

*Моему отцу Юрию Журавлеву,
первому редактору этой книги*

Андрей Журавлев

СОТВОРЕНИЕ ЗЕМЛИ

КАК ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ
СОЗДАЛИ НАШ МИР



ТРАЕКТОРИЯ



АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

москва 2018

УДК 56:577
ББК 28.01
Ж91

Научные редакторы
Александр Марков, д-р биол. наук, профессор;
Евгений Самарин, д-р геол.-мин. наук, профессор
Редактор Полина Суворова

Журавлев А.

Ж91 Сотворение Земли. Как живые организмы создали наш мир / Андрей Журавлев. — М.: Альпина нон-фикшн, 2018. — 514 с.

ISBN 978-5-91671-902-4

Если бы не живые существа, Земле была бы уготована унылая участь Марса. Именно разные организмы — от бактерий до цветковых растений и млекопитающих — превратили третью планету от Солнца в обитаемый мир, создали ее нынешнюю атмосферу, значительно повлияли на состав Мирового океана и каменной оболочки — литосферы. Никакие существенные запасы полезных ископаемых — от органических угля и нефти до, казалось бы, инертного золота — не могли бы образоваться без влияния живых существ. О том, как формировалась наша планета — такая, какой мы ее знаем, — книга Андрея Журавлева, палеонтолога, доктора биологических наук, профессора кафедры биологической эволюции биологического факультета МГУ.

УДК 56:577
ББК 28.01

Рекомендовано к опубликованию решением учебно-методологического совета биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу mylib@alpina.ru.

ISBN 978-5-91671-902-4

© Журавлев А., 2018
© ООО «Альпина нон-фикшн», 2018

Издание подготовлено в партнерстве
с Фондом некоммерческих инициатив «Траектория»
(при финансовой поддержке Н.В. Каторжного).



ТРАЕКТОРИЯ

Фонд поддержки научных, образовательных и культурных инициатив «Траектория» (www.traektoriafdn.ru) создан в 2015 году. Программы фонда направлены на стимулирование интереса к науке и научным исследованиям, реализацию образовательных программ, повышение интеллектуального уровня и творческого потенциала молодежи, повышение конкурентоспособности отечественных науки и образования, популяризацию науки и культуры, продвижение идей сохранения культурного наследия. Фонд организует образовательные и научно-популярные мероприятия по всей России, способствует созданию успешных практик взаимодействия внутри образовательного и научного сообщества.

В рамках издательского проекта Фонд «Траектория» поддерживает издание лучших образцов российской и зарубежной научно-популярной литературы.

Оглавление

Предисловие	9
-------------------	---

Часть I. КАК БАКТЕРИИ СОЗДАЛИ АТМОСФЕРУ И ВСЕ ПРОЧЕЕ (4000–635 МЛН ЛЕТ НАЗАД)

Глава 1	Слои времени	13
Глава 2	Как подвинуть Африку?	22
Глава 3	Известковый океан.....	35
Глава 4	Что и откуда мы знаем о первичной атмосфере ...	39
Глава 5	Архей и археи	52
Глава 6	Золотой век.....	61
Глава 7	Ковровые камни	66
Глава 8	Когда раскрылся железный занавес.....	74
Глава 9	Великое кислородное событие, акт первый: литосфера	81
Глава 10	Великое кислородное событие, акт второй: атмосфера.....	86
Глава 11	Великое кислородное событие, акт третий: биосфера.....	103

Часть II. Мир вендобионтов (635–540 МЛН ЛЕТ НАЗАД)

Глава 12	Вендский залив и Эдиакарские холмы	117
Глава 13	Задержка в развитии	120
Глава 14	Доломитовые Альпы.....	130
Глава 15	Эмбриональная стадия Земли	139
Глава 16	Позднеэдиакарский перелом	150
Глава 17	Два мира — два скелета	166

Часть III. От кембрийского взрыва
до Великой ордовикской радиации
(540–440 млн лет назад)

Глава 18	Кембрийские горы	187
Глава 19	Спрятаться или убежать?	193
Глава 20	«Детонаторы кембрийского взрыва»	218
Глава 21	Изучение морских осадков с полным погружением	225
Глава 22	Строители трофических пирамид.....	242
Глава 23	Все наверх!.....	255

Часть IV. Растения преобразуют сушу
(500–250 млн лет назад)

Глава 24	Древний и новый песчаник.....	263
Глава 25	Неожиданный конец ордовикской истории.....	266
Глава 26	Во враждебном мире	273
Глава 27	Конец первозданной пустыни.....	289
Глава 28	Зачем рыбам суша?	296
Глава 29	Карбонарии	306
Глава 30	Ab ovo	320

Часть V. Жизнь средняя и жизнь новая
(250 млн лет назад – ныне)

Глава 31	Грядущий антропоцен.....	331
Глава 32	Возвращение в протерозой	334
Глава 33	«Красный» переворот в океане	339
Глава 34	Мезозойская эскалация.....	357
Глава 35	Соревнование двух систем.....	381
Глава 36	Зеленая эпитафия динозаврам	401
Глава 37	Ход с3–с4.....	426
Глава 38	Прощание с гигантами.....	463
Путь к финалу.....		469
Избранная библиография		477

Предисловие

Сегодня нам трудно представить мир, где нет глубоких озер и величественных рек, где не идут дожди и не валит снег, в недрах которого нет ни угля, ни железа, ни золота, в воздухе не хватает кислорода, а вместо шести континентов — один огромный суперконтинент или, наоборот, только острова. А ведь все это наша Земля, только такая, какой она была за 30, 350, 2500 млн лет до появления человека. Да и всего 12 000 лет назад она была совершенно другой — с обширными ледниковыми щитами, покрывавшими значительные пространства северных континентов, огромными, гораздо большими, чем сейчас, степными просторами.

