

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

---

---

Ф. Д. БУБЛЕЙНИКОВ

# ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Стенограмма публичной лекции,  
прочитанной в Центральном лектории  
Общества в Москве

•

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРАВДА“

---

---

МОСКВА

1948 г.

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

---

---

Ф. Д. БУБЛЕЙНИКОВ

## ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Стенограмма публичной лекции,  
прочитанной в Центральном  
лектории Общества в Москве



## Фигура Земли

Земля — одна из планет солнечной системы. Все физические свойства Земли тесно связаны с развитием её как космического тела. Каково бы ни было происхождение Земли, вряд ли можно сомневаться в том, что некогда она находилась в расплавленном состоянии. Излучая энергию в пространство, Земля постепенно покрывалась твёрдой каменной корой.

Охлаждаясь и уменьшаясь в объёме, Земля вращалась всё быстрее. Сжатие её у полюсов увеличивалось, соответствуя в каждый момент её скорости вращения, размерам, плотности и физическому состоянию.

Можно математически доказать, что вращающееся космическое тело при сравнительно небольшой скорости вращения должно принять форму сжатого эллипсоида вращения. Сечения его плоскостью, проходящей через ось вращения, имеют форму эллипса, а перпендикулярной к ней — форму круга<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> На каждую частицу  $M$  тела, вращающегося вокруг оси  $OO$  (см. рис. 1, стр. 4), действует притяжение  $A$ , направленное к центру массы, и центробежная сила  $B$ . Равнодействующая этих сил  $P$  не будет перпендикулярна поверхности тела, и частица  $M$  должна переместиться по направлению к экватору.

Можно доказать, что частица  $M$  останется в равновесии лишь на поверхности эллипсоида вращения, так как при небольшом сжатии направление упомянутой равнодействующей будет перпендикулярно его поверхности. Поэтому вращающееся космическое тело и принимает эту форму.

Каждой скорости вращения соответствует определённая, устойчивая форма. При некоторой скорости эллипсоид вращения уже перестаёт быть устойчивым и вытягивается в направлении одной из экваториальных осей. Тело принимает форму трёхосного эллипсоида, сечения которого, перпендикулярные оси вращения, также представляют собой эллипсы. По мере увеличения скорости вращения тело продолжает вытягиваться в направлении длинной экваториальной оси, а затем принимает неустойчивую «грушевидную» форму (рис. 2).

В изучении изменений фигуры вращающегося жидкого космического тела сыграли большую роль исследования известного русского математика А. М. Ляпунова.

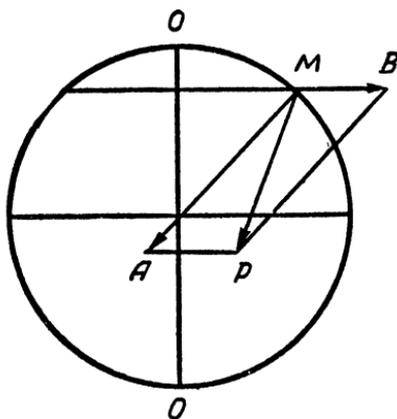


Рис. 1.

Сжатие Земли у полюсов в настоящее время также соответствует её скорости вращения, плотности и физическому состоянию. Земля в этом случае ведёт себя, как пластичное тело. Такое поведение вещества космических тел объясняется, как мы увидим далее, огромным давлением внутри них.

Открытие сферической формы Земли было сделано путём наблюдения некоторых явлений при передвижении по её поверхности.

В открытом море человек видит себя всегда в центре круга. Сколько бы он ни перемещался в том или ином направлении, он не может уйти из центра кругового горизонта.

Уходящий вдаль корабль кажется всё меньшим, а приближившись к горизонту, начинает скрываться за ним, как бы погружаясь в воду. Сперва исчезает корпус корабля, потом — паруса и, наконец, — верхушка мачты. Это явление очень хорошо можно наблюдать в бинокль; кажется, что корабль уходит из наших глаз куда-то вниз. Но если в этот момент подняться на высоту, то корабль снова станет видимым, а линия горизонта отодвинется дальше (рис. 3).

Все эти явления легко объясняются выпуклостью поверхности и шарообразной фигурой Земли.

На Земле при наблюдении с высоты 100 м горизонт лежит на расстоянии около 35,7 км. На поверхности Луны с той же высоты горизонт должен быть на расстоянии лишь около 18,6 км. А на меньшем из спутников Марса предметы должны скрываться при наблюдении с высоты 100 м уже на расстоянии 900 м<sup>1</sup>.

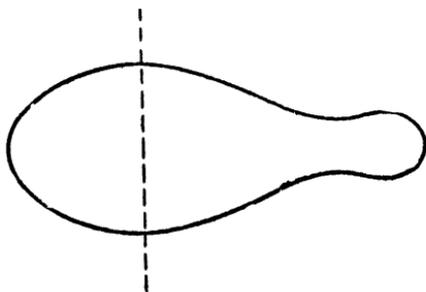


Рис. 2.

<sup>1</sup> Дальность горизонта  $l$  определится из прямоугольного треугольника  $OAC$  (рис. 4),  $(R + h)^2 = R^2 + l^2$  и  $l = \sqrt{2Rh + h^2}$ , где  $R$  — радиус планеты,  $h$  — высота наблюдателя над её поверхностью,  $l$  — дальность горизонта.

Определяя дальность горизонта на меньшем спутнике Марса, мы исходим из предположения, что он имеет форму шара.



Рис. 3.

Когда стала известной шарообразность Земли, оказалось возможным определить и её величину.

Так как Земля — шар, то достаточно для этого узнать длину лишь короткой дуги в один градус меридиана, то есть  $\frac{1}{360}$  его, а затем умножить полученную длину на 360. Получается длина окружности Земли.

Наметить на поверхности Земли дугу в один или несколько градусов можно, наблюдая перемещение высоты звёзд над горизонтом по мере движения с севера на юг или обратно.

Очень удобна для этого наблюдения Полярная звезда, находящаяся близко от полюса мира и потому почти не участвующая в суточном круговращении звёзд.

Если двигаться с юга на север, то Полярная звезда будет повышаться над горизонтом. На полюсе Земли она стоит в зените, на экваторе же видна на линии горизонта. Значит, перемещаясь от экватора к полюсу, мы наблюдали бы, как Полярная звезда поднимается от горизонта к зениту.

Передвинувшись на один градус по земному меридиану с юга на север, мы наблюдали бы, что и Полярная звезда поднялась на один градус по небесной сфере. Определив высоту Полярной звезды (точнее, полюса мира) над горизонтом в двух точках земной поверхности, лежащих на одном меридиане, находят число градусов дуги меридиана между точками. Можно для этого воспользоваться также высотой полуденного солнца.

Первую такую попытку сделал в III веке до начала нашей эры александрийский учёный Эратосфен.

Эратосфен ясно представлял себе, что при передвижении наблюдателя по меридиану положение Солнца в момент его кульминации будет перемещаться на столько градусов большого кру-

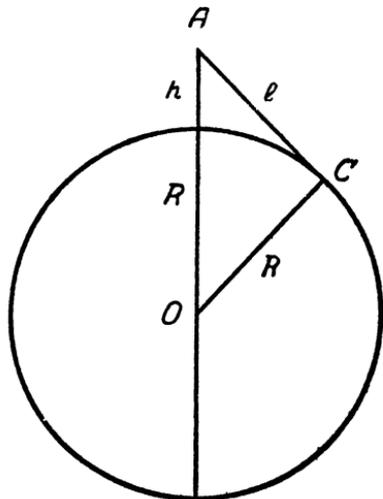


Рис. 4.

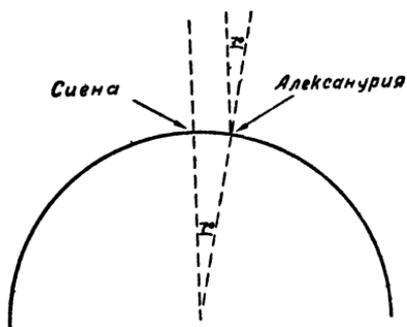


Рис. 5.

га небесной сферы, на сколько градусов земного меридиана передвинулся наблюдатель. Он знал, что в двадцатых числах июня в Сиене (ныне Ассуан) Солнце в полдень стоит в зените, освещая прямыми лучами дно одного колодца. В то же время полуденное солнце в Александрии отстоит приблизительно на  $7^\circ$  от зенита. Отсюда следовало, что Александрия на столько же градусов севернее Сиены. Дуга в  $7^\circ$  составляет

около  $\frac{1}{50}$  круга, значит, расстояние между этими городами составляет около  $\frac{1}{50}$  окружности Земли (рис. 5).

