

А.Н. ОЛЕЙНИКОВ

# Геологические ЧАСЫ



А.Н.ОЛЕЙНИКОВ

# Геологические ЧАСЫ

Издание третье,  
переработанное и дополненное

4892



Ленинград "Недра"  
Ленинградское отделение 1987



554

O53

УДК 550.93(023.11)

O53 **Олейников А. Н.** Геологические часы. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1987. — 151 с., ил.

Популярно рассказано о появлении и строении нашей планеты; о животных и растениях, населявших Землю в различные эпохи ее развития; о стремлении людей с незапамятных времен проникнуть в глубь земной истории; о разнообразных способах, позволяющих разгадать время рождения земных слоев; о тернистом пути от умозрительных средневековых построений до современной теории, от мифа до строгих научных гипотез. Третье издание (2-е изд. — 1975 г.) дополнено и уточнено в соответствии с вновь появившимися данными.

Для читателей, интересующихся геологией. Представит интерес также и для учащихся старших классов.

O  $\frac{1904040000-312}{043(01)-87}$  355-88

554

Рецензент — канд. геол.-минерал. наук Э. А. Новиков  
(Ин-т соц.-эконом. проблем АН СССР)



## РОЖДЕНИЕ ЗЕМЛИ

**О появлении на свет планеты,  
играющей немаловажную роль  
в жизни читателя**

Древние иранские мифы рассказывают, что мир был сотворен 12 тыс. лет назад. Вавилонские жрецы, достигшие огромных успехов в математике и астрологии, считали, что возраст Земли около 2 млн. лет. Трактую различные сведения, собранные в Священном писании, средневековые теологи неоднократно пытались вычислить возраст Земли. Изучив текст Библии, архиепископ Иероним пришел к заключению, что мир был сотворен за 3941 год до начала современного летосчисления. Его коллега Феофил — епископ антиохский увеличил этот срок до 5515 лет. Августин Блаженный прибавил к нему еще 36 лет, а ирландский архиепископ Джеймс Ашер, явно равнодушный к точным цифрам, высказал предположение, что мир был создан в утренние часы 26 октября 4004 г. до рождества Христова.

Шли годы. Поэтические легенды древности и символические трактаты средневековья не могли более удовлетворять насущные требования человечества и уступили место строгой научной формулировке, беспристрастному анализу, вере в материальность мира. Но по-прежнему людей продолжали интересовать вопросы: как образовалась наша планета и какие силы породили этот голубой шар с его горами и реками, льдами полюсов и огнем недр?

Поскольку никому не удастся проникнуть в далекое прошлое и воочию наблюдать рождение Земли, остается довольствоваться более или менее достоверными предположениями, догадками, гипотезами — путь трудный и часто неблагоприятный. Так шахматист шаг за шагом восстанавливает последовательность ходов, которые могли привести к сложившейся на доске позиции. А может быть, таких путей было несколько? Значит, надо накапливать новые сведения в дополнение к огромным запасам фактов, уже хранящихся в арсенале научных знаний.

Ушли в прошлое первые попытки объяснить происхождение Земли. Одни из них строились на религиозных преданиях, другие, возможно, имели научный смысл, но были написаны иносказательным языком. Не расшифрованные, они кажутся сегодня набором мистических фраз.



Идеи о том, что Земля возникла в результате естественных процессов, высказывали в XVII столетии французский математик Рене Декарт и президент Берлинской академии наук, математик и философ Готфрид Лейбниц. Но лишь в XVIII веке были предложены первые научные концепции, которые можно считать космогоническими гипотезами в современном понимании этого термина. Их авторами были немецкий философ Иммануил Кант и французский математик и астроном Пьер Симон Лаплас.

Согласно гипотезе Лапласа на месте Солнечной системы некогда существовала огромная раскаленная газовая туманность. Под действием охлаждения и взаимного тяготения газовых частиц она начала постепенно сжиматься и, вращаясь, приобрела уплощенную, приплюснутую форму. Но эти же процессы вызвали увеличение центробежной силы. От сгустка материи отделилось газовое кольцо, которое разорвалось, а затем сгустилось в шар, продолжавший вращение вокруг центра туманности. Сжатие ядра туманности не прекращалось. От ее экватора отрывались все новые и новые кольца, сгущавшиеся в шаровидные планеты. Подобным же образом, отделяясь от планет, возникли их спутники. А уплотнившаяся центральная часть туманности в конечном итоге превратилась в звезду, снабжающую дочерние планеты светом и теплом.

Кант выдвинул свои предположения раньше Лапласа, но опубликовал их анонимно. Поэтому долгое время не было известно, кто же автор гипотезы. В отличие от Лапласа, Кант считал, что в планетную систему сгустились не раскаленные газы, а холодные космические частицы. При этом первым образовалось Солнце, а планеты сформировались несколько позднее.

Почти столетие гипотезы Канта и Лапласа служили общепризнанным объяснением становления Солнечной системы. Только с конца прошлого века стали появляться некоторые дополнения к ним и делаться попытки взглянуть на образование Земли и других планет с иных позиций.

Так, в 1905 г. американские ученые астроном Форест Мультон и геолог Томас Чемберлин предположили, что мимо Солнца некогда прошла другая звезда, притяжение которой вызвало на поверхности нашего светила мощные приливы. С гребней приливных волн по направлению к проходящей звезде стали отделяться бесформенные хлопья солнечной материи. Охлаждаясь, эта материя образовала небольшие сгущения — «планетезимали». Некоторые из таких сгущений, слившись воедино, превратились в протопланеты, одной из которых была прото-Земля. Поначалу Земля была значительно меньше, чем ныне; ее размеры постепенно увеличивались за счет мелких планетезималей и метеоритов.

В 1919 г. английский физик Джеймс Джинс, проанализировав весь накопленный к тому времени материал по астрофизике и небесной механике, опубликовал работу «Проблемы космологии и звездной динамики», в которой предложил еще одну схему образования Солнечной системы. Подобно своим предшественникам, Джинс считал, что Солнце было сначала одинокой звездой. Блуждая в просторах Вселенной, оно встретило на своем пути другую звезду. Под действием силы ее притяжения огромная масса вещества выплеснулась из Солнца и в сигарообразной форме протянулась навстречу этой звезде. Но звезда прошла мимо, а гигантская струя раскаленного солнечного вещества раздробилась на части, и при охлаждении из них возникли планеты.

Долгое время эта гипотеза считалась очень удачной. Но слишком мала вероятность подобной встречи звезд. Сам Джинс полагал, что такая встреча может произойти только в одном случае из триллиона звездных сближений. К тому же выяснилось, что расчеты исследователя не могли объяснить происхождение комет, спутников планет и особенности движения некоторых планет, относящихся к группе Юпитера.

Развивая идеи Джинса, английский геофизик Харолд Джефрис предположил, что выброс солнечного вещества произошел не в результате сближения двух звезд, а вследствие удара, который нанесла Солнцу звезда, задевшая его по касательной. Но такое столкновение, по-видимому, еще менее вероятно, чем возможность самого прохождения вблизи Солнца другой звезды.

Когда же в конце 30-х годов появилось сообщение шведского астронома Эрика Хольмберга об открытии планетоподобных спутников звезд, и вслед за тем советские и американские исследователи установили, что собственные планеты может иметь приблизительно каждая десятая звезда, располагающаяся на удалении от Солнца до 16 световых лет, гипотеза Джинса и другие построения, предполагавшие уникальность Солнечной системы, утратили свое значение. А после того как в 1942 г. советский геофизик и астроном Николай Николаевич Парийский произвел расчеты, доказавшие, что нынешние траектории планет не могли бы сформироваться, если бы планетные тела образовались из газовой струи, выброшенной из Солнца, идеи Джинса — Джефриса были окончательно оставлены.

В 1944 г. советский академик Отто Юльевич Шмидт предложил другую гипотезу рождения планет. По его гипотезе Солнце, проходя сквозь межзвездное облако пыли и газов, увлекло за собой часть этого облака. Захваченные притяжением пылевые и газовые частицы вращались вокруг Солнца в одной плоскости, сталкивались, образовывали скопления. Мелкие частицы сливались друг с другом, более крупные притягивали к себе мелкие и, обрастая ими, непрерывно



увеличивались в размере. Так постепенно росли будущие планеты. Математический аппарат, использованный в доказательствах Шмидта, сомнений не вызывал. Но захват звездой газопылевого облака — явление почти столь же маловероятное, как столкновение двух звезд, летящих в космическом пространстве.

Другой советский ученый, академик Василий Григорьевич Фесенков, объяснил происхождение Солнечной системы по-иному. Судя по сходству химического состава земной коры и солнечной атмосферы, Земля и другие планеты вполне могли иметь «солнечное» происхождение. По-видимому, Солнце некогда вращалось вокруг своей оси значительно быстрее, чем теперь. Вследствие такого вращения в экваториальной части светила возник вырост, от которого стали отделяться планеты. Утолщение на теле Солнца имело сравнительно невысокую температуру. Поэтому газы новорожденных планет не рассеивались в мировом пространстве и сами планеты сравнительно быстро охлаждались. Постепенно удаляясь от Солнца, они заняли свое нынешнее положение.

В 1950 г. известный американский исследователь Дж. П. Койпер высказал предположение, что Солнце входило ранее в систему двойной звезды. Одна из этих звезд рассеялась в пространстве и стала материалом для газопылевого облака, из которого затем сформировались планеты.

В последующие годы было предпринято немало попыток дать более строгое объяснение возможным процессам образования Солнечной системы. Появились новые идеи о возрождении и развитии модели Канта — Лапласа на основе современных достижений космической электродинамики. Предложено оригинальное объяснение причин турбулентных движений космического вещества, вызываемых конвекцией. Высказаны интересные мысли о закономерностях сжатия протопланетного облака; предполагается, что толчком, нарушившим равновесие первичной газопылевой туманности, явился взрыв сверхновой звезды...

Многочисленным гипотезам о происхождении Земли посвящена обширная литература, содержащая бурную полемику, доводы за и против, остроумные доказательства, строгую критику. Большинство ученых, занимающихся проблемами космогонии, полагают, что Солнечная система сформировалась из прародительского космического облака, в котором возникли некие центры сгущения вещества. Но у астрономов, геологов и физиков еще не сложилось единого мнения о причинах образования нашей планеты, и ни одна из предложенных гипотез не может в полной мере объяснить строения Солнечной системы. Можно с уверенностью сказать, что вопрос о том, как произошла Земля, еще ждет своего решения.



Для того чтобы найти верный ответ на этот вопрос, предстоит разрешить еще немало загадок, заданных природой. Видное место среди них занимает проблема времени. Сколько миллионов или миллиардов лет длилось формирование земных слоев? Можно ли оценить во времени процесс становления Земли как планеты? Какими часами измерить продолжительность жизни Солнечной системы? Сколько лет Земле?

## КАМЕННАЯ РУКОПИСЬ

### Об окаменелостях, землемере Уильяме Смите, умельцах Черепановых и автомобиле

С давних пор в каменоломнях и шахтах, а иногда просто на земной поверхности люди находили странные образования, напоминавшие то листья растений, то кости животных, то раковины моллюсков. Эти таинственные формы были похожи на настоящие листья и кости, но откуда глубоко под землей могли появиться останки организмов?

Одни ученые считали, что загадочные ископаемые, так поразительно напоминающие растения и животных, представляют собой окаменевшие «соки земли»; другие полагали, что это результат «игры природы»; третьи выдвигали предположение об их самопроизвольном зарождении.

Но примерно в середине XVIII века все эти взгляды уступили место так называемой дилювиальной теории, или теории потопа (по-латыни потоп — дилувий). Согласно этой теории все окаменелости рассматривались как останки животных и растений, погибших во время всемирного потопа.

Дилювиальная теория была значительным шагом вперед по сравнению со всеми существовавшими до нее предположениями. Теперь к ископаемым стали относиться как к останкам подлинных, действительно живших организмов, их начали собирать и тщательно описывать. Эти описания сопровождались рисунками. Впервые в геологической литературе появились атласы с изображением целых комплексов ископаемых растений и скелетов животных. Зарождалась новая наука, которую позже назвали палеонтологией, что по-гречески означает «учение о древних организмах».

Сравнивая окаменелости с современными животными и растениями, ученые делали первые попытки установить условия, в которых жили погибшие организмы. Ископаемые не позволяли установить год потопа, в результате которого

погибли обитатели Земли, но некоторые признаки окаменелостей, казалось, давали возможность судить хотя бы о сезоне, когда могло произойти это событие.

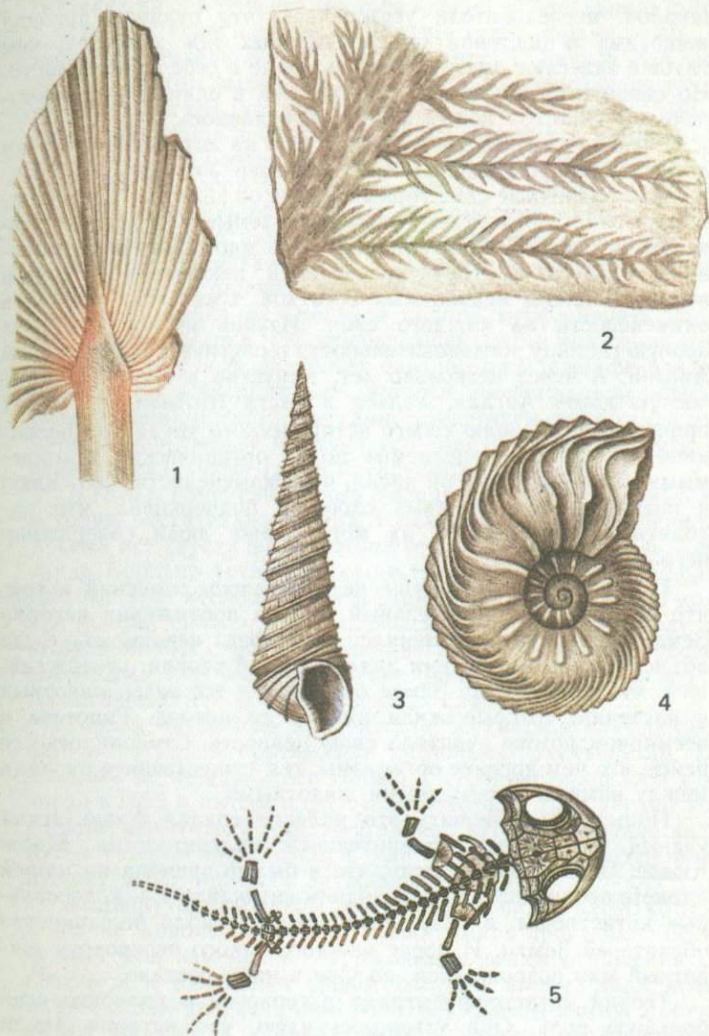
В 1702 г. английский естествоиспытатель Джон Вудворд издал книгу «Естественная история Земли», где описал, в частности, ископаемые орехи. Вудворд обратил внимание на то, что эти орехи неспелые. Следовательно, они были погребены в конце весны, когда плоды уже образовались, но созреть еще не успели. К такому же выводу пришел швейцарский коллега Вудворда — Иоганн Якоб Шойхцер, исследовавший растительные остатки, которые он принял за незрелые колосья. Шойхцер тоже предполагал, что потоп произошел приблизительно в мае.

Но относительно времени начала потопа среди ученых не было единого мнения. Каждый исследователь называл новые сроки. Вот, например, что писал в 1758 г. Дж. Парсонс\*, изучавший ископаемые плоды с острова Шеппи в устье Темзы: «Если эти плоды, которые я имею честь положить перед Вами, являются додилювиальными, то можно представить, как это делал доктор Вудворд, что они в некоторой степени указывают время года, когда произошел Потоп. Вудворд полагал, что Потоп имел место в мае, но его мнение встречает возражения... Найденные окаменевшие плоды столь совершенны, что заставляют предполагать, что они были вполне зрелыми, когда были захоронены в тех местах, в которых они найдены. Это убеждает нас в том, что Потоп произошел ближе к августу». Некоторые были еще более категоричны. Так, вышеупомянутый ирландский архиепископ Ашер в своем труде «Анналы мира», ссылаясь на находки ископаемых, решительно заявил, что потоп начался в воскресенье 7 декабря — ни раньше, ни позже.

Но по мере того как росло количество собранных ископаемых остатков, становилось все более очевидным, что многие ископаемые животные и растения совершенно не похожи на существующих ныне. С учетом этого стали высказываться предположения, что среди окаменелостей встречаются не только предшественники современных организмов, но и «допотопные» группы, погибшие во время катастрофы и не имеющие аналогов в современном растительном и животном мире. Кроме того, предлагалось различать «туземные» формы, погребенные там, где они обитали, и остатки «экзотических» организмов, которые жили в других областях и были перенесены к местам их захоронения во время потопа.

Уже в 1760 г. толща земных отложений была подразделена на три последовательно сменяющие друг друга группы горных пород: первичную, вторичную и третичную. Сопостав-

\* *Parsons J.* An account of some fossil fruits and other bodies found in the Island Shepey. — Roy. Soc. London, Phil. Trans., 1758, vol. 50, pt. I, p. 402.



Ископаемые остатки древних организмов: 1 — отпечаток листа пальмы  
 2 — хвойное растение (*Walchia*); 3 — раковина брюхоногого моллюска  
 4 — аммонит (*Cardioceras cordatum*); 5 — личинка бронхиозавра.



ляя находки ископаемых организмов с этой первой грубой шкалой, исследователи убеждались, что отличия древних животных и растений от современных тем заметнее, чем глубже залегают пласты, заключающие в себе окаменелости. Но связать разрозненные наблюдения в единую непротиворечивую гипотезу долгое время не удавалось.

В 1796 г. в графстве Сомерсетшир на юго-западе Англии работал на прокладке канала землемер Уильям Смит. Наблюдая различные слои горных пород, он заметил, что в каждом встречаются «органические ископаемые», присущие только этому слою. В одних пластах есть многочисленные раковины, в других — отпечатки растений; некоторые же толщи вообще лишены ископаемых остатков. Смит стал собирать окаменелости из каждого слоя. Изучив их, он составил первую таблицу последовательности геологических отложений Англии. А через несколько лет, выпустив в свет «Геологическую карту Англии, Уэльса и части Шотландии», Смит приступил к изданию своего исторического труда под названием «Пласты, определяемые по их органическим ископаемым». В предисловии он писал, что окаменелости дают ключ к познанию подпочвенных слоев, и подчеркивал, что находить и распознавать их могут даже люди совершенно неграмотные.

После работ Смита уже не оставалось сомнений в том, что животный и растительный мир на протяжении истории Земли неоднократно изменялся. Этот факт невозможно было объяснить с точки зрения дилювиальной теории, утверждавшей, что и теперь на Земле обитают те же виды животных и растений, которые жили на ней до потопа. Гипотеза о всемирном потопе утратила свою ценность. Становилось все яснее, что чем древнее организмы, тем существеннее разница между ними и современными животными.

Попытку истолковать это явление сделал французский ученый, основатель сравнительной палеонтологии Жорж Кювье. Он высказал мысль, что в былые времена на нашей планете неоднократно происходили катаклизмы — колоссальные катастрофы, в результате которых гибло большинство обитателей Земли. И после каждого такого переворота животный мир возрождался, но уже в ином составе.

Теория катастроф сыграла в геологии и палеонтологии большую роль. Она утвердила идею, что история Земли распадается на ряд этапов, каждому из которых свойственны определенные формы животных и растений.

Признание значения окаменелостей для определения возраста земных слоев заметно оживило развитие всех областей геологической науки и существенно способствовало их прогрессу. Изучение ископаемых остатков подтвердило, что до потопа существовал протяженный ряд многократно сменявших друг друга сообществ организмов. Палеонтологические

материалы стали широко использовать при составлении геологических карт и поисках месторождений минерального сырья.

Против теории катаклизмов выступил французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк. С начала XIX века один за другим выходят в свет его основополагающие труды: «Гидрогеология», «Естественная история растений», «Философия зоологии» и многотомная «Естественная история без позвоночных животных». Намного опередив свою эпоху, Ламарк создал первое стройное учение о развитии органического мира, обосновал новую систематику животных, уточнил принципы ботаники, впервые развил эволюционные идеи в биологии и высказал мысль, что и сам человек является результатом исторического развития жизни.

Современники не смогли в полной мере оценить значение работ Ламарка. Но провозглашенные им воззрения и его огромный научный авторитет оказали определенное влияние даже на тех исследователей, которые продолжали оставаться убежденными катастрофистами. Следствием этого стали многочисленные смелые попытки установить закономерности появления различных групп организмов во времени.

В 1820 г. немецкий ученый Каспар Штернберг подразделил историю растительного мира Земли на три больших периода. Восемь лет спустя французский геолог и палеоботаник Александр Броньяр установил существование четырех периодов. Данные этих исследователей, занимавшихся изучением древней флоры, начали сопоставляться с материалами, полученными в разных странах специалистами по вымершим беспозвоночным. Это было рождение шкалы относительного — геологического — возраста земных слоев.

Теория катастроф продолжала оставаться главенствующей в науке на протяжении нескольких десятилетий. Положение ее пошатнулось только в середине прошлого века, когда в 1859 г. вышел в свет замечательный труд английского естествоиспытателя Чарлза Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь».

Выдвинутая Дарвином теория эволюции, согласно которой в облике животного и растительного мира происходит бесконечный ряд изменений, отражающих взаимоотношения организмов и изменения среды, где они живут, дала новый толчок развитию различных областей палеонтологии. Десятки людей во многих странах мира начинают интересоваться окаменелостями. Отовсюду поступают сообщения о новых находках ископаемых организмов.

Наука об относительном возрасте земных слоев стала развиваться быстрыми темпами. Работы по добыче камня отныне нередко сопровождалась специально организованными поисками окаменелых остатков животных и растений. Росли палеонтологические коллекции. Накапливались знания об эпохах развития жизни на Земле.



И, быть может, никто из геологов не вспомнил о том, что в 30-х годах XIX столетия на уральских заводах работали два человека, не имевшие никакого отношения к науке о Земле. Они построили около 20 паровых машин и первый в России паровоз. Созданные ими паровозы работали на чугунной рельсовой дороге, проложенной между рудником и заводом. Речь идет о русских механиках-изобретателях Черепановых — отце Ефиме Алексеевиче и сыне Мироне Ефимовиче.

Задумался ли исследователь истории Земли над будущим своей науки, прослышав, что в Англии совершил свой первый рейс между Манчестером и Ливерпулем первый в мире пассажирский поезд? И едва ли кто-нибудь знал, какое значение для палеонтологии будет иметь тот день, когда немецкие инженеры установят на колесной повозке двигатель внутреннего сгорания и родится еще одно детище техники — автомобиль.

Каким странным ни покажется это на первый взгляд, но изобретение двух новых средств передвижения оказало громадное влияние на прогресс науки о древних организмах. И не потому, что эти машины сделали доступными любые точки земного шара. Суть дела в том, что начавшееся в конце прошлого века быстрое развитие паровозо- и автомобилестроительной промышленности привело к необходимости прокладывать многие тысячи километров автомобильных и железных дорог. А это в свою очередь вызвало небывалый размах земляных работ.

Бесчисленная армия рабочих ежедневно переворачивает сотни тысяч тонн горных пород, строя насыпи, прорывая тоннели, котлованы и каналы. За предельно короткий срок большие пространства оказались изборозженными земляными выработками. Для паровозов и автомашин требовалось огромное количество топлива, и в поисках нефти и каменного угля тысячи новых шахт и буровых скважин пронзили толщу земной коры.

Все эти работы, проведенные за короткий отрезок времени на стыке XIX и XX столетий, дали возможность палеонтологам собрать такое количество ископаемых остатков животных, которое во много раз превышало все прежние сборы. Много интереснейших научных открытий было сделано именно в эти годы. Собранные материалы позволили внести уточнения в шкалу геологического возраста, которая создавалась геологами разных стран еще со времен господства дилювиальной теории.

Изучение геологических разрезов земной коры дает возможность выяснить, в какой последовательности формировались слагающие ее пласты. Чтобы сравнить между собой различные толщи осадочных образований, необходимо найти заключенные в них остатки древних животных или расте-



ний. Долгие и трудоемкие поиски окаменелостей, кропотливое изучение палеонтологических коллекций позволили установить характерные комплексы фауны и флоры, присущие каждому периоду истории Земли; помогли уточнить границы эпох; способствовали выяснению закономерностей развития органического мира нашей планеты. Все это дало возможность рассматривать ископаемые остатки вымерших растений и животных в качестве указателей относительного геологического возраста горных пород.

Но, склоняясь над коллекциями окаменелостей, освобождая из каменного плена скелеты вымерших животных, естествоиспытатели тщетно старались установить, сколько лет назад погибли эти обитатели Земли. И через века безответным вопросом звучали слова Леонардо да Винчи\*: «О время, скорый истребитель возникших вещей, сколько народов ты уничтожило, сколько государств пало и сколько различных событий произошло с тех пор, как чудесная форма этой рыбы здесь умерла в пещерных и извилистых недрах?».

## ЛЕСТНИЦА ЖИЗНИ

### О том, какие животные и растения населяли Землю в различные эпохи

Исследуя ископаемые остатки животных и растений, палеонтологи установили, что историю нашей планеты можно подразделить на ряд больших этапов. Эти этапы названы зонами.

Первое время Земля, по-видимому, была необитаемой. Уныло плескались мелкие водоемы, хранили молчание безжизненные равнины, безмолвствовали голые скалы. Мертвую тишину нарушал только грохот вулканов, извергавших лаву и тучи раскаленного пепла. Это время получило название азойского (т. е. безжизненного) зона.

Но вот где-то на границе раздела теплых морских вод и суши возникли первые сложные соединения белка — коацерваты. От них произошли предвестники жизни — протобионты. Их еще нельзя считать ни растениями, ни животными. Но в этих маленьких белковых комочках уже теплилась настоящая жизнь: они питались, двигались и размножались. От протобионтов зародились другие, более сложные организмы.

\* Леонардо да Винчи. Избранное. М., Гос. изд-во худож. литературы, 1952, с. 219.

Мы не знаем, как они выглядели, и можем судить о существовании этого древнейшего биоса лишь по находкам скопленных углистого вещества, имеющего явно органическое происхождение.

