земли. Настоящую же Землю, так как она огромна и поскольку она не окружает нас, ни всю сразу, ни по частям объехать нельзя (*География* I, 1).

Однако астрономических данных у Птолемея было мало, и поэтому его труд, как и сочинения предшественников, в значительной степени основывается на сообщениях о расстояниях, которые приходится проходить караванам и судам при прохождении от одного пункта до другого.

Рассмотрим приемы определения географической широты и долготы, о которых говорит Гиппарх у Страбона, чуть более подробно. Широта – это угловое расстояние от экватора. Она равна высоте полюса над горизонтом, на чем основывается один из приемов ее измерения. Определение широты – это весьма простая процедура, и оно может быть выполнено с точностью $\pm 1^\circ$ с помощью самых простых приборов.

Долгота – это угловое расстояние, отсчитываемое по экватору от условного нулевого меридиана до меридиана того пункта, для которого она определяется. Поскольку все меридианы на Земле одинаковы, мы можем определять лишь разность долгот для двух пунктов. Единственным доступным в античности способом астрономического измерения долготы служила описанная выше процедура, основанная на наблюдении лунных затмений. Один час разности во времени – это 15° разности по долготе. Даже заранее согласованное наблюдение с участием настоящих астрономов при отсутствии точных часов не обещает быть слишком точным; в большинстве же случаев приходится довольствоваться случайными сообщениями, если таковые вообще имеются. Так что с определением долгот у древнегреческих географов были значительные проблемы. По этой причине греки считали свою ойкумену более растянутой по долготе, чем она есть на самом деле. На известные страны, от островов Блаженных на западе до Китая на востоке,

Птолемей отводил 180°, Средиземное море вместо 42° долготы имело у него длину в 60°, и т. п.

РАЗВИТИЕ КАРТОГРАФИИ

Первую карту ойкумены, по преданию, составил Анаксимандр (первая половина VI века до н. э.). Этот тип карты, использовавшийся в V–IV веках до н. э., представлял собой круглый диск, «круг земной» (γῆς περίοδος), в центре которого находились Дельфы. Всю сушу окружал океан, деливший ее заливами на три части: Европу, Азию, Ливию.

Следующий тип карты был предложен Эратосфеном. На этой карте были нанесены параллели и меридианы, образующие сетку взаимно перпендикулярных прямых. Всего Эратосфен провел на своей карте 8 параллелей и 8 меридианов, проходивших через известные ему пункты на неравных расстояниях друг от друга. Ойкумена простиралась на этой карте от Иберийского полуострова до Индии и Цейлона по долготе и от истоков Нила и Цейлона до острова Туле по широте. Карта Эратосфена представляла собой прямоугольник с соотношением сторон 2 : 1. Аналогичным образом изображали ойкумену и многие последующие географы.

Две новых картографических проекции были введены Птолемеем. Первая проекция была конической. Прямолинейные меридианы сходились на ней в одной точке, параллели изображались концентрическими окружностями. Южнее экватора эту проекцию приходилось подвергать сильному искажению, чтобы ни одна параллель не оказалась более длинной, чем экватор. На второй проекции и параллели, и меридианы изображались кривыми линиями.

РИМЛЯНЕ – ПЕРВОЕ КУЛЬТУРНОЕ ЗАИМСТВОВАНИЕ

Стандартную модель мира, принятую в греческой науке, описывают в своих сочинениях и образованные римские писатели, познакомившиеся с греческой ученостью. При этом все сохранившиеся описания этой модели демонстрируют стоическое влияние и возможно, восходят к одному и тому же общему источнику.

Марк Туллий Цицерон (106 – 43 до н. э.), получивший прекрасное греческое философское образование, во второй книге своего трактата *О природе богов* не только выказывает основательное знакомство с космогониче-

скими и астрономическими теориями греческих философов и астрономов, но еще и говорит о «сфере, которую недавно изготовил наш друг Посидоний, сфере, отдельные обороты которой воспроизводят то, что происходит на небе с Солнцем, Луной и пятью планетами в разные дни и ночи» (*О природе богов* II 88). Другой небесный глобус, изготовленный Архимедом, Цицерон ранее видел в Риме (*О государстве* I 21–22). По-видимому, к Посидонию, у которого Цицерон учился на Родосе, восходит и следующее описание:

