

Содержание

Предисловие.....	7
------------------	---

ЧАСТЬ 1. ЗЕМЛЯ

ГЛАВА 1. Планета Земля.....	13
ГЛАВА 2. Геологическое время.....	37
ГЛАВА 3. Внутри Земли.....	57
ГЛАВА 4. Тектоника плит.....	78
ГЛАВА 5. Пласты и материковые зры.....	103
ТЕСТ К ПЕРВОЙ ЧАСТИ.....	124

ЧАСТЬ 2. МИНЕРАЛЫ И ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

ГЛАВА 6. Магматические (изверженные) горные породы.....	133
ГЛАВА 7. Осадочные горные породы.....	156
ГЛАВА 8. Метаморфические породы.....	180
ГЛАВА 9. Минералы и драгоценные камни.....	201
ГЛАВА 10. Окаменелости.....	234
ТЕСТ КО ВТОРОЙ ЧАСТИ.....	252

ЧАСТЬ 3. НОВОСТИ С ПОВЕРХНОСТИ

ГЛАВА 11. Вулканы.....	261
ГЛАВА 12. Землетрясения.....	286
ГЛАВА 13. Океаны.....	313

Содержание

ГЛАВА 14. Атмосфера	335
ГЛАВА 15. Выветривание и топография	359
ТЕСТ К ТРЕТЬЕЙ ЧАСТИ	389
Заключительный экзамен	396
Приложение. Минералы	412
Ответы на контрольные вопросы к главам	416
Ответы на тесты в конце частей	418
Ответы на вопросы итогового экзамена	419
Список литературы	420
Предметный указатель	423

Предисловие

Науки о Земле включают в себя множество различных областей, относящихся к геологии. Поскольку Земля содержит все от облаков (метеорология) и океанов (морская биология) до окаменелых ископаемых (палеонтология) и землетрясений (геология/тектоника плит), всегда найдется, из чего выбрать!

Эта книга для тех, кто интересуется науками о Земле и хочет узнать больше, чем дает стандартная школьная программа. Ее могут также использовать студенты для самостоятельного обучения и люди, которые хотят сменить профессию. Материал представлен в доступной форме, и вы усвоите его лучше, если будете читать книгу с начала до конца. Но если вы хотите освежить знания по какой-то отдельной теме, например о минералах и драгоценных камнях или вулканах, тогда просто обратитесь к соответствующим главам.

Читая эту книгу, вы заметите, что я привожу в ней множество основополагающих теорий и достижений геофизиков, океанографов, сейсмологов, экологов и многих других ученых. Я уделила внимание этим вехам в развитии науки, чтобы показать вам, как вопросы, которые ставили перед собой любознательные люди, и их блестящие идеи смогли продвинуть человечество вперед.

Науку питает любопытство и желание понять ход вещей. Лауреаты Нобелевской премии когда-то были студентами, мечтавшими о новых открытиях и изобретениях. Они были уверены, что ответы непременно найдутся, и проявили достаточно упорства, чтобы докопаться до них. Нобелевская премия в области науки (у актеров есть Оскар, а у ученых — Нобель) присуждалась с 1901 года более 470 раз.

В 1863 году Альфред Нобель пережил тяжелую потерю; в результате его эксперимента с нитроглицерином были разрушены два крыла фамильного особняка, трагически погиб его младший брат и еще четыре человека. Нобель открыл самое сильное оружие того времени — динамит.

К концу жизни у Нобеля было 355 патентов на различные изобретения. После смерти Нобеля в 1896 году согласно его завещанию был учрежден фонд для ежегодного присуждения пяти денежных премий равного размера «тем лицам, которые в течение предшеству-

Предисловие

ющего года сумели принести наибольшую пользу человечеству» в области наук о Земле, физики, физиологии и медицины, литературы и укрепления мира. Нобель хотел отдать дань уважения героям науки и поощрить других на их пути к знаниям.

Науки о Земле имеют также специальные премии и награды в области геологии. Медаль Пенроуза (теоретическая геология), Премия Кроуфорда (нелинейные науки, например, динамика и компьютерное моделирование) и медаль Дея (геофизика и геохимия) — все они присуждаются в знак признания выдающихся исследований и достижений в области наук о Земле.

Надеюсь, что те идеи и результаты научных наблюдений, которые изменили наши представления об устройстве Земли и о которых вы узнаете из этой книги, вдохновят и вас на то, чтобы направить свои творческие силы к решению проблем, стоящих перед науками о Земле сегодня.

Эта книга дает общий обзор наук о Земле, включая разделы по всем основным областям, которые вы найдете в школьной программе или при индивидуальном изучении данного предмета. Она содержит основные понятия, чтобы ознакомить вас с терминологией и наиболее распространенными концепциями экспериментальных наук, таких, как науки о Земле. Кроме того, я привела список полезных интернет-сайтов, которые предоставляют современную и интерактивную геологическую информацию и моделирование.

Я снабдила текст книги множеством понятных примеров и иллюстраций природных явлений, чтобы помочь вам наглядно представить, что происходит на поверхности Земли, под или над ней. Каждая глава или раздел завершаются контрольными вопросами и тестами, а в конце книги даются экзаменационные вопросы. Ко всем вопросам предлагается несколько вариантов ответов, что используется и в стандартных тестах. В конце каждой главы имеется несколько контрольных вопросов. Они представляют собой «открытую книгу». У вас не должно возникнуть затруднений с ними. Вы всегда можете вернуться к тексту главы, чтобы освежить свою память или уточнить какие-то детали природного процесса, о котором идет речь. Запишите свои ответы и попросите друзей или родителей сверить ваш результат с ответами в конце книги. Вы должны задержаться на главе, пока не овладеете материалом в достаточной степени и не получите большую часть правильных ответов, прежде чем двигаться дальше.

Книга разделена на три крупные части. Каждая из них завершается многовариантным тестом. Когда вы заканчиваете изучение какой-то из этих частей, пройдите тест. Пусть прохождение тестов будет для вас

Предисловие

«закрытой книгой», когда вы окажетесь один на один со своими навыками, приобретенными при ответе на контрольные вопросы отдельных глав. Не пытайтесь подсмотреть нужный материал в тексте книги, выполняя тесты. Вопросы тестов не более сложны, чем контрольные вопросы, но требуют более основательного повторения пройденного. Я включила множество дурацких ответов, чтобы держать вас на чеку и сделать тесты повеселее. Хороший результат — это три четверти правильных ответов. Помните, что все ответы есть в конце книги.