Длина расстояния от Александрии до Сиены была определена Эратосфеном по времени, которое нужно было торговому каравану, чтобы пройти этот путь.

Считалось, что Сиена лежит в 5 тысячах стадий от Александрии. Так как расстояние между этими городами, по определению Эратосфена, равно около  $\frac{1}{50}$  окружности Земли, значит, длина всей её окружности — 250 000 стадий. Точная длина стадии в наших мерах, к сожалению, неизвестна. Можно предполагать, что она равна приблизительно 150 м. В таком случае длина окружности Земли была бы равна 37 500 км. В действительности длина её около 40 000 км.

В древние времена углы определялись довольно точно. Но измерение длины дуги вдоль меридиана для одного градуса представляет большие затруднения: такая дуга по длине превосходит 100 км, и измерению её мешают встречающиеся на пути долины рек, холмы и другие неровности земной поверхности.

Чтобы сделать точными определения длины земного меридиана, нужно было усовершенствовать способы измерения длины его дуги. Это было сделано лишь в XVII веке.

Пользуясь такими усовершенствованными способами, в прошлом веке известный русский астроном Струве измерил длину дуги меридиана, превосходящую  $25^\circ$ . Эта дуга немного больше, чем  $\frac{1}{15}$  часть окружности Земли.

В XVII веке учёные уже считали, что Земля некогда была в расплавленном состоянии. Поэтому они утверждали, что она не может иметь формы правильного шара, а должна быть приплюснута у полюсов (мы уже говорили, что Земля приплюснулась бы вследствие вращения, даже если бы она и всегда была твёрдой, но это не было известно учёным XVII века).

С целью проверки предположения о сжатии Земли французская Академия наук в первой половине XVIII века отправила две

экспедиции для измерения градуса меридиана в полярных и экваториальных зонах. Если Земля сжата у полюсов, то градус меридиана вблизи полюса должен быть длиннее, чем у экватора.

Измерения, произведённые этими экспедициями, доказали, что градус меридиана в полярных странах длиннее, чем под экватором, и на основании измерений установили, что Земля,—действительно, не шар, а эллипсоид вращения.

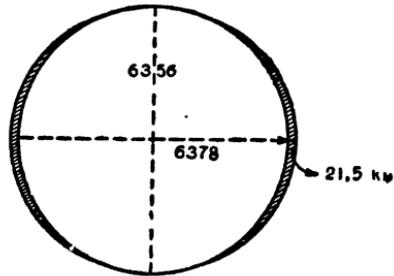


Рис. 6.

Экваториальный радиус Земли, как можно вычислить, равен 6378 км. Полярный, как показало сравнение длины одного градуса меридиана под экватором и в полярных зонах, короче экваториального на 21,5 км.

Ещё более точные исследования поверхности Земли с помощью особого прибора с маятником показали, что она не представляет собой и правильного эллипсоида вращения.

Период колебания маятника зависит от величины силы тяжести, или, как говорят, напряжения тяжести. Напряжение тяжести в разных точках поверхности Земли различно. Оно меняется, во-первых, вследствие изменения ослабляющей его центробежной силы, которая наибольшей величины достигает на экваторе и отсутствует на полюсе, и, во-вторых, потому что разные точки земной поверхности находятся на различном расстоянии от центра Земли<sup>1</sup>. Принимая Землю за эллипсоид вращения и зная скорость её вращения вокруг оси, можно вычислить напряжение тяжести в любой точке её поверхности.

<sup>1</sup> Действие центробежной силы уменьшает напряжение силы тяжести под экватором по сравнению с полюсом на  $-\frac{1}{289}$ . Большее удаление точки экватора от центра Земли должно бы уменьшить напряжение тяжести под экватором в отношении  $R_p^2 : R_e^2$ , где  $R_p$ —полярный радиус = 6356 км,  $R_e = 6378$  км, т. е. напряжение тяжести на экваторе вследствие этой причины должно было бы быть на  $\frac{1}{150}$  меньше, чем на полюсе.

В итоге напряжение тяжести под экватором должно было бы уменьшиться на  $\frac{1}{289} + \frac{1}{150}$ , т. е. на  $\frac{1}{100}$ . В действительности, как показало измерение, разница напряжений тяжести на полюсе и под экватором меньше, составляя лишь около  $\frac{1}{190}$ . Это объясняется главным образом притяжением под экватором экваториального утолщения в 21,5 км (рис. 6), уменьшающим эту разницу. Напряжение тяжести в любой точке поверхности Земли как эллипсоида вращения может быть найдено по формуле:

$g = 978,049 (1 + 0,00529 \sin^2\varphi)$ , где  $\varphi$ —географическая широта пункта.

Определения напряжения тяжести путём наблюдения колебаний маятника немного не совпадают с вычисленными её значениями.

Это явление объясняется тем, что маятник находится не на поверхности эллипсоида вращения, а несколько выше или ниже его.

Постепенно, путём таких исследований, учёные приблизились к определению действительной формы Земли.

Поверхность земного шара, не искажённую возвышенностями и низинами, представляет собой океан. Если бы прорезать материки глубокими каналами, соединив между собой все океаны и моря, то вода в каналах была бы неискажённой поверхностью Земли.

Как показали точные исследования, определяемая таким образом поверхность земного шара среди океана лежит ниже поверхности эллипсоида вращения, а среди материков — выше её. Но эти отступления обычно не превышают 50—100 м.

Действительную форму Земли, которую нельзя образовать вращением какой-либо фигуры, назвали геоидом.

### Температура Земли

Когда Земля покрылась твёрдой корой, охлаждение её замедлилось вследствие плохой теплопроводности горных пород.

Исходя из этого, геологи прошлого века думали, будто Земля до сих пор представляет собой расплавленный шар.

Как показали наблюдения, по мере углубления в земную кору температура горных пород поднимается, что как будто подтверждало предположения геологов.

На рудниках, подземные выработки которых достигли бы 250 м, работа была бы невозможной, так как температура горных пород, а потому и воздуха, в горных выработках поднялась бы до 60—70°. Ещё выше температура горных пород в очень глубоких буровых скважинах.

Бурение скважин производится вращением колонны стальных труб, снабжённых внизу кольцеобразной коронкой. Края коронки усажены кусочками алмаза, как известно, самого твёрдого из всех тел природы. При вращении колонны труб алмазы пропиливают кольцеобразную щель, в которую погружается этот буровой инструмент. Внутри труб постепенно вырастает цилиндрический столбик прорезаемой горной породы, называемый «керном».

Вращаемая колонна труб простирается от земной поверхности до дна скважины. Так как глубины бурения измеряются в наше время тысячами метров, то большое количество энергии приходится затрачивать на преодоление инерции высокой колонны труб и трения между трубами.

В 20-х годах нынешнего века в нашей стране было сделано советским инженером М. А. Капелюшниковым замечательное изо-

брение. В его буровом инструменте вращается только коронка, а не вся колонна труб. Коронка представляет собой водяную турбинку, приводимую в движение столбом воды в трубах, опускаемых в скважину.

Это замечательное своей простотой изобретение позволяет производить бурение на большую глубину.

Наблюдения в шахтах и скважинах, которые в районе Баку достигают глубины больше 3500 м, доказывают, что повышение температуры горных пород в разных местностях происходит с неодинаковой скоростью. В вулканических местностях температура повышается быстрее. Например, в буровых скважинах на острове Борнео горные породы становятся теплей на  $1^{\circ}$  через каждые 20 м. В таких странах, как Средняя Европа или Русская равнина, это повышение происходит через 30—35 м, а в Северной Америке — через 40—50 м.

Но, начиная с определённой глубины, это повышение, как думают учёные, должно происходить равномерно по всей Земле. Температура горных пород должна повышаться на  $1^{\circ}$  через каждые 30—33 м.

Эта величина называется геотермической ступенью. Она зависит от теплопроводности горных пород, рельефа местности, характера залегания пластов и других причин.

До какой глубины и с какой скоростью поднимается температура более глубоких зон земной коры пока ещё не известно.

Исходя из различных соображений, учёные считают, что на глубине 100 км горные породы нагреты лишь до  $1500^{\circ}$  (а не до  $3000^{\circ}$ , как следовало бы, исходя из величины геотермической ступени) и что верхний предел температуры вещества центральных частей земного шара лежит около  $5000$ — $6000^{\circ}$ .

Академик А. Е. Ферсман считал, что температура на глубине 1000—1200 км равна  $1000$ — $1500^{\circ}$  С, а в центральном ядре Земли может достигать  $2000$ — $5000^{\circ}$  С.

Если бы температура вещества внутри Земли доходила до  $8000^{\circ}$ , то стремление его расширяться компенсировало бы давление. В этом случае вещество внутри Земли не могло бы с глубиной уплотняться, как это наблюдается в действительности.