Вслед за ними появляются первые сине-зеленые водоросли и безъядерные бактерии — прокариоты, остатки которых найдены в более молодых слоях земной коры. Долгое время они остаются почти единственными обитателями планеты. Этот этап назван археозойским или архейским эоном.

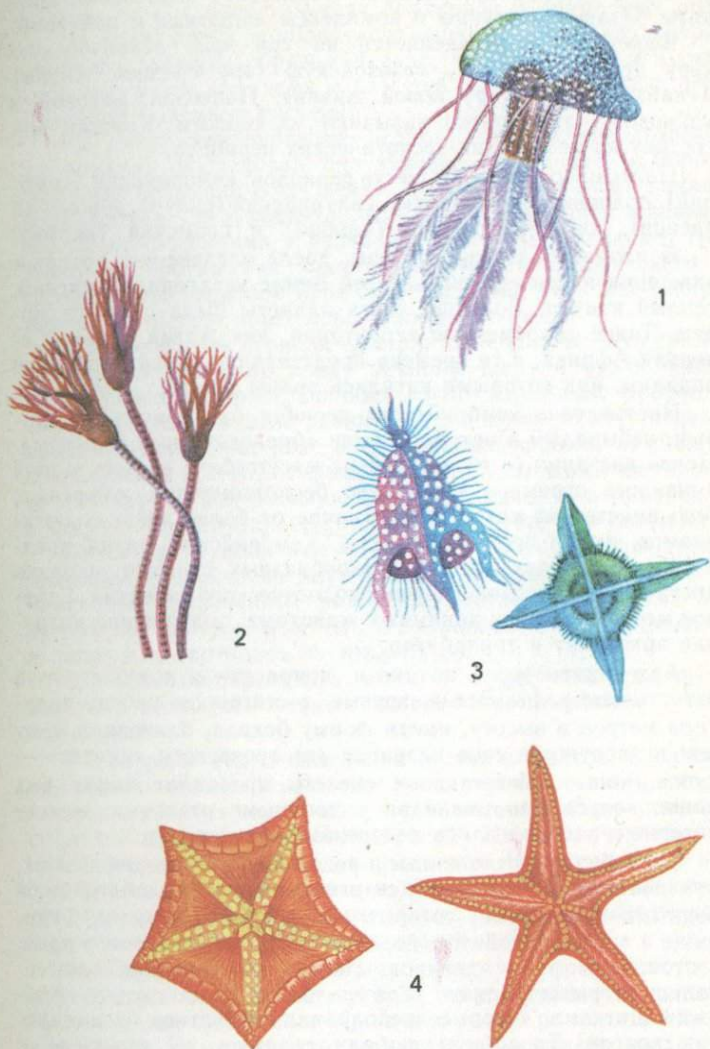
На смену ему пришел протерозойский эон. В протерозойских слоях в обилии появились эукариоты — организмы, клетки которых имели ядра; к простейшим одноклеточным растениям здесь присоединились многоклеточные водоросли, в морях появились первые животные. Закачались на волнах водянистые медузы, на отмелях поселились гребневики, а на илистом дне закопошились различные черви, примитивные ракообразные и предки морских звезд — древние иглокожие.

В самом конце протерозоя под влиянием неизвестных пока причин развитие животного мира претерпевает революционную вспышку — и по всей Земле расселяется множество бесскелетных организмов, получивших название эдиакарской фауны (по местонахождению Эдиакара в Австралии, где они впервые были обнаружены). Кишечнополостные, членистоногие, черви и другие существовавшие ранее группы животных дополняются рядом беспозвоночных неясного систематического положения, свойственных только этой эпохе. Некоторые исследователи считают, что именно от этих беспозвоночных произошли многие ныне живущие скелетные организмы. В этих же слоях появляются и первые животные, имевшие кремневый скелет, — радиолярии.

Азойский, архейский и протерозойский эоны объединяются под общим названием криптозой — этап скрытой жизни (от греческого слова «криптос» — скрытый). В соответствии с положением в геологическом разрезе земной коры криптозойские отложения именуется также докембрийскими или докембрием.

Наши познания о развитии жизни на Земле в докембрии очень отрывочны и несовершенны. Слишком мало данных сохранила геологическая летопись об этом времени, составляющем почти 9/10 всей продолжительности существования нашей планеты. Но неполнота знаний о ранних этапах развития жизни отчасти компенсируется огромным количеством геологических и палеонтологических сведений о явлениях, происходивших на Земле в последующую эпоху.

После протерозоя наступил фанерозойский эон, или фанерозой, — этап явной жизни (от греческого «фанерос» — явный). Обилие собранного материала позволило составить для этого отрезка времени подробную геохронологическую



Животный мир криптозоа: 1 — медуза; 2 — морские лилии; 3 — радиолярии; 4 — морские звезды.



шкалу, в которой за признаки возрастного разделения приняты различные группы и комплексы животных и растений.

Фанерозой подразделяется на три эры: палеозойскую (эру древней жизни), мезозойскую (эру средней жизни) и кайнозойскую (эру новой жизни). Палеозой, мезозой и кайнозой — так кратко называют их геологи. Каждая эра состоит из нескольких геологических периодов.

Палеозой охватывает шесть периодов: кембрийский (кембрий), ордовикский (ордовик), силурийский (силур), девонский (девон), каменноугольный (карбон) и пермский (пермь).

В начале палеозойской эры, после оледенения, которым завершился протерозой, на всей Земле установился мягкий, теплый климат. Большая часть планеты была покрыта морем. Такие современные территории, как Алтай, Урал, Северная Африка, в те времена представляли собой обширные впадины, над которыми катились волны океана.

Наступление кембрийского периода ознаменовалось новым, небывалым в истории Земли «биологическим взрывом». Почти внезапно (в геологических масштабах) во всех морях появилось огромное количество беспозвоночных животных, большинство из которых, в отличие от более древних организмов, имели прочные скелеты. Кембрийская фауна представлена тысячами видов разнообразных существ, нередко достигавших высокой степени биологического развития. Главное место среди них занимают животные, получившие название археоциат и трилобитов.

Археоциаты жили на дне и, прирастая к нему, строили известковые рифы. Эти животные, достигавшие иногда полутора метров в высоту, имели форму бокала, благодаря чему они и заслужили свое название (от греческого «киатос» — кубок, чаша). Известковые скелеты археоциат имели вид чаши, конуса или цилиндра с двойными стенками, между которыми располагались поперечные перегородки.

Трилобиты — отдаленные родственники ракообразных, появившиеся одновременно с археоциатами. Трилобиты были водными животными, которые ползали по дну моря. Туловище и хвост трилобитов, подобно хвосту современного рака, состояли из ряда члеников. Иногда эти членики оканчивались острыми шипами. Тело трилобита было покрыто прочными щитками, которые предохраняли животное от нападения врагов. Трилобиты любили селиться на песчаном и илистом грунте, где скапливалось много мелких животных и растений, служивших им пищей. Поскольку кембрийские трилобиты обитали в мутной придонной воде, глаза у многих из них были развиты очень слабо, а у некоторых вообще отсутствовали.

Кроме трилобитов и археоциат в кембрийском море жили медузы, древние кораллы, примитивные морские звезды, губ-

ки, брюхоногие моллюски — гастроподы. Здесь же появляются первые представители брахиопод и панцирных рыб.

На протяжении кембрийского периода жизнь концентрировалась главным образом в воде, но есть основания считать, что в это же время и на суше появились первые примитивные наземные растения.

На смену кембрийскому периоду пришел ордовикский, за которым последовал силурийский. В начале ордовика материка испытали погружение. Но вскоре они снова начали подниматься. Это поднятие сопровождалось образованием гор, землетрясениями и вулканическими извержениями. Поэтому на протяжении значительной части ордовикского и силурийского периодов моря были мелкими, а в конце силура многие области и вовсе освободились от них.

В ордовикском периоде вымерли археоциаты, зато трилобиты расселились по всему земному шару и стали одной из наиболее распространенных групп животных. Зрение у новых трилобитов было развито превосходно. Если у первых представителей этого класса единственной защитой от хищников служили щитки, покрывавшие тело, да шипы на боках, то их силурийские потомки научились плавать и приобрели к тому же способность свертываться в клубок при опасности.

Вместе с трилобитами в морских водах жили крупные головоногие моллюски наутилусы, у которых были крепкие массивные закрученные раковины, достигавшие иногда полутора-двух метров. Эти большие моллюски были хищниками и, наверное, охотились на трилобитов.

Значительного расцвета достигли в ордовике кораллы и мшанки, появились первые позвоночные животные — бесчелюстные.

В силуре в морях обновился состав кораллов и поселились новые обитатели: морские ежи, морские лилии и многочисленные панцирные рыбы, тело которых было покрыто снаружи прочной защитной броней. Панцирные рыбы не имели ни костей, ни парных плавников. Неискушенному наблюдателю трудно признать в них рыбу. Но тем не менее эти странные существа, напоминая бронированных червей, уже возвещают о зарождении класса рыб.

Можно упомянуть еще одну интересную форму животных, встречающихся в ордовикских и силурийских отложениях. Названы эти организмы граптолитами. Граптолиты жили колониями. Каждый организм находился в камере, построенной из рогового вещества — хитина. Хитиновая оболочка камеры была пронизана тонкими известковыми нитями. А вся колония имела вид нескольких веточек, собранных в пучок и прикрепленных к известковой пластинке. Одни граптолиты, очевидно, были донными животными и выглядели, как маленькие кустики, присосие к морскому грунту. Другие обладали небольшим воздушным пузырем, который удержи-



вал колонию близ поверхности воды. Подобно медузам, они носились по воле морских течений.

Размеры граптолитов невелики — всего несколько сантиметров, но в силурийских морях их было такое множество, что скапливавшиеся на дне трупы животных со временем образовали мощные залежи темной породы, которая называется «письменным камнем». Если взглянуть на плиту такого камня, то покажется, будто он весь испещрен надписями на каком-то восточном языке. Эти «письмена» и представляют собой окаменелые остатки граптолитовых колоний.

Одновременно с развитием жизни в море на влажных участках земной поверхности впервые появились крупные растения — псилофиты, которые после своей гибели образовали первые в истории Земли ископаемые почвы и небольшие залежи каменного угля.

Но животный мир на континентах был по-прежнему очень беден. Только скорпионы да многоножки смогли прижиться на суше.

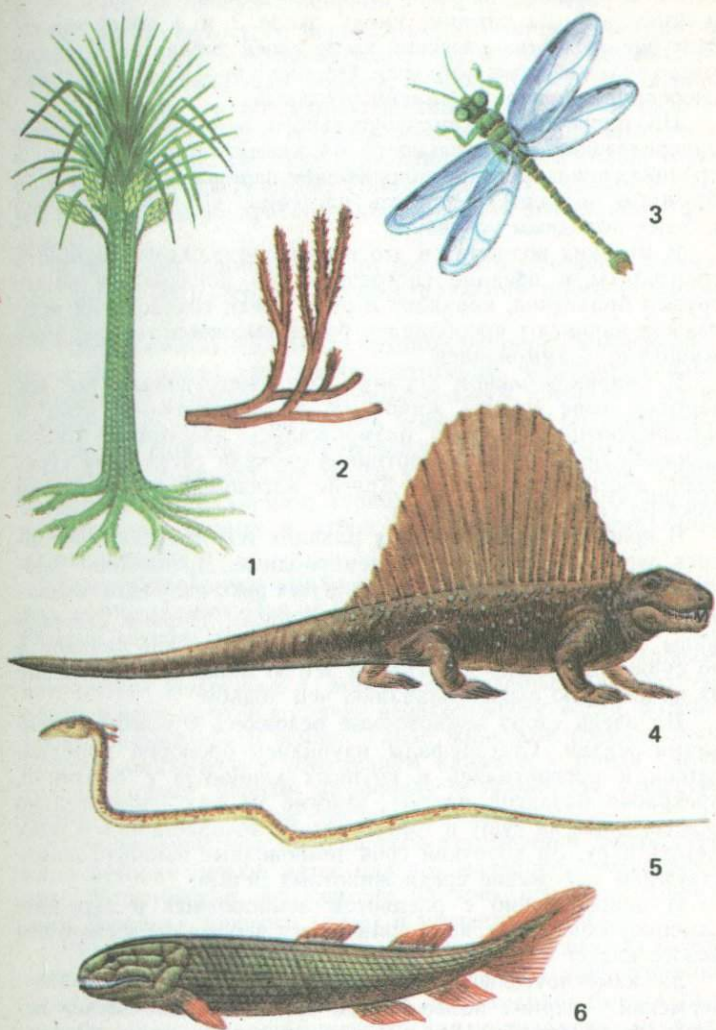
На границе силурийского и последовавшего за ним девонского периода произошло интенсивное горообразование. Море покинуло большинство занимаемых им областей, и громадные пространства превратились в сушу. На протяжении девона воды океана еще раз пытались затопить материки, но в конце этого периода море снова отступило.

В начале девона вымирает большинство граптолитов и приходят в упадок многие группы трилобитов. Зато настоящего расцвета достигают рыбы. По-прежнему копошатся в песке бронированные панцирные рыбы. Теперь они стали крупнее и подвижнее. Наряду с ними в открытых водах поселяются первые акулы. А в пересыхающих водоемах возникает большая группа двоякодышащих рыб. Пребывая в родной — водной — стихии, эти рыбы дышали жабрами, но если водоем высыхал, они не страдали из-за отсутствия воды, ибо кроме жабр у двоякодышащих рыб имелись легкие, позволявшие им свободно дышать воздухом.

Отступление моря вызвало у некоторых рыб формирование еще одного приспособления: их плавники стали служить для ползания и со временем превратились в отдаленное подобие ног. Такие рыбы названы кистеперыми.

На суше в это время широко распространяются многоножки и появляются первые насекомые. Древние растения — псилофиты — постепенно вымирают, их место захватывают папоротники, хвощи и плауны. Нынешние папоротники редко достигают двухметровой высоты, а плауны и хвощи обычно представляют собой сейчас низкорослую травку. Правда, в лесах Южной Америки встречаются некоторые виды хвощей, достигающие десятиметровой длины, но стебель этих растений не толще полутора сантиметров. Палеозойские предки современных растений по размерам намного превосходили





Органический мир палеозоя: 1 — сигиллярия; 2 — протолепидодендрон, предшественник современных плаунов; 3 — гигантская хищная стрекоза (*Meganeura*); 4 — диметродон, один из первых зверозубых ящеров; 5 — змеевидная амфибия (*Dolichosoma*); 6 — пресноводная кистеперая рыба (*Osteolepis*).

своих потомков. Это были стройные деревья высотой 30 м и более, стволы которых имели около 2 м в поперечнике. Могучие леса этих растений после своей гибели образовали много залежей каменного угля. Отсюда и произошло название очередного периода — каменноугольный.

На протяжении каменноугольного периода наметилось распределение растительности по климатическим зонам: в тропиках произрастали теплолюбивые папоротниковые леса, а ближе к полюсам появились растения, приспособившиеся к более холодным условиям.

В морских водоемах в это время продолжают вымирать граптолиты и древние гастроподы, но появляются новые группы брахиопод, кораллов и рыб. Среди головоногих моллюсков начинают преобладать более высокоорганизованные животные — амmonoидеи.

В каменноугольном периоде уже существовали все известные ныне группы животных, за исключением птиц и млекопитающих. Сильно размножились насекомые. Среди зарослей громадных папоротников сновали гигантские стрекозы, достигавшие 70 см. Другие насекомые по размерам тоже не уступали стрекозам.

В прибрежных болотистых плавнях тем временем появились первые четвероногие — земноводные. Древнейшие земноводные, происшедшие от кистеперых рыб, получили название стегоцефалов, т. е. панцирноголовых. Первые стегоцефалы были похожи на нынешних тритонов. Они двигались по суше еще неумело, загребая землю лапами, и движение их напоминало скорее плавание, чем ходьбу.

Но очень скоро земноводные освоились с новыми условиями жизни. Стегоцефалы научились проворно передвигаться и превратились в крупных хищников с огромной, прекрасно развитой пастью. Многие из них окончательно переселились на сушу и только весной возвращались в воду метать икру. За короткий срок земноводные заняли господствующее положение среди животных Земли.

И одновременно с расцветом земноводных в середине каменноугольного периода появляются первые представители нового класса животных — пресмыкающиеся.

За каменноугольным периодом наступил последний — пермский — период палеозойской эры. Название этому периоду было дано в 1841 г. по уральскому городу Пермь, в окрестностях которого впервые обнаружены отложения этого возраста.

В начале пермского периода на Земле сохранялись густые леса папоротников, хвощей и плаунов. Но во второй половине периода климат становится холоднее и суше. Гибнут папоротниковые леса. Вымирают гигантские насекомые. В связи с общим похолоданием начинают развиваться хвойные растения. На месте бывших влажных территорий, недавно

покрытых лесами, появляются пустыни — впервые в Северном полушарии возникает обширная засушливая зона.

В начале пермского периода море было распространено на сравнительно небольших площадях. К концу перми пространство, занимаемое морями, сокращается еще больше и многие морские бассейны превращаются либо в солоноватоводные лагуны, в которых отлагались природные соли, либо в пресноводные озера, где накапливались толщи горючих органических осадков. Иногда море наступало, но его наступления были кратковременными и не очень значительными.

В пермских морях вымирают трилобиты, исчезают панцирные рыбы, зато широко распространяются многочисленные акулы.

Размножились и достигли крупных размеров земноводные, но и этот класс уже имеет некоторые признаки упадка. Интенсивно развиваются пресмыкающиеся, которым суждено вскоре окончательно вытеснить земноводных. От стегоцефалов произошли древние травоядные пресмыкающиеся — котилозавры, сохранившие много черт своих предков. Рядом с ними обитали хищные териодонты — зверозубые ящеры, по строению черепа и зубов напоминавшие примитивных млекопитающих.

Пресмыкающиеся имели существенные преимущества перед земноводными. Они не метали икру в воде, а откладывали яйца в хорошо прогреваемый солнцем песок. Тело их было защищено от чрезмерного испарения роговыми покровами или чешуей. Некоторые из пресмыкающихся вели полуводный образ жизни, другие в случае необходимости могли, подобно кроту, зарываться в землю. Такие животные гораздо легче приспосабливались к изменениям климата и имели значительно больше шансов на победу в борьбе за существование, чем прихотливые древние земноводные.

С расцветом пресмыкающихся открывается новая страница истории Земли, известная под названием мезозойской эры. Мезозойская эра состоит из трех периодов: триасового (триаса), юрского (юры) и мелового (мела).

Триасовый период характеризовался относительно устойчивым климатом. Материки занимали большие площади; образования новых гор почти не происходило. Лета и зимы в привычном нам понимании тогда, по-видимому, не было, и времена года представляли собой только чередование влажных, обильных осадками и более сухих сезонов. В лесах преобладали голосеменные растения: саговниковые, гинговые и хвойные. Из древних групп растительности в достаточном количестве в триасе сохранились только хвощи и папоротники, но теперь они выглядели куда менее величественно, чем в каменноугольном или пермском периоде.



Произошли изменения и в составе животного мира. В начале мезозойской эры земноводные окончательно уступили место пресмыкающимся. В конце триасового периода вымирают стегоцефалы. Появляются новые семейства и роды пресмыкающихся — первые ящеры, крокодилы и черепахи. От котилозавров произошла большая группа крупных пресмыкающихся, которые за свой устрашающий внешний вид получили название динозавров, т. е. «ужасных ящеров».

Пресмыкающиеся начинают быстро осваивать новые и новые области материков. Но условия жизни на континентах оказались неблагоприятными для некоторых представителей этого класса. В связи с этим часть пресмыкающихся, с таким трудом завоевавших сушу, снова возвращается в ту стихию, откуда вышли ее далекие предки, — в море. Конечности этих животных укорачиваются, между пальцами появляется плавательная перепонка, и ноги вновь превращаются в плавники. Одними из первых вернулись к водному образу жизни живородящие рыбащеры — ихтиозавры.

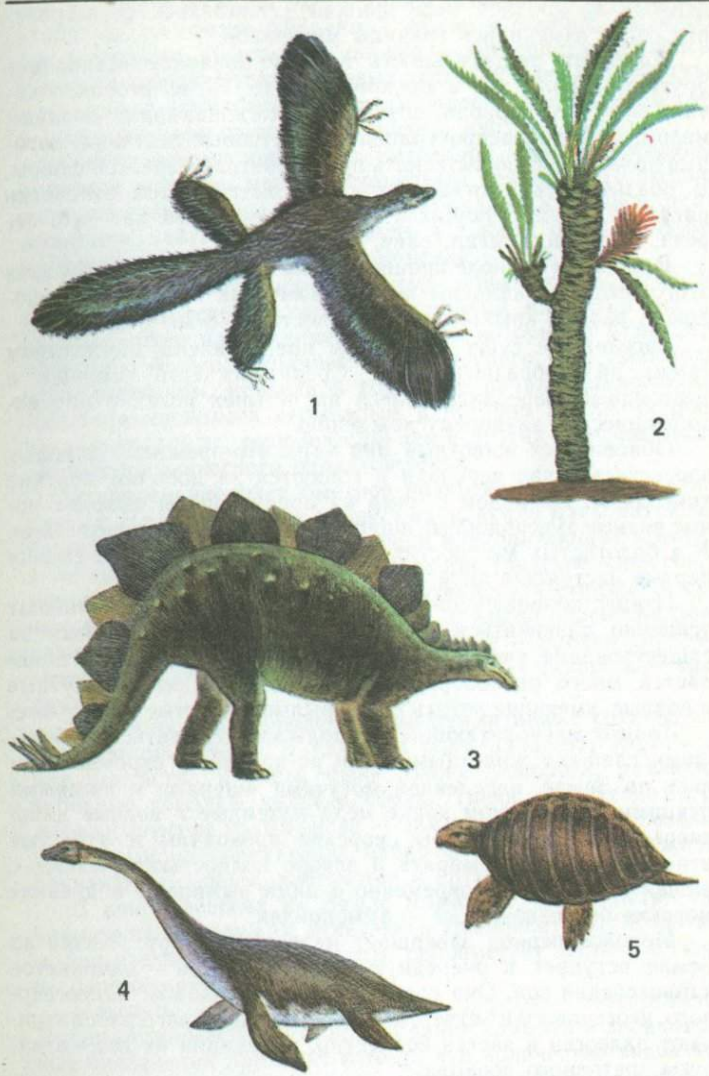
Параллельно с прогрессом пресмыкающихся возникает новый класс животных — млекопитающие. Первые млекопитающие были слабыми зверьками, которые питались насекомыми. Ничтожными и хилыми выглядели они по сравнению с гигантами динозаврами.

Триасовый период сменился юрским. В начале юрского периода море активно наступало на материки. Климат этого времени на громадных территориях был близок к тропическому или субтропическому. Теплые и влажные климатические условия способствовали расцвету флоры. На континентах произрастала буйная растительность, оставившая в память о себе немало месторождений каменного угля.

В юрском периоде на суше господствуют гигантские динозавры. Триасовые формы пресмыкающихся вымирают, и их место занимают новые роды ящеров. Некоторые семейства пресмыкающихся продолжают переходить к водному образу жизни. Животный мир моря обогащается новыми видами плавающих ящеров. Наряду с ними в водах океана обитают крупные черепахи и не дожившие до наших дней морские крокодилы.

Но пресмыкающиеся не ограничиваются покорением морей, они устремляются в воздух. Появляются крылатые летающие ящеры — птеродактили и рамфоринхусы. И наконец, пожалуй, самое крупное биологическое событие юрского периода: в воздух поднимаются первые птицы — археоптерикс и археорнис.

В конце юрского периода происходит сильное горообразование. Начинает формироваться кольцо хребтов, опоясывающих чашу Тихого океана. Горы эти продолжают расти и в начале следующего — мелового — периода. В меловом



Органический мир мезозоя: 1 — археоптерикс, древнейшая из известных птиц; 2 — саговая пальма; 3 — стегозавр, наземный динозавр юрского периода; 4 — плезиозавр, обитатель юрских морей; 5 — гигантская черепаха (*Archelon*).

периоде по крайней мере дважды усиливалось формирование гор и изменялись границы материков.

Наземная растительность в мелу поначалу оставалась почти такой же, как в юрском периоде. Но во второй половине мелового периода, который геологи называют поздним мелом, широко распространились цветковые растения, которые начали быстро вытеснять представителей древней флоры. В позднемеловых отложениях уже встречаются отпечатки растений, существующих и в наши дни, таких как дуб, береза, бук, ива, платан, лавр, магнолия.

В меловом периоде процветают летающие ящеры. В слоях этого возраста найдены кости гигантских хищных птеранодов, размах крыльев которых достигал 8 м.

Заселившие сушу динозавры представлены множеством самых разнообразных форм. Среди них есть хищники и травоядные, передвигающиеся на четырех ногах и приспособившиеся к двуногому хождению.

Обновляется животный мир моря. По-прежнему плавают здесь гигантские черепахи и гоняются за добычей морские крокодилы. Но рядом с ними на арену борьбы выходят новые водные змееподобные ящеры — мозазавры и долихозавры. А в болотистых местностях выползают погреться на солнце первые настоящие змеи.

Птицы, появившиеся в юрском периоде, в мелу начинают усиленно развиваться. Борьба этого класса животных за существование увенчалась успехом, и в конце мела появляется много разнообразных птиц. Среди них сухопутные и водные, умеющие летать и бескрылые, зубастые и беззубые.

Только млекопитающие продолжали оставаться небольшими слабыми животными. Они по-прежнему скромно ютились на Земле, населенной могучими ящерами и хищными птицами. Но в самом конце мела наземные и водные динозавры, летающие ящеры, морские крокодилы и зубастые птицы начинают вымирать и вскоре полностью исчезают с нашей планеты. Одновременно с ними вымирают и древние морские беспозвоночные — аммоноидеи.

Меловой период завершает мезозойскую эру. Жизнь на Земле вступает в очередную фазу развития — начинается кайнозойская эра. Она состоит из трех периодов: палеогенового, неогенового и четвертичного. Иногда геологи рассматривают палеоген и неоген совместно, объединяя их под названием третичного периода.

В кайнозое произошел целый ряд горообразовательных движений. Море наступало на сушу и вновь отступало, материки неоднократно меняли свои очертания, пока не приобрели те формы, которые мы видим на современной географической карте.