Заключительный экзамен в конце всего курса содержит более простые вопросы, чем в конце глав и частей. Пройдите экзамен, когда вы справитесь с контрольными вопросами всех глав и тестами всех частей, и почувствуйте, что вы овладели материалом в целом. Хороший результат экзамена — это не менее 75% точных ответов.

Отвечая на контрольные вопросы, проходя тесты и заключительный экзамен, вы должны попросить друзей или родителей сообщить вам ваш результат, не говоря, в каких именно вопросах вы ошиблись. Тогда у вас не будет соблазна вспоминать правильные ответы на эти вопросы, а вместо этого вы сможете вновь повторить пройденное и посмотреть, не упустили ли вы суть проблемы. Когда вы добьетесь результата, который вас удовлетворит, вернитесь назад и проверьте отдельные вопросы, чтобы понять, в чем ваши сильные стороны, а какие области требуют большего изучения.

Попробуйте проходить по одной главе в неделю. Час в день или что-то около того позволят вам постепенно усвоить информацию. Не спешите. Науки о Земле не трудны, но требуют вдумчивого изучения. Просто равномерно продвигайтесь вперед. Если вас действительно интересуют землетрясения, уделите больше времени главе 12. Если вы хотите узнать последнюю информацию о прогнозах погоды, остановитесь подробнее на главе 15. Двигаясь в одинаковом темпе, вы завершите курс за несколько месяцев. Окончив курс и став профессиональным геологом, вы можете использовать эту книгу как справочник, содержащий обширный указатель, приложения и множество примеров по типам горных пород, структурам облаков и глобальным геохимическим системам.

Предложения для будущих переизданий книги приветствуются.

Линда Уильямс

Благодарности

Иллюстрации в этой книге были выполнены при помощи программ CorelDRAW, Microsoft PowerPoint и Microsoft Visio, любезно предоставленных корпорациями Corel и Microsoft соответственно.

Предисловие

Там, где это указано в книге, была использована информация и карты Геологической службы США.

Особая благодарность д-ру Ричарду Гордону (Dr. Richard Gordon) (тектоника плит), Сэнди Шранку (Sandy Schrank) и Эбби Беку (Abbie Beck) (окаменелости) за помощь в редактировании рукописи этой книги.

Большая благодарность Джуди Басс (Judy Bass) и Скотту Грилло (Scott Grillo) из издательства «Макгро-Хилл» (McGraw-Hill) за их доверие и помощь.

Спасибо также сотрудникам и факультету Школы естественных наук имени Вейсса при Университете Райса за дружбу, поддержку и гибкость на заключительной стадии этой работы.

Большое спасибо жителям Кенни Дж (Kenny J's) и Старбакса (Starbucks), которые благосклонно позволили мне стать их домашним писателем.

Моя сердечная благодарность моим детям — Эвану, Брину, Паулю и Элизабет за их любовь и веру. А также спасибо тебе, Мама, за твою постоянную поддержку и любовь.

Об авторе

Линда Уильямс — автор популярных книг в области науки, медицины и космоса. Она работала ведущим научным сотрудником и техническим писателем для НАСА и компании «Мак Доннел Дуглас Космические системы» (McDonnell Douglas Space Systems), а также была научным спикером Отделения медицинских наук при Космическом центре имени Джонсона НАСА. В настоящее время госпожа Уильямс работает в Школе естественных наук имени Вейсса при Университете Райса в Хьюстоне, штат Техас. Она является автором популярной книги «Химия без тайн», еще одного тома настоящей серии.

Глава 1

Планета Земля

Из космоса наша планета выглядит как яркий голубой шар. Называемая иногда «голубой планетой», Земля более чем на 70% покрыта водой и не имеет себе равных в нашей Солнечной системе. Облака, пожары, ураганы, торнадо и другие природные явления могут иногда менять облик Земли, но как мы хорошо знаем, во всей Солнечной системе только один этот мир пригоден для жизни.

В древности люди, полностью зависевшие от Матери Земли, поклонялись ей как богине-кормилице, дававшей им все необходимое. Из почвы появлялись растения, обеспечивавшие их одеждой и пищей. Реки и моря приносили рыбу и морепродукты, служившие им едой, предметами торговли и инструментами. Воздух давал дождь, снег и ветер, что помогало вырастить урожай и приводило к смене погоды. Земля никогда не уставала заботиться о своих детях. Наши предки верили, что Мать Земля вместе с Отцом Солнцем трудятся для тех, кто почитает их.

Современные космонавты, летающие вокруг Земли на космических кораблях и наблюдающие за ней из научных лабораторий с высоты 465 км, восторгаются красотой Земли и делают все для ее сохранения. Бывший американский астронавт Алан Бин (Alan Bean) передает эту красоту в своих картинах, опираясь на собственный опыт и воображение. Астронавт Том Джонс (Tom Jones) пишет книги для детей и взрослых о своих космических впечатлениях. Другие астронавты НАСА, ученые, инженеры и летчики-испытатели выразили свое восхищение и признательность нашему хрупкому миру, прилагая усилия по охране окружающей среды, которые имеют непосредственное отношение к наукам о Земле. Наука *геология* включает в себя множество областей знаний, относящихся ко всей нашей планете.

Геология — это наука о Земле, ее происхождении, развитии, строении, структуре и истории.

ЧАСТЬ 1 Земля

Но с чего все это началось? Что можно сказать о самом начальном этапе развития Земли? Многие ученые полагают, что Солнце сформировалось из огромного вращающегося облака пыли и газов, которое под воздействием силы тяжести сжималось во все более плотный центр масс. Постоянное вращение сплющило обломки пород (одни размером с апельсин, другие — с Северную Америку) и позволило им образовать планеты, Луну и кометы.

Более крупные куски исходного материала в этих полях обломков обладали достаточной силой тяжести, чтобы притягивать к себе более мелкие космические объекты, вбирать их в себя и за счет этого расти. Когда скопление обломков пород превышало в диаметре 350 км, оно постепенно приобретало под действием гравитации сферическую форму. Рисунок 1.1 показывает этапы, через которые мог пройти этот процесс.



Рис. 1.1. Сила тяжести придает космическим обломкам сферическую форму в зависимости от их веса и размера

Другие ученые полагают, что все случилось в результате гигантского взрыва — «гипотеза большого взрыва». Все получило развитие и сразу же просто стало расходиться по спирали, чтобы занять привычные для нас сегодня места. На самом деле многие астрономы считают, что Вселенная расширяется. Они думают, что все галактики продолжают отдаляться друг от друга на почти невообразимые расстояния. Как было бы трудно изучать что-то, что все время удаляется от вас!