А больше всего достойно восхищения то, что мир так устойчив, и представляет собою неразрывное целое, настолько приспособленное к сохранению своего существования, что более приспособленного невозможно и вообразить себе. Ибо все его части, со всех сторон стремясь к центру, производят равномерное напряжение. Наиболее же прочно тела связываются между собой тогда, когда они связаны как бы некой охватывающей цепью, что делается той природой, которая разлита по всему миру и все совершает с умом и разумом, и все, что на самом краю, влечет и обращает к центру. Стало быть, если мир шарообразен и по этой причине все его части, равномерно расположенные со всех сторон, сами собой и между собой связаны, то по необходимости это должно относиться и к Земле, ибо, поскольку все ее части тянутся к центру (ведь центр в шаре и есть самый низ), то ничто не может помешать действию этой силы тяжести и веса. По этой-то причине море, хотя оно над землей, тяготея, однако, к ее центру, равномерно закругляется со всех сторон, и никогда не выходит из своих берегов и не разливается (*О природе богов* II 115–116).

В трактате *Об ораторе* (III, 178) Цицерон дает еще одну лаконичную формулировку устройства мира: «Небо округло, Земля находится в середине и своею собственной силой держится в равновесии».

Стоические мотивы, связанные с возникновением мира из четырех элементов, завершающегося формированием твердой земли, омываемой морем, содержатся и в других астрономических текстах, принадлежащих латинским писателям первого века нашей эры. Автором первого астрономического трактата на латинском языке, составленного на основе греческих источников, был Гай Юлий Гигин (ок. 70 до н. э. – 17 н. э.). В первой книге своей *Астрономии* он пишет о том, что

Земля, располагаясь в середине мира, находится на одинаковом расстоянии от всех его частей, занимая центр сферы... Океан, разлившись до крайних преде-

лов сферы, омывает границы почти всей земли. Поэтому принято считать, что в него опускаются заходящие созвездия (Гигин 1997).

Марк Манилий составил в I веке н. э. *Астрономику* – первое латинское сочинение по астрологии, написанное в стихах. Первую книгу этого сочинения он начинает с рассказа о том, как из четырех элементов «родился круглый мир, омываемый со всех сторон океаном».

Земля находится в центре, окруженная воздухом и равноудаленная от всех частей мира, не плоского, но имеющего форму сферы, везде одинаково восходящего и заходящего... Такова форма природы, сохраняющаяся всегда, у нее нет ни конца, ни начала, она везде подобна и равна себе самой. И Земля, подобно Вселенной, имеет форму шара и, будучи самым тяжелым из небесных тел, занимает абсолютно центральное место (Манилий 1993, 34–35).

Плиний Старший (23 – 79 н. э.) во второй книге *Естественной истории* пишет о том, что «относительно Земли все придерживаются одинакового мнения», и излагает основы этого учения в следующих словах:

(160) Мы называем ее крутом земным и отдаем себе отчет в том, что она представляет собой шар, имеющий два полюса. При большой высоте гор и плоскости равнин у нее форма несовершенного шара, но если противоположные точки соединить посредством окружности, то Земля будет иметь вид правильного шара: это подсказывает нам и закон природы, но не по тем причинам, которые мы привели, рассказывая о небе. Ведь Небо образует полую вогнутость и со всех сторон покоится на Земле, как на своей опоре: Земля же, будучи твердой и плотной, возвышается подобно опухоли и выдается вовне. Мир стремится к своему центру, а Земля выдается из центра; огромная ее масса принимает форму шара в результате постоянного вращения мира вокруг нее... Раньше, кажется, считали, что суша занимает половину земного шара, будто она нисколько не уступает самому океану, который, огибая все вокруг, вливает и принимает в себя все прочие воды и то, что уходит в облака, питает сами звезды, столь большие и многочисленные, – какое же тогда пространство должен занимать океан? Владения этой огромной массы воды должны быть неизмеримы и бесконечны (*Античная география* 1953, 239–242).

Имеются у Плиния и разные доказательства шарообразности Земли и ее центрального положения в космосе, знакомые нам по греческим трактатам: изменение высоты полюсов при перемене климата, разница во временах лунных затмений в земных пунктах с разной долготой; впрочем, некоторые доказательства он излагает весьма путано.

Витрувий (вторая половина I в. н. э.) в девятой книге *Об архитектуре* говорит о том, что небо вращается «вокруг земли и моря на конечных шипах своей оси... так что середина земли вместе с морем естественно помещается в центре мира» (Витрувий 1936, 170).