Климат в палеогене был несколько холоднее, чем в предшествовавшем меловом периоде, но несравненно жарче, чем



сейчас. В европейской части нашей страны росли магнолии и пальмы, на севере Америки — инжир и бананы, на островах Северного Ледовитого океана — виноград и кипарисы. Но среди зарослей теплолюбивых растений были не редкостью и те деревья, которые в наши дни предпочитают произрастать в лесах умеренного пояса, например, дуб, вяз, береза.

К неогеновому времени в умеренной зоне вечнозеленые растения уступили место листопадным деревьям. Появились разнообразные травы. И к концу периода обособились степи, лесостепи, тайга и тундра. Лишь в южных районах флора не претерпела столь резких изменений.

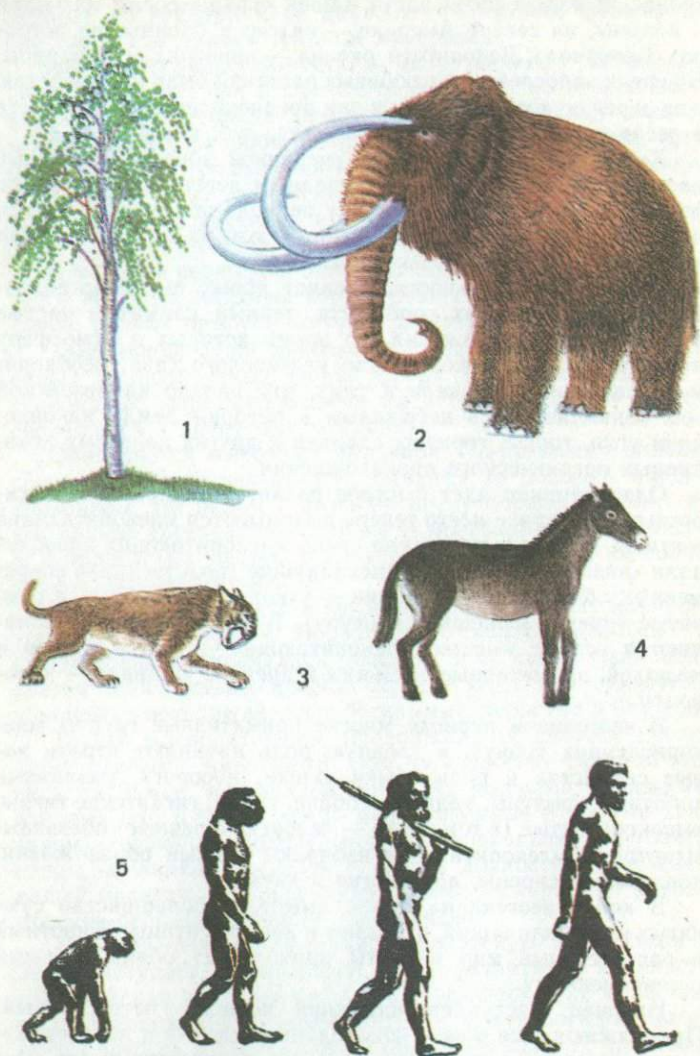
Обилие растительности, расцвет новых высокоорганизованных растительных сообществ, теплый климат и частые вулканические извержения, во время которых в атмосферу поступало большое количество углекислого газа, необходимого растениям, привели к тому, что начало кайнозойской эры ознаменовалось небывалым в истории Земли накоплением угля, торфа, горючих сланцев и других полезных ископаемых органического происхождения.

Одновременно идет быстрое развитие теплокровных животных. На первое место теперь выдвигаются млекопитающие и птицы. В начале палеогена среди млекопитающих преобладали «низшие» формы — яйцекладущие (родственники современных обитателей Австралии — утконоса и ехидны) и сумчатые (предки нынешних кенгуру). В конце палеогена появляются первые высшие млекопитающие — предки слонов и лошадей, примитивные обезьяны и древние хищники — креодонты.

В неогеновом периоде многие примитивные группы млекопитающих гибнут, и главную роль начинают играть новые семейства и роды: быки, олени, носороги, различные хоботные, грызуны, медведи, собаки, гиены, гигантские тигры, высокоразвитые (в том числе — человекообразные) обезьяны. Некоторые млекопитающие избирают водный образ жизни, появляются сирены, ластоногие и киты.

В конце неогена на Земле вымирает большинство сумчатых и яйцекладущих, исчезают и древние птицы. Животный и растительный мир планеты приобретает облик, близкий к современному.

Наконец, наступает последний период — четвертичный. Продолжающееся общее похолодание климата и неоднократные оледенения приводят к тому, что количество видов млекопитающих несколько сокращается. Меняется видовой состав различных групп животных, и появляется новое высокоорганизованное существо — человек. В честь этого события многие исследователи называют четвертичный период антропоновым (от греческого слова «антропос» — человек).



Органический мир кайнозоя: 1 — береза, представитель листопадной флоры; 2 — мамонт; 3 — саблезубый тигр; 4 — мезогиппус, род лошадей, появившийся в олигоцене; 5 — становление человека, слева — направо: дриопитек, неандерталец, кроманьонец, *Homo sapiens* (современный человек).

# ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ

## О корненожках, благородной яшме и шкале относительного возраста

В результате изучения последовательности залегания земных пластов и их взаимоотношений друг с другом возникла наука стратиграфия, занимающаяся исследованием закономерностей и очередности отложения слоев, составляющих земную кору.

Крупные события геологической истории Земли и изменения в составе органического мира позволили установить существование четырех наиболее значительных глобальных стратиграфических единиц — эонотем, каждая из которых включает отложения, образовавшиеся на протяжении одного эона. Протерозойская и фанерозойская эонотемы подразделяются на эратемы, или на геологические группы. Эратема — это отложения, сформировавшиеся за одну эру.

Архейская эонотема может быть подразделена на три эратемы: нижнюю, среднюю и верхнюю. Протерозойские отложения обычно делятся на две эратемы. Вместе они включают три крупные единицы (некоторые исследователи возводят их в ранг самостоятельных эратем): карельскую, получившую название в честь Карелии, где развиты породы этого возраста; рифейскую («Рифей» — древнегреческое наименование Уральских гор) и вендскую («венды» или «венеды» — древнеславянское племя, населявшее территорию Прибалтики). Все эти стратиграфические подразделения установлены сравнительно недавно — уже в XX столетии.

Эратемы фанерозоя, о которых говорилось в предыдущей главе, были намечены еще в XVIII веке. В наши дни отложения выделенной тогда «первичной группы» частично отнесены к докембрийской эонотеке, а более молодые из них вошли в состав палеозоя. «Вторичная группа» получила название мезозойской эратемы, а «третичная» составила основу кайнозойской эратемы.

Соотношение эонотем и эратем показаны в табл. 1.

Эратемы подразделяются на системы. Каждая система состоит из двух или трех отделов, которые в зависимости от их положения в разрезе называются соответственно верхним и нижним или верхним, средним и нижним. Во времени отделы отвечают эпохам.

Отделы расчленяются на более мелкие подразделения — ярусы, а ярусы в свою очередь — на зоны. Ярусам обычно



Таблица 1 Стратиграфические подразделения высшего ранга

Эонотема		Эратема		
ФАНЕРОЗОЙСКАЯ PH		Кайнозойская KZ		
		Мезозойская MZ		
		Палеозойская PZ		
КРИПТОЗОИ	ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ PR	Верхняя PR <sub>2</sub>	Вендская V	
			Рифейская R	
		Нижняя (карельская) PR <sub>1</sub>		
	АРХЕОЗОЙСКАЯ (ИЛИ АРХЕЙСКАЯ) AR	Верхняя AR <sub>3</sub>		
			Средняя AR <sub>2</sub>	
			Нижняя AR <sub>1</sub>	
АЗОЙСКАЯ AZ				

даются географические названия, а зоны получают латинские наименования по наиболее характерным для них представителям животных или растений. В четвертичных отложениях выделяются еще более дробные составные части — звенья.

Из этих единиц и складывается календарь относительного геологического возраста, названный так в отличие от «абсолютного» календаря, ведущего исчисление времени в годах. Геологический календарь состоит из двух параллельных шкал: стратиграфической, отражающей подразделения земных пластов, и геохронологической, называющей время, за которое сформировались соответствующие отложения.

Стратиграфические подразделения

Геохронологические подразделения

Эонотема  
Эратема (группа)  
Система  
Отдел  
Ярус  
Зона  
Звено

Эон  
Эра  
Период  
Эпоха  
Век  
Время  
Пора

В необходимых случаях в стратиграфическую шкалу вводятся еще дополнительные единицы: подотделы, подъярусы, подзоны.

Для большего удобства в работе каждому стратиграфическому и геохронологическому подразделению кроме его названия присваивается сокращенный буквенно-цифровой индекс (как показано в этом примере).

- Мезозойская эратема (эра) — MZ
- Юрская система (период) — J
- Верхний отдел юрской системы (позднеюрская эпоха) — J<sub>3</sub>
- Волжский ярус (век) — J<sub>3v</sub>
- Средневолжский подъярус — J<sub>3v2</sub>
- Зона *Virgatites virgatus* — J<sub>3v2</sub>

Еще в начале прошлого века все основные выводы об относительной геохронологии строились главным образом на изучении более или менее крупных и сравнительно высокоорганизованных животных, таких как моллюски, кораллы, трилобиты, некоторые ракообразные, брахиоподы и позвоночные. По этим организмам устанавливались и главные этапы развития животного мира планеты. На остатки простейших и других микроскопических организмов геологи обычно не обращали серьезного внимания, ибо в свете господствовавших тогда эволюционных воззрений предполагалось, что эти животные крайне незначительно изменяются во времени и не могут быть использованы в качестве указателей возраста отложений.

Однако при бурении скважин часто бывает совершенно невозможно обнаружить в тонком столбике (керне) поднятой на поверхность породы какие-либо признаки «традиционной» фауны. А если остатки таких животных и встречаются — это нередко разрезанные буром фрагменты, определить которые удастся далеко не всегда. Поэтому пришлось обратить внимание и на те организмы, которые раньше считались бесперспективными для стратиграфии.

Одной из первых новых групп, которой особенно заинтересовались геологи-стратиграфы, были фораминиферы. Это небольшие простейшие животные из класса корненожек, населяющие ныне тысячи квадратных километров морского дна. Одни из них имеют шарообразную форму, другие — звездчатую, третьи — линзовидную. Еще до того как биологи обнаружили эти существа в современных морях, людям были известны их ископаемые остатки.

Двадцать веков назад древнегреческий географ Страбон отмечал, что в Египте встречаются в большом количестве мелкие плоские камни, которые египтяне считают окаменевшей чечевицей. Впоследствии было выяснено, что мнимая чечевица представляет собой панцири животных. Но только в XX столетии фораминиферы заняли достойное место в шкале геохронологии.

Представители этой группы животных охотнее всего селятся в таких местах, где их хрупкая раковина может найти

защиту от действия волн. На мелководье они обитают в чаще водорослей или находят убежище в теле губок. Но и воды открытого моря не препятствуют их свободному размножению. Пробы глубоководного грунта, взятые из самых разных морей земного шара, почти всегда содержат раковины фораминифер. Их скелеты составляют основную массу океанического ила. Стало быть, изучение этих организмов позволяет сопоставлять между собой отложения, образовавшиеся в различных частях морского бассейна.

Как в палеозойскую, так и в мезозойскую эру фораминиферы играли огромную роль в накоплении осадков морского дна. Еще большее количество их скелетов содержится в отложениях кайнозойского возраста. Сравнительное изучение морфологического строения этих простейших показало их быструю эволюцию во времени. Определив виды и роды фораминифер, встреченных в керне скважины, геолог может уверенно судить об относительном возрасте вмещающих их горных пород. Благодаря исследованию древних фораминифер были внесены серьезные уточнения в стратиграфические схемы многих районов.

Иногда раковин этих животных накапливалось на дне морей так много, что они образовывали мощные пласты толщиной до нескольких сотен метров. Такие породы, почти полностью состоящие из скелетов фораминифер, даже получили название по преобладающим формам этих организмов. Подобного происхождения известняки, названные альвеолиновыми, встречены на западе Франции и к востоку от Адриатического моря. Другой известняк — нуммулитовый — прослеживается в широкой полосе, простирающейся от Альп и Южного Средиземноморья до Гималаев. В нашей стране нуммулитовые известняки тянутся вдоль северных склонов Крымского хребта от Севастополя до Феодосии, а за Каспийским морем встречаются в палеогеновых отложениях Устюрта и Мангышлака.

С годами методы изучения микроскопических окаменелостей совершенствовались, становились более точными и разносторонними. Ныне микропалеонтология — ветвь палеонтологии, занимающаяся исследованием остатков мелких организмов, — стала равноправной участницей стратиграфических изысканий.

Размачивая образцы горных пород в воде, палеонтолог иглой выбирает из осадка мельчайшие панцири простейших и ракообразных. Более твердые породы предварительно кипятят в растворе глауберовой соли либо протравливают слабыми кислотами. В результате даже из небольшого количества породы (несколько десятков граммов) удается выделить самые разнообразные остатки организмов: мелкие раковинки брахиопод и фораминифер, хитиновые останки



червей, кремнистые иглы губок, членики морских лилий, отолиты костистых рыб.

Все большее значение приобретает сейчас изучение примитивных ракообразных — остракод и филлопод. Эти мелкие рачки, строение которых можно рассмотреть только под микроскопом, интересны тем, что они обитают в бассейнах различной солености. Их можно встретить на морской отмели, в лагуне, реке и пересыхающей луже. Это позволяет сопоставлять отложения различного происхождения, а зная признаки, по которым различают обитателей морских и пресноводных водоемов, можно судить и об условиях, в которых отложились данные осадки.

В последние годы внимание многих исследователей привлекают сколекодонты — ископаемые зазубренные челюсти кольчатых червей-аннелид и конодонты — мелкие, состоящие из кристаллического апатита пластинчатые образования, происхождение которых до сих пор еще недостаточно выяснено. Многие из них, по-видимому, также представляют собой челюсти хищных червей, а некоторые, вероятно, являются частями тела круглоротых позвоночных. Но несмотря на расхождения во мнениях о происхождении этих образований, конодонты наряду со сколекодонтами становятся важным подспорьем при решении вопроса о возрасте слоев, особенно в тех случаях, когда в морских или солоноватоводных отложениях, где эти окаменелости встречаются в большом числе, отсутствуют другие органические остатки.

Скалы, сложенные благородным поделочным камнем — яшмой, кремнистые сланцы и древние вулканогенные толщи открыли для микропалеонтологии еще один объект исследования. Это радиолярии, или лучевики, — микроскопические одноклеточные организмы, отличающиеся необычайной красотой своих кремневых скелетов. Изящные игольчатые, башенковидные и шарообразные скелеты радиолярий, напоминающие то филигранную восточную резьбу, то застывшие звезды снежинок, то фантастические архитектурные конструкции, можно встретить на самых разных глубинах морей. Местами, например на дне Тихого океана на глубине от 3000 до 8000 м, ил состоит на 80, а то и на 100% из скелетов погибших радиолярий.

Известно не менее 5000 различных видов радиолярий. Как выяснилось, они встречаются во всех типах морских осадков начиная с кембрия и позволяют расчленять отложения с точностью до яруса. Есть все основания предполагать, что значение радиолярий для решения геохронологических задач в дальнейшем еще более возрастет.

Все шире вовлекаются в сферу стратиграфических исследований остатки гастропод — брюхоногих моллюсков, которые до недавнего времени не играли существенной роли

в биостратиграфии палеозоя и мезозоя и ограниченно использовались лишь при расчленении кайнозойских отложений.

При изучении возраста карбонатных образований заметно возросло значение иглокожих. Оказалось, что остатки морских ежей и морских лилий могут быть с успехом использованы не только для детального подразделения толщ, сложенных известняками, но и при сопоставлении удаленных друг от друга разрезов.

Не менее перспективными могут стать загадочные группы животных — хиолиты, представляющие собой небольшие планктонные организмы, известные из кембрийских отложений, а также микроскопические хитинозои, следы существования которых сохранились в виде массивных скоплений хитиновых оболочек, напоминающих крохотные сосуды всевозможной формы. Широкое географическое распространение этих организмов и их быстрое изменение во времени придают им стратиграфическую ценность.

Неплохие стратиграфические результаты можно получить, изучая строматолиты — прикрепленные ко дну слоистые образования в форме пластов, столбиков, желваков и караваев, возникшие на мелководных участках соленых и опресненных бассейнов в результате жизнедеятельности сине-зеленых водорослей и бактерий. Строматолиты нельзя назвать окаменелостями в общепринятом смысле этого слова, поскольку кроме органических структур в их создании не меньшее участие принимали продукты химического и механического осаждения карбонатных пород. Но став достоянием палеонтологии, они также начали приносить ощутимую пользу при расчленении и сравнении геологических разрезов.

В последние десятилетия в арсенале науки об относительном возрасте Земли появился еще один метод, получивший название спорово-пыльцевого. При спорово-пыльцевом анализе исследуют ископаемые остатки пыльцы семенных растений и спор, принадлежащих древним споровым, таким как мхи, плауны, папоротники. Ветер и водные потоки разносят мириады этих частиц по поверхности Земли. Одни из них захороняются на суше, другие попадают на дно водных бассейнов. Внутренние оболочки пыльцы и спор со временем разрушаются. Зато плотные внешние их покровы превосходно сохраняются в ископаемом состоянии. Достаточно сказать, что ископаемые споры известны по меньшей мере с кембрия. Впервые примененный для уточнения истории современных лесов и торфяников спорово-пыльцевой метод занял ныне видное место в ряду исследований, позволяющих устанавливать возраст осадочных пород.

Иногда, чаще всего в морских отложениях, вместе со спорами и пыльцой растений встречаются микроскопические организмы — перидинии и акритархи. Установлено, что перидинии представляют собой ископаемые остатки динофлагеллят



(или жгутиковых) — одноклеточных существ, имеющих признаки как растений, так и животных. Что же такое акритархи — пока не вполне выяснено. Одни исследователи считают их мелкими колониальными животными, другие — яйцами ракообразных, водорослями или даже динофлагеллятами, облеченными в цисту (оболочка, которой окружают себя некоторые организмы, попадая в неблагоприятные условия). Но хотя природа этих микрофоссилий продолжает еще оставаться неясной, их обилие и широкое распространение заставили ученых взять на вооружение и эту группу, которая также помогает решать вопрос о возрасте пород и условиях их образования.

Вместе с акритархами и динофлагеллятами предметом стратиграфических исследований стали диатомовые и золотистые водоросли. Все эти четыре группы палеонтологических объектов объединяются под общим названием «нанопланктон».

В ряду новых направлений исследований растет значение палеокарпологии (от латинского «карпус» — семя) — отрасли палеонтологии, занимающейся изучением ископаемых плодов, семян и мегаспор папоротникообразных. Судя по успехам, достигнутым при определении возраста кайнозойских отложений, можно надеяться, что палеокарпологические методы окажутся полезными и для стратиграфии более древних образований.

Возникла и развивается еще одна палеонтологическая дисциплина — палеомикология, предметом изучения которой являются ископаемые грибы. Остатки грибов в неисчислимом множестве можно обнаружить в древних осадочных породах, погребенных почвах, углях, горючих сланцах и торфе. Водные грибы-паразиты поражали водоросли, чешую рыб и скелетные образования беспозвоночных. А среди наземных отложений грибы можно найти в окаменелой древесине, в янтаре, на отпечатках листьев и на костях вымерших животных. Столь широкое распространение представителей грибного царства позволяет привлекать палеомикологические данные для восстановления условий обитания организмов, а при изучении докембрийских образований — и для расчленения осадочных толщ.

В стратиграфических целях могут быть использованы не только сами остатки живых существ, но даже свидетельства их жизнедеятельности: ходы роющих и сверлящих животных, следы ползания червей и пресмыкающихся, отпечатки на мягком грунте лап позвоночных, разнообразные жилищные постройки, следы льинки и остатки физиологических отправлений древних животных. Этот класс объектов изучает палеоихнология (от греческого «ихнос» — след).

Представители того или иного вымершего вида могут встречаться в различных по своей протяженности интервалах



Таблица 2 Шкала стратиграфических подразделений фанерозойской эры

Эра	Система	Отдел	Ярус и другие подразделения
КАЙНОЗОЙСКАЯ КЗ	Четвертичная Q	Голоцен	Современное звено
		Плейстоцен	Верхнее звено
			Среднее звено
	Нижнее звено		
	Неогеновая N	Плиоцен N <sub>2</sub>	Апшеронский
			Акчагыльский
			Киммерийский
			Понтический
		Миоцен N <sub>1</sub>	Мэотический
			Сарматский
			Конкский
			Караганский
			Чокракский
Тарханский			
Палеогеновая P	Олигоцен P <sub>3</sub>	Верхний	
		Нижний	
	Эоцен P <sub>2</sub>	Альминский	
Бодракский			
Палеоэоцен P <sub>1</sub>	Палеоэоцен P <sub>1</sub>	Симферопольский	
		Бахчисарайский	
		Качинский	

Эратема	Система	Отдел	Ярус и другие подразделения	
МЕЗОЗОЙСКАЯ МЗ	Палеоцен	Р <sub>1</sub>	Инкерманский	
			Датский	
			Маастрихтский	
	Меловая К	Верхний	К <sub>2</sub>	Сенон
				Кампанский
				Сантонский
				Коньякский
				Туронский
				Сеноманский
	Юрская J	Нижний	К <sub>1</sub>	Альбский
				Аптский
				Барремский
				Неоком
Готеривский				
Валанжинский				
Юрская J	Верхний (или мальм)	J <sub>3</sub>	Берриасский	
			Титонский (или волжский)	
			Кимериджский	
			Оксфордский	
			Келловейский	
			Юрская J	Средний (или доггер)
Байосский				
Ааленский				
Юрская J	Нижний (или лейас)	J <sub>1</sub>	Тоарский	
			Плинсбахский	
			Синемюрский	

Продолжение табл. 2

Эратема	Система	Отдел	Ярус и другие подразделения
МЕЗОЗОЙСКАЯ МЗ	Триасовая Т	Нижний J <sub>1</sub>	Геттангский
		Верхний T <sub>3</sub>	Рэтский
			Норийский
	Средний T <sub>2</sub>	Карнийский	
	Нижний T <sub>1</sub>	Ладинский	
		Анизийский	
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ РЗ	Пермская Р	Верхний P <sub>2</sub>	Оленёкский
			Индский
			Татарский
		Нижний P <sub>1</sub>	Казанский
	Уфимский		
	Кунгурский		
	Каменноугольная (или карбон) С	Верхний C <sub>3</sub>	Артинский
			Сакмарский
		Средний C <sub>2</sub>	Ассельский
			Нижний C <sub>1</sub>
Девонская D		Верхний D <sub>3</sub>	Касимовский
	Московский		
		Бакширский	
		Серпуховский	
		Визейский	
		Турнейский	
		Фаменский	
		Франский	



Эратема	Система	Отдел	Ярус и другие подразделения
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ PZ	Девонская D	Средний D <sub>2</sub>	Живетский
			Эйфельский
		Нижний D <sub>1</sub>	Эмский
			Зигенский Жединский
	Силурийская S	Верхний S <sub>2</sub>	Пржидольский
			Лудловский
		Нижний S <sub>1</sub>	Венлокский
			Пландоверийский
	Ордовикская O	Верхний O <sub>3</sub>	Ашгиллский
			Карадокский
			Лландейлский
			Лланвирнский
		Средний O <sub>2</sub>	Аренигский
			Тремадокский
	Нижний O <sub>1</sub>	Аксайский	
		Сакский	
Кембрийская Є	Верхний Є <sub>3</sub>	Аюсокканский	
		Майский	
		Амгинский	
	Средний Є <sub>2</sub>	Ленский надъярус	
		Тойонский	
	Нижний Є <sub>1</sub>	Ботомский	
Алданский надъярус			
Атдабанский			
Томмотский			

разреза осадочных отложений, что косвенным образом указывает на продолжительность существования этого вида. Сравнивая закономерности распределения различных организмов во времени, удастся установить стратиграфическую ценность каждого из них и обосновать точность, с которой можно измерить продолжительность геологических событий.

Трудом многих поколений палеонтологов создается шкала относительного времени — геологический календарь фанерозоя. В несколько упрощенном виде календарь этот показан в табл. 2.

Ископаемые остатки древних растений и животных позволяют выяснить последовательность залегания земных слоев и достаточно точно сопоставить пласты, заключающие окаменелости. По ним можно судить, древнее или моложе тот или иной пласт по сравнению с другим. Остатки организмов укажут, на каком этапе истории Земли образовались изучаемые отложения, позволят соотнести их с определенной строкой геохронологической шкалы. Но если породы «немые», т. е. не содержат ископаемых организмов, этот вопрос решить невозможно. А между тем многокилометровые толщи докембрийских образований лишены окаменелостей. Стало быть, чтобы определить возраст древнейших слоев Земли, необходимы какие-то иные методы, принципиально отличающиеся от традиционных приемов, взятых на вооружение палеонтологией.

## ЛЕТОПИСЬ ДРЕВНИХ СКАЛ

### О разрушении горных пород и директоре Королевского ботанического сада

Во второй половине XVIII столетия директор Королевского ботанического сада, французский естествоиспытатель Жорж Бюффон попытался определить возраст Земли. Бюффон предполагал, что Земля первоначально была раскаленным шаром, оторвавшимся от Солнца при столкновении его с большой кометой, и поставил такой опыт. Он добела раскалял в кузнечном горне каменные пушечные ядра и записывал, за сколько времени они успевали полностью охладиться на воздухе. Земля, рассуждал Бюффон, представляет собой огромный каменный шар, и если она была некогда раскаленной, то и остывать должна во столько раз медленнее, во сколько раз она больше пушечного ядра. Расчеты Бюффона

показали, что время, необходимое для полного остывания земного шара, составило бы 75 тыс. лет.

Эта цифра, в 15 раз состарившая Землю по сравнению с традиционными библейскими представлениями, вызвала недовольство в церковных кругах. Но Жорж Луи Леклерк, граф де Бюффон — известный ботаник и зоолог, автор знаменитой 36-томной «Естественной истории» — мог не опасаться нападок духовенства. Значительно серьезнее для него была критика со стороны ученых, которые тоже не могли принять новую датировку: ведь если говорить строго, то мы и сегодня достоверно не знаем, остывает ли Земля или, наоборот, разогревается.