Повышение температуры с глубиной доказывает существование потока тепла из центральных частей земного шара к его поверхности.

Следствием этого потока должна быть потеря тепла путём передачи его в атмосферу и излучения в пространство.

На основании теоретического расчёта, по величине геотермической ступени и теплопроводности горных пород, русский учёный конца прошлого века И. Д. Лукашевич считал, что Земля в её нынешнем состоянии охлаждается на  $1^{\circ}$  С в течение 4,4 млн. лет. Однако в наше время стал известен новый источник тепла Земли — радиоактивный распад урана и тория, которые

в небольшом количестве содержатся в горных породах земной коры. А потому его расчёт требует исправления с учётом этого нового источника тепла.

### Твёрдость Земли

Так как температура горных пород с глубиной повышается, то считали, что вещество внутри Земли расплавлено.

Предполагали, что материки «плавают» на поверхности более плотной, расплавленной магмы, что при изменении нагрузки, например вследствие таяния материковых ледников или отложения на дне морей толщ осадков, одни глыбы погружаются, а другие всплывают.

Однако физики и астрономы не могли согласиться с геологами. Изучая движения Земли и влияние на неё притяжения Луны и Солнца, они утверждали, что земной шар не может быть расплавленным телом.

Если бы Земля внутри была жидкой, то в её теле под влиянием притяжения Луны и Солнца должна была бы подниматься волна прилива<sup>1</sup>.

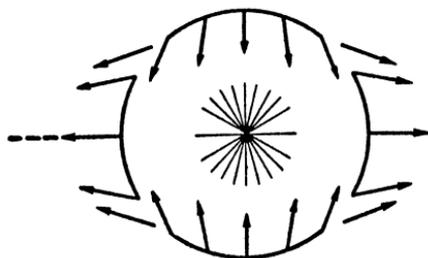


Рис. 7.

Каменная земная кора не могла бы помешать этому. При толщине 100 км на таком огромном шаре, как Земля, она изгибалась бы подобно тонкой резиновой оболочке. Жидкий внутри и лишь покрытый сверху каменной корой земной шар беспрепятственно менял бы форму, вытягиваясь в направлении Луны.

Находясь на поверхности такой Земли, мы не могли бы заметить поднятия волны морского прилива: дно океана и его

<sup>1</sup> Возникновение приливообразующих сил вследствие притяжения Луны объясняется так: Земля и Луна обращаются вокруг общего центра тяжести. Частицы Земли находятся под действием возникающей вследствие этого центробежной силы, направленной в противоположную сторону от Луны.

Частицы Земли в то же время притягиваются Луной. На обращённой к Луне стороне Земли это притяжение немного больше, чем на противоположной, частицы которой дальше от Луны. На обращённой к Луне стороне Земли силы притяжения её частиц Луной больше упомянутой центробежной силы, а на противоположной стороне, наоборот, центробежная сила больше сил притяжения Луной.

Поэтому можно считать, что частицы Земли на стороне, обращённой к Луне, находятся под действием избытка притяжения к Луне, а на противоположной — под действием избытка центробежной силы.

Эти избыточные силы и служат причиной приливов. Подобным же образом объясняются и приливообразующие силы Солнца (рис. 7).

берега поднимались бы вместе с водой, образуя приливной бугор; поэтому вода не перемещалась бы относительно суши. В действительности же мы наблюдаем на Земле поднятие приливной волны, а это значит, что дно моря и берега не поддаются приливообразующим силам с той же лёгкостью, как вода.

Поэтому совершенно очевидно, что Земля не может быть в жидком, расплавленном состоянии, как это думали геологи прошлого века.

Однако и твёрдое тело Земли до некоторой степени должно поддаваться приливному влиянию Луны и Солнца. Учёные хотели поэтому определить, в какой мере изменяет форму твёрдое тело Земли под действием приливообразующих сил. Путь, который мог привести к решению этой задачи, был найден ещё гениальным русским учёным М. В. Ломоносовым, указывавшим на возможность отклонения отвеса «космическими» силами. Именно так и пытались современные исследователи выяснить, меняет ли форму твёрдое тело Земли под действием приливообразующей силы Луны.

Отвес должен быть перпендикулярным к поверхности Земли, но приливообразующая сила, хотя и очень слабо, отклоняет в сторону его грузик.

Если бы Земля была жидкой и без сопротивления меняла форму под влиянием приливообразующих сил, то отвес всегда оставался бы перпендикулярным к поверхности Земли.

Наоборот, на совершенно твёрдой Земле, вовсе не поддающейся действию приливообразующих сил, отклонения отвеса имели бы наибольшие размеры. Расчёт показывает, что в этом случае отвес длиной в 120 км отклонился бы от вертикали на 1 см. Отклонения отвеса длиной в несколько метров меньше тысячной доли миллиметра.

Теперь понятно, как нелегко заметить притяжение Луной грузика отвеса. Однако учёные придумали чрезвычайно чувствительные приборы, позволившие им наблюдать это явление.

Один из таких приборов был устроен сыном знаменитого биолога Чарльза Дарвина — астрономом Джорджем Дарвином. Этот прибор представлял собой латунный цилиндр, подвешенный на двух, почти параллельных нитях. Ничтожное отклонение его от отвесного положения поворачивало на некоторый угол связанное с ним зеркальце, которое отбрасывало на стену светлое пятно. По движению этого пятна можно было судить об отклонении маятника.

Прибор был установлен на каменной глыбе весом в тонну, лежавшей непосредственно на песчаной почве. Так как нагревание или охлаждение камня повело бы к неравномерному его расширению или сжатию, то установка была предохранена от влияния перемены температуры футляром, между стенками которого находилась вода. Всё устройство было окружено рвом, также наполненным водой.

Управление прибором производилось издали. Светлое пятно

было в поле зрения трубы, с помощью которой и наблюдали его движения.

Чувствительность маятника к ничтожнейшим движениям почвы была поразительна. Когда наблюдатель стоял на расстоянии почти 5 м от него, переступая с ноги на ногу, светлое пятно меняло положение.

Почву можно сравнить с поверхностью студня, а давление тела наблюдателя — с нажимом пальца на студень. Если воткнуть в студень булавку и чуть-чуть нажать вблизи пальцем на поверхность студня, то булавка слегка отклонится. Подобно этому отклоняется от вертикального положения и маятник вследствие изгибания слоёв грунта под тяжестью тела наблюдателя. Так как, переступая с ноги на ногу, наблюдатель менял положение своего тела и нажимал на почву то одной, то другой ногой, то менялось и отклонение маятника.

Подобными сверхчувствительными приборами учёные исследовали отклонение маятника под действием приливообразующих сил Луны.

Как было упомянуто, на совершенно твёрдом земном шаре, который вовсе не поддавался бы приливообразующим силам, отклонения маятника были бы наибольшими. Наблюдаемые в действительности оказались меньше их.

Значит, твёрдое тело Земли всё же немного поддаётся приливообразующим силам и меняет свою форму. Однако сопротивление его при этом больше, чем сопротивление стального шара.

Если бы земной шар был стальным и сопротивление его изменению формы зависело бы только от связи между молекулами стали, то в этом случае он изменял бы форму больше, чем это происходит в действительности. В этом смысле и говорят, что «Земля твёрже стали».

В наше время найдено ещё одно доказательство твёрдости вещества внутри Земли; оно получено из наблюдений над распространением в теле Земли волн землетрясений.

Большей частью землетрясения возникают на глубине нескольких десятков километров от земной поверхности. Оттуда и распространяются во все стороны колебания, которые воспринимаются чувствительными приборами даже на противоположной стороне Земли.

Колебания в упругой среде заключаются в смещении их частиц то в одну, то в другую сторону. Это смещение передаётся соседним частицам, и возникают волны колебаний, которые распространяются во все стороны.

Примером упругих колебаний может служить звук, причиной которого служит колебание частиц воздуха взад и вперёд по направлению распространения его. Движение частиц при этом можно сравнить с движением вагонов стоящего на рельсах поезда, которому дан толчок паровозом.

Эти — продольные — колебания могут распространяться в газообразной, жидкой и твёрдой среде. Ныряющий пловец слышит крики на берегу, так как звуковые волны распространяются и в воде. Приложив ухо к почве, можно услышать далёкий топот лошади, звук которого распространяется в грунте.

Движения частиц звучащей струны могут служить примером других — поперечных — колебаний. Они заключаются в отклонении частиц то в одну, то в другую сторону перпендикулярно направлению их распространения. Волны таких колебаний могут возникать и распространяться только в упругой, твёрдой среде.