Еще один латинский автор, живший в первой половине I века н. э. – это Помпоний Мела, составивший на основе литературных греческих источников первую латинскую *Описательную географию* в трех книгах. Общее устройство мира по традиции кратко описывается в начале первой книги:

Чем бы ни было все то, что мы называем землей и небом, – оно едино и все охватывает. Различается же оно по сторонам: где восходит солнце, оно называется востоком или восходом, где оно садится – западом или закатом, где начинает опускаться – полуднем, а противоположная сторона – севером. Посреди всего этого возвышается земля, омываемая со всех сторон морем и разделенная им же в направлении с востока на запад на две части, называемые полушариями. На земле различают пять зон. Средняя – самая жаркая, крайние – холодные; остальные обитаемы и имеют одни и те же времена года, но не одновременно. Одну из них населяют антихтоны, другую – мы. Положение той зоны неизвестно из-за жары в промежуточной области, так что можно говорить только об этой. Она вытянута с востока на запад, длина ее несколько превышает наибольшую ее ширину. Она окружена океаном и принимает в себя четыре моря: одно с севера, два с юга, четвертое с запада (*Античная география* 1953, 178).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРЕЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СФЕРИЧЕСКОЙ ЗЕМЛИ

Прежде всего следует заметить, что сферическая Земля и сферическое Небо образуют в системе этой теории единое целое. Наше знание о сферичности Земли мы приобретаем исключительно из наблюдений за небесными явлениями. Довод о кораблях, скрывающихся за горизонтом, и об островах, поднимающихся из-за горизонта при приближении к ним – поздний, добавочный, иллюстративный. Корабли и острова видели многие люди и народы, но вывода о сферичности Земли из этих наблюдений почему-то не сделал никто.

Следующая важнейшая характеристика этой теории состоит в том, что она является доказательной, основывающейся на разумных доводах. Эти доводы составляют ее существенную часть и не могут быть из нее изъяты. Без доказательных рассуждений, без убежденности в их силе теория сферической Земли превращается в безосновательную догму. И понимание этой

теории доступно только образованным людям, усвоившим лежащую в ее основе систему доказательств.

Усвоение этой теории предполагает также обращение к геометрическим моделям: чертежам и армиллярным сферам. Наконец, и это тоже очень важно, эта теория, будучи приложенной к геометрическим моделям, обладает мощной предсказательной силой: мы можем говорить о том, какой небосвод видит наблюдатель на экваторе или на полюсе, хотя мы сами никогда там не были, делать предсказания о существовании южного умеренного пояса, обсуждать возможность плавания в Индию и Китай через Атлантический океан. Здесь дело заключается даже не в возможности проверки, хотя она тоже важна, но в том, что мы постигаем разумом нечто такое, что не было непосредственно дано нашим чувствам.

Индия

Древняя ведическая астрономия лишь фиксирует некоторые наблюдаемые факты; там же, где речь заходит об объяснении этих фактов, она стоит целиком на мифологической основе. Земля по представлениям древних индийцев была плоской, в центре ее находилась сказочная гора Меру, обитель богов. Суша была окружена морем, море – следующей сущей, эта суша – следующим морем, и так далее. Гора Меру считалась находящейся где-то на севере, за Гималаями; небесные светила совершали свое вращение вокруг ее вершины.

Развитая научная астрономия, основанная на сферической модели космоса, появляется в Индии лишь в результате контакта с эллинистической культурой. Из сочинений более поздних авторов мы знаем, что к III–IV веку н. э. в Индии имелись настоящие астрономы, учеными книгами которых были так называемые сиддханты. Эллинистическое происхождение этих сиддхант не оставляет никакого сомнения: автором *Паулиса-сиддханты* был некий грек, носивший христианское имя Павел, а *Ромака-сиддханта* прямо названа «римской».

Первый индийский астроном, чье сочинение до нас дошло целиком, – это Ариабхата (476–550). Свою *Ариабхатию* он написал совсем молодым человеком, в 23 года; надо думать, что большая ее часть представляет собой выдержки из более древних источников. Среди содержащихся здесь сведений большой интерес представляют сведения о размере Земли. Согласно

Ариабхате, «йоджана равна росту человека, взятому 8000 раз. Диаметр Земли равен 1050 йоджан. Диаметр Солнца равен 4410 йоджан. Диаметр Луны равен 315 йоджан» (Āryabhata 1930, 15).

Диаметр Земли в 1050 йоджан очевидно произведен от охвата Земли в 3300 йоджан, что соответствует принятому у древних греков значению числа $\pi = \frac{22}{7}$ (при этом сам Ариабхата пользуется десятичным представлением $\pi = 3,1416$). Ряд авторов принимает величину йоджаны приблизительно равной 13 км, что соответствует росту человека 162,5 см. При этом охват Земли оказывается равным 42.900 км – это очень хорошее приближение к действительному охвату Земли, составляющему 40.000 км. Заметим попутно, что диаметр Луны по Ариабхате составляет $3\frac{1}{3}$ от диаметра Земли.