Мир менялся всегда. И нынешнее его состояние тоже непостоянно. И виной тому не какие-то глобальные катаклизмы, вроде падения астероидов, землетрясений и вулканических взрывов, а деятельность существ — от мельчайших бактерий и одноклеточных водорослей до елей, слонов и, конечно, человека (это тоже один из видов организмов, занимающий на Земле определенную нишу).

Пока на планете не появились первые сообщества организмов, на ней не образовывались железорудные, золоторудные, урановые и многие другие месторождения, а атмосфера была лишена кислорода. Пока не сложились настоящие лесные массивы, не могло быть долговременных озер и полноводных рек с обширными долинами, красивыми излучинами — меандрами — и островами, и, конечно, не образовывался каменный уголь. Фитопланктон — обитающие в верхних слоях водной толщи одноклеточные водоросли — стал не только главным пороодообразователем морских и озерных осадочных толщ,

но и в значительной степени повлиял на облачный покров и климат планеты. И поскольку состав фитопланктона постоянно менялся, вместе с ним постоянно менялись и все эти, казалось бы, вечные природные феномены. Даже динозавры и мамонты приложили определенные усилия, чтобы мир стал чуточку другим. Конечно, есть в этом непостоянстве и свои циклы, скажем глобальные потепления и похолодания, но и эти циклы не являются повторением уже пройденного. А нынешнее «глобальное потепление» с точки зрения геологии и палеонтологии и вовсе таковым не является, поскольку на событие, способное оставить заметный след в геологической летописи, пока претендовать не может. Но если на него не обращать внимания — не изучать, — это явление может принести кучу бед.

Узнать же о прошлом Земли позволяют современные методы геологии и палеонтологии. Любые ископаемые организмы — в руках профессионального палеонтолога — становятся собеседниками, способными поведать много интересного. Именно остатки организмов, включая ископаемые следы, изотопные и молекулярные свидетельства их жизнедеятельности, позволяют наиболее полно реконструировать историю Земли за последние 4 млрд лет. Об этом этапе и пойдет речь в книге.

ЧАСТЬ I

КАК БАКТЕРИИ СОЗДАЛИ АТМОСФЕРУ И ВСЕ ПРОЧЕЕ (4000–635 МЛН ЛЕТ НАЗАД)

ЭОН	ЭРА	ПЕРИОД	Начало (млн лет)
протерозойский	неопротерозойская	эдиакарский	635
		криогеновый	850
		тонский	1000
	мезопротерозойская	стенский	1200
		эктазский	1400
		калиммский	1600
	палеопротерозойская	статерский	1800
		орозирский	2050
		риасский	2300
сидерский		2500	
архейский	неоархейская		2800
	мезоархейская		3200
	палеоархейская		3600
	эоархейская		4000
хадейский			4600

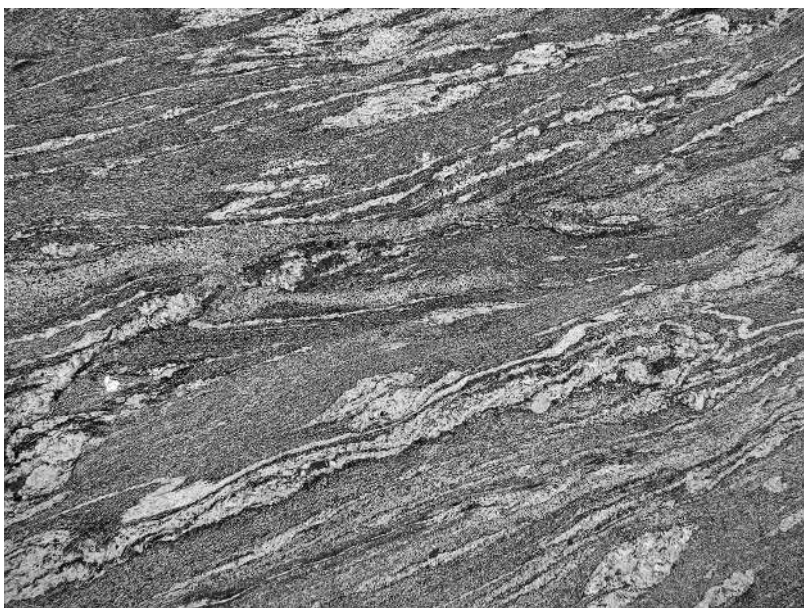


Рис. 1.1. Гранито-гнейсы Фенноскандинавского щита; архей (2,9–2,7 млрд лет); Карелия

ГЛАВА 1

СЛОИ ВРЕМЕНИ

В этой книге есть страницы с буквами, складывающимися в слова и предложения, чтобы передать мысли ученых, чьи труды послужили основой для раскрытия ее темы, есть нумерация страниц и есть названия глав, в которых отражено содержание. Очень похоже устроена и каменная летопись Земли: каждый слой осадочных горных пород — это страница; заключенные в нем минералы, элементы, стабильные и радиоактивные изотопы и остатки органических веществ — это буквы; а организмы и геохимические процессы, когда-то предопределившие, что слой по содержанию (минералов и прочего) окажется именно таким, — авторы первоисточников наших знаний.