Толчок землетрясения возбуждает колебания, которые проходят через тело Земли и воспринимаются в пункте, отстоящем на расстоянии многих тысяч километров. При этом распространяются и проходят через большие глубины не только продольные, но и поперечные колебания. Значит, вещество внутри Земли имеет свойства твёрдой среды и не может быть жидким.

Волны землетрясений дважды пересекают каждый из шаровых слоёв Земли. Если бы под земной корой находился даже тонкий сплошной слой расплавленного вещества, поперечные колебания не могли бы пройти через него.

Итак, вещество внутри Земли проявляет двойственные свойства. При толчке землетрясения в нём возникают и распространяются поперечные упругие колебания, как в твёрдой среде. Земля в целом так же ведёт себя под действием приливообразующих сил, как тело, более твёрдое, чем сталь.

Но, как было упомянуто, вещество глубин Земли уступает давлению материков, которые как бы «плавают» в нём. Под действием сил тяготения к центру Земли и центробежных сил оно также проявляет свойство пластичности, чем объясняется шарообразная форма Земли.

Поэтому мы можем называть вещество внутри Земли «жидким» или «твёрдым» в условном смысле, подразумевая под этим лишь характер его поведения.

Причиной такого состояния вещества внутри Земли служит господствующее там огромное давление.

### Давление внутри Земли

Давление внутри Земли производится тяжестью горных пород. Его можно определить так же, как и давление воды на дне океана, зная, что средняя плотность вещества Земли в 5,5 раза больше плотности воды.

Хотя вещество Земли твёрдо, но силы связи между его частицами не могут воспрепятствовать мысленно выделенной в её массе колонне давить всей своей тяжестью.

Об этом уже писал упомянутый русский учёный И. Д. Лу-

кашевич. Он поставил такой вопрос: может ли участок земной коры площадью в несколько квадратных километров висеть, подобно мосту, над пустотой?

Расчёт показал, что такой участок под действием собственной тяжести обрушился бы вниз. Чтобы остаться на месте, он должен лежать на подстилающем его веществе, на которое и давит всей своей тяжестью. Значит, Землю можно рассматривать как бы состоящей из несвязанных между собой колонн, и давление на площадку в глубине Земли равно весу опирающейся на неё мысленно выделенной колонны в теле Земли.

Как предполагают геологи, под оболочкой слоистых горных пород лежит гранитная кора толщиной около 10 км, а под ней — шаровой слой горной породы — базальта — мощностью около 60 км. Плотность гранита в среднем равна 2,6; плотность базальта — около 3,0. Расчёт показывает, что на глубине 70 км на каждый квадратный сантиметр давит столб горных пород весом около 20 000 кг<sup>1</sup>.

Если бы тяжесть частиц массы Земли была одинаковой на всех глубинах, то было бы легко вычислить давление и в центре её. Оно равнялось бы весу столба, высота которого равна радиусу Земли.

Однако вес одной и той же частицы на разных глубинах различен. Поэтому нельзя так просто определить давление внутри Земли.

Представим себе, что земной шар состоит из вложенных одна в другую сфер и в нём просверлена буровая скважина от поверхности его до самого центра. Будем спускаться в эту скважину, запасшись пружинными весами.

На глубине, равной толщине первой, внешней сферы, тяжесть будет зависеть от притяжения частиц внутренних сфер. Частицы же внешней сферы не будут влиять на неё. Поэтому взятая гирия станет несколько легче.

Если же спуститься в скважине на глубину, равную толщине второй сферы, то и её частицы не будут влиять на тяжесть тела. По мере углубления в недра Земли верхние слои её перестают влиять на тяжесть и тело постепенно становится легче.

Опускаясь по такой скважине к центру Земли с пружинными весами, мы нашли бы, что на расстоянии  $\frac{1}{2}$  земного радиуса от центра Земли килограмм весил бы только 500 г, на рас-

---

<sup>1</sup> Колонна воды высотой 10 м давит на каждый см<sup>2</sup> основания с силой 1 кг. Давление такой колонны гранита на см<sup>2</sup> равно 2,6 кг, а базальта — 3,0 кг.

Считая толщину гранитной коры 10 км, а базальтовой — 60 км, получим давление на глубине 70 км равным

$$\frac{10000}{10} \cdot 2,6 + \frac{60000}{10} \cdot 3,0 = 20000 \text{ кг/см}^2.$$

стоянии  $\frac{1}{10}$  радиуса — 100 г, а в самом центре он вовсе не имел бы веса <sup>1</sup>.

Зная ослабление напряжения тяжести с глубиной, можно вычислить, какой вес имеет колонка, вырезанная в толще Земли от поверхности до её центра. Расчёт показывает, что на каждый квадратный сантиметр она давит с силой около 1,75 млн. кг.

Приливообразующие силы Луны и Солнца, стремясь изменить форму Земли, должны удалять друг от друга её частицы. Но огромное давление, сжимающее частицы, препятствует этому. Вот почему Земля сопротивляется изменению её формы приливообразующими силами.

Давление внутри Земли удерживает частицы её друг возле друга с большей силой, чем сила связи между частицами стали. Поэтому Земля и ведёт себя в целом по отношению к приливообразующим силам, как тело, более твёрдое, чем сталь.

Это давление препятствует и расплавлению веществ внутри Земли. Большинство тел природы при плавлении расширяется, а при затвердении сжимается. Если тело при плавлении расширяется, то давление будет мешать этому процессу, потому что оно не позволяет частицам тела удалиться друг от друга. Поэтому, чтобы расплавить такое тело, понадобится более высокая температура.

Как высока температура плавления горных пород при огромных давлениях внутри Земли, ещё не известно. Но очевидно, что именно давление препятствует плавлению раскалённого вещества земного шара. Давлением оказалось возможным объяснить те противоречивые свойства, которыми обладает вещество внутри Земли.

Как известно, сопротивление твёрдого тела давлению имеет свои пределы. Нельзя, например, построить каменную стену любой высоты. Плиты в основании её подвергаются давлению вышележащих камней. Когда это давление превысит определённый

---

<sup>1</sup> Шар, частицы которого влияют на тяжесть тела, находящегося на середине земного радиуса, по объёму в восемь раз меньше Земли, а поэтому во столько же раз меньше и его масса (считая, что плотность вещества внутри Земли распределена равномерно). Так как притяжение зависит от массы, то сила тяжести на середине земного радиуса должна бы уменьшиться в восемь раз. Но тело, находящееся на середине земного радиуса, вдвое ближе к центру притягивающего его шара по сравнению с тем, когда оно находилось на поверхности Земли. Поэтому сила притяжения увеличивается в четыре раза.

Уменьшаясь по одной причине в восемь раз и увеличиваясь по другой в четыре раза, сила притяжения по сравнению с поверхностью уменьшается в два раза.

Подобным же образом можно доказать, что на расстоянии  $\frac{1}{4}$  радиуса от центра Земли вес тела по сравнению с поверхностью уменьшится в четыре раза (в действительности изменение напряжения тяжести вследствие увеличения плотности с глубиной происходит по более сложному закону).

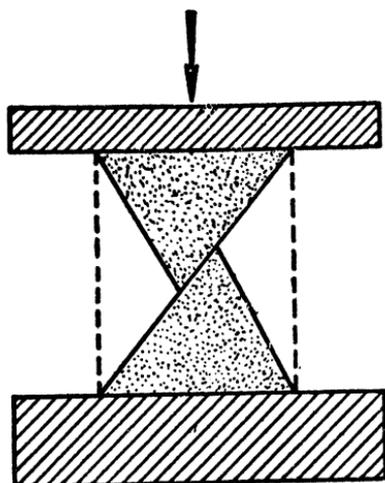


Рис. 8.

ную величину (на единицу площади), основание стены будет раздавлено.

Гранитный кубик выдерживает в среднем давление около 2000 кг на один см<sup>2</sup>. При большем одностороннем давлении у него вываливаются бока и остаются две обращённые вершинами друг к другу пирамиды, которые соскальзывают одна вдоль другой (рис. 8).

Если подвергнуть его одинаковому, очень большому давлению на все грани, то происходит любопытное явление: хрупкий камень ведёт себя, как пластичное вещество, меняя свою форму без разрушения и трещин.

Первые такие опыты были произведены в прошлом веке со льдом. Лёд — твёрдое, хрупкое тело. При одностороннем давлении он разрушается, как и камень, но сжимаемый в закрытом деревянном ящике, принимает его форму, оставаясь сплошным твёрдым куском льда. Хотя в процессе сжатия и слышится треск, однако в вынутом ледяном параллелепипеде незаметно трещин.

Подобное ещё более поразительное явление наблюдается при сжатии под большим давлением в толстостенной стальной коробке куска мрамора. Чтобы давление стенок формы передавалось всей поверхности камня, пустые промежутки внутри коробки заливают парафином.