Ариабхата всецело придерживается учения о сферической Земле, находящейся в центре сферического Неба. Традиционные индийские предания о горе Меру и других частях мифологического космоса он приспособливает к научной астрономии древних греков; при этом вся система его доводов выстроена совершенно по-гречески.

Особый интерес представляет сообщаемая Ариабхатой теория о том, что суточное движение неба – лишь кажущееся, и вызвано оно суточным вращением Земли. Доводы его – вполне рациональны; правда, сформулированы они в одном предложении, и не вполне понятно, как они согласуются со следующим предложением. Приведем картину круглой Земли, как ее описывает Ариабхата, целиком:

Сфера Земли, совершенно круглая, находится в центре пространства, посредине звездного круга, окруженная орбитами планет, и состоит из воды, земли, огня и воздуха. Как дерево *кадамба* окружено со всех сторон цветками, так и Земля окружена со всех сторон всеми земными и водными созданиями. За день Брахмана земной шар увеличивается в размерах на йоджану; за ночь Брахмана, равную по продолжительности дню Брахмана, он уменьшается настолько, насколько раньше увеличился. Как человек, плывущий в лодке, видит неподвижные предметы движущимися назад, так и человек на Ланке видит неподвижные звезды движущимися прямо назад. Причина восходов и заходов состоит в том, что круг созвездий, вместе с планетами, постоянно движется на запад от Ланки дуновением ветра. В середине леса Нандана находится гора Меру, размером в йоджану, сияющая, окруженная горами Химават, состоящая из драгоценных камней, совершенно круглая. Небеса и Меру находятся в середине земли; преисподняя и Вадавамукха находятся в середине воды. И боги, [на Меру], и обитате-

ли преисподней постоянно думают, что другие находятся под ними. Восход на Ланке – это заход в Сиддхапуре, полдень в Ямакоти, полночь в Ромаке. Ланка удалена на 90° от центра земли и центра воды. Удджайн удален прямо на север от Ланки на $22\frac{1}{2}^\circ$. Над горизонтом видна половина звездной сферы за вычетом половины радиуса Земли. Земля закрывает другую половину с добавлением радиуса Земли. Боги, обитающие на севере на горе Меру, видят северную половину звездной сферы, движущуюся слева направо. Дайты, обитающие на юге в Вадавамукхе, видят южную половину звездной сферы, движущуюся справа налево. Боги и дайты видят Солнце после восхода половину солнечного года. Отцы, обитающие на Луне, видят его половину лунного месяца. Люди здесь видят его половину суток (Āryabhata 1930, 64–69).

Еще один астроном классической эпохи, Варахамира (505–587), младший современник Ариабхаты, также работавший в Удджайне, составил *Панчасиддхантику*. Это сочинение основано на пяти древних сиддхантах, упомянутых выше. В 13 главе «Об устройстве Вселенной» сказано следующее:

Земной шар, составленный из пяти элементов, висит в пространстве в середине звездной сферы, как кусок железа между двумя магнитами. Со всех сторон он покрыт деревьями, горами, городами, рощами, реками, морями и другими предметами. В центре его находится Сумеру, обитель богов. Снизу обитают асуры... Один из полюсов виден в пространстве над Меру; другой – в пространстве снизу. Закрепленная в полюсах, звездная сфера движется дуновением ветра. Некоторые говорят, что Земля вращается, как если бы она находилась в токарном станке, а не в сфере; но в таком случае соколы и другие птицы не могли бы вернуться из эфира к своим гнездам. А еще, если бы Земля вращалась за один день, флаги и схожие с ними предметы, вынуждаемые к этому быстротой вращения, постоянно были бы направлены на запад. А если Земля вращается медленно, как она успевает совершить оборот?... Охват Земли составляет 3200 йоджан. Солнце в день равноденствия совершает обращение по небесному экватору над земным экватором, для которого Меру является полюсом... Удджайн находится на широте 24° , в 66° от Меру... Люди на Ланке видят полярную звезду на горизонте, те, кто на Меру – в зените, те, кто между ними – в среднем положении... С помощью гномона мы можем определять центр Земли или охват всей Земли, подобно тому как мы пробуем вкус соли, выпив немного соленой воды (Varāha Mihira 1889).