Но для изучения наук о Земле это не проблема. Наша планета — это целая лаборатория, предоставляющая множество замечательных объектов для исследования.

Размер и форма

На протяжении тысячелетий люди пытались отгадать, какую форму имеет Земля. Наши далекие предки считали, что суша и море плоские. Они боялись, что если они будут слишком долго двигаться

ГЛАВА 1 Планета Земля

в одном направлении, то могут упасть с края Земли. Первооткрывателей, которые заплывали за пределы изведанных морей, считали сумасшедшими, идущими на верную погибель. Поскольку многие корабли не возвращались из дальних странствий (вероятно, они затонули во время шторма), древние люди думали, что либо они заплыли слишком далеко и просто свалились с края Земли, либо встретили морских чудовищ, которые разрушили их.

Сомнений в том, что Земля плоская, не возникало до тех пор, пока знаменитый древнегреческий философ *Аристотель* (384 – 322 до н.э.) не заметил, что тень, которую Земля отбрасывает на Луну, изогнута. Учитывая, что Аристотель пользовался большим уважением в Древней Греции и писал труды по многим предметам, включая логику, физику, метеорологию, зоологию, теологию и экономику, некоторые люди задумались, не может ли он оказаться правым и в отношении того, что Земля круглая. Аристотель полагал, что Земля является центром Солнечной системы.

В начале XVI века польский астроном Николай Коперник, которого иногда называли *отцом современной астрономии*, высказал предположение, что Земля вращается вокруг Солнца. Все его расчеты и опыты однозначно указывали на это. К несчастью, многие люди верили в то, что Земля является центром Вселенной. Им не нравилась сама мысль о том, что Земля может быть всего лишь одним из камней, летающих вокруг Солнца. Это противоречило всему, во что они верили, — от способов земледелия до веры в Бога. Однако Коперник и его последователи продолжали задавать вопросы и писать о ходе вещей и месте Земли в космосе.

Древним людям казалось, что Солнце, хотя и очень яркое, не выглядит таким уж большим на небе. Для того, кто стоит на Земле и видит поля, горы, океан или что-то еще, насколько хватает глаз, нет ничего удивительного в том, что большинство людей считали Землю центром мироздания. У них не было ни малейшего представления о перспективе.

Земля известна как одна из *внутренних планет* нашей Солнечной системы. Четыре *планеты земной группы*, или планеты, похожие на Землю, которые находятся ближе всего к Солнцу, — это Меркурий, Венера, Земля и Марс. Они сформировались вблизи от Солнца и получают больше тепла, чем планеты на дальнем фланге. Большая часть радиации и других солнечных газов выдували высокие концентрации водорода, гелия и других легких газов, оставляя позади более тяжелые элементы. Сложенные в основном этими тяжелыми элементами «твердые» планеты, включая нашу Луну, сходны

ЧАСТЬ 1 Земля

по своему химическому составу и наиболее пригодны для колонизации людьми в ближайшем будущем.

Внешние планеты, образовавшиеся из летучих веществ, вынесенных в космос, огромны по сравнению с внутренними планетами. К ним относятся Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон (крошечный «оригинал» среди внешних планет, состоящий в основном из льда). Гигантские внешние планеты имеют твердые ядра, но сформированы по большей части из летучих газов, первоначально входивших в состав Солнца.

Подобно тому как планеты удерживаются на своих орбитах благодаря притяжению Солнца, так и хорошо выраженные кольца Сатурна, состоящие из газов и различных частиц, удерживаются на орбите силой тяжести.

Чтобы лучше запомнить расположение 9 планет в нашей Солнечной системе, представьте себе бейсбольное поле. Его размеры, конечно, несопоставимы с реальными пропорциями, но если вы вообразите внутренние планеты (Меркурий, Венеру, Землю и Марс) «частью поля у ворот», а внешние планеты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон) — «дальней частью поля», вам будет проще удержать их в памяти. Рисунок 1.2 показывает место Земли в нашей Солнечной системе и дает самые общие представления о различных размерах планет и Луны.

По сравнению с гигантским Солнцем, которое более чем в 332 тыс. раз превосходит Землю по массе, Земля — карлик, это почти то же самое, как сравнивать размеры человека с размерами муравья. Диаметр Солнца составляет 1 391 000 км, тогда как диаметр Земли — примерно 12 756 км. Это означает, что диаметр Солнца более чем в 100 раз превышает диаметр Земли. Чтобы представить себе эту разницу в размерах, вообразите Солнце размером с баскетбольный мяч. Тогда Земля будет размером с эту букву «о».

Наша планета обращается за сутки вокруг своей оси, которая наклонена на 23,5 градуса к плоскости орбиты, по которой Земля вращается вокруг Солнца. Другие планеты также вертятся вокруг своей оси и распределены примерно в той же плоскости вращения вокруг Солнца, что и Земля. Благодаря колоссальным размерам вращающегося Солнца планеты удерживаются на своих определенных местах силой тяжести.

Плоскость эклиптики — это угол наклона, с которым Земля вращается на своей оси вокруг Солнца.