После вскрытия стальной коробки в ней вместо угловатого, неправильного куска мрамора оказывается мраморный слепок, с такой точностью передающий внутреннюю форму коробки, как будто бы он был сделан с помощью воска.

Можно, конечно, предполагать, что под давлением мрамор сперва раздробляется, а затем вновь сливается в сплошную массу. Но результаты этого опыта таковы, как если бы мрамор под давлением приобретал пластичность воска и принимал форму коробки без нарушения сплошного строения.

Пластичность, вызываемую у твёрдых, хрупких тел путём всестороннего давления, можно объяснить, исходя из строения вещества.

У большинства твёрдых тел составляющие их частицы расположены в определённом порядке. Например, кубический кристалл каменной соли состоит из атомов хлора и натрия, занимающих попеременно вершины воображаемых кубиков. В

этом положении их удерживают силы связи, существующие между атомами и между молекулами твёрдых веществ. Они не позволяют этим частицам отклониться далеко от занимаемого ими положения. У всех кристаллических веществ (рис. 9) частицы расположены в том или ином правильном порядке.

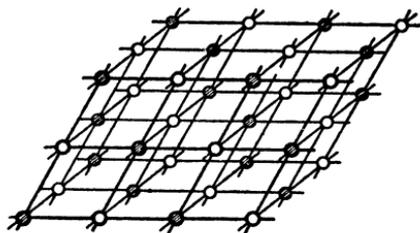


Рис. 9.

Производя большое давление на кусок каменной соли, мрамора или любого другого твёрдого вещества, мы сдвигаем с места их частицы. Если давление одностороннее, то подвергаемый ему кусок камня разрушается.

В случае же всестороннего давления, какое существует в глубинах Земли, он не может разрушиться, но его частицы будут сдвинуты со своих мест. Вследствие этого под большим давлением гранит и все другие горные породы должны приобретать такую же пластичность, какую проявляет мрамор в описанном выше опыте.

В природе известны твёрдые вещества, обладающие даже текучестью в условиях поверхности Земли, где они не подвергаются ни большим давлениям, ни высокой температуре.

К числу их относятся, например, асфальт, сургуч, стекло и другие. Будучи твёрдыми, эти вещества проявляют одновременно свойства текучести и ведут себя, как очень вязкие жидкости.

Нагретая, но остающаяся твёрдой стеклянная пластинка, опирающаяся концами на подставки, при небольшой нагрузке медленно прогибается. Куски твёрдого, хрупкого асфальта, положенные в воронку, заполняют её, и асфальт начинает вытекать твёрдой струёй, накапливаясь под воронкой в форме налёта, какую приняло бы вытекающее тесто. Этот процесс требует длительного промежутка времени, но он в точности повторяет картину течения жидкости.

Однако в любой момент эта «твёрдая жидкость» сохраняет свойственную асфальту твёрдость. Упавший на пол кусок асфальта разбивается на остроугольные осколки. Сделанный из него камертон звучит подобно металлическому. Это значит, что в нём возникают при лёгком ударе колебания, свойственные только твёрдым телам.

Под большими давлениями глубин Земли вещество её должно иметь подобные же свойства. При действии на него кратковременных сил, подобных удару по куску асфальта, оно ведёт себя, как твёрдое тело. Поэтому в нём возникают и распространяются поперечные колебания землетрясений.

Длительные же силы заставляют его проявлять свойства «твёрдой жидкости». Например, давление материка может вы-

«Внутреннее строение Земли».

звать медленное течение из-под него в стороны пластичного вещества, подобно тому, как течёт асфальт через воронку. Но в любой момент это пластичное вещество имеет все свойства твёрдого тела.

### Строение Земли

Так как волны землетрясений распространяются в теле Земли, то изучение этого явления дало возможность сделать некоторые выводы о свойствах вещества её, как упругой среды. Главнейшая заслуга в разработке методов изучения свойств вещества Земли путём наблюдения сейсмических колебаний принадлежит русскому академику начала нынешнего века Б. Б. Голицыну.

Если бы мы могли заметить, что на разной глубине Земли волны землетрясений движутся с различной скоростью, можно было бы судить об изменении с глубиной свойств вещества Земли. Это оказалось возможным, наблюдая приход волн землетрясений на очень далёкие станции.

Первыми приходят продольные колебания, распространяющиеся приблизительно вдвое быстрее поперечных. Они идут через глубины Земли и носят название волн-предвестников. Вслед за ними появляются более медленные, поперечные волны, также пришедшие через глубины Земли. Наконец, последними достигают далёкой станции поверхностные волны землетрясений. Они подобны тем, которые расходятся по воде от места падения в неё камня.

Волны землетрясений, проходящие через тело земного шара, сыграли роль лучей, осветивших строение его глубин. Наиболее важны из них волны-предвестники, приходящие первыми на станцию.

Всем известны дрожания почвы, возникающие при прохождении поезда или даже тяжёлого грузовика. Их можно ощущать непосредственно без каких бы то ни было приборов. Но волны сильнейших, катастрофических землетрясений, пришедшие на удалённую станцию, очень ослаблены по той же причине, по которой с большого расстояния чуть-чуть слышен громовой пушечный залп. Их можно воспринять лишь с помощью чувствительнейших приборов-сейсмографов.

В настоящее время изобретено много чувствительных приборов, которые не только отмечают факт колебания, но записывают период, то есть продолжительность каждого колебания, его направление и амплитуду волны. Благодаря этому стало возможным изучение распространения волн землетрясений в теле Земли. Основная задача сейсмометрии (т. е. сейсмических измерений) была точно сформулирована академиком Б. Б. Голицыным. Она заключается в том, что нужно определять смещение элемента земной поверхности относительно точки, не разделяющей колебаний почвы. Сделать это оказалось возможным благодаря инерции тел.

Почва может смещаться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Колебания её регистрируются различными сейсмографами.

Обыкновенный маятник на штативе, установленном на почве в глубоком подвале, мог бы служить сейсмографом, отмечающим горизонтальные колебания. Для этого нужно снабдить его пером, которое касалось бы движущейся ленты.

Пока почва спокойна, маятник прочерчивает на ленте прямую линию. При смещении её он начинает, как нам кажется, колебаться. На самом деле, под ним смещается почва, увлекающая в своём движении штатив маятника. Груз же маятника по инерции не разделяет движения штатива. Поэтому прикреплённое к нему перо прочерчивает волнистую или зигзагообразную линию — сейсмограмму.

Видимые отклонения «качающегося» маятника от вертикали по величине равны, а по направлению обратны действительным смещениям почвы. Поэтому по сейсмограмме можно определить направление и амплитуду её колебаний. Скорость движения ленты, на которой перо сейсмографа прочерчивает свой путь, известна. Значит, можно сказать, сколько нужно было секунд для совершения каждого колебания.

Кроме этих видимых колебаний, представляющих отражение смещения почвы, маятник способен совершать и собственные свободные качания, период которых зависит от его длины. Если бы во время смещений почвы маятник качался, то это явление исказило бы запись смещений почвы.

Чтобы этого не случилось, период колебаний почвы должен быть в несколько раз короче периода свободных качаний маятника. Если же смещения почвы происходят медленно, то маятник постепенно раскачивается, что искажает его запись.

Это обстоятельство мешает применению вертикального маятника в качестве сейсмографа, и для этой цели обычно служит так называемый горизонтальный маятник.

Качания этого маятника подобны движению автоматически закрывающихся дверей. Эти двери открываются как в одну, так и в другую сторону и каждый раз возвращаются в прежнее положение. Дверь с наклонным косяком, поворачивающаяся на петлях в обе стороны, могла бы сообщать о смещениях почвы: при колебаниях её такая дверь отклонялась бы в противоположную сторону, как это происходит с маятником (рис. 10).

Заменяя половинку такой качающейся двери металлическим равнобедренным треугольником, осью поворота которого служит его основание, получим горизонтальный маятник. Если отклонить его рукой в сторону, то он начнёт качаться в горизонтальной плоскости, вращаясь около оси. При небольшом угле между осью и отвесной линией период свободного качания будет очень большим. Поэтому смещение почвы не будет при-



Рис. 10

водить горизонтальный маятник в состояние свободного качания, которое искажало бы его записи.

Другой часто применяемый сейсмограф представляет собой «опрокинутый» маятник, то есть вертикальный стержень с грузом на верхнем конце, могущий вращаться на оси, проходящей через нижний его конец. Конечно, такой маятник не может оставаться в равновесии и должен упасть. Чтобы этого не случилось, груз маятника в двух противоположных точках удерживают спиральными пружинками, прикреплёнными к неподвижным колонкам.

Если почва смещается в сторону, груз маятника, оставаясь по инерции в покое, отклоняется по отношению к ней в противоположном направлении, растягивая одну и сжимая другую спиральную пружинку.