В каменной летописи есть и отдельные главы с названиями, и нумерация страниц. Конечно, все это существует для удобства пользования книгой (этой или земной). Так, «главы» — это подразделения Международной хроностратиграфической шкалы, смысл которой передает слово «стратиграфия» — «словесное описание» (от *лат.* *stratum* — слой и *греч.* *γράφω* — чертить, писать). А нумерация страниц — радиометрические датировки горных пород. Правда, отсчет ведется обратный: например, первая глава — «архей» — занимает страницы с 4-миллиардной по 2,5-миллиардную, а подглавка «голоцен» — последние 11 700.

Не следует думать, что это некое умозрительное удобство: «архей» (4,0–2,5 млрд лет назад) резко отличается по смыслу и содержанию от «протерозоя» (2,5–0,541 млрд лет назад) и оба они — от «фанерозоя» (0,541 млрд лет назад — ныне).

Радиометрические датировки применяются уже более сотни лет (первые из них с использованием радиоактивных изотопов гелия и радия были получены в 1904 г. английским физиком Эрнстом Резерфордом) и постоянно совершенствуются. Даже породы возрастом в сотни миллионов лет теперь можно датировать с точностью до нескольких тысячелетий (рис. 1.2).

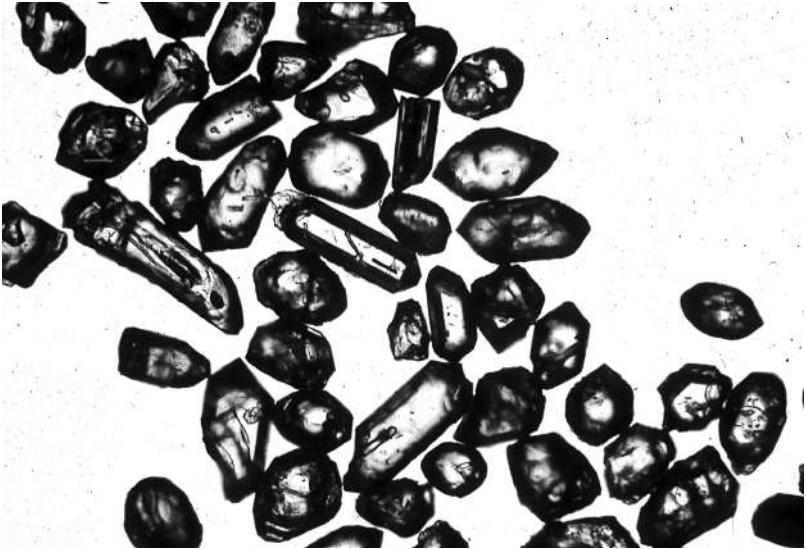


Рис. 1.2. Кристаллы циркона для определения радиометрического возраста; кембрий (530,7±0,9 млн лет); Восточный Ньюфаундленд, Канада (публикуется с разрешения Джозефа Киршвинка)

Наиболее распространенные методы радиометрического анализа — радиоуглеродный (в пределах 30 000 лет), аргон-аргоновый ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), рений-осмиевый (Re/Os), урано-свинцовые ($^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$, $^{232}\text{U}/^{208}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$); последние представляют собой совокупность четырех независимых измерений возраста для одного образца. Скепсис к подобному — «абсолютному» — выражению возраста Земли у профанов вызван тем, что они не догадываются о возможностях получения тех же возрастных характеристик сугубо геологическими методами.

Достаточно, например, пересчитать количество осадочных слоев, не любых, конечно, а таких, которые формируются в течение года. Например, слои льда — это тоже горная порода (равно как и вода) в ледяных щитах Гренландии и Восточной Антарктиды. Последний позволяет нам заглянуть в прошлое на 160 000 лет (толщина ледяного панциря достигает здесь 2000 м). А благодаря пузырькам и «пыли» (тонким минеральным частицам), замороженным в каждом слое, можно подробно узнать, каков был состав воздуха в те годы, какие преобладали температуры на поверхности планеты и откуда дули ветры.

Ленточные глины, а также их уплотненные аналоги — варвиты (от *швед.* varv — слой), образующиеся в озерах и в некоторых морях, позволяют «копнуть» еще глубже — на миллионы лет. Эти осадочные горные породы образуются благодаря ежегодному чередованию весенне-летнего и осенне-зимнего слоев от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров толщиной. (Далее вместо выражения «толщина» будет использоваться геологический эквивалент этой размерной характеристики — «мощность».) Весенне-летний слой осадка — обычно грубозернистый, светлый и содержит множество легко различимых скелетиков планктонных организмов (в этот сезон снос с суши усиливается, а жизнь во всех ее проявлениях процветает и расцветает), а осенне-зимний — тонкий и темный (сноса почти нет, лишь медленно оседает взвесь, а органика разрушается и уплотняется). Примерно также археологи подсчитывают годовые кольца у деревьев, чтобы получить дендрохронологические датировки. Правда, возраст отдельного дерева редко превышает первые тысячелетия, а варвиты образуют толщи в сотни метров, где число слоев доходит до нескольких миллионов. Чтобы получить хронологию Новгорода Великого, нужно создать дендрохронологическую шкалу всех наслоений его деревянных мостовых, а затем привязать к этой шкале прочие археологические находки (монеты, печати, берестяные грамоты). Чтобы выстроить хронологию Земли,

можно точно так же переходить от одной толщи варвитов (геологического разреза) к другой, более древней...