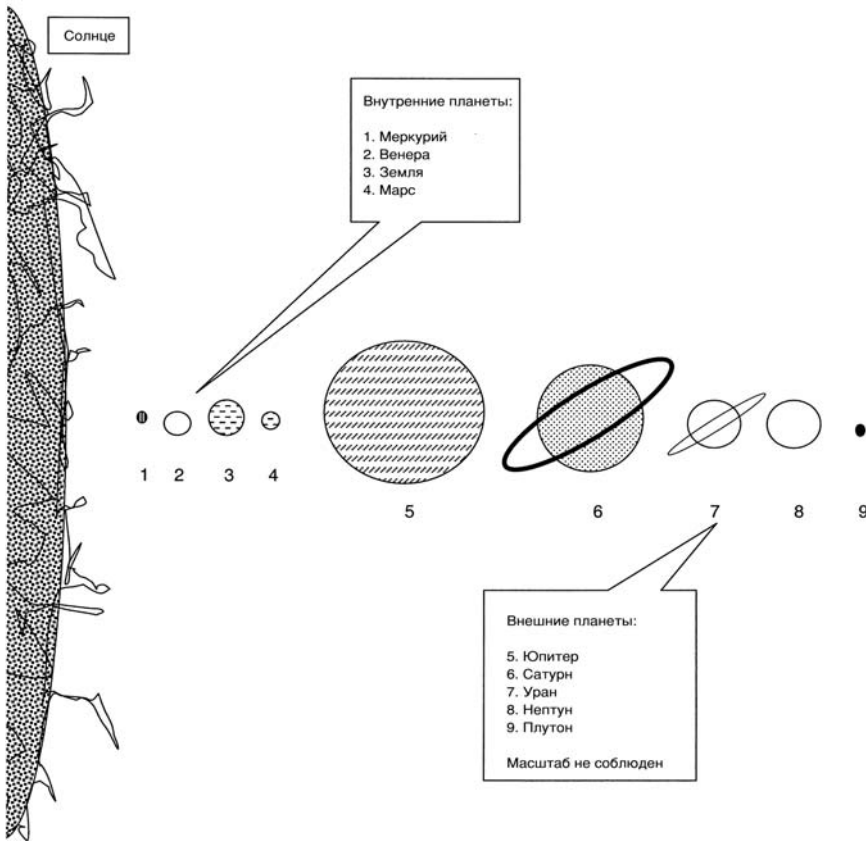


Рис. 1.2. Солнечная система включает различные по размерам и составу планеты

Среднее расстояние Солнца от Земли составляет 150 млн км. Это расстояние настолько огромно, что его даже трудно себе представить. Говорят, что если бы можно было полететь к Солнцу на реактивном самолете со скоростью 966 км/ч, то для полета туда и обратно потребовалось бы больше 300 лет.

Место Земли в Галактике

Хотя наше Солнце и кажется центром нашей Вселенной, на самом деле оно всего лишь один из козлят в стаде. Наша Солнечная система находится на одном из плеч спирали Орион спиралевидной галактики, известной как *Млечный Путь*.

ЧАСТЬ 1 Земля

Млечный Путь — одна из миллионов галактик во Вселенной. Галактика *Андромеда* — ближайшая к Млечному Пути крупная галактика.

Представьте себе галактику Млечный Путь как один из «континентов» среди миллиардов других континентов в мире, называемом Вселенной. Ее спиралевидные плечи, или «страны», называются *Центавр*, *Стрелец*, *Орион*, *Персей* и *Лебедь*. Галактика Млечный Путь достигает в поперечнике около 100 тыс. световых лет. Центральная часть Млечного Пути состоит из плотного молекулярного облака, которое медленно вращается по часовой стрелке, разбрасывая звездные системы и космические обломки пород. Оно насчитывает порядка 200 млрд (2×10^{12}) звезд.

Хотя *Андромеда* самая близкая к Млечному Пути полноразмерная галактика, ближайшей галактикой является открытая в 1994 году карликовая эллиптическая галактика в созвездии Стрельца (*Sagittarius Dwarf*). Она находится на расстоянии 80 тыс. световых лет или почти 24 килопарсек. (1 парсек составляет 3,26 световых лет).

Световой год — единица длины, соответствующая расстоянию, которое проходит луч света за один год.

Луч света движется со скоростью примерно 300 тыс. км/сек. Таким образом, за один год он может пройти около 10 трлн км. Более точно, один световой год равен 9 500 000 000 000 км.

Орион, наша «страна» в пределах Млечного Пути, состоит из множества различных звездных систем, или «городов». Каждая звездная система подобна «городу» с его сооружениями, парками и домами. Наша Солнечная система находится на внешнем краю плеча Ориона. Планеты звездных систем являются «сооружениями и домами».

Рисунок 1.3 представляет вид сбоку на галактику Млечный Путь и наше место в ней.

Образование Земли

В 1755 году Иммануил Кант высказал предположение о том, что Солнечная система сформировалась из вращающегося облака газа и тонкой пыли. Спустя многие годы эта идея стала известна как *небулярная космогоническая гипотеза*. Облака, о которых писал Кант, можно увидеть в мощные телескопы. Космический теле-

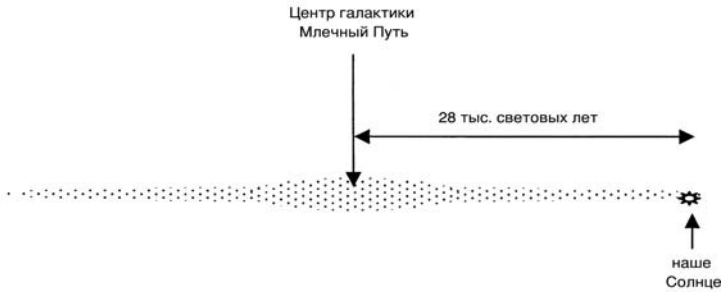


Рис. 1.3. Солнечная система расположена на краю галактики Млечный Путь

скоп им. Э. Хаббла (The Hubble Space telescope) посылал на Землю множество изображений этих прекрасных образований, называемых *туманностями*.

НАСА располагает множеством изображений туманностей, сфотографированных космическим телескопом им. Э. Хаббла. Следующие интернет-сайты¹ дадут вам представление о различных туманностях, исследуемых в настоящее время учеными:

<http://hubble.nasa.gov>
<http://science.msfc.nasa.gov>
www.nasa.gov/home/index.html
<http://hubblesite.org/newscenter>

Наиболее интересны туманности Подкова и Орион. Эти прекрасные скопления космической пыли позволяют астрономам изучать различия в формах космических облаков, эффекты воздействия гравитации и других сил, влияющих на вращение этих пылевых облаков.

По всей вероятности, когда Земля только что образовалась по соседству с тогда еще молодым Солнцем, она представляла собой расплавленную массу минеральных веществ и металлов, разогретых до температуры порядка 2000°C. Основными компонентами облака были водород, гелий, углерод, азот, кислород, кремний, железо, никель, фосфор, сера и др. Когда земной шар стал остывать, более тяжелые металлы, такие как железо и никель, опустились на большие глубины в расплавленное ядро, тогда как более легкие элементы, такие как кремний, поднялись к поверхности, немного остыли и начали форми-

¹ К этим очень интересным сайтам можно добавить русскоязычные сайты: www.astrolab.ru, www.astronet.ru. (Прим. пер.)

ЧАСТЬ 1 Земля

ровать тонкую кору. Рисунок 1.4 демонстрирует, каким образом различные элементы образовали многослойную земную кору. Эта кора плавала в море из расплавленных пород более 4 млрд лет назад, выбрасывая вулканические газы и пар при попадании в нее таких космических пришельцев, как ледяные кометы. Так происходило, пока постепенно не сформировалась атмосфера. Вода конденсировалась и проливалась в виде дождя, охлаждая земную кору до твердого состояния, скапливалась в пониженных местах и вытекала через разломы, образуя океаны, моря, озера, реки и ручьи.