Смелые вычисления Бюффона стали достоянием научных архивов. И только почти столетия спустя, в 1833 г., искания возобновились.

Во французском городе Лиможе высится старинный собор, сложенный из гранитных глыб. От времени стены его стали понемногу разрушаться и к началу прошлого века покрылись тонкой рыхлой корочкой. Естествоиспытатель Антуан-Сезар Беккерель (дед знаменитого физика) измерил толщину разложившегося слоя гранита и сравнил ее с толщиной такой же корочки на скалах, откуда был взят камень для постройки собора. Зная по историческим документам, в каком году был построен собор, Беккерель вычислил скорость разрушения гранита. Если эта скорость была постоянной, то по ней можно было судить и о том, сколько лет потребовалось для образования коры выветривания на окрестных скалах, не тронутых человеком.

Простой и наглядный метод определения продолжительности разрушения скал заинтересовал геологов и заставил подумать, нельзя ли попытаться подобным образом выяснить возраст и других геологических событий. Подходящее для эксперимента место было найдено в окрестностях Женевского озера.

Еще сравнительно недавно значительная часть европейского материка была покрыта ледниками. Один из ледников, двигаясь, отполировал поверхность известняковых холмов в Савоие. Со временем ледник отступил, и под действием солнца и дождей известняк стал постепенно разрушаться или, как говорят геологи, выветриваться.

Проходили тысячелетия. Территория нынешней Савойи была захвачена римлянами. Завоеватели стали возводить крепости и устроили в известняковой горе каменоломни. За 18 столетий, минувших со времени римского нашествия, стены у входа в каменоломни успели покрыться слоем выветривания, толщина которого достигла 3 мм. Сравнив толщину этой корочки, образовавшейся за 1800 лет, с 35-сантиметровой корой выветривания, покрывающей поверхность отполированных ледником холмов, можно предположить, что



оледенение покинуло здешние края около 210 тыс. лет назад.

За этими первыми попытками определить истинный возраст геологических событий последовали более точные опыты.

В 1870 г. Фридрих Пфафф, профессор университета в Эрлангене (Швейцария), взвесил на аптекарских весах и положил на пень в своем саду две отполированные пластинки. Одна из них была изготовлена из известняка, другая из кристаллической горной породы — сиенита. Два года пролежали пластинки под открытым небом. Поверхность известняковой плитки сделалась матовой. Потускнела и сиенитовая дощечка. Тогда Пфафф снова взвесил обе пластинки и установил, что они стали легче. Вычислив, сколько каждый образец ежегодно терял в массе, исследователь рассчитал, что известняковые скалы должны разрушаться атмосферными явлениями на 1 м за 72 тыс. лет, а сиенитовые почти в 10 раз медленнее — за 731 тыс. лет.

Такие же опыты были проведены и с другими горными породами: песчаниками, гранитами, базальтами и сланцами. Определять возраст геологических событий по скорости разрушения горных пород оказалось сравнительно несложно. Применение чувствительной лабораторной техники позволило добиться значительной точности результатов, особенно в тех случаях, когда исследовались отложения последней ледниковой эпохи.

Но сторонники этого метода отдавали себе отчет в том, насколько сложно получить эталоны скорости разрушения для всего многообразия горных пород, слагающих земную кору. Даже если бы на протяжении целого столетия все геологи мира только и занимались тем, что определяли скорость выветривания пород различного состава, они все равно не смогли бы учесть громадного разнообразия пластов Земли.

К тому же в различных климатических условиях выветривание протекает с неодинаковой скоростью: одна и та же порода будет по-разному разрушаться в тропиках и в Заполярье. Быстрота выветривания зависит от температуры, влажности воздуха, количества осадков и числа солнечных дней. Значит, для каждой природной зоны нужно вычислять особые графики, составлять специальные шкалы. А можно ли быть уверенным, что климатические условия оставались неизменными с того момента, когда обнажился интересующий нас слой?

Кроме того, по интенсивности разрушения можно установить возраст лишь тех пластов, которые непосредственно выходят на земную поверхность и изо дня в день подвержены действию ветра и атмосферных осадков. Определить же возраст пород, скрытых под чехлом более молодых отложений, этим методом невозможно.

Но может быть, наблюдая за скоростью разрушения горных пород, можно попытаться решить другую задачу — установить продолжительность геологических процессов в сложных природных условиях?

На границе Соединенных Штатов Америки и Канады, между озерами Эри и Онтарио, протекает 40-километровая река Ниагара (что по-индейски значит «Гремящая вода»). Ее всемирно известный водопад, разделенный Козьим островом на два могучих потока, стал одним из первых объектов исследования. Некоторое время назад воды Ниагары обрушивались непосредственно в озеро Онтарио. Но постепенно водопад размывал ложе реки и, врезаясь в толщу осадочных отложений, медленно отодвигался по направлению к озеру Эри. Сейчас он находится на расстоянии около 11 км от устья Ниагары. Подсчитав скорость, с которой перемещается уступ водопада (в конце прошлого века она составляла немногим более 27 см в год), можно заключить, что он проделал свой путь приблизительно за 40 тыс. лет.

Результаты подобных расчетов казались достаточно убедительными. Но они давали только приблизительную оценку длительности события. Действительно, взглянув на геологическую карту бассейна Ниагары, нетрудно убедиться, что по мере своего продвижения к истокам реки водопад последовательно размывал различные породы, которые в этих местах залегают наклонно, погружаясь под дно озера Эри. Сначала размывались преимущественно песчаники, затем — сланцы, после них — известняки. Можно ли быть уверенным, что скорость размыва всегда была постоянной? Да и насколько постоянна она в наше время? Повторные измерения, проведенные в середине XX столетия, подтвердили эти сомнения. Выяснилось, что водопад стал отступать со скоростью около 1 м в год, хотя размываются те же самые известняки, что и несколько десятилетий назад. Почему это произошло? Надолго ли сохранится нынешняя скорость размыва? Не подлежит сомнению, что при подобных натуральных экспериментах надо учитывать очень многие факторы, большинство из которых, к сожалению, нам совершенно неизвестны.

Тем не менее такие эксперименты приходится проводить и в наше время, когда при почти полном отсутствии информации необходимо все-таки дать прогноз, как будут развиваться геологические события. Особенно часто такая задача встает в инженерно-геологических исследованиях: при проектировании природоохранных мероприятий, строительстве портов, водохранилищ и защитных дамб. Используя методы фотограмметрии (съемки под различными углами с нескольких точек), удается зафиксировать ничтожные изменения, происходящие с геологическими объектами на протяжении заданного отрезка времени, и высказать предположения о направлении их развития в будущем. Если же наблюдения

нельзя осуществить в естественных условиях, то создают уменьшенную модель природной обстановки в лаборатории. Выводы не всегда будут достаточно надежными, но нередко это единственно возможный путь решения задачи.

Кроме оценки возраста по выветриванию пород нужно было найти какой-то иной способ, который бы позволил не только установить момент, когда испытуемый образец был отторгнут от материнской породы или когда началось разрушение горного массива, но и определить непосредственно время образования самого пласта или складчатого сооружения. Оставив попытку узнать возраст Земли по скорости ее остывания и по продолжительности выветривания пород, естествоиспытатели вновь вернулись к проблеме абсолютной геохронологии, сформулировав вопрос иначе: наша планета, по-видимому, образовалась раньше, чем на ней зародилась жизнь; нельзя ли хотя бы приблизительно определить время, прошедшее с тех пор, когда на Земле стало возможным существование живой материи?

Эту задачу взялся решить в конце XIX века английский физик, крупнейший специалист по термодинамике Уильям Томсон (лорд Кельвин). Исходя из распространенной в то время гипотезы о первоначально раскаленной Земле, он предположил, что жизнь могла появиться только после охлаждения поверхности планеты до температуры менее  $100^{\circ}\text{C}$ . Подобно Бюффону, Томсон представил модель Земли в виде однородного раскаленного шара. Время остывания рассчитывалось им с того момента, когда шар находился в состоянии красного каления. Вычисления, выполненные на надежной математической основе, показали, что в зависимости от ряда привходящих условий однородное шарообразное тело, имеющее размеры нашей планеты, могло остыть до температуры, пригодной для существования организмов, от 24 до 100 млн. лет назад. Стало быть, Земля еще старше, но насколько?

Выяснение этого вопроса имело очень большое значение для геологии, располагавшей детальной относительной геохронологической шкалой, но совершенно лишенной возможности судить о реальной продолжительности геологических эпох и периодов.



## ПЛАСТЫ РАССКАЗЫВАЮТ

### О песочных часах, коралловых рифах, курганах Батыя, озерах и дождевых червях

Еще сравнительно недавно время измерялось при помощи песочных часов. Этот нехитрый прибор, состоящий из двух склянок, соединенных узким горлышком, был обычным предметом обихода в каждом состоятельном семействе. Ежедневно тысячи людей могли наблюдать строгую закономерность: песок, помещенный в верхнюю склянку, с неизменной скоростью сыпался струйкой на дно нижней.

На стенках песочных часов нанесены деления. Заметив, до какого уровня заполнил песок нижнюю склянку, можно сказать, сколько времени идут часы. А нельзя ли, измерив мощность пласта горной породы, узнать, за какое время он накопился? Если бы это было возможно, то тогда, измерив все пласты от самого верхнего, сегодняшнего, до самого нижнего, залегающего где-то на глубине, мы могли бы судить не только о возрасте каждого слоя в отдельности, но и о продолжительности формирования всей толщи осадочных отложений, одевшей Землю.

Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимо выяснить, с какой скоростью происходит накопление осадков на земной поверхности. Начались наблюдения. В озерах и дельтах рек, в степях и на морских отмелях исследователи измеряли толщину наносов и пытались установить время их образования. Для каждой горной породы — своя скорость накопления. Песок может накапливаться со скоростью нескольких сантиметров в год, глина наращивает свои слои на дециметр в тысячелетие. В каждой климатической зоне — своя скорость слообразования.

Физические опыты показали, насколько может уплотниться каждый тип осадка под действием тяжести перекрывающих его отложений и вследствие утраты первичной влаги. Стало быть, можно попытаться высчитать время образования даже тех слоев, которые сформировались в достаточно отдаленные эпохи и успели превратиться в плотный камень.

Чарлз Дарвин в своем труде «Образование почвенного слоя дождевыми червями» старался наметить другой путь решения проблемы. Дарвин считал, что благодаря жизнедеятельности дождевых червей толщина почвы с каждым годом увеличивается. Он определил массу земли, которая перерабатывается червями за год, и высчитал, какой слой

должен получиться, если бы почва, выброшенная червями, равномерно распределялась по всей поверхности участка. Исходя из этих расчетов Дарвин предлагал по толщине почвы определять, за какой срок она могла образоваться.

Более точные измерения провели русские почвоведы. Василий Васильевич Докучаев в работе «Русский чернозем» описывает один из первых опытов по определению возраста почвы в районе поселка Седнев близ Чернигова. Здесь издавна известны древние курганы, насыпанные свыше 600 лет назад во времена походов Батыя. Толщина почвы, покрывающей эти курганы, составляет 15, а кое-где 23 см. Между тем в окрестностях, в местах, не тронутых человеком, чернозем покрывал неокрашенную песчаную материнскую породу слоем 60—80 см, а местами 1,5 м. Если время, за которое образовался слой чернозема, пропорционально его толщине, легко высчитать, что соседний с курганом целинный чернозем мог получиться за 2400—4000 лет.

Но в почве может содержаться разное количество перегноя. При этом обычно чем больше перегноя, тем старше почва. Кроме того, содержание перегноя зависит от угла наклона местности, состава почвы, силы господствующих ветров, количества атмосферных осадков, от растительности и минеральных составляющих материнской породы. Выяснив, с какой скоростью может накапливаться перегной в различных условиях, исследователи стали вводить в каждое определение возраста почвы необходимую поправку.

Оценка возраста земных слоев по скорости разрушения или накопления геологических осадков быстро завоевала популярность и получила широкое распространение во всем мире. Исследования в этом направлении велись одновременно во многих странах, но результаты, вопреки ожиданиям, оказались неутешительными. Стало очевидным, что даже одинаковые породы в сходных природных условиях могут накапливаться и выветриваться с самой различной скоростью и установить какие-либо точные закономерности этих процессов почти невозможно.

Например, из древних письменных источников известно, что египетский фараон Рамзес II царствовал около 3 тыс. лет назад. Здания, которые были при нем возведены, сейчас погребены под трехметровой толщей песка. Значит, за тысячелетие здесь отлагался приблизительно метровый слой песчаных наносов. В некоторых же областях Европы за тысячу лет накапливается всего 3 см осадков. Зато в устьях лиманов на юге Украины такое же количество осадков отлагается ежегодно.

Или другой пример. Поначалу было установлено, что известняки накапливаются сравнительно медленно — по несколько десятков сантиметров в тысячелетие. Но в известняковом рифе на острове Парацел на полутораметровой глу-



бине были найдены испанские монеты XV века. Выходит, известняковые рифы могут нарастать на 30 см в столетие. Прошло еще немного времени и выяснилось, что некоторые кораллы, а именно кораллы-меандрины, могут надстраивать свои колонии еще быстрее — по 20 см в год.

Обработка обширных статистических сведений о скоростях осадконакопления в различных условиях показала, что если сопоставлять между собой породы только одного класса, имеющие сходное происхождение (например, морские глины с морскими глинами, озерные песчаники с озерными песчаниками и т. п.), можно все-таки получить некоторое представление о сравнительной продолжительности формирования осадков.

Математические расчеты позволили дать вполне правдоподобную оценку времени, необходимого для образования современных торфяных болот, донных осадков в лагунах, ледниковых озерах и других замкнутых водоемах. С более древними отложениями дело обстоит сложнее, поскольку при затвердевании большинство осадочных пород обычно уменьшается в объеме и измеренные мощности таких слоев всегда меньше их первоначальной толщины. Кроме того, с течением времени под действием давления вышележащих пластов и температуры земных глубин многие породы продолжают уплотняться, что еще больше затрудняет установление их первоначальной мощности. Но выяснилось также, что в ряде случаев можно ввести надлежащие поправки на степень сжатия пород и с той или иной вероятностью реконструировать исходные объемы осадков.

С учетом этих данных было подсчитано время формирования осадочных толщ от кембрия до четвертичного периода включительно. Чтобы выполнить эту работу, потребовалось составить сводный разрез верхней части земной коры по результатам геологических исследований, проведенных во многих районах мира. Это был большой, очень сложный труд. И на каждом его шаге возникали неожиданные неприятности. В разрезе некоторых районов встретились мощные вулканические образования. Продолжительность их накопления необходимо было учесть. Но где найти надежные критерии, позволяющие установить длительность вулканических процессов? Наличие таких пород приходилось игнорировать.

Или другое обычное геологическое явление — перерыв в накоплении осадков. Такие перерывы могут быть вызваны действием множества причин: отступанием моря, поднятием участков суши, изменением направления течений, местными вариациями активности водотоков. Перечень подобных факторов может быть продолжен. Учесть все эти изменения, а тем более дать их количественную оценку в масштабе геологической истории планеты попросту невозможно. Скептики



утверждали, что начатая работа заведомо обречена на полный провал.

Но поскольку в основе исследования лежала статистическая оценка данных, обилие материала позволило сгладить неравноценность исходных наблюдений и получить результаты, которые, как ни странно, не только оказались логически приемлемыми, но позволили даже дать сравнительную оценку протяженности геологических эр и периодов. Вычисленная по мощностям осадочных пород продолжительность палеозойской эры составила 15 млн. лет, мезозойской — 4 млн. лет, палеогенового и неогенового периодов, вместе взятых, — 1,5 млн. лет, четвертичного периода — 35—40 тыс. лет.

Несовершенство использованной методики не оспаривалось. Но это была реальная и действенная попытка количественно оценить абсолютную протяженность больших отрезков геологического времени. Подкупало и то, что полученная общая длительность фанерозоя (20 млн. лет) была соизмеримой с продолжительностью возможного существования холодной Земли, которую определил лорд Кельвин (этим титулом в 1892 г. наградила Великобритания своего талантливого физика У. Томсона).

Однако геологи вполне отдавали себе отчет в том, что полученная картина весьма далека от реальности и решение вопроса об истинном возрасте Земли еще не найдено. Слишком много ненадежных положений заключала в себе использованная методика. Явно преувеличенной казалась принятая на основании статистического материала быстрота накопления слоев отдельных пород, а возникающие вследствие этого погрешности едва ли компенсировались введением поправок на уплотнение пород. Не вполне ясно было также, в какой мере надстраивающие друг друга геологические разрезы разных районов отражают всю полноту истории Земли. Не подлежало сомнению лишь одно — поиски должны быть продолжены.

# СОЛЬ ОКЕАНА

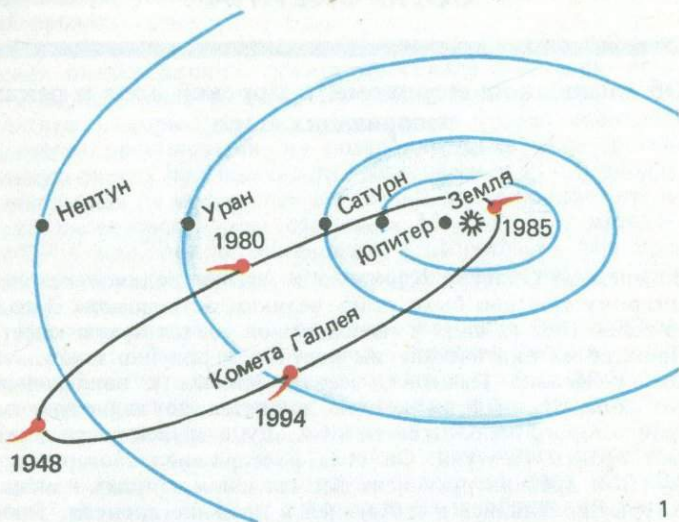
## Об английском астрономе, о морской воде и реках, засоряющих море

Во времена Оливера Кромвеля в Англии родился человек, которому суждено было стать великим астрономом. В одну из ночей 1682 г., сидя у телескопа, он увидел яркую комету. Проведя математические вычисления и получив консультацию у Исаака Ньютона, ученый пришел к заключению, что обнаруженная им комета движется по эллипсу, один край которого приближается к Солнцу, а другой почти достигает орбиты Нептуна. Он стал расспрашивать стариков и искать в древних рукописях все сведения о ярких кометах, которые появлялись над Англией в прежние времена. Таких известий было много, но особый след в памяти современников оставили две отличавшиеся своей яркостью небесные гости. Одна из них появилась в 1531 г., другая — в 1607 г., т. е. приблизительно на 152 и 76 лет раньше нынешней кометы. Обе эти кометы были достаточно хорошо изучены астрономами, и можно было без особого труда восстановить их путь на небесной сфере.

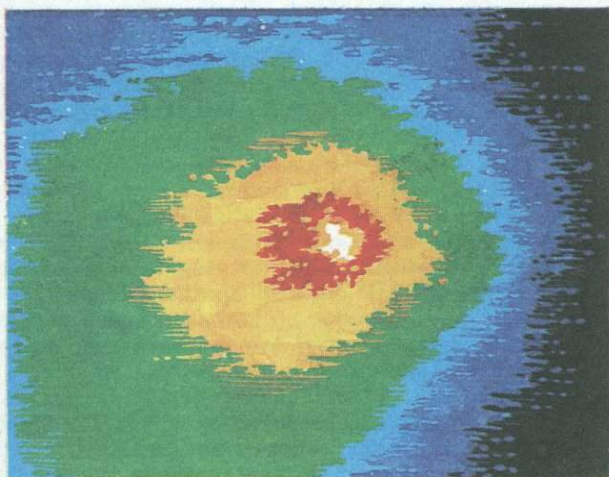
И астронома осенила догадка: не может ли быть так, что люди видели не три разные кометы, а одну и ту же, которая, совершая свой путь в просторах Вселенной, каждые 76 лет возвращается к Солнцу. Астроном не мог надеяться, что ему удастся при жизни еще раз увидеть свою комету и проверить справедливость смелого предположения. Он подробно изложил все признаки, по которым любой наблюдатель мог без затруднения узнать это замечательное небесное тело, и предсказал срок его появления.

Астроном умер через 60 лет. И спустя еще 16 лет в предсказанный им год сотни телескопов во всех уголках Европы были направлены на небо. Множество ученых с нетерпением ожидали, исполнится ли предсказание англичанина. Оно исполнилось. Все газеты мира писали о замечательной комете, и со страниц каждой из них не сходило одно и то же имя — Эдмунд Галлей.

Имя знаменитого астронома известно теперь каждому школьнику. Но значительно меньше людей знают, что этот ученый всю жизнь пытался решить вопрос: когда образовался мир? Он посвятил этой проблеме интересные исследования.



1



2

Комета Галлея: 1 — траектория кометы; 2 — один из снимков кометы, переданных со станции "Вега-1"; цвета отображают различную степень яркости объекта (самая яркая область кометы — красный цвет, несколько слабее — желтый и т.д.).



Увидев, как в пустынной местности постепенно засоляются бессточные озера и лужи, оставшиеся от продолжительных дождей, Галлей задумался: нельзя ли использовать эти наблюдения, чтобы выяснить возраст нашей планеты? Астроном предполагал, что океаны произошли от дождей, пролившихся на Землю в первые века ее существования, что дождевая вода абсолютно чистая, т. е. лишена солей. Значит, и вода первичного океана была поначалу пресной.

А между тем речные воды всегда содержат в себе то или иное количество растворенных минеральных солей. Протекая по каменному ложу, сотни тысяч рек размывают горные породы, слагающие берега, и уносят с собой частицы минеральных веществ. Поэтому какой бы пресной ни казалась речная вода на вкус, она всегда содержит соли. Каждый час, каждый месяц, из года в год несут реки свои воды в океан. Под лучами солнца поверхность океана нагревается, вода начинает испаряться. Плывут над просторами моря облака, унося сгустившийся пар. А реки продолжают поставлять в Мировой океан новые и новые порции рассола.

Если взять пробу морской воды, можно выяснить, сколько в ней содержится соли, а зная площадь океана и его глубины, можно вычислить, каково общее количество солей в его водах. С другой стороны, определив объем воды, которую поставляют в моря реки, и количество растворенных в этой воде примесей, можно судить о том, сколько соли ежегодно получает океан с суши. Зная это, мы можем вычислить, сколько времени потребовалось, чтобы реки могли принести все те соли, которые содержатся ныне в морских водах.

Казалось, вопрос решится очень просто. Галлей произвел необходимые расчеты и получил ответ: со времени образования Мирового океана прошло 10 тыс. лет.

Сегодня мы можем повторить вычисления Галлея на вполне современной основе. Объем и массу водной оболочки Земли — гидросферы — удалось подсчитать достаточно точно. Известны средняя солевая насыщенность морских вод и концентрация важнейших веществ, растворенных в водах рек. По нынешним данным в Мировом океане содержится 56 256 000 млрд. т солей. Общий годовой сток рек равен 37 тыс. км<sup>3</sup>. Если принять, что средняя соленость речной воды составляет 0,146 частей на тысячу единиц, то все реки мира должны ежегодно выносить в океан 5402 млн. т растворенных веществ. Из этого количества около 555 млн. т являются так называемыми циклическими солями, принимающими участие в постоянном кругообороте вод гидросферы и атмосферы. Эти вещества в морской воде не накапливаются, и должны быть исключены из рассмотрения. Значит, годовой привнос новых растворенных веществ в океан составляет 4847 млн. т. Остается разделить  $56\,256 \cdot 10^{12}$  на  $4847 \cdot 10^6$  и получить точную цифру — 11 606 354 года!

Таким образом, возраст океанов увеличивается более чем в тысячу раз. Но можно ли верить результатам пробных определений?

Модель Галлея не учитывала сведений о газах, растворенных в морской воде. Их присутствие может существенно влиять на степень насыщенности вод солями. Совершенно не принималось во внимание количество веществ, которые приносятся в море текучими водами в виде суспензий — взвесей мельчайших частиц горных пород; эти частицы, хотя и не полностью, тоже растворяются. За пределами рассмотрения остались также большие объемы растворенных веществ, выпадающих на поверхность океана с дождевыми осадками.

Да и можно ли утверждать, что накопление солей в океане всегда происходило с такой же скоростью, как сейчас? Не исключено, что ранее оно протекало во много раз медленнее. А каким образом учесть те огромные массы соли, которые выпадают из раствора и осаждаются на дне водоемов? Можно ли сбрасывать со счетов влияние подводных вулканических извержений, распыляющих в океане многие тысячи тонн растворимых минеральных веществ?

Через некоторое время после публикации Галлея химики и геологи постарались учесть все имевшиеся океанологические и гидрохимические материалы, а также сведения о скорости накопления океанических пород и получили более значительную оценку возраста океана — 200 млн. лет. Два столетия спустя эти расчеты были выполнены на уточненной основе, и предполагаемый возраст океана увеличился еще в полтора раза: 350 млн. лет — так оценивалась продолжительность его существования.

Но можно ли утверждать, что океан — ровесник Земли? Какие доказательства можно привести в пользу этого?

Если предположить, что Земля когда-то была полностью расплавленной, то в этом случае вода вместе с другими летучими веществами должна была бы испаряться и в газообразном состоянии накапливаться в атмосфере Земли. Будь это так, то современные океаны были бы попросту остатками древней горячей атмосферы. Но гипотезы о существовании некогда раскаленной планеты геологическими данными, по-видимому, не подтверждаются. Значит, процесс формирования гидросферы более сложный, она может быть следствием дегазации пород в недрах Земли, температурных преобразований глубинных и приповерхностных отложений, а также результатом освобождения воды при выветривании пород.

Стало быть, океаны, по-видимому, моложе земной коры и во всяком случае моложе нашей планеты.



# ТАИНСТВЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

## О соли, светящейся в темноте, о солнечном газе и дне рождения новой науки

Шли десятилетия, но ответ на интересующий ученых вопрос все не приходил. Только в самом конце XIX века были получены первые обнадеживающие данные.

В один из счастливых для науки дней 1896 г. французский физик Анри Беккерель, случайно оставив в ящике стола кусочек урановой соли и фотопластинку в кассете, обнаружил, что пластинка оказалась засвеченной какими-то неизвестными лучами. Это излучение сразу обратило на себя внимание экспериментатора и вызвало небывалый интерес в научном мире.