Расчет возраста отложений по ленточным глинам (варвохронология) тоже имеет столетнюю историю: впервые возможности метода были показаны шведским геологом Герхардом Якобом де Геером на 11-й сессии Международного геологического конгресса, состоявшейся в Стокгольме в 1910 г. Просто радиометрическое датирование оказалось удобнее и дешевле (в том числе и радиоуглеродный метод в археологии вместо утомительного дендрохронологического). Точно так же, чтобы узнать, сколько страниц в этой книге, можно взглянуть на цифру, указанную на последней из них, а особливо недоверчивые могут пересчитать все страницы. А если бы их было 4 млрд?

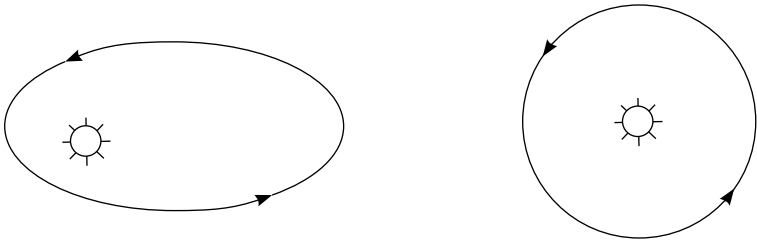
Когда же требуется узнать время, за которое сформировалась та или иная толща осадков, прибегают к варвохронологии или циклостратиграфии. Последний метод основан на выявлении повторяющихся ритмов в осадочных отложениях, связанных с периодичностью климатических колебаний. Связь такой периодичности с орбитальными циклами в Солнечной системе, где взаимное притяжение планет и крупных спутников искажает правильность орбит, предначертанную законами Кеплера — Ньютона, установил югославский физик Милутин Миланкович. Эти орбитальные циклы включают прецессию (примерно каждые 26 000 лет земная ось описывает коническую фигуру), нутацию (каждые 41 000 лет колеблется угол наклона оси к плоскости земной орбиты) и эксцентриситет — изменение формы орбиты с эллиптической на круговую и обратно, но в плоскости, перпендикулярной прежней, и снова на круговую каждые 400 000 лет (полный цикл) (рис. 1.3а–г).

Эти смены орбитальных конфигураций приводят к тому, что через строго определенное количество лет планета оказывается то ближе к Солнцу тем или иным полушарием (прецессия и нутация) или вся целиком (эксцентриситет), то даль-

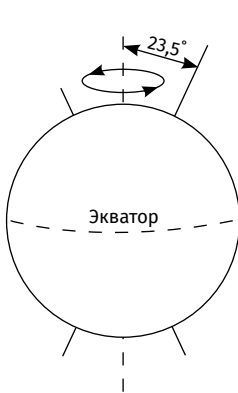
ше от светила. В первом случае она получает несколько больше тепла, во втором — охлаждается. При наступлении теплой эпохи с обильными осадками в карбонатных породах накапливается больше частиц тяжелых минералов. Очевидно, сосчитать бесконечное число почти невидимых, пылевой размерности кусочков минералов во всех осадочных слоях нереально. Но можно определить величину магнитной восприимчивости каждого из них, которая зависит от содержания окислов железа, обладающих магнитными свойствами, построить магнитную спектрограмму и выявить число орбитальных циклов, в течение которых и накопились данные отложения.

Есть и другие сугубо геологические методы расчета возраста отложений горных пород и отдельных геологических объектов. Например, вулканические конусы базальтовых вулканов благодаря периодическим напластованиям застывших потоков лавы растут со скоростью около метра за столетие (рис. 1.4).

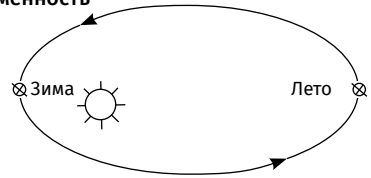
Зная, что высочайшая гора на Земле Мауна-Кеа (остров Гавайи) возвышается над ее поверхностью на 10 200 м (из них на 4205 м — над уровнем океана в виде острова), можно определить, что этому вулкану стукнуло более миллиона лет. Тот же возраст получаем, датируя самые древние базальты этой горы радиометрическими методами. Базальтовая лава вообще очень богатый материал. Поскольку новообразование базальтовых слоев в срединно-океанических хребтах связано с расширением океанов, по этим горным породам можно определить и возраст самых крупных планетарных водоемов. Так, Атлантическому океану исполнилось примерно 150 млн лет. Проверить датировку можно, используя данные высокоточных приемных устройств, расположенных на разных континентах и многократно замеряющих по атомным часам время прохождения спутниковых радиосигналов или лазерных лучей, отраженных от Луны и космических аппаратов (или просто данные GPS — глобальной системы определения координат). Согласно таким замерам скорость расширения Атлантики, скажем,