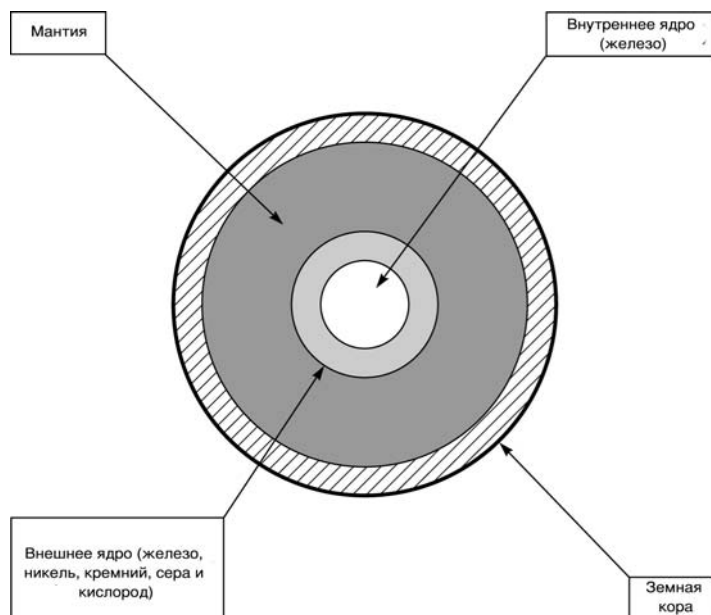


Рис. 1.4. Земля имеет четыре основных слоя

Сила тяжести

Если Земля вертится, то какая сила удерживает нас и все, что на ней есть, на своих местах? *Сила тяжести.*

В 1666 году английский ученый Исаак Ньютон (тот парень, которому на голову упало яблоко) сказал, что все предметы, находящиеся на вращающейся Земле, подвержены действию центробежной силы. Он полагал, что все находящиеся на Земле объекты улетели бы с нее, если бы их не удерживала на ней еще более мощная сила.

ГЛАВА 1 Планета Земля

Эта цепочка рассуждений привела Ньютона к открытию *закона всемирного тяготения*.

Ньютон описал этот закон следующим математическим путем:

$$F \text{ пропорционально } \frac{M_1 \times M_2}{d^2},$$

где F — сила притяжения, M_1 и M_2 — массы двух притягивающихся тел, а d — расстояние между их центрами.

Чем больше M_1 и M_2 и меньше d , тем большей будет F (сила притяжения). Таким образом, поскольку Земля огромна по сравнению с лошадью, или человеком, или волейбольным мячом, сила притяжения к Земле огромна. Если планеты тяжелы и расположены близко друг к другу, они будут притягиваться одна к другой!

Ньютон также установил, что поскольку сила тяжести направляет все объекты к центру Земли (известна как *центростремительная сила*), центробежная сила (сила, отбрасывающая объект при вращении) тем больше, чем больше расстояние объекта от оси вращения. Другими словами, центробежная сила больше всего на экваторе и меньше на полюсах. В результате взаимодействия этих двух сил Земля более приплюснута на полюсах и немного шире на экваторе. Вследствие этого радиус Земли на полюсах составляет 6357 км, а на экваторе он увеличивается до 6378 км. Однако благодаря своим крупным размерам Земля все же выглядит из космоса как идеальный шар.

Биосфера

Вся жизнь на Земле сосредоточена в *биосфере*. Все растения и животные Земли живут в этой оболочке, которая простирается от дна океана до верхних слоев атмосферы. Она включает в себя все живые существа, большие и маленькие, которые группируются в *виды* или отдельные типы. Основные компоненты биосферы содержат углерод, водород и кислород. Эти элементы взаимодействуют с другими системами Земли.

Биосфера включает гидросферу, земную кору и атмосферу. Она располагается над глубинными слоями Земли.

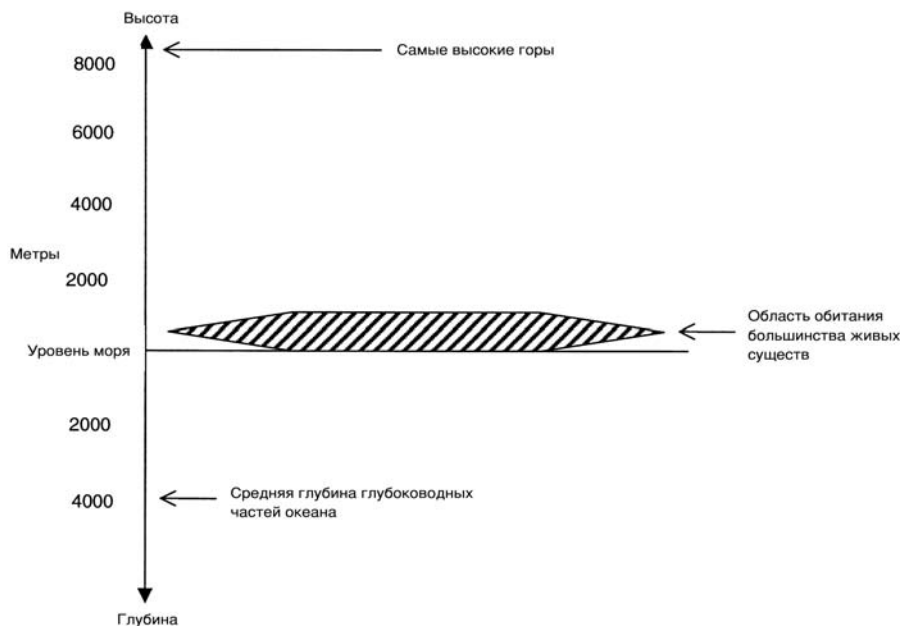
Жизнь встречается во многих неблагоприятных условиях на этой планете: от экстремально высоких температур вблизи вулканических источников на дне океана до экстремально низких температур на по-

ЧАСТЬ 1 Земля

люсах. Биоразнообразие Земли воистину поразительно. Все — от экзотических и грозных глубоководных океанических чудовищ до слепых рыб, обитающих в подземных пещерах и озерах, являются частью биосферы. Есть бактерии, усваивающие серу, которые бурно размножаются в богатых серой горячих геотермальных источниках, и есть лягушки, которые высыхают и продолжают оставаться жизне-способными в почвах пустынь, пока случайный дождь не вернет их к жизни. Это делает изучение наук о Земле завораживающим занятием для людей различных культур, географии и интересов.

Однако подавляющее большинство организмов биосферы, которые растут, размножаются и умирают, существуют в гораздо более узком диапазоне. Большая часть обитающих на Земле видов населяет лишь тонкий слой во всей глобальной биосфере. Этот слой охватывает районы с положительными температурами в течение большей части года и верхнюю часть океанических глубин, куда способен проникать солнечный свет.