Десятки ученых всех стран направили свои исследования на поиски причин таинственного излучения. Неутомимые исследования повлекли за собой серию чрезвычайно важных открытий, положивших начало новому направлению в физике. В результате этих открытий удалось выделить чистый радий, узнать строение атома, изучить структуру атомного ядра и вскрыть природу загадочного явления, именуемого радиоактивным распадом.

Сегодня мы знаем, что все элементы, ядра атомов которых содержат более 81 протона, радиоактивны. Эти так называемые тяжелые элементы (каждый из них имеет несколько разновидностей — изотопов) подразделяются на три класса, или семейства: ряд урана, ряд тория и ряд актиния.

Свойством радиоактивности обладают также некоторые изотопы и более легких элементов. Общее число известных ныне естественных радиоактивных изотопов достигает 60. Жизнь большинства из них весьма коротка, и наблюдать их мы можем лишь потому, что они непрерывно рождаются при ядерных реакциях или в результате разложения других радиоактивных элементов.

Все радиоактивные вещества обладают способностью распадаться, превращаясь в другие — дочерние — химические элементы. При этом скорость распада постоянна и не зависит от каких бы то ни было внешних воздействий. Атомы урана и тория, разрушаясь, превращаются в металл свинец и инертный газ гелий. Гелий может частично улетучиваться, свинец же, напротив, постепенно накапливается в минералах и горных породах. Время, за которое материнский элемент успевает наполовину превратиться в дочерний, называется периодом полураспада.



Радиоактивный распад непрерывно происходит во всей земной коре и во внутренних областях Земли. Стало быть, зная скорость распада урана и тория и количество накопившегося в минерале свинца, можно вычислить время образования этого минерала.

Изучение возраста Земли на основании выявления закономерностей радиоактивного распада началось еще в первые годы нынешнего века. Удалось установить, что гелий, впервые обнаруженный на Солнце и получивший свое название по имени древнегреческого бога этого светила Гелиоса, встречается на Земле достаточно часто, причем родителями его всегда являются радиоактивные элементы уран и торий. Первые опыты определения возраста минералов по этим элементам провел великий английский физик Эрнест Резерфорд.

Последующие работы зарубежных и советских ученых принесли много ценных сведений о законах радиоактивного распада и заложили основы приближенного исчисления геологического возраста Земли в абсолютных единицах времени.

Новые горизонты открыло перед естествоиспытателями знание процессов радиоактивности. Это позволило рассматривать кристаллы минералов в качестве природных хронометров, отсчитывающих ход геологического времени. В различных районах Земли были вновь изучены разрезы земной коры, возраст которых был установлен ранее по шкале относительной геохронологии. Полученные данные показали, что возраст горных пород, определенный «абсолютным» методом, в общих чертах совпадает с последовательностью, которую давала для этих пластов традиционная геология. Стрелка уранового хронометра достаточно определенно указывала очередность напластований: одни отложения оказались более древними, другие — более молодыми, как и предполагали раньше геологи.

Представилась возможность проверить некоторые старые предположения о происхождении и развитии нашей планеты. Процессы радиоактивного распада приводят к выделению тепловой энергии, которая постоянно поступает из недр к поверхности Земли. Этот факт заставил отвергнуть гипотезу об однонаправленном остывании земного шара. Пришлось отказаться и от космогонических моделей, подобных тем, которые были взяты в основу геохронологических определений Бюффоном и Томсоном.

Полученные физиками новые сведения сразу «удлинили» земную историю сначала до 200 млн. лет, а вскоре и до 2 млрд. лет. Учение об абсолютном возрасте Земли обретало силу.

# ВЕЧНЫЕ ЧАСЫ

## О появлении новых элементов и о нескольких способах определения возраста земных слоев

Специалистам, занимающимся установлением возраста древних отложений, пришлось иметь дело с огромным разнообразием горных пород. Одни породы являются первичными продуктами земных недр, другие возникли в результате их разрушения и изменения.

При процессах выветривания образуются глины, пески и галечники; в водных бассейнах происходит химическое осаждение солей; в итоге жизнедеятельности организмов могут формироваться известняки, кремнистые породы и залежи каменного угля. Все эти породы называются осадочными.

Расплавленная магма, внедряясь из глубин Земли в толщу земной коры и застывая в ней, дает породы, получившие название интрузивных (граниты, сиениты, габбро и др.). Если же магме удастся достигнуть земной поверхности, образуются вулканогенные породы: эффузивы (застывшие потоки лавы) и туфы (вулканический пепел и продукты его переработки). Интрузивные и эффузивные породы называют магматическими.

Под действием давления, высокой температуры и химически активных веществ магматические и осадочные образования могут совершенно изменить свой облик и перейти в перекристаллизованное состояние. Таковы, например, гнейсы, кристаллические сланцы, мраморы. Эти породы названы метаморфическими.

Каждому типу пород присущ своеобразный комплекс минералов. Различно происхождение этих минералов, различна их история. Химические компоненты, входящие в состав вещества минералов, ведут себя по-разному. Поэтому, ставя перед собой задачу определить возраст горной породы, необходимо тщательно изучить ее происхождение и выбрать из арсенала научных методов те, которые могли бы обеспечить наибольшую достоверность ожидаемых результатов.

Как известно, радиоактивность может проявляться в двух основных формах, получивших название альфа ( $\alpha$ )- и бета ( $\beta$ )-распада. При альфа-распаде ядро радиоактивного элемента испускает альфа-частицу — ядро атома гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов, и один квант гамма-излучения. При бета-распаде ядро излучает бета-частицу, которая представляет собой электрон, и нейтрино. Оба вида



распада сопровождаются нагреванием окружающего вещества. Кроме того, ядро может иногда захватывать электрон с ближайшей электронной оболочки, излучая при этом нейтрино. На изучении этих процессов и построены главнейшие методы абсолютной геохронологии.

Одним из первых способов определения абсолютного возраста был уже упоминавшийся свинцово-изотопный метод, основанный на изучении процессов распада изотопов уран-238, уран-235 и торий-232. По соотношению этих элементов и изотопов свинца, образующихся в результате их радиоактивного распада, удается с высокой точностью установить время появления горной породы.

Однако урановые и ториевые минералы недостаточно стойкие, легко разрушаются и, кроме того, не так уж часто встречаются в природе. Это поначалу накладывало существенные ограничения на использование свинцового метода. Но поскольку содержание урана и тория в горных породах не оставалось постоянным в ходе геологической истории, изменения эти неизбежно должны были отразиться и на соотношении продуктов их распада. Следовательно, совершенно необязательно, чтобы в минералах непременно присутствовали уран и торий. Достаточно, если нам будет известен, например, изотопный состав содержащегося в минерале свинца.

Природный свинец представляет собой смесь четырех изотопов, из которых три (свинец-206, -207, -208) являются продуктами радиоактивного распада. Анализы показывают, что в образующихся ныне слоях эти изотопы содержатся в отношении

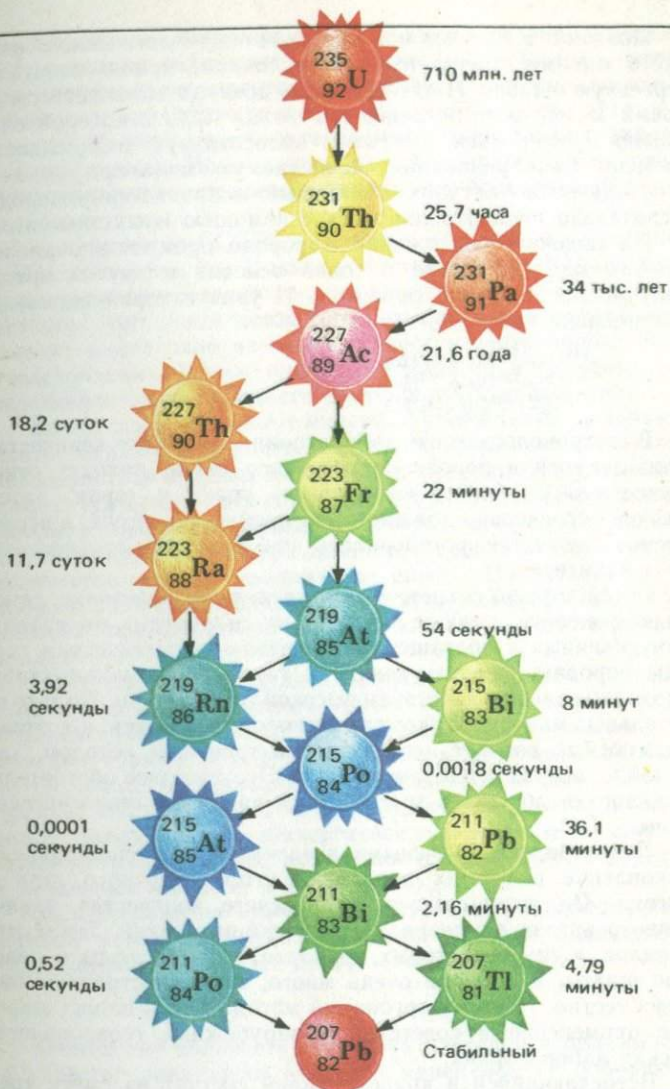
$$^{204}\text{Pb}:^{206}\text{Pb}:^{207}\text{Pb}:^{208}\text{Pb}=1:19,04:15,69:39,00.$$

В отложениях минувших эпох это соотношение изменяется: чем древнее горная порода, тем меньше в ней радиогенных изотопов свинца.

По известной нам скорости распада материнских элементов нетрудно вычислить, какое количество каждого изотопа должно присутствовать в породах того или иного возраста. Если же установить, в каком соотношении пребывают изотопы свинца в интересующем нас минерале, можно решить и обратную задачу: по количеству изотопов установить время образования породы.

Свинец неплохо исполняет роль «метрического свидетельства» горных пород, особенно в тех случаях, когда приходится иметь дело с большими залежами, насыщенными этим элементом. Но распространен свинец в земной коре неравномерно. При сравнении результатов многочисленных анализов было замечено, что в одних местах количество свинца по отношению к урану и торию явно занижено, а в других — чрезмерно завышено.

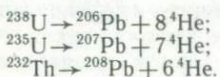




Радиоактивное семейство урана-235. Для каждого изотопа приведен период полураспада.

Поэтому, пользуясь при определении геологического возраста одними только изотопами свинца, можно впасть в серьезную ошибку. Лишь для очень древних отложений свинцовый метод дает погрешность около 10%, с которой еще можно примириться, учитывая колоссальную отдаленность времени их образования, исчисляемую миллиардами лет. В остальных же случаях «свинцовый» возраст горной породы желательно проконтролировать с помощью иных элементов.

На подсчете содержания в породе продуктов радиоактивного распада урана и тория основан и другой метод, получивший название гелиевого. И уран и торий выделяют при распаде гелий:



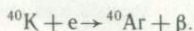
В геохронологической лаборатории определяют количество сохранившегося в породе радиогенного гелия, находят отношение его к общему содержанию урана и тория. Затем вычисляют, сколько должно было пройти лет, чтобы в исследуемом веществе установилось наблюдаемое соотношение этих элементов.

Гелий хорошо сохраняется в магнитном железняке, самородном железе, а также в некоторых силикатных минералах, приуроченных к обогащенным железом магматическим горным породам. Удалить гелий из таких пород можно лишь продолжительным действием высокой температуры. Но зато из остальных минералов этот газ легко улетучивается, и поэтому абсолютный возраст, определенный гелиевым методом, как правило, оказывается заниженным. Это досадное обстоятельство заставило искать другие, более надежные геологические часы.

Ленинградскими учеными внедрен метод, использующий накопление в горных породах другого инертного газа — аргона. Он основывается на подсчете количества радиогенного аргона в минералах, содержащих калий. Таких минералов, к группе которых принадлежат все слюды и полевые шпаты, в природе очень много, и распространены они повсеместно. Поэтому аргоновый метод быстро нашел широкое применение в советских и зарубежных геохронологических лабораториях.

Встречающийся в природе калий состоит из смеси трех изотопов: калия-39, -40 и -41. Радиоактивен только калий-40, на долю которого приходится чуть больше 0,0001 общего количества элемента.

При радиоактивном распаде калия выделению свободных электронов (бета-распаду) сопутствует обратный процесс — поглощение электронов атомным ядром:



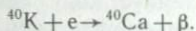
Это явление, известное под названием электронного захвата, несколько усложняет общую картину. Поэтому, чтобы определить возраст аргоновым методом, необходимо не только вычислить наблюдаемое в минерале соотношение аргона-40 и калия-40, но и учесть интенсивность электронного захвата и бета-распада. Но и в этом случае сохраняется основная закономерность: чем древнее порода, тем больше в ней радиогенного аргона.

На территории СССР — в Сибири, на Кавказе, на Украине, в Средней Азии, на Дальнем Востоке — и в Канаде были проведены определения геологического возраста аргоновым методом. Аргоновый метод (его называют также калий-аргоновым) занял одно из ведущих мест в геохронологических исследованиях. И чем шире внедрялся он в практику, тем отчетливее проявлялись его достоинства и недостатки.

Выяснилось, что многие минералы удерживают аргон очень плохо. Недолго сохраняется он в так называемых «неустойчивых частях» полевых шпатов. Значит, если мы будем иметь дело с гранитом, состоящим из кварца, полевого шпата и слюды, и определим абсолютный возраст этой породы по слюде, то полученная цифра окажется заведомо больше, чем количество лет, исчисленное по шпату. Во избежание подобного разнобоя необходима сложная предварительная обработка полевого шпата с помощью раствора азотнокислого таллия.

Не лучше обстоит дело и с другим минералом — сильвином, очень широко используемым при геохронологических определениях. Недавно стало известно, что при перекристаллизации горных пород, а также под действием давления аргон легко улетучивается из сильвина. Стало быть, на древних отложениях, которые на протяжении истории Земли могли неоднократно подвергаться нагреванию и сжатию, калий-аргоновый метод может «не сработать» или привести к серьезным ошибкам в определении.

Для устранения этого недостатка был разработан кальциевый метод. Радиогенный изотоп кальция (кальций-40) образуется в результате бета-распада калия-40:



Отношение количеств этих двух изотопов и принимается в качестве показателя возраста минералов (с поправками на скорость электронного захвата и бета-распада калия). Опыты, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском геологическом институте им. А. П. Карпинского, показали, что кальциевый метод может иногда с успехом применяться даже в том случае, когда порода, содержащая сильвин, испытала перекристаллизацию.

В последнее время геохронологическая датировка слюд и древних магматических и метаморфических пород нередко



осуществляется с помощью рубидий-стронциевого метода. Он основан на превращении рубидия-87 в стронций-87:



Самостоятельных минералов рубидий не образует, но он настолько часто сопутствует калию, что большинство калиевых минералов можно считать пригодными для определения возраста этим методом. Необходимо лишь быть уверенным, что горная порода содержит стронций только радиогенного происхождения.

Существует еще один геохронологический метод, который использует превращение рения-187 в осмий-187. Правда, рений довольно редко встречается в земной коре. Но значительные его количества приурочены к минералу молибдениту, который часто находят в кварцевых жилах и кристаллических гранитоидных породах. Знать возраст этих пород чрезвычайно важно для выяснения многих вопросов рудообразования.

## ШКАЛА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА

### **О небесных странниках и о том, что известно сегодня о возрасте Земли**

Едва ли вызывает сомнение, что наша планета вне зависимости от условий рождения должна быть во всяком случае старше любых горных пород, входящих в состав ее наружной каменной оболочки. Если это так, то чтобы приблизиться к истинному значению абсолютного возраста Земли, необходимо прежде всего установить время образования наиболее древних пород, слагающих земную кору.

Такие породы обычно залегают на значительной глубине, скрываясь под мощным слоем более поздних наносов. Но есть несколько областей, где подобные древнейшие образования выходят на земную поверхность. Эти участки называются докембрийскими щитами. В Европе, например, известны два щита: Балтийский и Украинский. Балтийский расположен на территории Карелии, Финляндии и Скандинавии; Украинский — на юго-западе нашей страны, в бассейне рек, несущих воды в северную часть Черного моря. По крайней мере шесть щитов открыто в Азии: Анабарский, Алданский, Индийский, Аравийский, Северо-Китайский и Ки-

тайско-Вьетнамский. Имеются такие щиты и на других континентах.

Возраст древнейших образований пытались определять различными методами. Анализу были подвергнуты тысячи образцов горных пород из многих областей земного шара. Исследователи брали в качестве исходного материала разнообразные минералы, изучали содержание радиоактивных изотопов в десятках разновидностей пород. И результаты получались самые разные.

Собрав воедино все сведения, накопленные за несколько десятилетий, можно с достаточной уверенностью утверждать, что возраст древнейших пород литосферы превышает 3,7 млрд. лет и, по-видимому, может достигать 4 млрд. лет. Такие отложения были обнаружены в Антарктиде, Африке, Канаде, Гренландии и в нашей стране — на территории Украинского и Алданского щитов, Охотского массива и Енисейского кряжа. Но к тому времени, когда возникли эти породы, Земля уже наверняка существовала. Стало быть, образование планеты произошло не позже 4 млрд. лет назад.

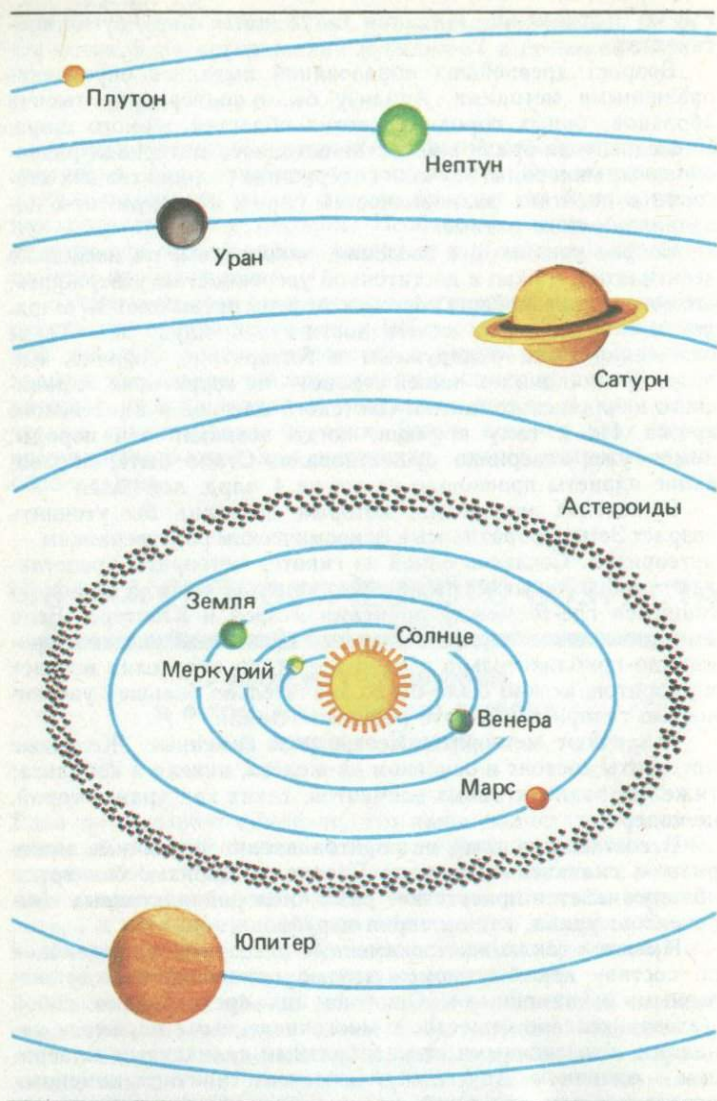
В поисках материала, который позволил бы уточнить возраст Земли, обратились к ее космическим родственникам — метеоритам. Согласно одной из гипотез метеориты представляют собой остатки погибшей планеты, некогда располагавшейся где-то между орбитами Марса и Юпитера. Если допустить, что образование планет Солнечной системы произошло приблизительно в одно время, то, определив возраст метеоритов, можно было бы со значительно большей уверенностью говорить и о дате рождения Земли.

Различают метеориты железные и каменные. Железные метеориты состоят в основном из железа, никеля и кобальта; тяжелых радиоактивных элементов, таких как уран и торий, не содержат.

В состав каменных метеоритов входят различные минералы и силикатные породы. В этих метеоритах без труда обнаруживается присутствие различных радиоактивных компонентов: урана, калия, тория и рубидия.

Имеются также железокремнистые метеориты, занимающие по составу как бы промежуточное положение между железными и каменными. Одни из них представляют собой железоникелевое вещество с многочисленными порами и каналами, заполненными стеклообразным силикатным минералом — оливином. Другие отличаются от типичных каменных метеоритов тем, что в них есть крупные вкрапления железа.

Возраст метеоритов был определен теми же способами, которые используются при изучении древних пород Земли. Свинцовый, калий-аргоновый, рубидий-стронциевый и рений-осмиевый методы контролировали и дополняли друг друга. И когда накопилось достаточное количество результатов, советские и американские исследователи, занимавшиеся изу-



Солнечная система. Пояс астероидов отделяет планеты земной группы от планет группы Юпитера.



чением метеоритов, пришли независимо друг от друга к сходным выводам.

Оказалось, что половина всех изученных каменных метеоритов имеет возраст от 3,6 до 4,6 млрд. лет; остальные результаты составили ряд более молодых значений возраста. Это вполне объяснимо, если считать, что каменные небесные пришельцы являются обломками литосферы погибшей планеты.

Железные метеориты в среднем значительно древнее каменных. Так и должно быть, если они представляют вещество внутренних оболочек былого небесного тела. Обычные значения их возраста, скорректированные по данным различных геохронологических методов, расположились в интервале между 4 и 5 млрд. лет.

Конечно, возраст метеоритов не является непосредственным свидетельством времени образования Земли. Но, во всяком случае, геохронологи могли теперь утверждать, что продолжительность существования Солнечной системы составляет около 5 млрд. лет. Дополнительную информацию принесло изучение пород, взятых с поверхности Луны. Минимум 4,4 млрд. лет — таким оказался возраст лунного грунта.

Можно предполагать, что планеты Солнечной системы и их спутники возникли почти одновременно. Но для того чтобы превратиться в горную породу, вещество должно было пройти значительный путь эволюционного развития. Значит, Земля, родившаяся из первичного космического вещества, еще старше.

Одни исследователи считают, что земная кора сформировалась в результате дифференциации первичного вещества, вызванной радиоактивным разогреванием юной планеты. Если это так, то для установления времени образования Земли нужно прибавить к возрасту древнейших пород время, необходимое для такого разогрева. Как показывают расчеты, для того чтобы в результате радиоактивного распада выделилось соответствующее количество теплоты, требуется 1—2 млрд. лет.

Согласно другой точке зрения, земная кора могла возникнуть сразу после образования планеты. Тогда изотопы, по которым оценивается абсолютный возраст, должны были поступать из ее внутренних оболочек. В этом случае для выяснения возраста Земли необходимо вычислить время, когда свинец земной коры еще не был «засорен» изотопами, появившимися в результате распада радиоактивного урана. Расчеты показывают, что такой свинец мог существовать 4,5±0,5 млрд. лет назад.

Можно подойти к оценке возраста Земли и по-иному. Такие элементы, как уран и торий, едва ли могли возникнуть на Земле заново. Для рождения этих элементов необ-

ходимы принципиально иные условия, которых в обстановке нашей планеты, по-видимому, не было. Следовательно, Земля унаследовала тяжелые радиоактивные элементы от той или иной прародительской среды. Скорость, с которой протекает распад этих элементов, нам известна. Известно и количество сохранившихся ныне радиогенных элементов. Значит, можно вычислить время, когда материнские изотопы существовали в оболочках Земли в чистом виде. Если исходить из допущения, что изотопы свинец-206 и -207 в земной коре и в метеоритах имеют одинаковое происхождение и образовались исключительно за счет радиоактивного распада урана, общий возраст Земли (в пересчете на современные константы распада изотопов урана) может быть приблизительно оценен в 5,3—5,4 млрд. лет.

По-видимому, Земля не могла образоваться раньше этого времени, которое впервые вычислил в 1937 г. советский ученый Иосиф Евсеевич Старик. Но часть изотопов свинца, присутствующих в земной коре, по всей вероятности, имеет досолнечное происхождение и была унаследована Землей от протопланетного облака. Значит, возраст Земли должен быть несколько меньше.

В 1961 г. американский исследователь Уильям Фаулер и английский математик Фред Хойл, проанализировав данные астрофизики и ядерной физики, пришли к выводу, что последний космический ядерный синтез, повлиявший на состав протосолнечного вещества, мог произойти  $4,7 \pm 0,1$  млрд. лет назад. С определенной условностью этот момент и принимается ныне как предполагаемое время образования Земли.

Параллельно с изучением планетарных закономерностей, определяющих хронологическую последовательность космических событий в ходе формирования Земли, активно проводятся исследования по геохронометрии отложений, слагающих земную кору. Однако определения абсолютного возраста, несмотря на их важное значение, долгое время существовали как бы сами по себе, не будучи четко привязанными к делениям шкалы относительной геохронологии, являющейся фундаментом большинства геологических построений. И хотя с первых же шагов своего развития абсолютная геохронология совершенствовалась и непрерывно повышала точность определений возраста, ее выводы не могли быть использованы геологами в должной мере, и стратиграфия (учение о последовательности земных отложений) продолжала держать эту молодую науку на положении падчерицы.

Увязать цифры абсолютного возраста с данными относительной геохронологии оказалось делом нелегким. Для этого потребовалось несколько десятилетий. И только в 1947 г. английский исследователь Артур Холмс опубликовал первую общую шкалу геологического возраста.



Для того чтобы создать свою шкалу, Холмс взял за основу пять образцов горных пород, геологическое положение которых было достоверно известно и могло быть соотнесено с определенными подразделениями таблицы относительной геохронологии. Установив абсолютный возраст этих отложений, он получил «остов» шкалы абсолютного летоисчисления.

Чтобы восполнить оставшиеся весьма значительные пробелы в сведениях о возрасте остальных периодов, Холмс предположил, что время, необходимое для образования тех или иных отложений, пропорционально их мощности. Чем больше осадков отложилось на протяжении геологического периода, тем дольше он длился. Холмс выбрал наибольшие значения мощностей для каждой геологической системы и распределил временные интервалы по периодам в соответствии с этими величинами.