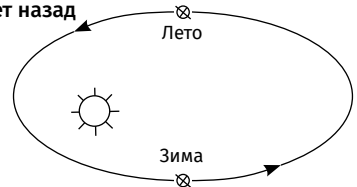
А



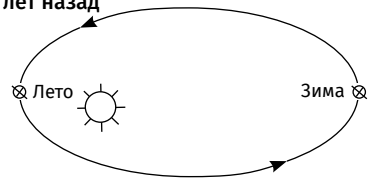
Современность



5250 лет назад

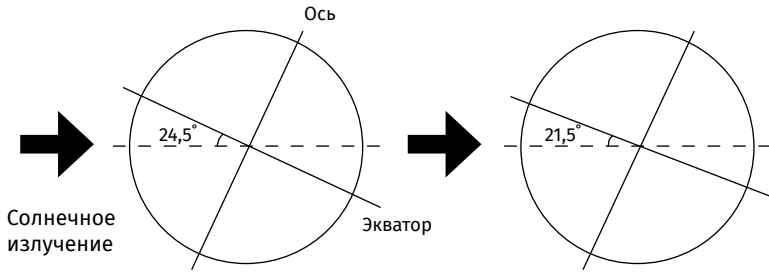


10 500 лет назад



Б

Рис. 1.3. Параметры орбиты Земли, влияющие на климатическую цикличность (циклы Миланковича): а) эксцентриситет (изменение формы орбиты с эллиптической на круговую, каждые 100 000 лет); б) прецессия (движение оси вращения Земли по круговому конусу, ось которого перпендикулярна земной орбите,

**В****Г**

с периодом около 26 000 лет); в) нутация (колебание угла наклона оси по отношению к плоскости земной орбиты от $21,5^\circ$ до $24,5^\circ$, каждые 41 000 лет); г) ритмичность морских карбонатных отложений, обусловленная циклами Миланковича; кембрий (505 млн лет); р. Мая, Якутия

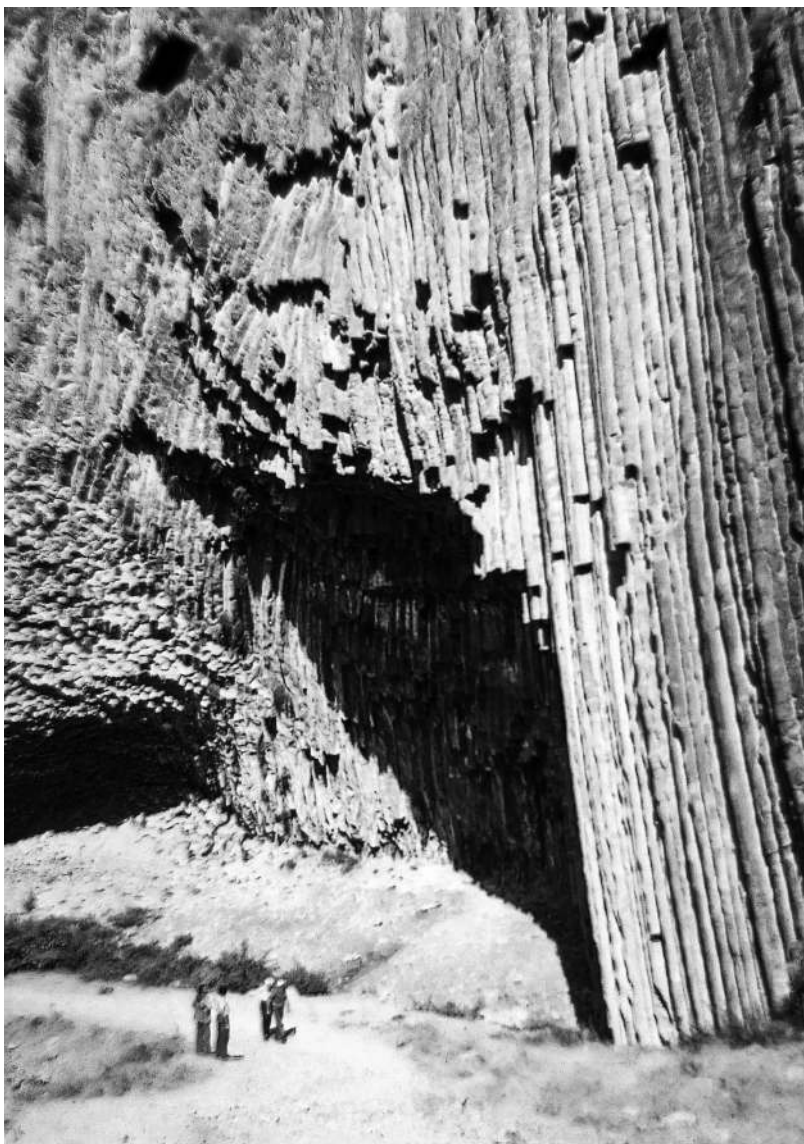


Рис. 1.4. Столбчатая отдельность платобазальтов (высота столбов до 18 м, диаметр до 0,6 м); плейстоцен (170 000–165 000 лет); ущелье Гарни, Армения

между Северной Африкой и югом Северной Америки — 0,025 м в год. Разделим ширину океана между этими точками — 3700000 м — на данную величину и убедимся, что Атлантический океан родился 148 млн лет назад. (Возможно, именно в эту пятницу.) На небольших участках Атлантического океана возраст коры достигает 195 млн лет — она древнее, чем тихоокеанские плиты.

ГЛАВА 2

КАК ПОДВИНУТЬ АФРИКУ?

Океанические и тем более морские чаши постоянно меняют свои очертания. Когда не было современных океанов, существовали иные, ныне «вымершие»: Уральский на месте Уральских гор — более 320 млн лет назад, Япет на месте Аппалачей — свыше 450 млн лет назад. В этих горах навечно впаяны останцы прежних срединно-океанических хребтов — древние базальты, превратившиеся со временем в зеленокаменные комплексы — офиолиты. Типичная для такого комплекса горная порода офиолит (от греч. *ὄφις* — змея и *λίθος* — камень) известна среди уральских умельцев-камнерезов как змеевик из-за травянисто-зеленого цвета и чешуйчатой структуры.