Все описанные устройства отмечают смещения почвы в горизонтальном направлении. Колебания её по вертикали регистрируются другими приборами.

Простейший из них состоит из спиральной пружинки, на которой подвешен груз. При смещении почвы вверх наблюдателю покажется, что груз, остающийся по инерции в покое, на столько же опустился. При обратном смещении почвы покажется, что груз поднялся. Если прикрепить к нему перо, которое касалось бы ленты на поверхности вращающегося вертикального барабана, оно прочертит зигзагообразную линию. По этой сейсмограмме можно определить как амплитуду, так и период вертикальных колебаний почвы.

Описанные приборы в настоящее время заменены более сложными, основные принципы устройства которых, однако, остаются прежними.

К числу очень распространённых таких приборов относятся, например, сейсмографы академика Б. Б. Голицына. По идее, горизонтальный сейсмограф Б. Б. Голицына представляет собой горизонтальный маятник, особый способ подвеса которого делает его необычайно чувствительным.

Регистрация колебаний этим прибором производится путём превращения его движения в электрическую энергию, которая обнаруживается с помощью гальванометра.

Подобные приборы, первый из которых был построен Б. Б. Голицыным, называются электросейсмографами.

В настоящее время сконструировано много сейсмографов советскими геофизиками: проф. П. М. Никифоровым, Д. А. Хариным, Д. П. Кириным и др.

Советские изобретатели и учёные в этой области знания, как и во многих других, далеко опередили зарубежные страны.

Большую роль в современных приборах играет оптическая сигнализация. Она заключается в том, что при движении маятника сейсмографа поворачивается связанное с ним зеркальце, которое

отбрасывает изображение раскалённой нити лампочки накаливания на движущуюся ленту светочувствительной бумаги.

Оптическая сигнализация применяется в электросейсмографах для регистрации движений гальванометра.

Разнообразные приборы сейсмической станции отмечают в своих записях смещения почвы как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Сопоставляя сейсмограммы, можно определить, по какому направлению пришли волны землетрясения и под каким углом вышли они из глубин Земли на поверхность.

Отмечая момент прихода поверхностных волн, мы увидим, что время, необходимое для достижения той или иной станции, зависит только от расстояния её от центра землетрясения. На станцию, лежащую в три раза дальше, они придут через втрое больший промежуток времени.

Иначе распространяются продольные и поперечные колебания, проходящие через глубины Земли.

Положим, что наблюдение производится на двух станциях, из которых одна вдвое дальше от центра землетрясения, чем другая. Можно было бы ожидать, что на более отдалённую станцию волны-предвестники придут через вдвое больший промежуток времени. Оказывается, однако, что опоздание будет меньшим. Опоздание волн-предвестников на ещё более далёкую станцию будет ещё меньше против ожидаемого. Объяснить такое сокращение опоздания волн можно, проследив их путь от центра землетрясения до станции.

Стремясь достигнуть далёкой станции через тело Земли, волны проходят через её глубины. Чем дальше станция, тем через большую глубину они достигают её.

Если предположить, что с глубиной растёт скорость распространения волн, то легко объяснить и сокращение опоздания их прихода на далёкие станции. Чем дальше станция, тем через большие глубины достигают её волны. Чем большие глубины проходят колебания, тем быстрее они распространяются и тем меньше против ожидаемого их опоздание<sup>1</sup>.

До глубины около 60 км скорость распространения продольных колебаний быстро возрастает с 6 до 8 км в секунду. Затем

---

<sup>1</sup> Связь, существующая между глубиной и скоростью распространения волн, не может быть определена непосредственно из наблюдений момента прихода волн на удалённую станцию. Она устанавливается путём долговременных наблюдений на нескольких станциях момента прихода волн одного и того же землетрясения, вычисления времени пробега волнами различных расстояний до этих станций и построения так называемого годографа, т. е. кривой линии, изображающей зависимость между расстояниями и временами пробега.

Для построения годографа на горизонтальной оси прямоугольных координат откладывают расстояния, а на перпендикулярах к ней — времена пробега. Полученная кривая даёт возможность установить, на каких глубинах и как меняется скорость распространения упругих колебаний. (рис. 11).

продолжается более медленный, но постоянный рост скорости, достигая на глубине 1200 км 12,25 км в секунду.

Глубже скорость также постоянно, хотя и более медленно возрастает, достигая на глубине 2900 км 13 км в секунду, но здесь она неожиданно резко падает до 8 км в секунду. Это граница центрального ядра земного шара.

По мере углубления в ядро скорость продольных волн снова возрастает. Распространения же поперечных колебаний в ядре пока ещё не удалось заметить.

Распространения волн землетрясений в теле Земли происходит по тем же законам, которым подчиняются световые лучи в оптических стёклах.

Представим себе для наглядности, что фокус землетрясения — это яркий фонарь, от которого расходятся «лучи» — волны землетрясений. Допустим, что земля — матовый с поверхности стек-

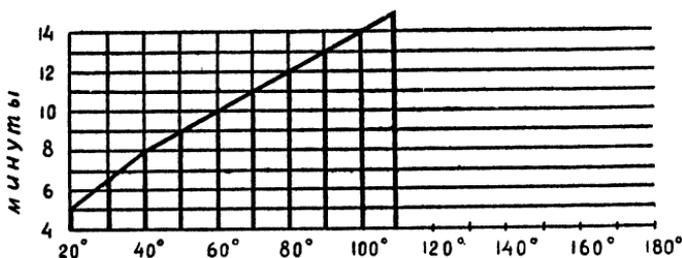


Рис. 11.

лянный шар, сохраняющий, однако, описанные свойства в отношении прохождения в нём «лучей» землетрясений.

Оболочку земного ядра толщиной 2900 км можно представить себе состоящей из ряда концентрических сфер. В каждой внутренней сфере скорость распространения колебаний больше, чем в наружной. Поэтому на границе каждой из них «луч» землетрясения преломится так, как это происходит с лучом света, выходящим из стекла в воздух.

В результате последовательных преломлений колебания будут распространяться по дугам, обращённым выпуклостью к центру Земли, и снова выходить на поверхность.

В месте выхода «лучи» землетрясений «осветят» изнутри поверхность стеклянной модели Земли. Границей «освещённой» поверхности модели перед ядром будет выход дугообразных «лучей», касающихся ядра (рис. 12).

«Лучи», падающие на самое ядро, испытав при переходе в него преломление, станут распространяться через его тело.

Ядро Земли, в котором скорость распространения колебаний меньше, чем в окружающей его среде, ведёт себя подобно оптической линзе. Оно концентрирует проходящие через него продольные колебания.

По другую сторону ядра поверхность шара также будет освещена.

щена прошедшими через него «лучами». Эта «освещённая» поверхность будет сужена концентрирующим влиянием ядра, подобно тому, как это наблюдается позади стеклянной линзы, поставленной на пути солнечных лучей.

За земным ядром «лучи» землетрясений попадут на площадь меньшего диаметра, чем самое ядро. Поэтому между «освещёнными» частями поверхности земного шара образуется кольцеобразная полоса «тени», доказывающая реальность существования земного ядра.

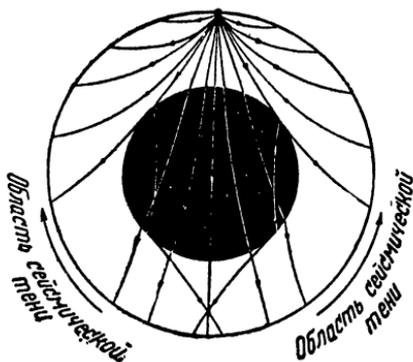


Рис. 12.

### Плотность и состав Земли

Изменения скорости распространения сейсмических колебаний в теле Земли указывают на различное отношение упругости к плотности его вещества на различных глубинах, так как скорость распространения упругих волн пропорциональна этому отношению (точнее, квадратному корню из него).

Поэтому на основании изучения прохождения сейсмических колебаний через тело Земли можно сделать некоторые заключения об изменении плотности его вещества с глубиной.

Однако скажем прежде о средней плотности Земли, которую можно установить, зная её массу.

Для определения массы планет пользуются свойством тел притягивать друг друга, или тяготеть друг к другу.

Сила притяжения планет зависит от их масс и расстояния между ними. Чем больше масса тяготеющих тел, тем притяжение сильнее. Если расстояние между ними уменьшится вдвое, притяжение возрастёт в четыре раза. При увеличении же расстояния, например, в три раза притяжение станет слабее в девять раз.

Массу Земли измерили, сравнив напряжение тяжести на её поверхности с силой притяжения маленького свинцового шарика большим свинцовым шаром.