Мы видим здесь ту же самую картину, что и Ариабхаты, с той же степенью принятия древних мифов в качестве украшения базовой рациональной

схемы. Разногласия вызывает лишь «нестандартное» учение о вращении Земли вокруг своей оси; Варахамихира выставляет против этого учения вполне традиционные возражения.

Этот же стиль изложения мы находим у еще одного астронома из Удджайна, Брахмагупты (598–660). Его главный труд, *Брахма-спухта-сиддханта*, также начинается с изложения общей картины Неба и Земли. Прозаический текст этой книги отличается от поэтических сочинений Ариабхаты и Варахамихиры своей развернутостью. Перечисляя древние учения, Брахмагупта настаивает на том, что лишь учение астрономов является истинным, а все прочие учения – ложны:

Многообразны высказывания людей относительно формы Земли, в особенности тех, кто изучает пураны и книги религиозных законов. Одни из них полагают, что она ровная, как зеркало, другие – что она вогнутая, как миска. Еще некоторые утверждают, что она плоская, как зеркало, и окружена морем, потом землей, потом еще морем и так далее, и все они круглые, как ожерелья. Размеры каждого моря или земли вдвое больше, чем размеры охватываемого им, так что самая крайняя земля будет в шестьдесят четыре раза больше, чем срединная земля, и самое дальнее охватывающее море будет в шестьдесят четыре раза больше, чем ближайшее охватывающее море. Однако различие в восходе и заходе, так что находящийся в Ямакоти видит какую-нибудь звезду над западным горизонтом, тогда как находящийся в Ромаке видит ее в то же самое время восходящей над восточным горизонтом, делает необходимым признание шарообразности неба и Земли. За это свидетельствует и то, что находящийся на Меру видит некое светило над горизонтом в зените Ланки, родины демонов, тогда как находящийся в Ланке видит его в то же самое время над своей головой. Кроме того, все расчеты будут неверны, если не учитывать шарообразность неба и Земли. Следовательно, мы с необходимостью можем утверждать, что небо есть шар, потому что мы обнаруживаем в нем все свойства шара и эти свойства применительно к миру не были бы действительны, если бы он не был на самом деле шаром. Но тогда ни от кого не скрыто, что все прочие высказывания о форме мира ложны... Ученые утверждали, что земной шар находится в центре неба, что на земном шаре находится гора Меру, обиталище девов, и ниже ее – Вадавамукха, на которой обитают дайтьи и данавы, противники девов. При этом «ниже» они понимали только как отношение. Однако положение на всех сторонах Земли одинаковое: все люди стоят на ней прямо по направлению кверху и тяжелые предметы падают на нее по природе, подобно тому как Земле от природы присуще притягивать и удерживать предметы, воде – литься, огню – гореть, ветру – двигаться. Если какая-либо вещь захочет быть ниже Земли, пусть попробует стать ниже. Но нет

низа, кроме Земли, и семена опускаются на нее, куда бы их ни бросали, а не поднимаются с нее (цит. по: Бируни 1963, 248–251).

Надо заметить, что некоторые доводы Брахмагупты рациональны лишь по внешности, поскольку в качестве обоснования своих взглядов он привлекает такие «наблюдения», которых никто не делал. Никто не производил одновременных наблюдений в Ямакоти и в Риме; и никто не делал наблюдений на северном полюсе. Поскольку мы доказываем иным путем, что Земля круглая, мы можем потом, работая с моделью круглой Земли, говорить о том, что видят наблюдатели в противоположных точках экватора или на полюсах, точнее – что они должны видеть.

ВИЗАНТИЯ

Переходя к византийской традиции, мы прежде всего поговорим о *Христианской топографии*, составленной в середине VI в. александрийским купцом и путешественником Козьмой по прозвищу Индикоплов – «плававший в Индию». Козьма, ставший в последние годы своей жизни христианским монахом, взялся за перо, чтобы написать книгу, опровергающую учение о круглой Земле как ложное и языческое. На его взгляд, верной и согласной с библейскими текстами является совсем другая космография. Согласно Козьме, мы живем на плоской прямоугольной земле, окруженной со всех сторон океаном, за которым находится другая земля, также охватывающая океан со всех сторон. На эту другую землю опираются стены, поддерживающие твердый небосвод и находящееся над ним другое небо. Днем Солнце проходит по южной стороне неба, а ночью оно совершает обратный путь на севере, закрытое высокой горой. В течение годового цикла оно прячется за этой горой на разных уровнях, откуда происходит неравенство дней и ночей и смена времен года.