Причиной грандиозных изменений лика Земли является тектоника литосферных плит. Тектоника (от греч. *τέκτων* — строитель, художник или *τεκτονικός* — искусный в строительном деле) — это, собственно, и есть строительство литосферы (от греч. *λίθος* — камень и *σφαῖρα* — оболочка) из отдельных блоков — плит. Последние состоят из твердой земной коры (совокупности осадочных, магматических и метаморфических горных пород) и подстилающих ее верхних слоев мантии, имеющих сходный химический состав. Скользят плиты, поднимаются и опускаются по вязкому и разуплотненному прослою верхней мантии — астеносфере (от греч. *α* — не, *σφήν* — клин и *σφαῖρα* — оболочка). Континентальная кора легче океанической (менее плотная), поэтому материка, образующие ядра континентальных литосферных плит, возвышаются над ложем океана и в областях столкновения

этих плит с океаническими остаются «на плаву». Наоборот, более тяжелые океанические плиты подныривают под них, уходя в глубоководные желоба, подобные Курило-Камчатскому и Марианскому, и еще на 600–700 км дальше, пока полностью не расплавятся. Этот процесс называется субдукцией (от *лат.* *sub* — под и *ductio* — увод, отведение). Столкновение циклопических структур происходит с выделением огромного количества энергии, что выражается в формировании гигантских вулканических очагов, таких как Тихоокеанское вулканическое кольцо, включающее Анды, Кордильеры, Камчатку, Курильскую островную дугу, Японию и Новую Зеландию. Движение тихоокеанских плит в сторону континентальных на периферии океана обусловлено постоянным ростом подводного хребта, известного как Восточно-Тихоокеанское поднятие, за счет образования все новых слоев океанической коры в продольных глубоководных расселинах хребта — рифтах (от *англ.* *rift* — трещина, щель) в зоне подъема к поверхности горячих мантийных конвективных потоков. (Тысячекилометровый разлом Сан-Андреас в Калифорнии, прославленный многими блокбастерами и землетрясениями, тоже относится к тихоокеанскому рифту, хотя вклинивается в сушу.) Кора образуется из базальтовой лавы, которая, застывая вдоль рифтовой расселины, способствует раздвижению океанических плит. Это явление называется «спрединг» (от *англ.* *spread* — расширять). Атлантический океан, продолжением которого является Северный Ледовитый, ведет себя вроде бы более спокойно: никаких вулканических арок на периферии нет. Но спрединг происходит и там — вдоль хребтов Срединно-Атлантического и Рейкьянес. Только движутся здесь океанические плиты вместе с ближайшими континентами. Поскольку сам океан имеет S-образную конфигурацию, южная часть его хребта, раздвигаясь, толкает на север Африку, а северная — ей навстречу Европу. Там, где материки упираются друг в друга, происходит коллизия (от *англ.* *collision* — столкновение) континентальных плит, и, словно при ударе друг о друга

гигантских льдин, начинается «торошение» — растут горные хребты, подобные Альпийскому поясу от Пиренеев до Кавказа с вулканами и сопутствующими периодическими землетрясениями. Так как вдоль срединно-океанических хребтов, а также вдоль любых рифтов литосферные плиты расходятся, а на границе континентов или разных плит сходятся, первый тип границ называется дивергентным, а второй — конвергентным.

Теория литосферных плит, верность которой доказывается не только наблюдением за вышеназванными геологическими явлениями, но и за мерами движений плит благодаря спутниковому и наземному мониторингу, объясняет, почему на дне океанов бессмысленно искать самые древние отложения. Их и не нашли, несмотря на тысячи скважин, заложенных по проекту глубоководного бурения с корабля «Гломар Челленджер» и международной программе бурения океанического дна начиная с 1968 г. А вот на континентах, хотя и они претерпели существенные изменения, кое-что осталось. По большей части это кое-что — тоже морские отложения, поскольку материковый шельф является частью континентов, а порой целые материи «тонули», покрываясь на десятки миллионов лет обширными мелководными эпиконтинентальными морями, аналогов которых нет в современном мире. И это явление было обусловлено тектоникой литосферных плит, поскольку с ростом океанических хребтов огромные объемы воды выталкиваются из океанических чаш на сушу. Данный процесс называется тектоноэвстазией (от «тектоника» и греч. εὕ — совершенно, στάσις — стояние). Обусловленный тектоноэвстазией подъем уровня моря — на сотни метров — на порядок превышает рост уровня моря в результате таяния ледниковых шапок (гляциоэвстазия от лат. *glacies* — лед и эвстазия) — не более нескольких десятков метров. К слову, поскольку гигантские ледяные щиты Северной Америки и Европы растаяли около 12 000 лет назад, дальнейшее потепление к заметному повышению уровня моря уже не приведет. Впрочем, для исчезно-

вения под волнами океана Нидерландов, Дании и Северной Сибири, наиболее богатой нефтегазовыми месторождениями части России, и этого будет достаточно.