Измерение было произведено с помощью так называемых крутильных весов. Этот прибор состоит из лёгкого стержня, подвешенного за середину на тонкой металлической нити. На концах стержня висят два одинаковых маленьких свинцовых шарика.

Приближая к ним два больших свинцовых шара, расположенных с противоположных сторон стержня, наблюдали, что большие шары притягивают к себе маленькие. Вследствие этого тонкая металлическая нить, поддерживающая стержень, слегка закручивается.

По закручиванию нити можно было определить силу притяжения маленького свинцового шарика большим. Сравнив его с притяжением его Землёй (т. е. весом шарика), можно вычислить, во сколько раз масса Земли превосходит массу большого свинцового шара<sup>1</sup>.

Зная массу земного шара и его объём, можно было определить и среднюю плотность его, которая, как оказалось, равна 5,5.

Плотность же горных пород, слагающих земную кору, в среднем равна 2,75. Отсюда неизбежен вывод, что внутри Земля состоит из веществ, плотность которых превосходит 5,5. Только в этом случае её средняя плотность может иметь определённую опытом величину.

Сперва предполагали, что вещество Земли однородно, а плотность его возрастает постепенно вследствие давления выше лежащих толщ.

Однако лабораторные опыты не подтверждают возможности такого значительного уплотнения твёрдых или жидких тел, а вещество Земли ведёт себя, как твёрдое тело.

История происхождения Земли также противоречит предположению однородности состава Земли. В периоде её расплавленного состояния вещества должны были располагаться внутри Земли по плотности, и в центре её должны были скопиться тяжёлые металлы.

Некоторое указание на изменение плотности вещества Земли даёт изучение скорости распространения сейсмических волн.

Изучение скорости распространения сейсмических волн через тело Земли доказывает, что на глубине 2900 км физические свойства вещества её резко меняются, так как скорость сейсмических волн, постепенно возраставшая до 13 км/сек, резко падает до 8 км/сек.

Это значит, что внутри Земли заключается ядро, состоящее из

<sup>1</sup> Из данных этого опыта можно было определить, что два шарика весом в 1 г каждый, расстояние между центрами которых 1 см, приобретают ускорение друг к другу, равное  $\frac{668}{10^{10}}$

Если такой же шарик находился бы на расстоянии 1 см от центра Земли, в котором была бы сосредоточена вся её масса, то он приобрёл бы во столько же раз большее ускорение, во сколько раз Земля тяжелее 1г, т. е. ускорение, равное  $\frac{668}{10^{10}} \cdot M$ , где  $M$  — масса Земли в граммах.

На поверхности же Земли, находясь от центра её в расстоянии земного радиуса, такой шарик приобретает ускорение, обратно пропорциональное квадрату радиуса её, т. е. равное  $\frac{668}{10^{10}} \cdot \frac{M}{R^2}$ , где  $R$  — радиус земного шара в сантиметрах.

Так как ускорение к центру Земли на поверхности её определено из опыта и равно 981 см/сек<sup>2</sup>, то отсюда имеем:

$$\frac{668}{10^{10}} \cdot \frac{M}{R^2} = 981, \text{ или } M = \frac{981 \cdot 10^{10} \cdot R^2}{668} \text{ и } \frac{M}{V} = 5,5,$$

где  $V$  — объём земного шара в кубических сантиметрах.

какого-то иного вещества, чем остальная часть тела Земли. Вероятно, резкое уменьшение скорости сейсмических волн связано с увеличением плотности, значительно превосходящей плотность вышележащего вещества Земли.

Один из геофизиков предположил, что Земля заключает в себе очень плотное ядро диаметром около 7000 километров. Это ядро, по его предположению, окутано каменной оболочкой, средняя плотность которой равна 3,2. В этом случае, исходя из средней плотности Земли, можно вывести, что ядро должно иметь плотность, равную 8,2.

Академик А. Е. Ферсман принял, что плотность вещества Земли до глубины 1200 км равна 3,6—4,0, далее, до глубины 2900 км, — 5,0—6,0, а центрального ядра — 9—11.

Как бы ни были определены средние плотности шаровых слоёв Земли, они должны удовлетворять следующим условиям:

- 1) средняя плотность Земли должна быть равной 5,5;
- 2) средняя плотность верхнего покрова земного шара должна быть равной 2,75;
- 3) сжатие у полюсов земного шара, вычисляемое с учётом принятых плотностей, должно иметь наблюдаемую в действительности величину, т. е.  $\frac{1}{297}$ .

О том, какова химическая природа вещества внутри Земли, можно до некоторой степени судить лишь по выходам внедренных глубинных пород и, как думает академик А. Е. Ферсман, по составу метеоритов, так как Солнце, планеты и метеориты, вероятно, должны состоять из одних и тех же веществ.

Ещё Д. И. Менделеев обращал внимание на то, что горные породы земной коры состоят почти исключительно из окислов лёгких металлов: кремния, алюминия, кальция, магния, калия и натрия. Из тяжёлых элементов только железо входит в относительно значительном количестве в минералы горных пород.

Советский академик А. Е. Ферсман собрал и проверил все имевшиеся к 1932 году сведения о среднем содержании элементов в земной коре, и этими данными пользуются все наши учёные.

По данным А. Е. Ферсмана, около 50% по весу, верхней зоны коры Земли составляет кислород, образующий окислы перечисленных элементов, около 26% — кремний, около 7,45% — алюминий, 4,20% — железо, 3,25% — кальций, 2,40% — натрий, 2,35% — магний и 2,35% — калий.

Эти данные получены чисто опытным путём, на основе анализов горных пород в лаборатории. При этом учёные считали, что чем чаще подают в лабораторию образцы какой-либо породы, тем больше её в земной коре. Исходя из этого, они и вычисляли среднее содержание в ней элементов.

О составе глубже лежащих зон можно судить по прорываю-

щим осадочный покров массивам гранита и других глубинных кристаллических пород, которые нередко обнажаются на больших пространствах. Из подобных пород и состоит, как думают геологи, гранитная оболочка земного шара, которая лежит в основании материковых глыб.

Но гранитная оболочка не сплошь покрывает земной шар, и на значительных пространствах обнажается застывшая кора базальтовой магмы. Базальтовая оболочка сплошь покрывает весь земной шар до глубины 60—70 километров. Она состоит из тёмных тяжёлых пород, в состав которых входит относительно больше железа, кальция и магния и меньше натрия и калия, чем в гранитной оболочке.

Глубже должны лежать ещё более тяжёлые горные породы, образцом которых могут служить, как думают учёные, перидотиты — горные породы с обильной вкраплённостью богатого железом и магнием минерала оливина.

Сравнивая состав перидотитов с породами базальтовой зоны, мы видим, что вещество перидотитовой оболочки ещё богаче железом и магнием и беднее кислородом, кремнием, алюминием и другими лёгкими элементами.

Образцов вещества промежуточного шарового слоя, лежащего глубже перидотитовой оболочки, на поверхности Земли нет. О составе его делают предположения на основании изучения состава метеоритов.

Чаще всего в музеи попадают железные метеориты и палласиты<sup>1</sup>, состоящие из железа и минерала оливина, как бы плавающего в массе железа, так как они легче обнаруживаются на поверхности Земли. Ранее считали поэтому, что каменные метеориты представляют редкое явление, на самом же деле их падает в несколько раз больше, чем железных метеоритов.

По составу каменные метеориты похожи, повидимому, в общем на глубинные горные породы Земли, но в них ещё меньше кремния и алюминия, количество которых уменьшается с глубиной и в земной коре. Отсюда можно заключить, что каменные метеориты представляют собой образчики горных пород таких глубин Земли, которые недоступны для нашего непосредственного исследования.

«Метеориты, — писал академик А. Е. Ферсман, — в своём составе как бы продолжают ряд изменений земных пород с глубиной и являются как бы дальнейшими, более глубинными породами, которые нам пока неизвестны».

Поэтому можно полагать, что каменные метеориты могут служить образчиками пород, из которых состоит перидотитовая геофера.

В палласитах по сравнению с каменными метеоритами ещё

---

<sup>1</sup> Так названы метеориты по имени русского академика конца XVIII века Палласа, сообщившего о таком крупном метеорите, найденном в Сибири.

больше железа и никеля и меньше кремния. Значит, они представляют собой образчики вещества ещё более глубоких планетных зон.

Как думают учёные, такой состав может иметь промежуточный шаровой слой между верхней каменной оболочкой и ядром Земли. В верхних зонах его должно быть больше оливина, чем железа, а в нижних — больше железа и меньше оливина.

О составе центрального ядра делались различные предположения. Так как средняя плотность его вещества должна равняться 9—11, то некоторые геологи предполагали, что в нём много золота и платины.