Так был создан своеобразный календарь, в котором рядом с общепринятыми названиями эр и периодов земной истории были указаны возраст отложений и протяженность каждого отрезка времени, выраженные в единицах абсолютного летоисчисления — в годах. Новая шкала необыкновенно быстро получила признание геологов всего мира.

Однако не прошло и десяти лет со дня опубликования работы Холмса, как стало совершенно очевидно, что существующие представления о протяженности геологических периодов должны быть пересмотрены. С учетом новых данных был внесен ряд уточнений и создана геохронологическая шкала, которая существенно отличалась от первоначальной схемы Холмса. Во всем мире ведутся сейчас исследования по определению абсолютного возраста геологических формаций.

Современная геохронологическая шкала охватывает в основном последний этап земной истории, состоящий из трех эр: палеозойской, мезозойской и кайнозойской. Существует несколько вариантов шкал, предложенных различными авторами или коллективами исследователей. Оценка возраста отдельных стратиграфических границ в этих шкалах не всегда совпадает. Наиболее существенными являются расхождения в определении возраста нижней границы кембрия, который устанавливается в пределах 560—600 млн. лет, границы кембрия и ордовика — от 480 до 515 млн. лет, а также нижнего и верхнего рубежей карбона — соответственно 320—370 и 270—300 млн. лет.

В этой главе помещена геохронологическая шкала фанерозоя (табл. 3), наиболее часто используемая в нашей стране. Она базируется на обобщении оценок абсолютного возраста, предложенных в середине 70-х годов Георгием Дмитриевичем Афанасьевым и Сергеем Ивановичем Зыковым.



Таблица 3 Геохронологическая шкала фанерозоя

Эра	Период	Начало периода, млн. лет назад	Длительность периода, млн. лет	Длительность эры, млн. лет
КАЙНОЗОЙСКАЯ	Четвертичный (антропогенный)	2	2	65
	Неогеновый	25 ± 2	23	
	Палеогеновый	66 ± 3	41	
МЕЗОЗОЙСКАЯ	Меловой	132 ± 5	66	169
	Юрский	185 ± 5	53	
	Триасовый	235 ± 10	50	
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ	Пермский	280 ± 10	45	335
	Каменноугольный	345 ± 10	65	
	Девонский	400 ± 10	55	
	Силурийский	435 ± 10	35	
	Ордовикский	490 ± 15	55	
	Кембрийский	570 ± 20	80	

Исследования более поздних лет принесли много новых точных измерений абсолютного возраста. Но увязка их со шкалой относительного летосчисления далеко не всегда бывает достаточно надежной. И самая большая сложность заключается в том, чтобы найти такие районы, где есть породы и минералы, позволяющие «отцифровать» время фор-

мирования слоев, образовавшихся на границах геологических периодов, эпох и веков.

В 1982 г. группа английских и американских ученых: У. Б. Харленд, А. В. Кокс, П. Дж. Ллевеллин, К. А. Дж. Пиктон, А. Дж. Смит и Р. Уолтерс — завершила специальное исследование, целью которого было уточнение возрастной датировки границ стратиграфических подразделений. Опубликованные ими оценки возраста получены в результате измерений, выполненных с использованием высокоточной лабораторной техники. Но палеонтологическое обоснование некоторых стратиграфических уровней, для которых даны эти абсолютные датировки, не всегда можно признать бесспорным. Потребуется еще немало времени, чтобы разрешить все дискуссионные вопросы.

Тем не менее совершенно ясно, что для отложений, принадлежащих фанерозойской эонотеке, уже создан подробный календарь абсолютного возраста, отвечающий основным задачам сегодняшних геологических исследований.

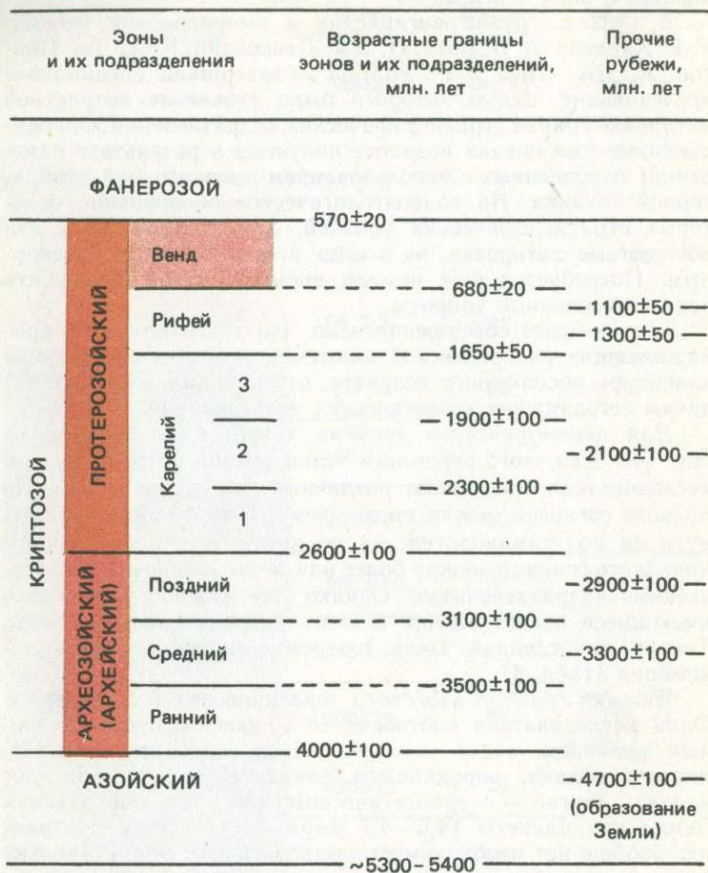
Для докембрийского времени такой детальной шкалы еще нет. Для этого огромного этапа земной истории разные исследователи предлагают различные возрастные схемы. Но полного согласия между этими схемами пока еще не достигнуто ни по терминологии, ни по критериям, позволяющим проводить границы между более или менее дробными геологическими подразделениями. Однако уже можно суммировать имеющиеся представления в виде генерализованной схемы. Такова приведенная здесь геохронологическая шкала докембрия (табл. 4).

Нижняя граница азойского эона проводится по-разному. Одни исследователи соотносят ее с максимально отдаленным временем, когда могло начаться сгущение протопланетного облака, породившего Землю (5,3—5,4 млрд. лет назад); другие — с гипотетическим моментом образования Земли как планеты (4,5—4,7 млрд. лет); третьи считают, что вообще нет необходимости выделять этот эон, поскольку важнейшие события, произошедшие на его протяжении, являются «догеологическими». Некоторые зарубежные ученые предлагают для этого эона не очень удачное название — «прискойский» (от латинского слова «прискус» — древнейший, изначальный, патриархальный).

Но так или иначе, азойский эон — это вполне реальный этап истории Солнечной системы, завершившийся консолидацией космического вещества в планетное тело, которое на первой стадии своего существования, по-видимому, было лишено органической жизни.

Установление следующего — архейского, или археозойского, — эона признается всеми учеными. Нижняя его граница может быть условно проведена на уровне 4,0 млрд. лет, поскольку выше этого рубежа появляются сильно метаморфи-

Таблица 4 Геохронологическая шкала докембрия



зованные породы, содержащие соединения углерода, что может свидетельствовать о первых проявлениях органической жизни. В пределах археозоя фиксируются две наиболее существенные границы — 3500 и 3100 млн. лет, разделяющие ранне-, средне- и позднеархеозойские отложения.

Надо отметить, что термин «археозойский» был предложен раньше, чем «архейский», и согласно правилам стратиграфической номенклатуры имеет преимущество приоритета. Но наименование «архей» прочно укоренилось в геологической литературе для обозначения соответствующей эоно-



темы и потому может быть сохранено в качестве равноправного синонима.

Верхняя граница архея, согласно рекомендации Межведомственного стратиграфического комитета СССР, принимается на уровне 2600 млн. лет. Вслед за тем начинается протерозойский эон. Входящие в его состав карелий, рифей и венд разделяются возрастными рубежами 1650 и 680 млн. лет. Кроме того, внутри карелия устанавливаются более дробные подразделения, границы между которыми отвечают 2300 и 1900 млн. лет.

Помимо этих стратиграфических единиц, признаваемых геологами большинства стран, в докембрийских отложениях фиксируются границы на уровнях 3300, 2900, 2100, 1300, 1100 млн. лет и некоторые другие, геологическое значение которых не имеет пока однозначного истолкования.

## **В СТЕНАХ ЛАБОРАТОРИИ**

### **О трассерах, пламенных фотометрах и терпении**

Несмотря на простоту принципа оценки абсолютного возраста горных пород, сама процедура определения весьма сложна и требует не только тщательного отбора образцов, подлежащих анализу, но и использования высокоточной техники. Радиологические методы чрезвычайно чувствительны ко всевозможным изменениям минералов и горных пород, происходящим в результате различных процессов, протекающих в земной коре и даже за ее пределами. Поэтому первым залогом того, что полученное в лаборатории значение возраста горной породы будет соответствовать истине, является прежде всего правильный отбор каменного материала.

Пробы для анализа обязательно должны быть взяты с таким расчетом, чтобы результаты могли дополнить друг друга или позволили осуществить взаимную проверку. Поэтому наиболее подходящие участки для взятия проб следует выбирать заранее с учетом всех известных геологических сведений о районе.

Каждый взятый образец должен быть пронумерован и снабжен этикеткой, в которой указываются: фамилия геолога, организация, год сбора, район, конкретное место, где был взят образец, положение точки отбора пробы в геологическом разрезе, название горной породы или минерала, подлежащих анализу. Если в тех слоях, откуда взяты образцы, известны находки ископаемых остатков животных или растений, то к образцу должно быть приложено также палеонто-

логическое обоснование его возраста. Кроме того, к направляемому в геохронологическую лабораторию материалу прилагается выкопировка с геологической карты, на которой точно отмечаются положение образца на местности и взаимоотношение исследуемых слоев с более древними и более молодыми отложениями.

Небольшие кусочки породы, отколотые от образца, предназначенного для анализа, обрабатываются на шлифовальном станке до тех пор, пока они не превратятся в тонкие прозрачные лепестки. Такой лепесток — его называют шлиф — наклеивается на стекло и подробно изучается под микроскопом. В результате этого изучения уточняется название горной породы, выявляются особенности ее внутреннего строения и устанавливается степень сохранности минералов, содержащих радиогенные элементы. Изготовленные шлифы также направляются в лабораторию, они могут пригодиться при интерпретации результатов анализа.

Следующий вопрос, который встает перед геологом при отборе пробы, заключается в том, какие минералы и породы и в каком количестве должны быть посланы на анализ. Если предполагается использовать аргоновый метод, геолог обычно останавливает свой выбор на слюде, амфиболе или некоторых других минералах (об одном из них пойдет речь позже). Стронциевый метод требует отбирать минералы, содержащие рубидий, т. е. калиевый полевой шпат или слюду. А свинцовый метод хорошо «работает», если в распоряжение аналитиков будут предоставлены урановые, ториевые или так называемые акцессорные минералы (например, ортит, монацит, циркон).

Количество минералов, необходимое для установления абсолютного возраста, зависит от технической оснащенности лаборатории, метода определения и относительного возраста вмещающих пород. Чем древнее отложения, с которыми имеет дело геолог, тем меньше требуется вещества для оценки их возраста. В этом нетрудно убедиться, взглянув на приведенную здесь табл. 5, которую составила известный советский геохронолог Наталия Иосифовна Полевая. При наличии хорошей техники эти количества могут быть уменьшены.

Но очень часто минералы, содержащие радиоактивные изотопы, бывают изменены в результате различных геологических и геохимических процессов. Вследствие этих воздействий радиоактивные элементы и продукты их распада могут быть частично или полностью утрачены горной породой. Поэтому для геохронологических исследований необходимо всегда выбирать «свежие», нетронутые выветриванием или деформациями образцы минералов и пород.

Большие кристаллы слюды иногда можно собрать прямо на естественных обнажениях. Их расщепляют на тонкие листочки и нарезают мелкими ломтиками от 3 до 5 мм. Затем их тщательно перемешивают и разделяют на две части: одну используют для определения аргона, другую после тонкого измельчения — для определения калия.

Но в большинстве магматических, метаморфических и осадочных пород слюды содержится сравнительно немного — от 1 до 10%, и встречается она обычно в виде мельчайших чешуек. В подобных случаях на обнажении берут большую пробу горной породы — до 25 кг. В лаборатории породу дробят до тех пор, пока обломки по размерам не станут равными средним кристаллам слюды (обычно чуть меньше 0,5 мм). Эту измельченную смесь просеивают, провенывают, подвергают обработке тяжелыми жидкостями и воздействию



Таблица 5 Минимальное количество минералов (г), необходимое для установления абсолютного возраста

Приблизительный геологический возраст (по шкале относительного летосчисления)	Аргонный метод		Стронциевый метод	Свинцовый метод	
	Слюда	Амфибол	Калиевый полевой шпат	Аксессорные минералы	Урановые или ториевые минералы
Палеоген — неоген	60—70			4,0—6,0	2,0
Юра — мел	40—50			4,0	1,5
Пермь — триас	30—40	80	5	4,0	1,0
Девон — карбон	20—25	50—60	5	3,0	1,0
Кембрий — силур	15—20	40—50	5	3,0	1,0
Протерозой	8—10	30—40	3—5	2,0	1,0
Архей — протерозой	5	20	3	2,0	0,75

электромагнита, пока не отделится от всех примесей чистая слюда. Таким же способом освобождают из породы амфиболы и полевые шпаты.

Для того чтобы извлечь из породы аксесорные минералы, а также минералы урана, тория, титана и редких земель, бывает, что небольших проб (до нескольких килограммов) оказывается недостаточно. Иногда приходится брать пробы до полутонны. Конечно, не может быть и речи, чтобы вывезти подобную пробу из удаленного района. Поэтому породу, предназначенную для определения абсолютного возраста, дробят на месте и промывают на лотке, пока не останется от массивной глыбы горка тонкого порошка — шлик. Этот порошок и направляют в лабораторию.

Кроме уже упоминавшегося свинцово-изотопного метода существует его вариант, называемый свинцово-изохронным методом. Им можно воспользоваться для оценки возраста не по отдельным минералам, а по всей породе в целом или, как говорят, по валовой пробе породы. Так устанавливают время образования известняков и многих метаморфических пород, например железистых кварцитов. В этом случае для анализа необходимо взять серию проб массой от 3 до 8 кг, причем во избежание ошибок при определении возраста каждая проба должна по возможности представлять собой монокристаллический образец. Верхний выветрелый слой породы удаляют. А иногда, чтобы получить совершенно «свежие», не затронутые процессом разрушения образцы, бурят специальные скважины или закладывают горные выработки.



Аналогичным путем отбирают пробы магматических пород, валовый состав которых может быть проанализирован рубидий-стронциевым методом, но их масса может быть меньше — до 5 кг.

При определении абсолютного возраста много неприятностей подстерегает геохронолога уже на самом начальном этапе исследования. Нелегко добиться чистоты минерала, удалить из дробленной массы все вредные примеси, которые могут исказить результаты. Урановые минералы пронизываются тончайшими каналами, заполненными силикатной породой. Надо во что бы то ни стало очистить эти минералы от кварца. Вместе с калиевым полевым шпатом встречается плагиоклаз. Можно ли полностью отделить их друг от друга? А то вдруг объединились калиевые шпаты разного происхождения. Как рассортировать этих коварных родственников?

К услугам лабораторного работника хитроумная методика и различная вспомогательная техника. Но техника пока еще не всегда бывает в силах помочь исследователю. Тогда он включает осветитель, настраивает бинокулярную лупу и, вооружившись иглой, начинает выуживать из лежащей на предметном столике смеси зёрна необходимого минерала. Одно зерно, два, ..., сотни... На профессиональном языке это называется методом ручного отбора.

Полученные фракции чистых минералов тщательно исследуют под микроскопом. Наличие зональности, включений посторонних веществ, мельчайших трещин и проростков других минеральных образований может сильно исказить радиологический возраст. Но в обычных шлифах не всегда удается увидеть эти дефекты. Тогда обращаются к современным физико-химическим методам.

Микронзондовый анализ позволит выявить скрытую зональность зерен цирконов и калиевых полевых шпатов, которые под микроскопом выглядели совершенно однородными. Тем самым будет предупреждены от заведомой ошибки свинцово-изотопные и калий-аргоновые определения. Для использования рубидий-стронциевого метода пригодны только такие пробы, где рубидия больше, чем стронция. При этом чем моложе порода, тем выше должно быть отношение рубидия к стронцию. Содержания этих элементов устанавливаются рентгеноспектральным методом. А степень неоднородности вещества и сохранность радиогенных изотопов в кристаллических решетках минералов можно проследить методами инфракрасной спектрометрии, ядерного гамма-резонанса и рентгеноструктурного анализа.

Весь минеральный материал, который не может обеспечить требуемую точность определений возраста, отбраковывается. И только всесторонне изученные, отвечающие необходимым условиям пробы поступают в дальнейшую обработку.

Следующий этап — радиометрическое определение возраста. На этом этапе царят точные методы. Химия, физика и техника вступают здесь в тесное содружество с геологией. Рассчитанное время, строгий эксперимент, четкость действий. Конечные результаты будут зависеть от успехов этой работы. Сложен объект изучения и сложны приборы. Вакуумные установки, пламенные фотометры, ионные коллекторы, термодары... Основное требование, предъявляемое к аппаратуре в геохронологической лаборатории, — точность. Надо избежать загрязнения реактивов, непрерывно следить за нормальным режимом работы установок, не допустить спада давления.

С помощью масс-спектрометра определяется изотопный состав изучаемых элементов. Один из блоков прибора — ионный источник — вызывает появление ионов, характерных для данного образца. Под

действием магнитного поля ионный луч разделяется на ряд потоков. Измерив энергию этих потоков, которая пропорциональна содержанию различных изотопов в минерале, геохронолог по соответствующим формулам находит возраст минерала с учетом периода полураспада входящих в его состав радиоактивных элементов.

Результаты анализа могут быть зафиксированы и на фотопленке. Такая регистрирующая установка называется масс-спектрографом.

Памятуя о том, сколь сложно было получить исходный материал для анализа, работники лабораторий стремятся, насколько это возможно, сократить количество минерала, потребное для определений абсолютного возраста. Сохранить при этом точность и достоверность результатов удается с помощью метода изотопного разбавления. Заключается он в следующем.

Некоторое количество вещества, предназначенного для анализа, растворяют и смешивают со строго измеренной дозой элемента-трассера, резко отличающегося по изотопному составу от исследуемого природного образования. Перемешивание продолжают до тех пор, пока не будет получена совершенно однородная смесь. Теперь образец подготовлен к анализу. Какой бы химической обработке ни подвергался раствор в дальнейшем, изотопный состав смеси останется неизменным. Зная, сколько трассера приходится на единицу анализируемого вещества, можно судить и о количестве исходного элемента.

Этот метод позволяет обнаруживать даже самые ничтожные содержания элементов в породе. С его применением количество минерала, необходимое для определения возраста, во много раз уменьшается. Для аргонового метода, например, оно может быть сокращено приблизительно в пять раз.

Часто определение абсолютного возраста ведут параллельно по нескольким парам изотопов. Если данные совпадают или расхождение между результатами не превышает 5%, есть основание считать полученные результаты достоверными. Остается лишь внести поправки на условия проведения опыта, учесть возможность наличия посторонних примесей, которые могли все-таки, несмотря на все предосторожности, примешаться к реагентам, — и на стол геохронолога лягут цифры, выражающие возраст земных слоев в абсолютных единицах — годах.

Используя различные комбинации изотопов, анализируя комплексы минералов, подвергая породы микроскопическому изучению, выявляя степень их сохранности и характер более поздних (наложенных) геохимических процессов, во многих случаях удается с достаточной точностью установить время геологических событий.



# НЕОЖИДАННЫЕ ЗАТРУДНЕНИЯ

## Об искусстве скрывать число прожитых лет

Все операции по определению абсолютного возраста выполнены правильно. И методика выбрана обоснованно, и технические условия соблюдались неукоснительно. А результат анализа никуда не годится. Не вяжется он ни с представлениями геологов, ни с истинным положением пород в земной коре.

Такая невеселая ситуация возникала не раз. И чем больше анализов получали радиологи, тем яснее становилось, что в теле Земли действуют некие силы, словно поставившие себе целью сбить абсолютную геохронологию с верного пути.

Очень часто под влиянием всевозможных причин отдельные химические элементы, а иногда и целые семейства их покидают решетку материнского минерала. Одни из них рассеиваются в пространстве, другие находят приют во встреченных на пути минералах и, прервав свое путешествие, приживаются в кристаллах нового хозяина, пока геохимические процессы не позовут их снова в дорогу. Это явление получило название миграции элементов.

На место ушедших атомов приходят элементарные частицы других веществ. Иногда горная порода может испытать настоящее нашествие чужеродных элементов. Пришельцы захватывают в свое владение все новые и новые кристаллические решетки и заставляют минералы перерождаться. Стоит породе утратить хоть немного аргона или приобрести добавочный калий, как уменьшится отношение аргон-40/калий-40 и соответственно снизится возраст горной породы.

Если же растущий минерал в силу тех или иных причин захватит избыточный аргон либо утратит некоторое количество калия, отношение этих радиоизотопов увеличивается, что создаст впечатление, будто бы порода старше, нежели в действительности.

Частичная, а что еще хуже полная, потеря минералами радиогенного аргона, скапливавшегося в них на протяжении геологической истории, является наиболее существенной причиной «омоложения» результатов, полученных аргонным методом. Потеря эта может быть вызвана и кристаллохимическими особенностями самих минералов, и различной устойчивостью их внутренних структур, и всевозможными



внешними воздействиями — температуры, давления, природных растворов и других сил.

Для того чтобы узнать условия сохранения аргона в породе, было проведено множество сравнительных анализов. Исследовались общие, или, как их называют, валовые, пробы горных пород. Затем из той же породы брались порознь полевые шпаты и слюды. Для всех этих трех веществ определялся абсолютный возраст. Когда накопилось достаточное количество результатов, стали выявляться некоторые закономерности.

Выяснилось, например, что наибольший возраст обычно показывает слюда, а наименьший — полевой шпат. Для древнейших пород Земли разница в возрасте этих минералов, выделенных из одних и тех же пород, составляет от 300 до 500 млн. лет. Для палеозойских образований она исчисляется десятками миллионов лет, а в новейших отложениях не превышает нескольких миллионов лет. Возраст валовой пробы занимает при этом некоторое среднее положение. Лучше всего сохраняется аргон в минералах, не подвергавшихся за время своего существования перегревам, которые могли бы вызвать изменения кристаллической структуры.

Достаточно нагреть полевой шпат до нескольких сотен градусов Цельсия, чтобы в его внутреннем строении произошли заметные перемены и аргон начал покидать кристаллическую решетку минерала. Но при той же температуре слюды стремятся сохранить свое прежнее строение и преобразуются значительно медленнее. До 1300° С необходимо нагреть светлую слюду мусковит, чтобы она утратила весь радиогенный аргон.

Казалось бесспорным, что аргон лучше всего сохраняется в слюдах. И вдруг — обратная закономерность: в некоторых образцах полевой шпат удерживает атомы радиогенного аргона лучше, чем находящаяся рядом слюда. Оказалось, снова виновата температура. На каждом тепловом рубеже любой минерал может выделить лишь некоторое количество содержащегося в нем аргона. Потом утечка газа прекращается и может возобновиться лишь при очередном нагревании. А вот скорости, с которыми аргон покидает кристаллическую решетку слюд и шпатов, не совпадают. Поэтому и получается иногда такое несоответствие.

Опасность ошибки в результате появления в породе избыточного аргона, захваченного кристаллами минералов во время их роста, значительно меньше. Это явление наблюдается нечасто и к тому же присуще лишь немногим минералам, которые редко используются для определения абсолютного возраста. Иногда ничтожные количества такого аргона обнаруживаются в эффузивных породах и туфах, но и здесь они крайне редки.

Зато в слюдах, взятых из метаморфических пород, радиолога могут ожидать подвохи. В кристаллах слюды сплошь и рядом можно обнаружить некоторое количество избыточного аргона. Его называют реликтовым или унаследованным. Присутствие такого аргона ощутимо удревает абсолютный возраст. И что самое неприятное — полученный результат не дает возможности даже судить о том времени, когда порода подверглась изменениям.

Глубинные растворы приносят калий, высокая температура нарушает устоявшийся режим горной породы, и, повинаясь их требованиям, «бредут» атомы по своим кристаллическим «кочевьям». Проникает подобный раствор в докембрийские интрузивные образования, и в них начинают расти новые молодые минералы. Минералы такого происхождения не могут указать на истинный возраст горной породы.

Тем не менее такие новообразования представляют для радиолога определенный интерес. Хотя они и не позволяют решить основную задачу, но зато с их помощью можно достаточно точно установить время, когда горная порода подверглась преобразованию. А это очень важно для изучения геологического развития той или иной территории и воссоздания истории активности земных глубин.

А на поверхности породы, открытой действию дождя, ветра и солнца, протекают противоположные процессы — идет разрушение. Здесь кристаллическая структура минералов утрачивает калий. Даже невооруженным глазом можно заметить это необратимое изменение. Теряя калий, выветрелые полевые шпаты покрываются тонкой пленкой глинистых образований. Эта пленка постепенно утолщается, захватывает внутренние области кристаллов и в конце концов вместо прочного полевого шпата в породе остается лишь совершенно лишенная калия белая глина — каолин.

На первых порах соотношение калия и аргона в некоторых минералах сохраняется. Слюды, например, разрушаются последовательно, слой за слоем, и оба элемента покидают их кристаллическую решетку в количестве почти пропорциональном. И хотя аргон утрачивается слюдой все-таки немного быстрее, это не влияет существенно на результаты определения возраста. Но так обстоит дело только в начальной стадии выветривания. Пройдет время, и эти минералы тоже потеряют свою геохронологическую ценность.

Подземные грунтовые воды, насыщенные кальцием, высасывают калий из слюд и полевых шпатов. А еще глубже уже другие воды — выделяющиеся из магмы — вызывают замещение калия натрием.