Козьма выдумал свою космографию не сам, но почерпнул ее основные идеи у мар Абы (Патрикия) – образованного перса, ставшего к концу своей жизни патриархом Персидской церкви. Сам Аба получил свои представления о плоской Земле в Нисибийской академии – идейном центре несторианства. Как пишет Н. В. Пигулевская (1951),

Козьма Индикоплов явился выразителем определенного направления, учения несториан, которое по своему философскому характеру было примитивнее, доступнее, и поэтому получило распространение в широких кругах. Как и в обла-

сти экзегезы, более примитивные представления о мироздании были им восприняты от сирийцев. Сложная система Птолемея, которую представители христианской философии стремились сочетать с данными Книги Бытия, как это делал Иоанн Филопон, была доступна и распространена преимущественно в среде более культурной, в высших кругах.

К этим «более образованным кругам» принадлежали представители сирийского монофизитства, такие как Север Себохт (ум. 666) и его ученик Иаков Эдесский (633–708), переводившие греческие труды на сирийский язык и учившие о том, что Земля имеет сферическую форму. С изложения учения о сферической Земле начинается и датируемая VII–IX веком *Армянская география*, автор которой принимает для одного градуса дуги длину в 500 стадиев, откуда для охвата Земли получается величина в 180.000 стадиев, которой пользовался Птолемей. Упоминает он, правда в несколько смутном изложении, и другой результат измерений, согласно которому длина одного градуса дуги равна 71 миле. Отсюда охват Земли равен 25560 миль; и поскольку миля равна 1000 двойным шагам или 10 стадиям, там самым этот результат оказывается близким к результату Эратосфена.

Что касается всеобщей распространенности учения Козьмы в Средние века, то она представляет собой не более чем идеологическую выдумку. Переводов *Христианской топографии* на латынь в Средние века вообще не существовало, так что Запад с этой книгой просто не был знаком. Далее, мы знаем, что космологию Козьмы, как «нелепость», отвергал в своей *Библиотеке* константинопольский патриарх Фотий (820–896). Ну и, пожалуй, самый важный довод будет таким: почти все древнегреческие астрономические трактаты дошли к нам в виде византийских рукописей, а это означает, что эти трактаты переписывались и читались. А раз читались, то и содержание их было известно и не забыто. А это содержание было всецело птолемеевым, ведь никакой другой астрономии вообще не существовало.

Среди византийских авторов, писавших по астрономии в последние века существования империи, следует назвать Георгия Пахимера (1242–1310), Феодора Метохита (1270–1332), Варлаама из Калабрии (1290–1348), Никифора Григору (1290–1360), Григория Хиониада (1295–1360), Исаака Аргири (1300–1375), Феодора Мелитениота (1320–1393). Они составляли учебники по астрономии, комментировали Птолемея, переводили на греческий язык

астрономическую литературу стран ислама – подобно тому, как раньше на арабский язык переводилась греческая астрономическая литература.

ИСЛАМСКИЙ МИР

Математические науки исламского мира, и астрономия в том числе, всецело основывались на греческой традиции. На первой стадии усвоения этих наук ими занимались в основном не арабы, а представители других народов, живших на Ближнем Востоке и в Средней Азии. Об этом говорят и имена крупнейших математиков и астрономов Багдадской школы: Абу ибн Абдаллах ал-Марвази (770–870) был выходцем из Мерва, Мухаммад ал-Хорезми (783–850) – хорезмийцем, Абу-л-Аббас ал-Фаргани (798–861) – уроженцем Ферганы, Куста ибн Лукка (820–912) – христианином из сирийского Баальбека, Сабит ибн Корра (836–901) и Мухаммад ал-Баттани (858–929) – сабиями из сирийского Харрана. И в Сирии, и в Средней Азии существовала своя традиция, восходящая к греческой учености; кроме того, багдадские ученые активно переводили греческие сочинения на арабский язык. Имело место также знакомство с индийской математикой и астрономией. И все же верно будет сказать, что исламская астрономия представляла собой прямое продолжение греческой науки, только переложенное на другой язык.

Любой трактат по общей астрономии начинался здесь, как и в греческих сочинениях, с изложения основных тезисов учения о сферах Неба и Земли. С таким изложением поучительно познакомиться по *Канону Мас'уда* ал-Бируни или по комментарию к *Альмагесту*, составленному ал-Фараби.