Высота того пояса, который содержит биосферу, достигает по вертикали примерно 20 тыс. м. Но область, наиболее заселенная видами животных и растений, составляет лишь небольшую часть от



ГЛАВА 1 Планета Земля

него. Она включает в себя глубины, близкие к поверхности океана, и сушу до высоты около 1000 м над уровнем моря. Большинство животных и растений живут в этом тонком слое биосферы. Рисунок 1.5 дает представление о размерах биосферы.

Атмосфера

Атмосфера Земли является ключом к развитию жизни на нашей планете. Другие планеты Солнечной системы обладают либо атмосферой из водорода, метана и аммиака (Юпитер, Сатурн), двуокиси углерода и азота (Венера, Марс), либо вообще не имеют атмосферы (Меркурий).

Атмосфера Земли, образовавшаяся из извержений доисторических вулканов, поднимается почти на 563 км от земной поверхности. Она состоит из смеси различных газов в такой пропорции, которая позволяет существовать жизни на планете. В нижних слоях атмосферы содержится больше всего азота — 78%, за которым следует кислород — 21%. Двуокись углерода, жизненно важная для роста растений, представлена в небольших концентрациях вместе с аргоном, незначительным количеством неона и других второстепенных газов. Рисунок 1.6 демонстрирует существенные различия в количествах присутствующих в атмосфере газов.

Кислород, необходимый для жизни человека, появился тогда, когда микроскопические растения и водоросли начали использовать двуокись углерода в процессе фотосинтеза для получения питательных веществ. Кислород является важным побочным продуктом этого процесса.

Смесь газов, которую мы называем воздухом, проникает в почву и большую часть пустот в земной коре, пока еще не заполненных

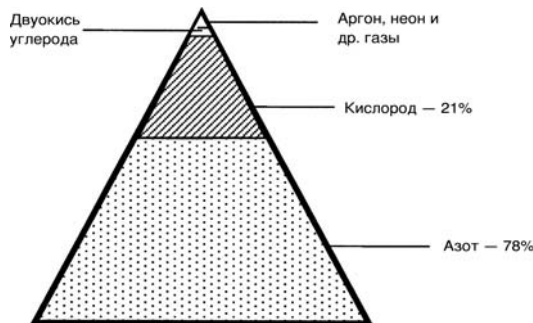


Рис. 1.6. Атмосфера Земли состоит из различных газов

ЧАСТЬ 1 Земля

водой. Атмосфера — самая активная из различных «сфер» Земли. Она представляет собой постоянно меняющуюся в масштабах всего мира натуру. Просто посмотрите ночной выпуск прогноза погоды в вашем собственном регионе, чтобы понять, что я имею в виду. Вы действительно можете увидеть, как ведет себя погода во всем мире, посетив следующие интернет-сайты¹:

www.weather.com

www.theweathernetwork.com

<http://www.wunderground.com>

Мы увидим все те факторы, которые действуют совместно, чтобы дать нам возможность дышать, когда будем говорить об атмосфере в главе 14.

Гидросфера

Мировой океан, наиболее заметная часть Земли при взгляде на нее из космоса, покрывает основную долю земной поверхности. Тихий океан, самый большой из океанов Земли, настолько велик, что вся суша всех континентов могла бы в нем уместиться. Вода всех океанов составляет почти 97% воды Земли. Средняя глубина океанов превышает высоту суши. Эта огромная масса воды является частью *гидросферы*.

Гидросфера характеризует постоянно меняющийся круговорот воды в природе, который является частью замкнутой экосистемы Земли.

Гидросфера никогда не бывает неподвижной. Она состоит из воды, испаряющейся с поверхности океанов в атмосферу, выпадающей в виде осадков обратно на сушу, стекающей в ручьи и реки и в конечном итоге опять впадающей в океаны. Гидросфера также включает в себя подземные воды, озера и реки.

Криосфера является подмножеством гидросферы. Она объединяет в себе всю замерзшую воду Земли, находящуюся в более холодных широтах и на больших высотах в форме снега и льда. На полюсах континентальные ледовые щиты и ледники покрывают обширные пустынные пространства бесплодных скал, на которых едва ли может существовать какая-то растительная жизнь. Антарктида представляет собой материк, по своим размерам в два раза превышающий Австралию и покрытый самым большим в мире ледяным щитом.

¹ Аналогичный русскоязычный сайт: <http://pogoda.rbc.ru>. (Прим. перев.)

Литосфера

Земная кора и самая верхняя часть мантии известны как *литосфера* (*lithos* по-гречески значит «камень»). Эта твердая и хрупкая оболочка действует как изоляционный материал для расположенных под ней слоев мантии. Это самая холодная из всех оболочек Земли, как бы плавающая или скользящая над более глубокими слоями. В таблице 1-1 приведены доли содержания различных элементов в земной коре.

Литосфера достигает около 100—250 км в толщину и покрывает всю Землю.

Ученые установили, что примерно 250 млн лет назад вся земная суша представляла собой единый крупный блок, или континент. Они назвали этот твердый материк *Пангея*, что означает «вся Земля». Огромный окружавший ее океан получил название *Панталасса*, что означает «все моря». Но это еще был не конец истории, ситуация продолжала меняться. Спустя примерно 50 млн лет раскаленная магма из глубин Земли расколола Пангею и образовала два материка — Гондвану (включавшую Африку, Южную Америку, Индию, Австралию, Новую Зеландию и Антарктиду) и Лавразию (Евразия, Северная Америка и Гренландия). Ученые до сих пор пытаются понять, почему распались эти суперконтиненты, но, по всей вероятности, этому поспособствовали «горячие точки» в мантии Земли.

Таблица 1.1. Разнообразие элементов в земной коре делает ее уникальной

Элементы земной коры	%
Кислород	46,6
Кремний	27,7
Алюминий	8,1
Железо	5
Кальций	3,6
Натрий	2,8
Калий	2,6
Магний	2,1
Прочие	1,4

ЧАСТЬ 1 Земля

Почти 65 млн лет назад они раскололись еще больше, приняв очертания тех континентов, которые мы знаем и любим сегодня и которые отделены друг от друга водой.

Земная кора

Земная кора — это твердая оболочка Земли, наиболее отдаленная от ее центра. Этот слой подвержен выветриванию под воздействием ветра, дождя, смерзшегося снега, ураганов, торнадо, землетрясений, метеоритных ударов, извержений вулканов и тому подобных процессов и явлений. Для него характерны всевозможные складки, трещины, оттенки и формы, которые делают его интересным. Подобно тому как люди отличаются друг от друга своим мировоззрением и биографией, зависящими от их жизненного опыта, так и отдельные области Земли очень разнообразны. Земная кора имеет много обликов: от буйной растительности тропиков, сухой и враждебной пустыни Сахары до ледяных полей в Арктике.

КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ КОРА

Земная кора тонка по сравнению с остальными оболочками нашей планеты. На ее долю приходится всего лишь около 1% от общей массы Земли. Толщина континентальной коры может достигать 70 км. Земная кора континентов с расположенными на ней горными хребтами и высокими вершинами кое-где толще, чем земная кора под океанами и морями, но океаническая кора, толщиной около 7 км, более плотная.

Материки представляют собой глыбы суши, возвышающиеся над уровнем океанических бассейнов — самыми глубокими уровнями грунта в пределах земной коры. Материками называют шесть основных массивов суши: Африку, Антарктиду, Австралию, Евразию, Северную Америку и Южную Америку. Эта твердая континентальная кора составляет около 29% от поверхности и 3% от общего объема Земли.

Помимо суши, к континентам относится также погруженный под воду *континентальный шельф*, продолжающийся в океане, подобно корке, обрамляющей края пирога. Континентальный шельф представляет собой основание, на которое откладываются песок, ил, глина, ракушки и минеральные вещества, вымываемые с суши.

Континентальный шельф представляет собой более тонкие, протяженные края континентальной суши, расположенные ниже уровня моря.

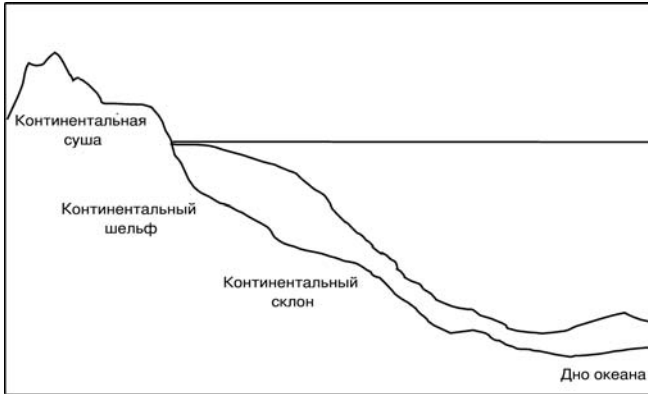


Рис. 1-7. *Континентальный шельф продолжает сушу до склона к океаническому дну*

Континентальный шельф может простираться на расстояние от 16 до 320 км от береговой линии в зависимости от местоположения. Глубина воды над континентальным шельфом относительно невелика, до 200 м, по сравнению с большими глубинами над континентальным склоном и ниже. Место резкого перехода континентального шельфа в дно океана называется континентальным склоном. Здесь глубина воды доходит до 5 км, достигая среднего уровня дна океана. На рисунке 1.7 показано неизбежное утонение континентальной суши при переходе ее к различным глубинам дна океана.

«Суша», или «сухой» материк, более разнообразна, чем ее подводная сестра — океаническая кора, благодаря выветриванию и условиям окружающей среды. Континентальная кора толще, особенно под горами, но обладает меньшей плотностью, чем «мокрая кора», находящаяся под океанами. В большинстве случаев континентальная кора составляет около 30 км в толщину, но может достигать 50—80 км от вершин гор.

Континентальная кора сложена тремя основными типами горных пород. Это *осадочные, магматические и метаморфические* горные породы. Мы узнаем больше об этих типах горных пород в последующих главах.

ОКЕАНИЧЕСКАЯ КОРА

Земля, расположенная ниже уровня моря, известна как *океаническая кора*. Эта «мокрая» кора намного тоньше, чем континентальная кора. Средняя высота континентов над уровнем моря составляет

ЧАСТЬ 1 Земля

840 м. Средняя глубина океанов — около 3800 м, или в 4,5 раза больше. Толщина океанической коры — примерно 7—10 км.

Океаническая кора хотя и не подвержена изменениям под действием ветра и дождя, как континентальная кора, но все же далеко не скучна. Она испытывает большее воздействие интенсивного тепла и давления мантии, чем континентальная кора, поскольку покрывает большую территорию.

Даже медленные геологические процессы, такие, как осадконакопление, могут инициировать важные геологические события. Это случается, когда от тяжелой толщи осадков, отложенных океаническими течениями на континентальном шельфе, отрываются куски, которые скатываются на дно океана, подобно лавине. Когда это происходит, скорость такого обвала может достигать 50—80 км/ч. Это внезапное движение в воде обуславливает возникновение сильных *мутевых потоков*, которые могут прорезать глубокие каньоны на дне океана. Мы узнаем больше об океанических течениях в главе 13.

ХРЕБТЫ И ВПАДИНЫ

В центральной части Атлантического океана с севера на юг проходит горная цепь, называемая Срединно-Атлантическим хребтом. Этот хребет сложен несколькими слоями остывших горных пород, извергнутых из глубин Земли, которые были разломаны и приподняты, сформировав рубец, протянувшийся на 16 тыс. км от Гренландии до Антарктиды. Аналогичный срединно-океанический хребет в Тихом океане называется Восточно-Тихоокеанским поднятием.

Многие другие хребты в океанах представляют собой цепи подводных гор с плоскими вершинами — потухших вулканов, называемых *гайотами*. Эти древние вулканы изначально возвышались на 3660 м над уровнем моря, но со временем были разрушены разбивавшимися о них морскими волнами. Сейчас они часто находятся на глубине свыше 1500 м ниже уровня океана.

В океанах есть также глубокие узкие расселины, называемые *глубоководными желобами*, которые протянулись на тысячи километров. Глубоководные желоба сформировались, когда различные слои земной коры врезались друг в друга и вместо того, чтобы вздыбиться подобно хребтам, они образовывали складки и продолжали скользить вниз по нижележащему слою. Самый крупный из этих желобов — Марианский — находится в восточной части Тихого океана.

ГЛАВА 1 Планета Земля

Марианский желоб — самый глубокий на Земле желоб такого рода. Простирающийся в меридиональном направлении восточнее Марианских островов, он уходит вниз более чем на 11 тыс. м, и глубина его продолжает медленно увеличиваться. По сравнению с горой Эверест, самой высокой вершиной на Земле (8850 м), Марианский желоб достигает гигантских размеров. Вся гора Эверест могла бы поместиться в нем целиком, и до поверхности океана оставалось бы еще почти 2200 м.

Он в 5,5 раза глубже, чем Большой Каньон Колорадо, глубина которого в среднем достигает 5000 м. Мы узнаем больше об этом процессе в главе 4, когда будем изучать движение плит.