В слюдах и полевых шпатах в результате геохимических процессов может изменяться также количество рубидия и стронция. Если рубидий займет в кристаллах слюды место калия (а это нередко происходит при стечении определен-



ных условий), возраст породы неизбежно окажется заниженным. Стронций же при метаморфических преобразованиях, наоборот, переходит из слюды в окружающие ее минералы, в частности в полевые шпаты. Поэтому определение возраста метаморфических образований, сделанное по слюдам, «омолодит» исследуемую породу, а радиологические данные, полученные для полевых шпатов той же породы, напротив, «состарят» ее.

Правда, перемещения рубидия и стронция сравнительно невелики. Теоретически можно утверждать, что даже в небольшом куске породы, несмотря на все изменения, сохраняется первоначальное соотношение стронция-87 и рубидия-87. Казалось бы, следует анализировать не отдельные минералы, а их совокупность — валовую пробу породы.

Но выяснилось, что в валовых пробах обычно присутствует огромное количество обыкновенного — нерадиогенного — стронция, в десятки раз превышающее содержание радиогенного изотопа этого элемента. Дело сразу осложнилось. Если знать изотопный состав обычного стронция, можно было бы внести соответствующие поправки и все-таки выяснить истинный возраст породы. Но, к сожалению, радиологам изотопный состав стронция, как правило, не известен.

Свинцово-изотопный метод, по-видимому, имеет существенные преимущества перед аргоновым и стронциевым. Так, с его помощью возраст минералов может быть исчислен по четырем парам отношений:

$$\frac{\text{свинец-206}}{\text{уран-238}}, \quad \frac{\text{свинец-207}}{\text{уран-235}}, \quad \frac{\text{свинец-207}}{\text{свинец-206}}, \quad \frac{\text{свинец-208}}{\text{торий-232}}$$

Но тому моменту, когда образец попадает в геохронологическую лабораторию, предшествует длившаяся миллионы лет жизнь горной породы. За это время в ней происходит ряд радиоактивных превращений, что может сопровождаться миграцией как материнских и дочерних изотопов, так и любого из промежуточных радиоэлементов. Привнос или вынос хотя бы одного из них может существенно повлиять на результаты определения возраста.

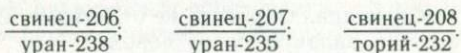
Поэтому, для того чтобы быть уверенным в своих заключениях, геохронолог должен проверить совпадение результатов по всем четырем парам изотопов. Правда, такое совпадение бывает на практике нечасто. Но если одинаковые или близкие данные о возрасте получены по всем четырем изотопным отношениям, радиологическому заключению, по-видимому, можно верить.

Изотопные отношения имеют различную чувствительность к геохимическим процессам. Наиболее чутко отзывается на уменьшение количества свинца отношение его изотопов, обладающих атомной массой 206 и 207.



Свинец-206 мигрирует одновременно и в строгой пропорции со своим собратом, имеющим атомную массу 207. Поэтому для минералов, происходящих из докембрийских пород, для которых отношение этих изотопов определяется с наиболее высокой точностью, цифра, вычисленная по свинцу, является наиболее достоверным показателем возраста. Даже если минерал испытал утрату урана или тория, отношение свинец-207/свинец-206 сохраняет свою надежность.

Но при анализе образцов, возраст которых моложе 600 млн. лет, свинцовое отношение измеряется очень неточно, и поэтому приходится отдавать предпочтение другим изотопам. На первое место выступают пары



Объяснить расхождение возрастной датировки бывает иногда трудно еще и потому, что изотопный состав свинца, привнесенного в породу, может оказаться различным. Что же касается потери свинца минералами, то здесь недостаточно ясны не только причины, но и сам ход химических процессов, которые могут протекать совершенно по-разному в зависимости от геологических условий и от того, насколько давно затронули породу геохимические изменения.

Пожалуй, наиболее просто установить возраст интрузивных пород. Они образовались в результате кристаллизации магматического расплава, и все их минералы родились, грубо говоря, одновременно. Если эти породы не претерпели за время своего существования каких-либо серьезных изменений (а выявить это, в общем, возможно), возраст их, определенный различными методами, будет приблизительно одинаков.

Но достаточно даже незначительных тепловых воздействий, проникновения магматических растворов или химического замещения в составе породы, как положение резко ухудшается. Аргон покидает кристаллическую решетку слюд и других содержащих калий минералов, меняется соотношение радиоактивных изотопов в акцессорных минералах. В результате породы целых районов оказываются значительно омоложенными по сравнению с их истинным возрастом.

Еще сложнее обстоит дело с породами, измененными нагревом и проникающими растворами. Здесь могут иметь место и привнос новых элементов, и уменьшение количества старых, и миграция составных частей породы. В подобных случаях радиологи пытаются определять возраст разных компонентов породы разными методами: акцессорных минералов — свинцово-изотопным, первичных амфиболов — аргонным, реликтовых слюд — стронциевым. И хотя иногда результаты этих анализов расходятся, нередко все-таки удается прийти к более или менее определенному заключению.

Калий-аргоновый метод применим для датирования магматических, метаморфических, а в некоторых случаях и осадочных пород. Но поскольку этим методом возраст может определяться по результатам анализа только какого-либо одного минерала, использовать его для анализа валовых проб породы нельзя. Оценка абсолютного возраста может считаться заслуживающей доверия лишь при условии, что радиологические наблюдения по нескольким минералам совпадают. Поэтому чтобы получить надежные выводы, стараются, например, продублировать определения, сделанные по слюде, — результатами по калиевому шпату или амфиболу, а данные по амфиболу в свою очередь подтвердить анализами пироксена или плагиоклаза. Если же это невозможно (а такое случается, когда исследованию подлежат так называемые мономинеральные породы, например амфиболиты), надо контролировать полученные результаты другими радиологическими методами.

Но при всех условиях необходимо, чтобы анализируемая порода на протяжении своего существования не испытала ни потерь аргона или калия, ни обогащения этими элементами. Для докембрийских образований вероятность сохранения пород в первозданном состоянии ничтожно мала. Поэтому для древнейших отложений калий-аргоновый метод может применяться лишь в рекогносцировочных целях. Зато при датировании фанерозойских пород им можно пользоваться со значительной уверенностью.

Огромным преимуществом этого метода является его высокая производительность. Многие десятки тысяч анализов, характеризующих соотношение калия и аргона в горных породах, позволяют не только устанавливать возрастную принадлежность отдельных точек геологического разреза, но и создавать модели развития палеотектонических обстановок, магматизма и рудообразования.

Рубидий-стронциевый метод обычно используется для анализа валовых проб магматических и метаморфических пород. Возраст осадочных отложений этим методом не устанавливается. Как и при калий-аргоновом методе, надежность полученных результатов существенно зависит от того, в какой мере сохранила порода изначально присущее ей содержание рубидия и стронция. Но поскольку способность к миграциям у стронция значительно слабее, чем у аргона, этот метод может применяться при изучении не только фанерозойских, но и докембрийских образований.

Свинцово-изотопный метод наиболее пригоден для определения возраста пород, претерпевших длительные (и даже неоднократные) преобразования. Поэтому он особенно удобен при изучении докембрийских пород. С помощью именно этого метода был установлен архейский возраст метаморфических пород Станового хребта (более 3 млрд. лет) и Омо-



лонского массива (3,4 млрд. лет), железистых кварцитов Чарского месторождения в регионе Байкало-Амурской магистрали (2,65 млрд. лет), гнейсов Енисейского кряжа (4,1 млрд. лет) и многих других древнейших образований.

Возможность представить надежное свидетельство достоверности определений сделала свинцово-изотопный метод одним из самых авторитетных в геохронологии. Неоднократно доводилось этому методу играть роль своеобразного арбитра при решении научных споров о возрасте древних отложений. В качестве примера можно привести известный случай, когда свинцово-изотопным методом было установлено время формирования гнейсов Камчатского массива — 1300 млн. лет назад. Возраст этих пород по определениям калий-аргоновым методом считался равным 100—150 млн. лет, а по данным рубидий-стронциевого анализа — 487 млн. лет.

Но на пути широкого применения свинцового метода стоят три препятствия: сложность, трудоемкость и, что едва ли не самое главное, длительность подготовки материала к анализу. Удастся ли найти такие способы, которые помогли бы преодолеть эти объективные трудности?

Исходным материалом для определения геологического возраста служат многие минералы и горные породы из многих регионов земного шара. Но можно ли считать равноценными все полученные результаты? Среди радиологов нет единого мнения о том, какой минерал может наилучшим образом указать возраст земных слоев, сформировавшихся в той или иной обстановке.

Каждый геохронологический метод имеет свои ограничения. Сформулированы ли они полностью? Пока нет. Несмотря на значительные успехи, абсолютная геохронология все еще находится в стадии становления.

Получить истинные значения возраста можно лишь при условии, если экспериментально установленное отношение элементов не нарушалось в течение всего существования горной породы. Так бывает очень редко. Однако путем совместного применения различных геохронологических методов удастся в значительной степени приблизиться к истинной датировке древних отложений.

Даже в тех случаях, когда аналитическое исследование бессильно указать время возникновения пород, оно позволяет установить возраст преобразований, под действием которых породы обрели свой нынешний облик. Выявить общие закономерности геохимического поведения элементов, которые могут служить индикаторами возраста, и объяснить причины, вызывающие «возрастные аномалии», — важнейшая задача геохронологии. Задача эта сложная, и решена она пока далеко не в полной мере. Но уже сделаны первые шаги к ее решению.



## СОВСЕМ НЕДАВНО

### О древнем угле и возрасте археологических находок

Взглянув на таблицу продолжительности геологических периодов фанерозоя, мы увидим, что длительность каждого из них определена с точностью, не превышающей 1 млн. лет. В среднем это, пожалуй, предел детальности, с которой действуют методы, использованные при построении геохронологической шкалы. А как быть, если необходимо выяснить возраст слоев, образовавшихся сравнительно недавно, например, на протяжении последнего миллиона лет? Оказалось, что это возможно. Надо только подобрать для эксперимента пары других исходных и конечных продуктов радиоактивного распада. После интенсивных поисков было выбрано несколько пар таких химических элементов и предложен ряд новых методов определения абсолютного возраста.

В пределах 300 тыс. лет действуют радий-урановый и радий-актиниевый методы. Они удобны для датировки геологических образований в тех случаях, когда требуемая точность не превышает 4—10 тыс. лет.

Но очень часто в геологии и археологии бывает необходимо выяснить возраст так называемых новейших событий, произошедших в последние 10—12 тыс. лет. В этом случае определить возраст можно по содержанию радиоактивного изотопа углерод-14 ( $^{14}\text{C}$ ). Этот сравнительно недолговечный изотоп (его период полураспада около 5730 лет) непрерывно образуется в высоких слоях атмосферы в результате соединения азота со свободными нейтронами, появляющимися под действием космического излучения. Окисляясь, углерод входит в состав углекислого газа; в процессе обмена веществ он усваивается живыми организмами и включается в круговорот углерода, происходящий в атмосфере, гидросфере и биосфере Земли.

Скорость, с которой идет образование нейтронов в атмосфере, известна. Известно также, что большинство из них расходуется на создание радиоактивного углерода. Значит, можно рассчитать, насколько ежегодно увеличивается количество изотопа углерод-14. Но если какой-либо органический объект (допустим, растение), в составе которого есть радиоактивный углерод, по тем или иным причинам окажется изъятым из углеродного круговорота, количество углерода-14 в его тканях перестанет возрастать. А тот радиоактивный

изотоп, который успел накопиться ранее, будет продолжать распадаться.

Проведя соответствующие измерения, можно, например, убедиться, что содержание углерода-14 в обломке древесины, взятом из раскопа палеолитического могильника, будет заметно меньше, чем в стволах деревьев, растущих ныне. Если же установить отношение количества радиоактивного изотопа и содержания других форм углерода ( $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ ), то с учетом периода полураспада изотопа углерод-14 можно вычислить время, когда было срублено дерево, найденное в захоронении.

Открытие углеродного метода было большим подспорьем для многих областей науки, поскольку углерод содержится и в костях животных, и в мышцах, и в растительных тканях — словом, в любых органических остатках, с которыми имеют дело исследователи минувших эпох.

С помощью углеродного метода можно определить время исторических событий, возраст древних построек, манускриптов, домашней утвари. Изучив разрез почвы на местах поселений первобытного человека, можно восстановить и проследить во времени историю жизни наших предков. Остатки золы древних кострищ, кости домашних животных и примитивные производственные орудия точно указывают сроки, когда человек покидал обжитые места. Костяные инструменты, наскальные рисунки, наконечники колющего оружия рассказывают о продолжительности стоянок.

Остатки костей, найденные вместе с кремневыми орудиями, позволили установить протяженность каменного века. А обнаруженные в еще более древних слоях скелеты неандертальцев дали возможность судить о начальных этапах эволюции человечества.

Но обо всем этом можно было узнать только по тем слоям, возраст которых не превышал 100 тыс. лет. В более ранних отложениях крайне редко удавалось найти древесный уголь — наилучший материал для радиоуглеродных определений, а если уголь и обнаруживали, то содержание радиоактивного изотопа углерода было в нем настолько низким, что не поддавалось измерению.

Углеродный метод завоевал множество сторонников. Кроме обширных коллекций, составленных при археологических раскопках, изучаются также многочисленные материалы, собранные геологами. Анализируются деревья погибших лесов, образцы торфа, раковины океанических животных. Проводятся специальные контрольные опыты: определяется возраст деревянных изделий и древнейших погребений, которые уже датированы папирусами и летописями. Все эти исследования показывают, что цифры, полученные в лаборатории, обычно соответствуют истинному времени исторических событий.



Радиоуглеродный метод прочно вошел в практику геохронологических исследований. Первоначально с его помощью удавалось более или менее достоверно датировать только те отложения, возраст которых не превышал 20 тыс. лет. Сегодня же в массовом масштабе проводятся анализы, позволяющие осуществлять датирование в пределах последних 50—60 тыс. лет. А разработанные приемы обогащения проб радиоуглеродом и использование высокоточной техники открывают перед этим методом еще более широкие перспективы и разрешают изучать события, произошедшие до 70 тыс. лет назад. Определенся и верхний предел действия метода — около 1000 лет; объекты моложе этого возраста дают слишком большие погрешности.

Для анализа обычно требуется довольно много исходного материала: древесного угля — не менее 10 г, скелетного вещества животных или древесины — несколько десятков граммов, торфа и гумуса — более 100 г. Исследователи работают над тем, чтобы массу анализируемых навесок можно было уменьшить. И есть все основания полагать, что эти старания увенчаются успехом.

Поскольку при использовании радиоуглеродного метода приходится анализировать очень малые количества изотопа, предъявляются высокие требования к отбору образцов, подлежащих изучению. Во избежание загрязнения органикой образцы можно брать только пинцетом или шпателем. Запрещается прикасаться к ним руками, заворачивать в вату или бумагу, пересыпать стружкой и опилками, обрабатывать какими бы то ни было химикатами. Хранить образцы можно только в многослойных мешках или специальных капсулах из неорганических материалов.

Принцип лабораторного изучения образцов достаточно прост: нужно точно измерить бета-активность радиоуглерода. Для этих измерений пользуются счетчиками Гейгера или устройствами, фиксирующими сцинтилляцию — световые вспышки, возникающие при прохождении быстрых заряженных частиц через некоторые вещества. Радиоактивный углерод пробы можно поместить в счетчик в виде твердого, газообразного (например, в виде углекислого газа) или жидкого вещества. В последнее время обычно предпочитают третий из этих способов, используя в качестве сцинтиллятора бензол. Для защиты счетчика от проникновения внешнего гамма-излучения устанавливают экраны из железа, ртути, свинца или парафина. Чтобы учесть влияние рассеянного космического излучения, вокруг счетчика размещают соответствующие регистрирующие приборы. Остается выделить, усилить и зарегистрировать импульсы от электронов, испускаемых при распаде радиоактивного углерода, а затем сравнить их с результатами, полученными на современном эталонном объекте.

Радиоуглеродный метод открыл широкие возможности для датирования новейших отложений. Результаты работ позволяют не только устанавливать возраст отдельных находок, но и судить о закономерностях изменения географической обстановки, оценивать скорость циркуляции морских течений, проследивать последовательность появления различных растительных сообществ. Этим методом был определен возраст всех фаз последнего оледенения, установлено время образования речных террас и других форм современного рельефа. Стало возможно узнавать возраст органических остатков. Удалось установить, в частности, время жизни мамонта, найденного в ледниковых отложениях Таймыра; оказалось, что он жил 12 тыс. лет назад.

Рассматриваемый метод позволяет сопоставить между собой отложения, сформировавшиеся в различных климатических зонах. Впервые представилась возможность определять возраст разрозненных фрагментов, принадлежащих скелетам организмов или изделиям древнего производства. В руках исследователей появился ключ к восстановлению истории по следам жизни.

Но результаты оценки возраста радиоуглеродным методом могут быть существенно искажены вследствие процессов гниения, поступления гуминовых кислот из грунтовых вод, а также привноса углерода, содержащегося в современных водах и атмосфере. Для анализа поэтому следует стремиться использовать только такой материал, который не подвергся этим воздействиям. Однако сколь бы тщательно ни подбирались исследуемые образцы, гарантировать отсутствие влияния подобных процессов невозможно.

К тому же пришлось задуматься еще над одной проблемой. Интенсивность излучений, пронизывающих атмосферу, изменяется в зависимости от многих космических причин. Стало быть, количество образующегося радиоактивного изотопа углерода должно колебаться во времени. Необходимо найти способ, который позволял бы это учитывать.

Кроме того, с тех пор как прогресс покрыл Землю густой сетью транспортных дорог и промышленных предприятий, в атмосферу непрерывно выбрасывается огромное количество углерода. Он образуется при сжигании древесного топлива, каменного угля, нефти, торфа, горючих сланцев и продуктов их переработки. Какое влияние оказывает этот источник атмосферного углерода на повышение содержания радиоактивного изотопа? Для того чтобы добиться определения истинного возраста, придется рассчитывать сложные поправки, которые отражали бы изменение состава атмосферы на протяжении последнего тысячелетия.

Эти неясности наряду с некоторыми затруднениями технического характера породили сомнения в точности многих прежних определений, выполненных углеродным методом.



Однако несмотря на все сложности, радиоактивный изотоп углерода продолжает успешно использоваться в геохронологии и нередко помогает специалистам устанавливать возраст интересующих их отложений и событий сравнительно недавнего прошлого.

Трудоемки и сложны методы изотопного датирования. Поэтому не раз возникала мысль: нельзя ли подойти к изучению возраста Земли с каких-либо иных, принципиально отличных позиций?

Пришлось вновь пересмотреть старые, полузабытые гипотезы, заново проанализировать многие геологические события, обобщить сведения, собранные наукой о Земле за последние десятилетия. И вот заговорили о природных явлениях, которые, на первый взгляд, казалось бы, не имеют непосредственного отношения к проблеме абсолютного летоисчисления.

## ДРЕВНИЕ КОМПАСЫ

### О магнитных свойствах горных пород и шкале геомагнитной полярности

С 50-х годов нынешнего столетия для определения возраста земных слоев стали использовать еще одну группу методов, которая к настоящему времени развилась в новую отрасль геологических знаний — палеомагнитологию.

Известно, что многие минералы и горные породы, содержащие железо и железо-титановые соединения, обладают свойством, известным под названием ферромагнетизм. При устранении намагничивающего поля эти вещества сохраняют некоторую остаточную намагниченность. Процесс намагничивания идет тем легче, чем выше температура, и даже в слабом магнитном поле возникает большая намагниченность, которая закрепляется — «замораживается» — при охлаждении вещества. Такая намагниченность называется термоостаточной. Измеряя при помощи точной аппаратуры магнитные характеристики пород, включающих ферромагнитные частицы, можно установить напряженность магнитного поля Земли, магнитные наклонение и склонение, которые были свойственны исследуемому пункту в то или иное время.

Например, по термоостаточной намагниченности пород, изверженных вулканами, можно судить о напряженности и направлении магнитного поля в период извержения. Сход-

ное явление наблюдается при образовании осадочных пород. Геомагнитное поле воздействует на оседающие на дно водоема частицы горных пород и ориентирует их в соответствии с направлением на магнитные полюсы. При уплотнении осадка ориентировка частиц закрепляется и может служить своеобразным компасом, указывающим положение полюсов Земли в то время, когда происходило отложение осадочной породы.

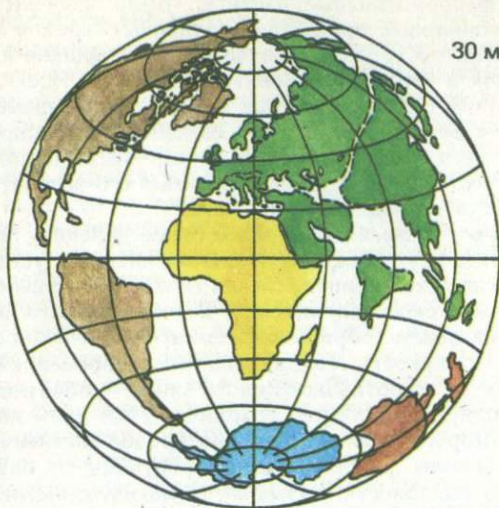
По-видимому, можно утверждать, что любые горные породы при своем образовании запечатлевают в себе характеристики геомагнитного поля, существовавшего в момент их рождения. Приобретенная породой первичная намагниченность обычно сохраняется на протяжении всей последующей геологической истории и, как правило, может быть обнаружена с помощью комплекса методов исследования палеомагнетизма. При этом принимается, что палеомагнитное поле в каждый период своего существования было подобным полю диполя, помещенного в центр Земли и ориентированного по оси ее вращения.

Палеомагнитные исследования ведутся сейчас во многих странах и охватили территории всех континентов и акватории океанов. Сведения о положении полюсов Земли получены для огромного интервала геологического времени — от протерозоя до современной эпохи. Выполненные работы позволили установить, что на протяжении эволюционного развития планеты геомагнитное поле непрерывно изменяло свою напряженность и направление.

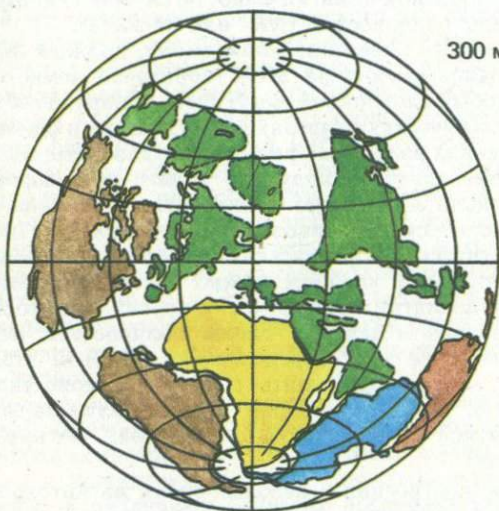
Выяснилось, что кажущиеся миграции полюсов Земли связаны с перемещением в пространстве крупных блоков земной коры — литосферных плит. Для каждого такого блока можно построить свою траекторию кажущегося движения полюса. Истинное же положение полюсов Земли помогают установить математические модели, описывающие картину дрейфа континентов и расширения океанических впадин на протяжении геологической истории. Кроме этих перемещений, связанных с передислокацией масс суши и океанов, фиксируются движения магнитных полюсов, обусловленные довольно быстрыми вариациями самого магнитного поля Земли. Оба типа движения полюсов, налагаясь друг на друга, создают достаточно сложную картину. Однако обычно исследуют среднее геомагнитное поле, в котором вариации нивелируются во времени.

В силу своих свойств ферромагнетики будут одинаково реагировать на воздействие высокой температуры вне зависимости от ее происхождения. Значит, тот же эффект будет получен, если минеральное образование нагрето не естественным природным теплом, а искусственно, например в гончарной печи. Этим фактом заинтересовались археологи. Глина, из которой изготавливают керамические изделия, почти всегда





30 млн. лет



300 млн. лет

Перемещение континентальных блоков. Реконструкция расположения материков в карбоне (300 млн. лет назад) и в палеогене (30 млн. лет назад).

содержит ферромагнитные частицы. Были изучены тысячи образцов гончарной продукции различных времен и народов; на магнитность проверялись черепки горшков и кувшинов, кирпичи и черепица старинных строений. Исследования подтвердили, что на протяжении исторического времени магнитное поле Земли закономерно изменяло свои параметры. И теперь, зная палеомагнитные характеристики археологического объекта, иногда удается судить о его возрасте в пределах десятка последних тысячелетий.

Для изучения магнитных полей более далекого прошлого потребовались другие методы. Палеомагнитологи установили, что на протяжении развития Земли ее магнитное поле многократно меняло свое направление. В геологических разрезах наблюдается обилие обращений геомагнитной полярности — инверсий. Полярность, совпадающая с современной, называется прямой, а противоположного знака — обратной. Каждый тип полярности обычно сохраняет свой знак на протяжении некоторого, иногда довольно продолжительного, времени. Интервалы разреза, характеризующиеся определенным знаком полярности, называются магнитозонами. Различают зоны прямой намагниченности (их называют *N*- или *n*-зонами), обратной намагниченности (*R*- или *r*-зоны) и зоны частой смены полярностей (*NR*- или *nr*-зоны).

Геомагнитные инверсии, по-видимому, должны были проявляться одновременно на всей территории земного шара. Они без особых сложностей могут быть обнаружены в исследуемых геологических разрезах и прослежены в разновозрастных отложениях различных регионов. Стало быть, если составить палеомагнитную шкалу для какого-либо хорошо изученного района и надежно датировать положения границ, где происходит смена знаков намагниченности, с помощью палеонтологических и физических методов, мы получим своеобразный эталон, с которым можно будет сопоставлять результаты палеомагнитного изучения других территорий. При этом, сравнивая «спектры» смены полярностей, вероятно, удастся соотнести их с определенным участком эталонного разреза и тем самым судить о возрасте сопоставляемых с ним толщ. Такая эталонная шкала получила название палеомагнитной (магнитохронологической, магнитостратиграфической).

Принцип построения и использования магнитохронологических шкал достаточно ясен. При его применении необходимо соблюсти единственное условие: продолжительность отрезков времени, в течение которых сохраняется данный тип геомагнитной полярности, должна быть больше погрешности метода датировки. Казалось бы, новый метод должен был сразу найти широкое применение в стратиграфии. Однако потребовалось более полутора десятилетий, прежде чем удалось получить надежные результаты изотопной возрастной



датировки и палеомагнитные шкалы смогли превратиться в действенное оружие геохронологии.