Исламскими математиками были развиты более совершенные, нежели у греков, методы сферической геометрии. С помощью этих методов решался, в частности, важный для исламской культуры вопрос об определении киблы – направления от данного пункта на поверхности Земли на Мекку.

С математической географией исламского мира мы можем познакомиться по такому выдающемуся труду, как *Геодезия* Абу Райхана ал-Бируни. Основная тема этого сочинения – определение координат различных пунктов земной поверхности, и прежде всего – их долгот по произведенным в этих пунктах наблюдениям лунных затмений.

Что касается размеров Земли, то уже в зидже, составленном ал-Хорезми, мы находим на этот счет следующее указание:

Согласно халдеям, 4000 шагов верблюда составляют одну милю, и $33\frac{1}{3}$ мили на Земле – это $\frac{1}{2}$ градуса на небе, так что полная окружность Земли содержит 24000 миль. Об этом рассуждается так: если двигаться от любого места в направлении юга, тогда, пройдя $66\frac{2}{3}$ мили, звезда, отмеченная на первом месте, будет увидена в те же минуты часа на градус выше (ал-Хорезми 1983, 35).

Об этом же измерении Земли пишет и ал-Бируни в *Геодезии*:

Передают в книгах, что древние ученые нашли города Ракку и Тамдор на одной и той же линии из числа полуденных, а между ними – 90 миль. Отсюда они вывели, что величина одного градуса – $66\frac{2}{3}$ мили. Это требует того, чтобы между упомянутыми городами была бы разница по широте в $1^{\circ}21'$, а мы уже упоминали, что широта Ракки – $36^{\circ}1'$, а широта Тамдора – $37^{\circ}22'$. Однако данные сведения содержат некоторую путаницу, поскольку упомянутые в них широты обоих мест не соответствуют этим величинам, что, по всей вероятности, является следствием искажений в списках. Поэтому, ввиду малой надежности всего этого, я не вычислял из него окружность Земли. Данный рассказ приводит Мухаммед ибн Али ал-Мекки в своей книге *Об округлости Земли и Неба*. Он утверждает, что широта Тамдора – 34° , а широта Ракки – $35\frac{1}{2}^{\circ}$ (Бируни 1966, 210).

Тамдор (Пальмира) и Ракка – это города в Сирии. Кто именно и в какую эпоху выполнил измерение, о котором шла здесь речь, сказать трудно. Уверенности в точности этого измерения, как видно, тоже не было. Не была известна багдадским ученым и величина стадия, использованная в измерениях Эратосфена, о которых они также были осведомлены. Поэтому в 827 году они по повелению халифа ал-Ма'муна произвели свое собственное изменение длины дуги одного градуса земного меридиана. Это было сделано на равнине Синджар в северной Месопотамии. Результат измерения составил $56\frac{2}{3}$ арабских мили.

Измерение ал-Ма'муна произошло после того, как он вычитал из книг греков, что величина одного градуса 500 стадий, а это их мера длины, которой они измеряли расстояние. Он не нашел у переводчиков убедительных сведений, из которых он смог бы узнать ее величину. Тогда, как рассказывает Хабаш со слов Халида ал-Мерверруди и со слов группы ученых и искусных ремесленников – плотников и медников, ал-Ма'мун повелел изготовить инструменты и выбрать место для проведения этих землемерных работ. Было выбрано место в степи Синждара в пределах Мосула, отделенное от его столицы на 19 фарсахов и от Самарры на 43 фарсаха. Всех удовлетворила его ровность. туда привезли инструменты и выбрали место, в котором измерили полуденную высоту Солнца.

Затем разделились от этого места на две группы: Халид направился с одной группой землемеров и мастеров в сторону Северного полюса, а Али ибн Иса ал-Аструлаби и Ахмед ибн ал-Бухтури аз-Зарра с другой группой – в сторону Южного полюса. Каждая группа измеряла полуденную высоту Солнца до тех пор, пока не нашла, что она изменилась на один градус помимо изменения, обусловленного склонением. А они по пути измеряли дорогу и ставили на ней стрелы. Обе группы соединились там, где расстались, и нашли, что величина одного градуса окружности Земли равна 56 милям. Хабаш утверждает, что он слышал, как Халид диктовал это Йахье ибн Аксаму ал-Кади, и Хабаш почерпнул все это на слух. Так рассказывает об этом Абу Хамид ас-Сагани со слов Сабита ибн Корры. Со слов же ал-Фаргани передают: «за упомянутыми милями следуют еще две трети». Также и я нашел, что все сведения подтверждают эти две трети. Однако невероятно, чтобы их отсутствие объяснялось выпадением их из списка книги *О даях и телах*, поскольку Хабаш из этой величины вычислил окружность Земли, ее диаметр и остальные величины. И если ты проверишь, то найдешь, что его результаты исходят из величины одного измеренного градуса, равного 56 милям ровно. Так что скорее всего следует предполагать причиной расхождения этих двух версий исход их от тех двух групп ученых (Бируни 1966, 211).