Нас, однако, сейчас интересует не то, что исчезнет, а то, что осталось. Даже простые расчеты показывают: чем древнее земные породы, тем меньшие площади они должны занимать. Ведь любые горные хребты, будь то все еще величественный, но далеко не высотный Урал или Казахский мелкосопочник, когда-то вздымались Андами и Гималаями. Если мы, к примеру, возьмем горный кряж высотой 5 км и площадью 25 км² (условный квадрат 5 × 5 км), то общий объем горных пород в нем составит 125 км³. Любой, бывавший в горах, легко представит, что кряж прорезают ручьи и реки, что мороз и жара, а также деятельность самых разных организмов — от невидимых глазу бактерий и одноклеточных грибов до лишайников и кустарников — со временем превращают самые прочные скалы в труху курумов и речных наносов. И все это измельчается и перемещается все дальше и дальше от кряжа. Такое преобразование горных пород на поверхности планеты за счет физико-химических и биохимических процессов называется выветриванием. Если с нашего условного кряжа стекают пять горных речек, способных унести десятую часть кубометра горных пород в день каждая (далеко не самые бурные потоки), то за год они размоют около 180 м³. Значит, чтобы сровнять весь горный кряж с землей, живым и неживым силам природы понадобится не более 700 млн лет. (Кстати, именно так пытался определить возраст Земли английский геолог и биолог Чарлз Дарвин, избрав для расчетов мощность меловых утесов на юго-востоке Англии.) Так что чем древнее отложения, тем меньше от них остается в результате выветривания.

Еще более действенны процессы, связанные с тектоникой плит, — субдукция и гранитный метаморфизм в зоне коллизии. Ведь и сами материка вместе с шельфами не всегда были такими, как сейчас. Осталось ли вообще что-нибудь от древнейших отложений? Да, осталось. Хотя при возрасте Земли

4,567 млрд лет от ее горных пород возрастом свыше 4,03 млрд лет не сохранилось ничего, кроме жалких крох: переотложенных в более молодых осадках обломков кристаллов циркона ($ZrSiO_4$) — одного из самых устойчивых минералов — возрастом 4,2 и 4,4 млрд лет на кратоне Йилгарн (Западная Австралия). И даже эти крохи способны кое-что прояснить благодаря захваченным ими в момент кристаллизации частицам других минералов: например, наличие у планеты той поры земной коры, жидкой водной оболочки, где кристаллы сформировались, и магнитосферы. Данные о древнейшей водной оболочке особенно ценны, поскольку от нее не уцелело больше ничего: она полностью испарилась и развеялась в космосе во время мощных метеоритных бомбардировок, которым планеты земной группы подверглись 4,0–3,8 млрд лет назад. К этому интервалу приурочено большинство лунных и марсианских кратеров; земные же поглощены тектоническими процессами. (Появились сведения об обнаружении в зеленокаменном поясе Нуввуагиттук на Канадском щите — на северо-западе полуострова Лабрадор — связанных с гидротермами морских отложений возрастом 3,77–4,28 млрд лет и даже о следах бактериальной жизнедеятельности в них. Однако эти находки и их датировка требуют дальнейшего всестороннего изучения.) В результате всевозможных и непрекращающихся преобразований земных слоев 80% из них имеет возраст менее 200 млн лет, а вот на Луне, где процесс тектоники плит не пошел, те же 80% представлены горными породами древнее 4 млрд лет. Поэтому, чтобы заглянуть глубже, придется слетать на Луну и привезти образцы оттуда, благо это уже сделали в 1960–1970-е гг. бесстрашные американские астронавты и хитроумные советские спускаемые аппараты: возраст древнейших лунных пород оказался 4,417 млрд лет (отдельных кристаллов — до 4,51 млрд лет). Некоторые включения минералов в метеоритах, найденных на Земле, но представляющих собой остатки протопланетного вещества, могут быть и постарше нашей планеты — до 4,568 млрд лет (время образования Сол-

нечной системы) (рис. 2.1). Утерянная глава каменной летописи Земли — 4,568–4,0 млрд лет — называется хадейским зоном (от греч. *υάϊος* — подземный мир).



Рис. 2.1. Железоникелевый метеорит Гибенон (общая масса собранных обломков метеорита — 21 000 кг); хадей (4,544 млрд лет); Намибия

Дальше речь пойдет исключительно о геологической истории Земли — о том огромном временном интервале (4 млрд лет), события которого можно восстановить с помощью седиментологических, геохимических, палеонтологических и других методов, применяемых в науках о Земле.

Уцелевшая, «первоначальная», летопись начинается с архейского зона (от греч. *ἀρχαίος* — первоначальный, древний). Архейские «материки», по площади больше напоминавшие крупные современные острова, ныне вкраплены в различные континенты, где выходят на поверхность в виде древних щитов. А щиты состоят в основном из метаморфических (измененных, местами довольно сильно) горных пород, подобных гнейсам и гранитам (рис. 1.1). Геологи, геохимики

и палеонтологи, правда, и среди этих клочков умудряются высмотреть наименее покореженные временем и тектоническими процессами останцы. К ним и приковано внимание ученого мира, особенно к древнейшим комплексам Акаста на северо-западе Канады (4,03 млрд лет), Исуа и Акилия на западе Гренландии (>3,8 млрд лет) и более молодым областям Канадско-Гренландского, или Канадского, щита, кратонам Йилгарн и Пилбара (3,6 млрд лет) в северо-западной части Австралийского щита, зеленокаменному поясу Барбертон (3,5 млрд лет) и кратонам Зимбабве и Каапвааль (3,6 млрд лет) на Южно-Африканском щите, и Фенноскандинавскому щиту, охватывающему Скандинавию, Финляндию, Карелию и Кольский полуостров (3,5 млрд лет) (рис. 2.2). Кратоны (от *греч.* $\kappa\rho\alpha\tau\acute{\upsilon}\nu\omega$ — укреплять) — это самые древние стабильные участки коры, которые условно можно считать протоконтинентами.