Нет ничего удивительного в том, что Марианский желоб стал предметом различных научно-фантастических фильмов. Он будит в воображении представление о том, какие поразительные чудеса природы еще могут быть открыты на таких потрясающих глубинах.

МАНТИЯ

Мантия — это следующая оболочка Земли. Она расположена сразу под земной корой. Мантия составляет 70% земной массы. Ее толщина оценивается примерно в 2900 км. Мантия — неоднородна. Она подразделяется на два слоя: на верхнюю мантию и нижнюю мантию. На рисунке 1.8 показано, как распределяется верхняя и нижняя мантия. Эти слои неодинаковы. Они состоят из горных пород, различающихся по своей плотности и химическому составу.

В состав мантии входят 11 основных элементов: кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, натрий, калий, магний, титан, вольфрам и фосфор. Комбинируясь в различных сочетаниях, эти 11 элементов образуют минералы. Верхняя мантия состоит из силикатов железа и магния. Нижняя часть может включать смесь окислов магния, кремния и железа. Подробнее мы узнаем о глубинных минералах и драгоценных камнях в главе 9.

За исключением зоны, известной как *астеносфера*, мантия твердая, и ее плотность, возрастающая с глубиной, варьирует от 3,3 до 6 г/см³.

Астеносфера — это тонкий пластичный слой в верхней мантии, залегающий в основании внешней хрупкой оболочки Земли — литосферы.

ЧАСТЬ 1 Земля

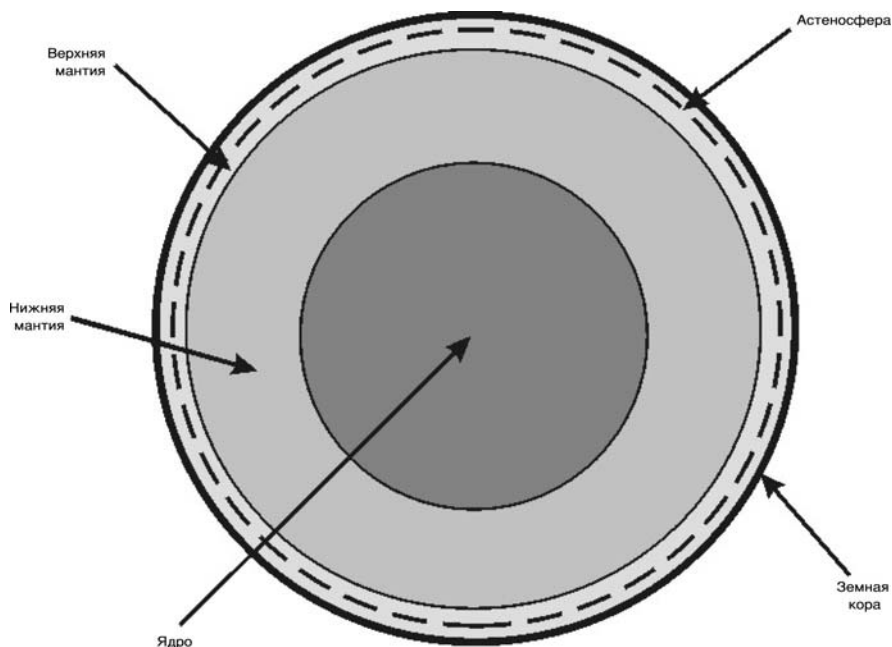


Рис. 1-8. Мантия включает верхний и нижний слои, сложенные разными типами горных пород. Внешняя часть верхней мантии, расположенная выше астеносферы, вместе с земной корой составляет литосферу

Астеносфера (*asthenes* по-гречески значит «слабый») — это относительно тонкий пластичный слой в верхней мантии, расположенный на глубине примерно 100 км под океанами и 250 км — под континентами. Этот слой является подошвой литосферы, включающей в себя земную кору и самую верхнюю часть мантии (литосферная мантия). Температура астеносферы составляет 1400–1700°C, а плотность — от 3,4 до 4,3 г/см³. Температура в астеносфере близка к точке плавления горных пород, и именно здесь зарождается большинство мантийных магм.

Вследствие высокой температуры и давления вещество мантии приобретает *пластичность* и может перемещаться в виде неких направленных потоков. Это перемещение совершается очень медленно, скорее напоминая ползучесть (крип), чем реальное движение.

Крип — это чрезвычайно медленное движение на атомарном уровне, приводящее к изгибанию горных пород под давлением внутри мантии.

ГЛАВА 1 Планета Земля

Разогретое вещество астеносферы становится менее плотным и поднимается наверх, в то время как более холодные материалы опускаются вниз. Это очень напоминает процессы, происходившие в то время, когда планета только начала формироваться. Плотные вещества опускались вниз, формируя ядро, тогда как более легкие в конечном счете перемещались наверх.

Блоки континентальной и океанической земной коры погружены в мантию и перемещаются в зависимости от направления движения потоков в мантии. В главах 3, 11 и 12 мы обсудим внутреннее строение Земли, вулканы и землетрясения более подробно, что позволит понять, каким образом происходит движение земной коры и накопленная в глубинах мантии магма выходит на поверхность.

Нижняя мантия — это нижний слой мантии, который граничит с расплавленным ядром Земли.

Нижняя мантия расположена между верхней мантией и расплавленным ядром Земли на глубинах 670–2900 км. Хотя средняя температура этого слоя достигает 3000°C, слагающие его породы сохраняют твердость благодаря высокому давлению. Внутренняя мантия, вероятно, состоит главным образом из сульфидов и оксидов кремния и магния. Ее плотность — от 4,3 до 5,4 г/см³.

ЯДРО

Под мантией находится самый центр Земли. Он состоит в основном из железа с небольшими примесями никеля и других элементов. Находясь под экстремально высоким давлением, ядро составляет около 30% общей массы Земли. Оно также подразделяется на две части — внутреннее и внешнее ядро.

Ядро является центральной частью Земли и фактически разделено на внешнее ядро и внутреннее ядро. Сейсмологические исследования показали, что ядро имеет внешнюю оболочку, толщиной примерно 2225 км и средней плотностью 10 г/см³. Внутреннее ядро, радиус которого составляет около 1275 км, — твердое, со средней плотностью, оцениваемой в 13 г/см³. Температуры во внутреннем ядре, по оценкам, достигают 6650°C.

Измерения, проведенные с помощью сейсмических волн, показали, что внешнее ядро — жидкое, тогда как внутреннее ядро состоит из твердого железа и никеля. Твердый центр в условиях экстремально высокого давления не способен ни к какой текучести.