По указаниям ал-Бируни, одна миля составляет 4000 «черных» локтей. Если судить по ниломеру, построенному ал-Фаргани в 861 году на острове Рауда вблизи Каира, длина такого локтя составляет 49,3 см. В таком случае миля в 4000 локтей равна 1970 м. Тем самым длина дуги одного градуса земного меридиана составляет 112 км, а охват Земли – 40.200 км.

СРЕДНЕВЕКОВАЯ ЕВРОПА

Одним из первых европейских ученых, познакомившихся с арабской наукой, был Герберт Аврилакский (ок. 940–1003), с 999 г. – папа Сильвестр II. Для приобретения знаний в этой области он посетил христианскую Барселону и арабскую Кордову. Он привез на Запад армиллярную сферу, о чем имеются свидетельства в его переписке. Герберт преподавал математику и астрономию в монастырской школе в Реймсе и был одним из учнейших людей своего времени.

Новая эпоха в освоении греческой и арабской науки европейцами открылась в XII веке. Важнейшую роль здесь сыграли переводческие школы, действовавшие в Испании и Сицилии, двух областях непосредственного соприкосновения западноевропейского христианского мира с мусульманской

культурой. Крупнейшим переводчиком XII столетия был Герард Кремонский (1114–1187), работавший в Толедо. Среди огромного массива научной литературы, переведенной в эту эпоху, были трактаты Аристотеля *Физика* и *О небе*, *Альмагест* Птолемея, комментарий к нему ал-Фаргани, различные астрономические таблицы и сочинения по сферической геометрии.

Дальнейшее развитие европейской науки и учености шло через университеты. Старейшие из них, такие как Парижский и Оксфордский, существовали уже в XII веке. Средневековый университет делился на факультеты: богословский, юридический, медицинский и факультет свободных искусств. К свободным искусствам относились три дисциплины тривия (грамматика, риторика, логика) и четыре дисциплины квадрия (арифметика, геометрия, гармоника, астрономия). С течением времени факультет искусств фактически стал философским факультетом. Устройство Вселенной здесь преподавалось прежде всего по сочинениям Аристотеля; но при наличии профессуры астрономия могла изучаться и по более специальным текстам, таким как комментарий ал-Фаргани к *Альмагесту*.

В первой половине XIII века было написано одно из первых западноевропейских сочинений по астрономии – *Трактат о сфере*. Его автором был английский ученый Иоанн Голливуд (1195–1256), более известный под латинизированным именем Сакробоско. Он получил свое образование в Оксфорде, а с 1221 года преподавал в Сорбонне. Основы астрономии в *Трактате о сфере* излагались по греческим и арабским источникам. Трактат начинается с описания четырех элементов Аристотеля и деления Вселенной на Небеса и Землю. Далее рассматриваются традиционные доводы в пользу сферичности Неба и Земли, указывается размер земного круга в 252000 стадиев, установленный Эратосфеном, обсуждается устройство кругов небесной сферы, восходы и заходы знаков Зодиака, годовое движение Солнца по эклипке, смена времен года на разных широтах, климатические зоны Земли, птолемеяевская схема движения планет по трем кругам, механизм солнечных и лунных затмений. Трактат Сакробоско – весьма краткий, не содержащий в себе никаких математических выкладок и приспособленный для образовательных целей. По этому сочинению астрономия изучалась в европейских университетах следующие четыре столетия. Сохранилось большое количество его рукописей; а с момента возникновения

книгопечатания он многократно переиздавался, начиная с первого издания 1478 года и вплоть до начала XVII века.

Еще один трактат, посвященный изложению основ астрономической науки и также носящий название *О сфере*, был написан Робертом Гроссетестом (1175–1253).

Таким образом, европейская университетская наука в разделе астрономии всецело следовала общей традиции, идущей от древних греков. От арабской и греческой науки она отличалась своей большей ориентированностью на книжную ученость, мало связанную с непосредственными астрономическими наблюдениями. Европейские ученые в эпоху Средневековья не строили больших обсерваторий, таких как Багдадская и Марагинская, предпочитая трактовать Аристотеля и Птолемея с университетской кафедры.