Однако естественно предположить, что земное ядро состоит не из золота, а из тех же веществ, как железные метеориты, т. е. из железа и никеля с незначительной примесью кобальта, фосфора, серы, углерода и хрома.

В самом деле, если бы в планетных ядрах было много золота и платины, то эти металлы встречались бы в больших количествах и в метеоритах — несомненных образчиках материи, из которой состоят планеты.

Изложенными сведениями исчерпывается то основное, что известно о составе вещества больших глубин Земли.

Зная, какие вещества образовали геосферы, можно вывести и средний химический состав всего земного шара.

Земная кора, как мы видели, состоит почти исключительно из немногих лёгких элементов. В среднем же составе Земли главную роль играет железо.

Учёные сделали несколько подсчётов среднего содержания элементов в Земле, и эти подсчёты значительно разнятся между собой. Академик А. Е. Ферсман считал, что в составе Земли около 37—40% железа, 27—28% кислорода, около 14,5% кремния, 8—11% магния и около 3% никеля.

Все остальные элементы играют в составе вещества земного шара незначительную роль.

То немногое, что рассказано о свойствах Земли, представляет собой лишь начало их изучения. Как мы видели, русские и советские учёные своими работами уже сделали крупный вклад в мировую науку о Земле как физическом теле.

Планомерное изучение свойств Земли, которое ведётся советскими институтами в системе Академии наук СССР, позволяет нашим учёным занять первое место среди геофизиков всего мира.



### ПЛАН ЛЕКЦИИ

	Стр.
Фигура Земли . . . . .	3
Температура Земли . . . . .	8
Твёрдость Земли . . . . .	10
Давление внутри Земли . . . . .	13
Строение Земли . . . . .	18
Плотность и состав Земли . . . . .	23

Редактор — профессор Г. П. ГОРШКОВ.

А 09831.

Тираж — 80 000 экз.

Заказ № 2160.

Типография газеты «Правда» имени Сталина. Москва, ул. «Правды», 24.

## ЛИТЕРАТУРА К ЛЕКЦИИ

БУБЛЕЙНИКОВ Ф. — Недра Земли (Внутреннее строение Земли).

Под ред. А. А. Яковлева. М. Госкультпросветиздат. 1946. 31 стр. с илл.

БУБЛЕЙНИКОВ Ф. — Клады Земли. (Предисл. Д. С. Белянкина).

М. «Молодая гвардия». 1946. 166 стр. с илл.

ВАРСАНОФЬЕВА В. А. — Происхождение и строение Земли. Научно-популярный очерк. М.-Л. Госгеолгиздат. 1945. 412 стр. с илл.

ПОЛЯКОВ К. В. — Строение Земли. Куйбышев. Обл. изд-во. 1947. 31 стр. с илл.

СУББОТИН М. Ф. — Происхождение и возраст Земли.

М.-Л., Гостехиздат. 1946. 40 стр. с илл. (Научн.-попул. б-ка).



**ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ  
И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ**

**В 1948 году вышли в свет брошюры—стенограммы  
публичных лекций по вопросам техники, естественных  
наук и медицины:**

Член-корреспондент Академии наук СССР В. П. ВОЛОГДИН.  
Токи высокой частоты и их применение в промышленности.

Профессор В. А. НЕГОВСКИЙ.  
Восстановление жизненных функций организма.

Доктор физико-математических наук Н. А. КАПЦОВ.  
Павел Николаевич Яблочков — слава и гордость русской  
электротехники.

Профессор А. Г. ЛОРХ.  
Культура картофеля.

Профессор Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ.  
Успехи советской астрономии.

Профессор А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ.  
Константин Эдуардович Циолковский.

Профессор Я. Я. РОГИНСКИЙ.  
Новые теории происхождения человека.

Доктор экономических наук А. А. ЗВОРЫКИН.  
Техническое перевооружение народного хозяйства СССР за  
30 лет.

Профессор А. А. НИЧИПОРОВИЧ  
О фотосинтезе растений.

Профессор В. И. КАЗАНСКИЙ.  
Успехи советской онкологии (рак и борьба с ним).

Член-корреспондент Академии наук СССР Н. И. ГРАЩЕНКОВ.  
Вирусные заболевания нервной системы.

Доктор биологических наук Б. П. ТОКИН.  
Целебные вещества растений (фитонциды).

Действительный член Академии медицинских наук Л. А. ЗИЛЬ-  
БЕР.  
Микробы, токсины и ультравирусы,

Действительный член Академии медицинских наук профессор  
П. Г. СЕРГИЕВ.  
Новое в предупреждении и лечении малярии.

Академик Н. В. ЦИЦИН.

Пути создания новых культурных растений (отдалённая гибридизация).

Член-корреспондент Академии наук СССР А. Л. МИНЦ.

Достижения советской радиотехники за 30 лет.

Академик И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ.

Успехи советской теории механизмов и машин.

Кандидат технических наук А. И. МИХАЙЛОВ.

Советское изобретательство и технический прогресс в СССР.

Академик Л. С. БЕРГ.

Байкал, его природа и значение в народном хозяйстве.

Профессор Г. Ф. ГАУЗЕ.

Проблема антибиотиков в советской медицине.

Член-корреспондент Академии наук СССР А. Б. ЧЕРНЫШЕВ.

Новые способы переработки твёрдого топлива.

Кандидат физико-математических наук В. Н. ВЕРЦНЕР.

Электронный микроскоп и его применение.

Доктор биологических наук профессор А. Н. СТУДИТСКИЙ.

Современные проблемы регенерации (восстановление утраченных органов и тканей).

Действительный член Академии медицинских наук профессор

В. А. ГИЛЯРОВСКИЙ.

О взаимоотношении соматического и психического в медицине.

Академик К. М. БЫКОВ.

Современные представления о передаче нервного процесса.

Профессор А. И. НЕСТЕРОВ.

Новое в лечении ревматизма и болезней суставов.

Профессор Ю. В. РАКИТИН.

Ростовые вещества и их применение в растениеводстве.

Член-корреспондент Академии наук СССР Д. Н. НАСОНОВ.

О природе возбуждения.

Профессор С. О. МАЙЗЕЛЬ.

Свет и зрение.

Кандидат физико-математических наук Б. Ю. ЛЕВИН.

Происхождение Земли и планет.

Член-корреспондент Академии наук СССР Б. Н. ДЕЛОНЕ.

Математика и её развитие в России.

Действительный член Академии наук Армянской ССР Х. С. КОШТОЯНЦ.

Русская физиологическая школа и её роль в развитии мировой науки.

Член-корреспондент Академии медицинских наук профессор  
А. А. СМОРОДИНЦЕВ.

Грипп и борьба с ним.

Профессор Л. А. ЗЕНКЕВИЧ.

Моря СССР и их фауна.

Доктор географических наук профессор Б. П. ОРЛОВ.

Фёдор Петрович Литке, замечательный русский путешественник и учёный (к 150-летию со дня рождения).

Действительный член Академии медицинских наук профессор  
С. Н. ДАВИДЕНКОВ.

Неврозы в свете учения И. П. Павлова о высшей нервной деятельности.

Лауреат Сталинской премии С. П. ИВАНОВ.

О стереоскопическом кино.

Доктор физико-математических наук профессор И. Ф. ПОЛАК.

Планета Марс и возможность жизни на ней.

Я. Я. РОГИНСКИЙ.

Н. Н. Миклухо-Маклай.

Академик В. Н. ОБРАЗЦОВ.

История развития транспорта Москвы.

Доктор биологических наук Г. К. ХРУЩОВ.

Культура животной ткани вне организма.

Действительный член Академии медицинских наук доктор медицинских наук Б. А. АРХАНГЕЛЬСКИЙ.

Бесплодие и борьба с ним.

Кандидат физико-математических наук А. Г. МАСЕВИЧ.

Что происходит в недрах Солнца и звёзд.

Доктор физико-математических наук Э. Р. МУСТЕЛЬ.

Что происходит на поверхности Солнца.

Доктор физико-математических наук профессор П. П. ПАРЕНАГО.

Новейшие данные о строении Вселенной.

Доктор медицинских наук профессор И. И. ШИМАНКО.

Ультрафиолетовые лучи в медицине.

Член-корреспондент Академии наук СССР Э. А. АСРАТЯН.

О приспособительных явлениях в повреждённом организме.

Академик Д. В. НАЛИВКИН.

Памир — крыша мира.

Профессор Я. С. УМАНСКИЙ.

Роль физики в науке о металлах.

Доктор медицинских наук профессор В. В. ЕФРЕМОВ.

Профилактическое и лечебное применение витаминов.

Член-корреспондент Академии наук СССР Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.

Теория жидкого состояния.

Я. Я. РОГИНСКИЙ.

Что такое человеческие расы.

**Цена 60 коп.**