Интересной геологической особенностью протоконтинентов являлось то, что они состояли из фрагментов океанической и континентальной коры. Иначе говоря, механизм тектоники плит уже был запущен. Не вдаваясь в подробности глубинного движителя этого механизма (процессы в мантии и ядре Земли), следует отметить, что необходимым условием его запуска является дифференциация коры на относительно тяжелую и плотную океаническую (2900 кг/м^3) и легкую континентальную ($2500\text{--}2700 \text{ кг/м}^3$). В геологии их также именуют «темной» и «светлой» — по цвету основных породообразующих минералов. Океаническая кора по большей части состоит из темно-зеленых и иссиня-черных минералов, богатых магнием, железом и кремнием, — пироксенов $(\text{Ca,Na,Mg,Fe}^{2+})(\text{Mg,Fe}^{3+},\text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$, оливинов $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, основных плагиоклазов $(\text{Na,Ca,Al})(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_8$, а континентальная — из серых, белых и красноватых кремний- и алюминийсодержащих силикатов (таких как кварц — SiO_2 , калиевый полевой шпат — KAlSi_3O_8 , альбитовый плагиоклаз — $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Отсюда и другое название этих главных минеральных комплексов: мафический (аббревиатура

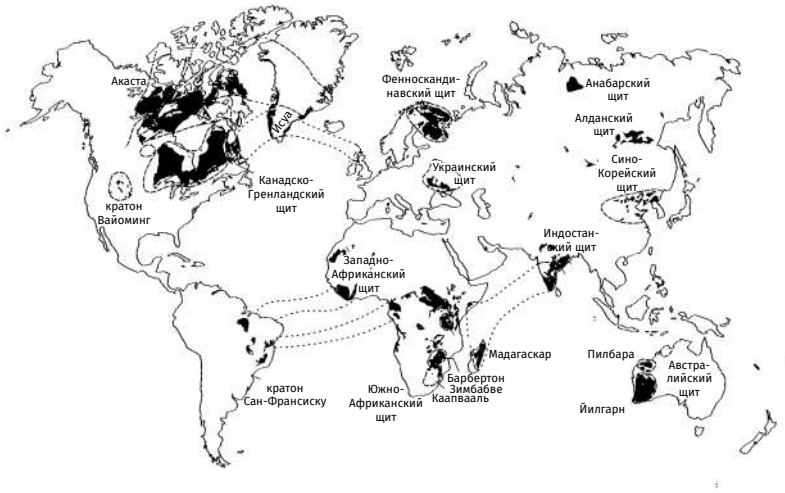


Рис. 2.2. Древние кратоны (протоконтиненты) Земли возрастом 3,5 млрд и более лет

от *лат.* *magnesium* — магний, *ferrum* — железо и суффикс *is*) и фельзитовый (от *лат.* *ferrum* — железо, *alumen* — квасцы, *silex* — кремнь и тот же суффикс). Анализ распределения этих минералов в магматических источниках, земных слоях разного возраста и космических телах, включая астероиды, показывает, что «темная материя» здесь первична, а «светлая» — результат ее дифференциации, преобразования в недрах и на поверхности Земли.

Сами по себе ни минералы, ни состоящие из них горные породы, ни земная кора, которая из них, в свою очередь, построена, превращаться во что-то другое не будут: нужно либо отправить их обратно в недра на переплавку, либо изменить состав на поверхности. Первичная коматиит-магнезиально-базальтовая протокора, которая, вероятно, существовала 4,4 млрд лет назад, мало отличалась по составу от морских базальтов. Это и были базальты, только формировались они при более высоких температурах, чем современные, поскольку мантия в хадейском и архейском эонах была горячее. Из протокоры образовывались небольшие острова, которые хаотиче-

ски перемещались конвекционными мантийными потоками и буквально таяли в них. Но если все слои земной коры были до поры до времени — до начала архейского эона — по составу, физическим и химическим свойствам почти одинаковыми, то можно ли заставить их погружаться и всплывать относительно друг друга? Тем более что главная фельзитовая порода — гранит — термодинамически несовместима с ультрамафическими мантийными минералами и не может напрямую выплавиться из последних, а слишком горячая мантия препятствует субдукции.

Оказывается, все-таки можно. В чем принципиальная разница Земли и несколько уступающего ей по размеру Марса? Не только в том, что на Голубой планете плиты движутся, а на Красной — нет, и даже не в наличии Мирового океана на первой из них и «Мировой суши» — на второй, но и в том, что на Земле открыто примерно 5000 разных минералов, а на Марсе — почти на порядок меньше. Про Луну и говорить нечего — их там около 150. Причем появление двух третей земных минералов (3000) прямо или косвенно связано с наличием на ней жизни. Жизнь — архейские бактериальные сообщества — и запустила, по сути, тектонику плит современного типа.

Во-первых, в поисках пропитания — необходимых микроэлементов и электронов — для обеспечения обмена веществ бактерии (а кроме них в архее никого пока не было) разлагали горные породы и минералы. Извлекать определенные элементы можно с помощью ферментов, которые, в отличие от химических катализаторов, способны ускорять реакции при обычных условиях, однако требуются в незначительных количествах даже при катализе большой массы вещества, и хелатных комплексов (от греч. χηλή — раздвоенный; такие молекулы структурно похожи на клешни, которые прочно удерживают ионы металлов). Свидетельства бактериальной деятельности навсегда запечатлены в древних базальтах в виде субмиллиметровых в диаметре извилистых ходов,