Для воссоздания истории геомагнитных инверсий приходится изучать разнообразие геологические объекты.

С развитием калий-аргонового метода стало возможным получать очень точные определения возраста вулканогенных пород позднего кайнозоя, в первую очередь — основных лав, для которых существуют надежные палеомагнитные данные. Шкала возраста и геомагнитной полярности этих пород, взятых в различных районах земного шара, распространяется сейчас на 7 млн. лет, охватывая четвертичные и верхне-неогеновые отложения.

Изучение разрезов донных осадков по материалам опробования, проведенного в глубоководных областях океанов, позволило уточнить палеомагнитную шкалу для позднего кайнозоя и продолжить ее в глубь времен до начала неогена (табл. 6). В дальнейшем, по мере развития подводного бурения, по-видимому, удастся создать такую шкалу для всего кайнозоя и верхней части мезозоя.

Дополнительные сведения о характере проявления магнитных инверсий дает изучение линейных геомагнитных аномалий, наблюдаемых в породах, слагающих дно океана. Известно, что поверхность океанического дна постепенно обновляется в результате поступления свежих масс вещества из недр Земли. Разрастание поверхности дна океана совершается импульсивно, поэтому дно оказывается сложенным чередованием продольно вытянутых геологических тел. Каждое из тел фиксирует свойства магнитного поля, существовавшего в момент образования этого тела, и имеет соответственно прямую или обратную намагниченность. Зная скорость расширения морского дна и имея определения возраста для горных пород, слагающих зоны магнитных аномалий, можно создать так называемую аномалийную шкалу геомагнитной полярности. Эта шкала позволяет проконтролировать данные, полученные по результатам бурения, и проследить историю геомагнитных инверсий по крайней мере до юрского периода.

Поскольку возраст океанического дна сравнительно молодой, для более древних геологических отложений проводится палеомагнитное изучение наиболее полных разрезов осадочных и вулканогенных толщ, развитых на континентах. Полученные в различных областях последовательности зон прямой и обратной намагниченности надстраивают друг друга. Таким путем создаются сводные магнитостратиграфические шкалы для отдельных регионов, сопоставление которых между собой дает возможность построить общую шкалу геомагнитной полярности для всего земного шара. Преимущество таких шкал заключается в том, что они разрешают восстановить историю геомагнитного поля от нынешнего вре-

Таблица 6 Палеомагнитная шкала верхнего кайнозоя





мени до древнейших этапов развития планеты и позволяют привязать ее к периодам, эпохам и векам общей геохронологической шкалы.

Геоманнитные инверсии распределяются по шкале времени неравномерно, образуя различные группировки, сгущения и разрежения зон той или иной полярности, и только на уровне очень больших отрезков геологической истории — эр и эонов — проявление инверсий, вероятно, подчинено сложной ритмической закономерности.

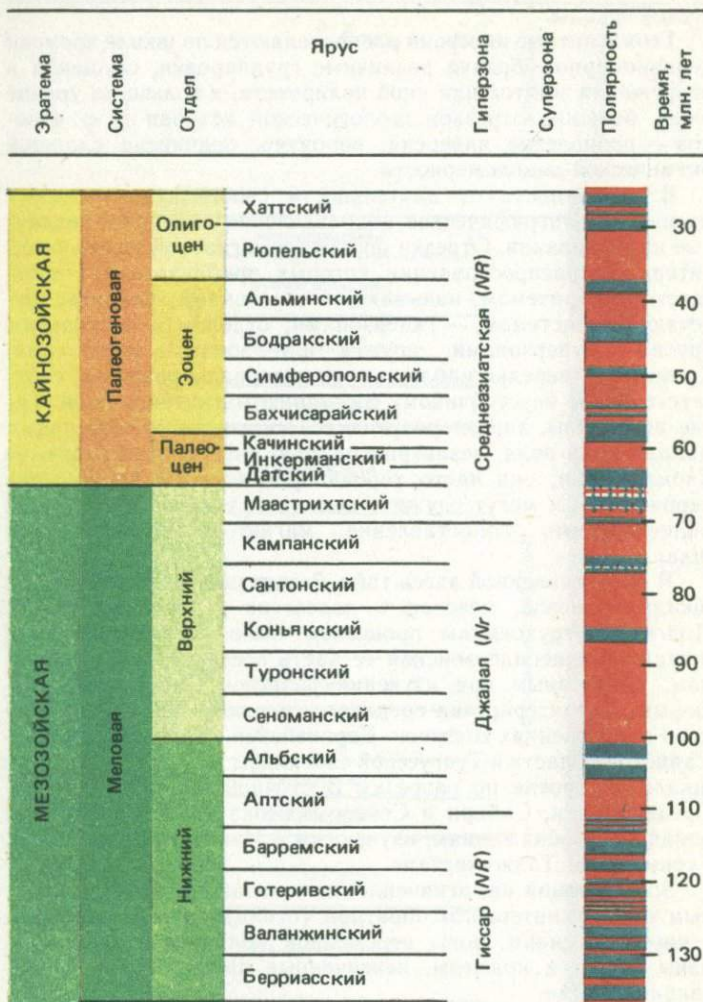
В зависимости от длительности своего существования магнитостратиграфические подразделения получают различные наименования. Отрезки шкалы геоманнитной полярности, интервалы распространения которых приблизительно соответствуют эратемам, называются мегазонами; единицы, отвечающие системам, — гиперзонами; отделам и нескольким ярусам — суперзонами; ярусам или зонам — ортозонами. Кроме того, нередко наблюдаются интервалы разрезов, соответствующие неустойчивому состоянию магнитного поля. Такие интервалы, характеризующиеся сильными отклонениями направлений поля, незавершенностью инверсий, называются аномальными; они часто хорошо фиксируются на больших территориях и могут служить дополнительными признаками, облегчающими сопоставление магнитостратиграфических шкал.

В представленной здесь табл. 7 показана палеомагнитная шкала палеозоя, мезозоя и палеогена территории СССР. Долгим и трудоемким процессом было составление этой шкалы. Нижнепалеозойская ее часть построена по материалам, полученным при изучении разрезов Сибирской платформы. Характеристика среднего и верхнего палеозоя выявлена в отложениях Восточно-Европейской платформы, Алтае-Саянской области и Тунгусской синеклизы. Мезозойская часть шкалы построена по разрезам Восточной Европы, Кавказа, Средней Азии, Сибири и Северо-Востока СССР, а палеогеновая — по обнажениям, изученным в Нахичеванской АССР, Туркмении и Таджикистане.

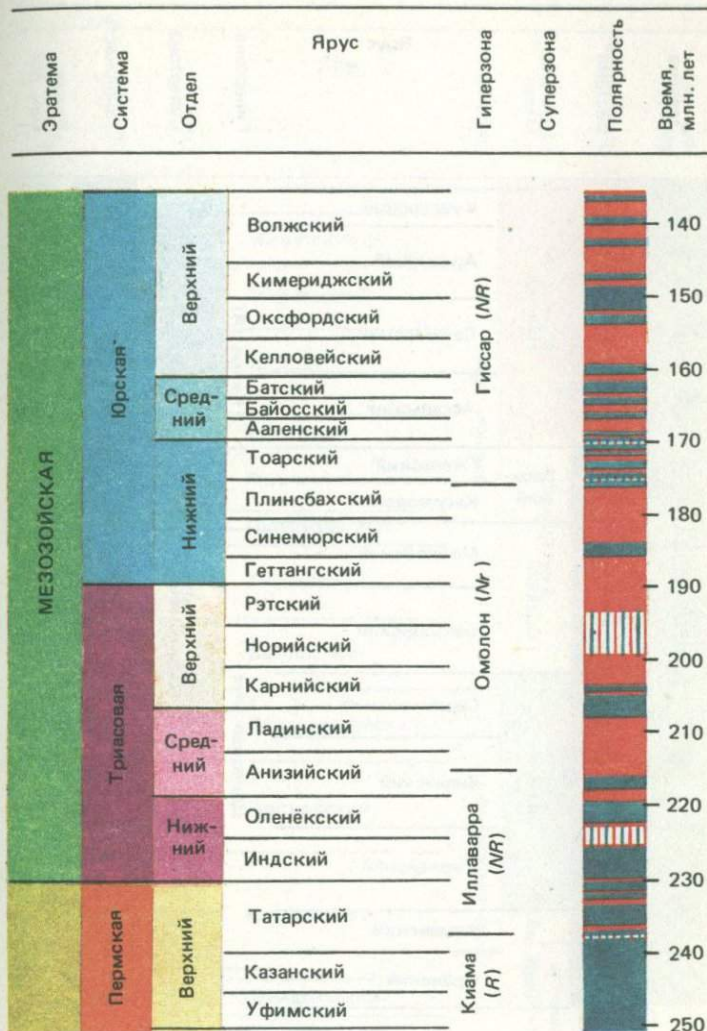
Зоны прямой намагниченности показаны в таблице красным цветом, интервалы обратной (отрицательной) намагниченности — синим, зоны переменной полярности заштрихованы синим и красным, неизученные части оставлены неокрашенными.

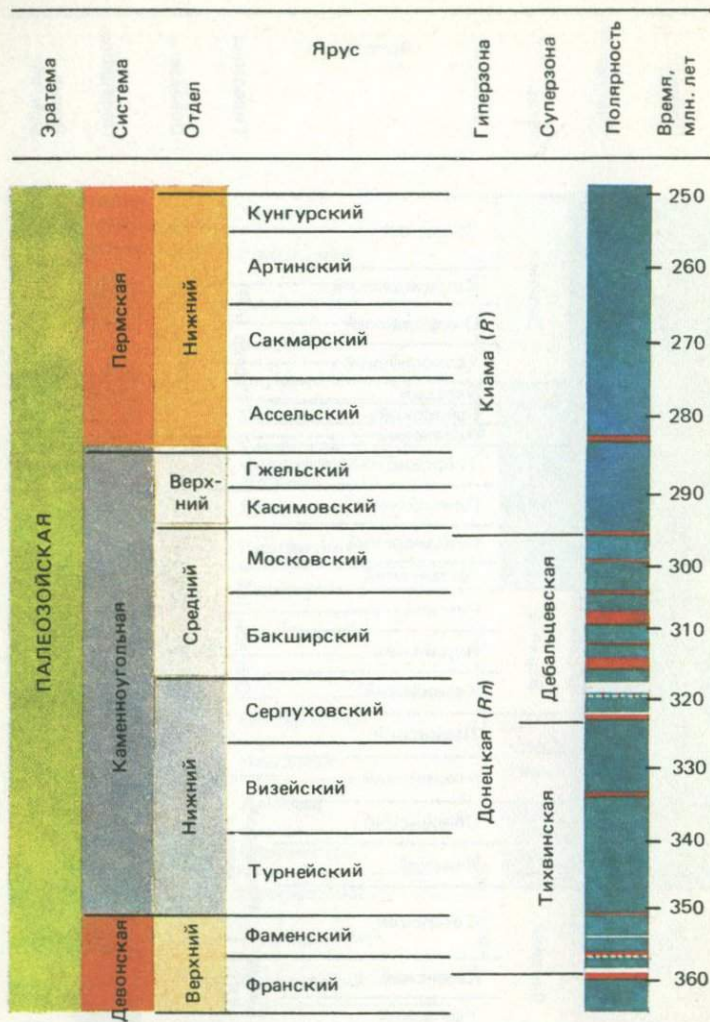
В палеозое преобладает обратная полярность, на фоне которой фиксируется более 30 зон прямой намагниченности, продолжительность существования каждой из которых составляет от 0,5 до 20 млн. лет. По признакам намагниченности здесь выделено шесть гиперзон, в составе которых различается десять суперзон. В мезозойских и палеогеновых отложениях преобладающая полярность — прямая. В них устанавливается пять гиперзон продолжительностью от 20 до 65 млн. лет.

Таблица 7 Палеомагнитная шкала палеозоя, мезозоя и палеогена

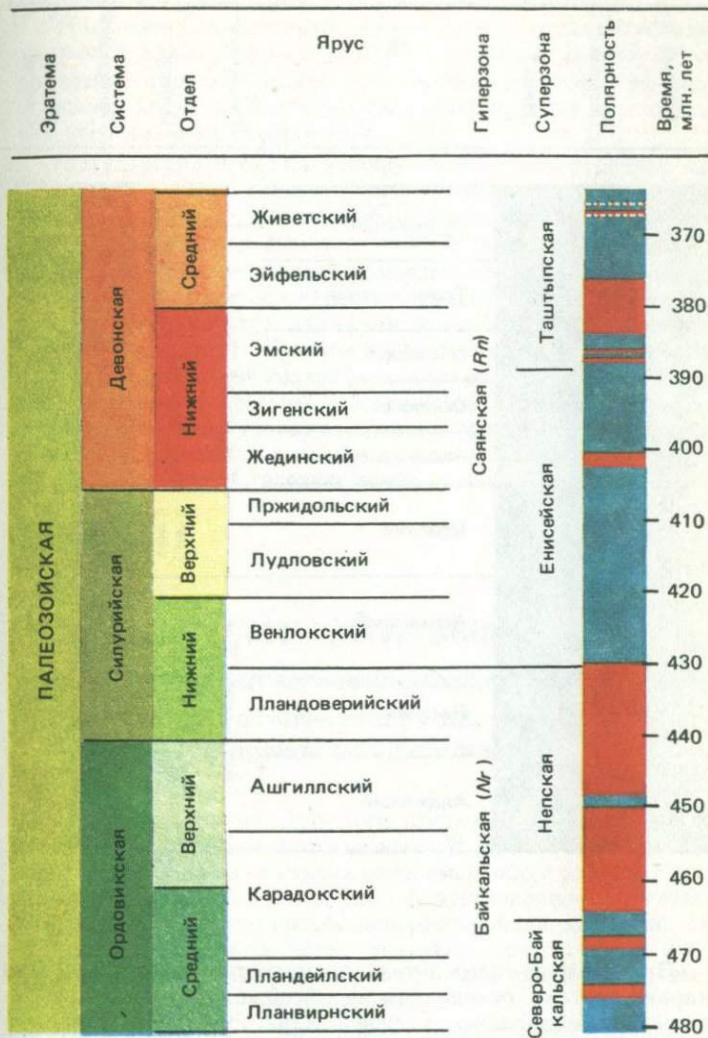


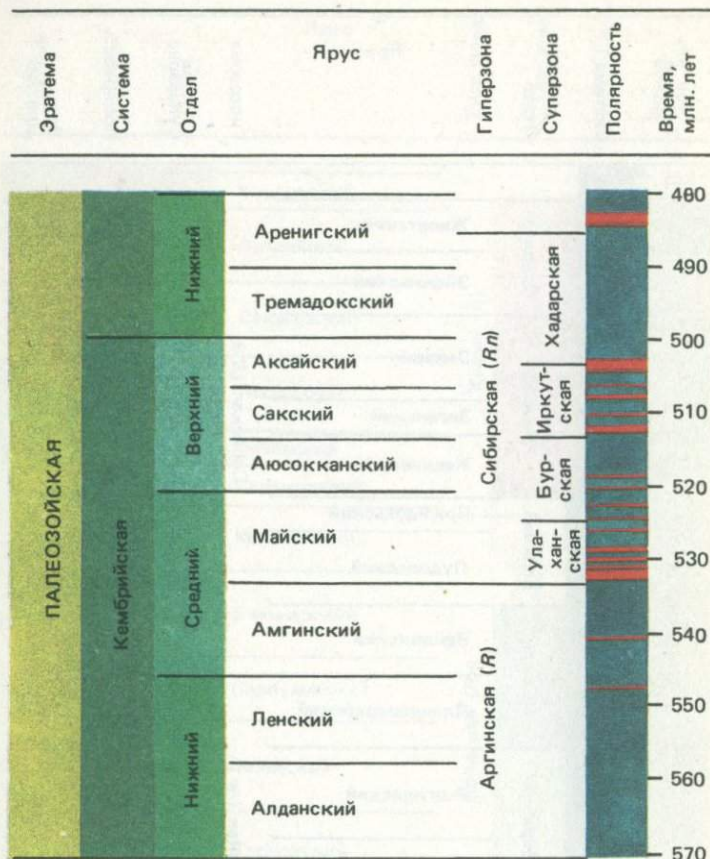












Значительно более детальная магнитостратиграфическая характеристика, основанная на обширном материале по Украине, Азербайджану, Средней Азии, Западной Сибири и Дальнему Востоку, получена для неогеновых и четвертичных отложений (см. табл. 6). Устанавливаемые здесь магнитозоны хорошо согласуются со шкалами, принятыми для различных континентов, и многие из них прослеживаются в кайнозойских разрезах всего земного шара.

Аналогичные палеомагнитные шкалы составлены для фанерозойских отложений различных стран и материков. Их

обобщение и создание общей глобальной магнитостратиграфической схемы — задача ближайшего будущего.

Наиболее благодатными для изучения палеомагнетизма являются красноцветные осадочные породы, некоторые сероцветные породы, бокситы и уже упоминавшиеся эффузивы основного состава. Усилиями палеомагнитологов круг объектов исследования расширяется.

Магнитостратиграфия успешно используется сейчас для расчленения толщ горных пород и сопоставления фанерозойских отложений. На очереди — создание надежных палеомагнитных схем для докембрийских образований.

Палеомагнитные данные помогают геологам контролировать бурение скважин, уточнять возраст рудных месторождений, реконструировать движения земной коры и составлять геологические карты. Палеомагнетизм открыл новые возможности для изучения географической обстановки минувших эпох, дал дополнительные сведения об условиях и продолжительности существования древних организмов и позволил внести ряд уточнений в шкалу геологического времени, построенную на биостратиграфической основе.

## ПОЧЕМУ ОНИ ВЫМЕРЛИ?

### **О потоке космических лучей, гибели ящеров и полной неопределенности**

С каждым годом палеонтологи открывают все новые и новые виды ископаемых животных. И все более отчетливо проступает одна из основных закономерностей развития органического мира: все когда-либо существовавшие на планете группы животных возникали, прогрессировали, достигали наивысшего расцвета, а затем довольно быстро приходили в упадок и вымирали, уступая место следующей, более высокоорганизованной группе организмов.

Палеонтологов давно занимает вопрос: почему происходят такие скачкообразные изменения в составе животного мира? Специалисты по различным группам фауны посвятили немало исследований выяснению причин, вызывавших гибель обитателей Земли. Но, пожалуй, наибольшее число гипотез было высказано по поводу вымирания гигантских ящеров-динозавров, произошедшего на границе мелового и палеогенового периодов.



Выяснение причин гибели обширных групп организмов имеет большое научное и практическое значение. Каждый шаг на пути решения вопроса: почему вымирают те или иные животные и растения? — способствует становлению теории эволюции, помогает прогнозировать грядущие глобальные изменения природной обстановки, позволяет реконструировать процессы формирования генетических характеристик живых существ, дает основу для построения моделей развития физиологических функций организмов. А поскольку любой организм неизбежно несет на себе печать той среды, в которой протекала его жизнь, знание этих закономерностей проливает свет на непознанные события геологической истории и обогащает наши представления об условиях формирования многих минеральных богатств планеты.

Динозавры — лишь один, хотя и очень эффектный пример в истории преобразования органического мира. Гигантские пресмыкающиеся, некогда широко расселившиеся по планете, вымерли около 70 млн. лет назад. По геологическим масштабам это сравнительно близкое к нам время, и осадочные отложения сохранили много сведений об этих интересных животных. Почему же на границе мезозойской и кайнозойской эр исполинские ящеры навсегда исчезают с лица Земли?

Высказывалась мысль, что ящеры погибли в результате похолодания. В конце мелового периода из полярных областей земного шара двинулись ледники. Медленно, но неуклонно наступали они, оттесняя животных все дальше и дальше к югу. Климат сделался суровым. Это похолодание и стало гибельным для динозавров: они были пресмыкающимися, а у пресмыкающихся температура тела непостоянна и полностью зависит от температуры окружающей среды. Холод убил великанов.

Однако это предположение едва ли можно считать верным. Действительно, наступление ледников могло привести к гибели тех или иных животных. Так, совсем недавно — во времена великих четвертичных оледенений — вымерли мамонты, носороги и другие звери, населявшие северные районы нашей страны несколько десятков тысяч лет назад. Но скелеты динозавров в ледниковых отложениях не встречаются. Напротив, чаще всего их находят в таких условиях, где и речи не может быть о гибели животных от суровости климата. Ящеры жили и погибали в теплых и влажных местностях; об этом говорит состав горных пород, в которых встречаются кости этих древних пресмыкающихся.

Можно было бы допустить, что не сами ледники, а связанное с их приходом общее понижение температуры явилось причиной вымирания динозавров. Подобные бедствия нередко случаются и в наши дни. Так, во время сильных морозов зимой 1829/30 г. в Исландии вымерзли все до еди-

ного земноводные. С тех пор прошло уже более 150 лет, но на острове до сих пор нет ни одного представителя этого класса.

Таким образом, похолодание способно уничтожить определенную группу животных. Но это может произойти только на обособленных участках суши, скажем, в межгорной котловине или на островах, откуда животные не имеют возможности переселиться или перекочевать в более благоприятные для жизни районы. Поэтому объяснение гибели многочисленных, распространенных по всей Земле групп животных такими причинами выглядит не очень убедительно.

Поистине трудно представить себе природные силы, которые могли бы в чрезвычайно короткий срок одновременно убить всех представителей какой-либо группы животного мира, обитавшей в разных частях света. Ведь погибли не только жители суши. Вместе с ними исчезли и морские формы гигантских пресмыкающихся, и летающие ящеры.словно какая-то неведомая рука одним взмахом в очередной раз смела с поверхности планеты значительную часть ее населения.

Геологи заметили, что переломные моменты в истории Земли, сопровождающиеся сменой групп животных, почти всегда приурочены к тем периодам, когда в земной коре усиливались процессы горообразования. Поэтому некоторые исследователи считают, что и вымирание динозавров является следствием так называемой ларамийской революции, представляющей собой продолжительный ряд движений земной коры, которым сопутствовали рождение новых горных цепей и усиление извержений вулканов. Эти процессы, по-видимому, могли погубить животный мир отдельных районов. Но едва ли подобные катастрофы отразились бы на жителях всех областей земного шара. Тем более, что ларамийское горообразование не было мгновенным событием, а распространялось по различным материкам постепенно.

Рассматривая пример с ящерами, некоторые ученые предполагают, что в их вымирании решающую роль сыграли млекопитающие и птицы.

Млекопитающие появились еще в мезозойской эре и получили широкое развитие с начала палеогенового периода. Их мозг был устроен значительно сложнее, нежели у пресмыкающихся; кроме того, млекопитающие обладали горячей кровью. Следовательно, они в меньшей степени зависели от изменений климатических условий и легче приспосабливались к новой обстановке, сложившейся на Земле в начале кайнозойской эры. К тому же млекопитающие были более подвижными, чем громоздкие динозавры. Поэтому в борьбе за существование они могли вытеснить неуклюжих и «неразумных» ящеров.



А у летающих ящеров, например птеродактилей, роковую роль могло сыграть несовершенство строения крыльев. По существу, их крыло представляло собой складку кожи, которая поддерживалась единственным непомерно удлиненным пальцем. Такое крыло было слабым и непрочным. Оно явно уступало крыльям птиц — сложно устроенному и весьма надежному летательному аппарату, повредить который было не столь просто, как тонкую летательную перепонку птеродактиля. По-видимому, летающие ящеры не смогли выдержать конкуренции с птицами, занимающими более высокую ступень эволюционной лестницы.

Поэтому немудрено, что динозавры уступили место более высокоорганизованным существам во всех трех стихиях, где еще недавно они господствовали безраздельно. В воде и на суше воцарились теперь млекопитающие, а в воздухе полновластными хозяевами стали представители другого класса теплокровных животных — птицы.

Но гипотеза, предполагающая, что главной причиной гибели ящеров явилась их конкуренция с теплокровными животными, не придает должного значения тому факту, что млекопитающие мирно сосуществовали с пресмыкающимися на протяжении долгого времени, исчисляемого многими миллионами и даже десятками миллионов лет. К тому же в конце мелового периода млекопитающие были еще мелкими и хилыми по сравнению с колоссальными пресмыкающимися. И только после гибели динозавров они начали активно расселяться по Земле и быстро совершенствоваться, пока, наконец, не достигли того уровня развития, на котором мы видим их сегодня. Во всяком случае, геологическая летопись не сохранила останков таких высокоорганизованных млекопитающих, которые жили бы одновременно с ящерами и были настолько развиты, чтобы вытеснить этих исполинов.

Кроме того, на основании изучения закономерностей роста юных особей, реконструкций системы кровообращения и обмена веществ ряд ученых высказывают предположение, что некоторые виды динозавров были... теплокровными. Удалось обнаружить череп одного из хищных ящеров — тиранозавра, свидетельствующий о том, что и среди динозавров, по-видимому, имелись группы с весьма развитым мозгом. А тот факт, что многие формы летательных перепонки успешно ассимилированы современными млекопитающими, заставляет усомниться в утверждениях об эволюционной непригодности крыла ящеров.

В 1957 г. астрономы И. С. Шкловский и В. И. Красовский предложили еще одну гипотезу, на первый взгляд весьма правдоподобную. Сущность ее заключается в следующем.

Из мирового пространства на Землю непрерывно приходит поток космических лучей. Эти лучи представляют собой стремительный ливень атомов водорода, гелия и других эле-



ментарных частиц. Космическое излучение губительно для живых существ. Подобно невидимым иглам, пронзают эти лучи тела организмов и разрушают живую ткань. К счастью, атмосфера Земли сильно поглощает космическое излучение, и в настоящее время интенсивность поступления этих лучей такова, что они заметно не отражаются на жизни обитателей Земли.

Во время так называемых вспышек Солнца количество приходящих на Землю космических лучей заметно возрастает. Но главный источник космического излучения, по-видимому, находится не на Солнце.

Астрономы связывают происхождение основной массы космических лучей со вспышками особых звезд, получивших название «сверхновых». Известен факт, что под действием каких-то еще достоверно не известных науке физических процессов некоторые звезды неожиданно взрываются. Эти взрывы сопровождаются выделением громадной энергии, в том числе появлением мощных потоков космических лучей.

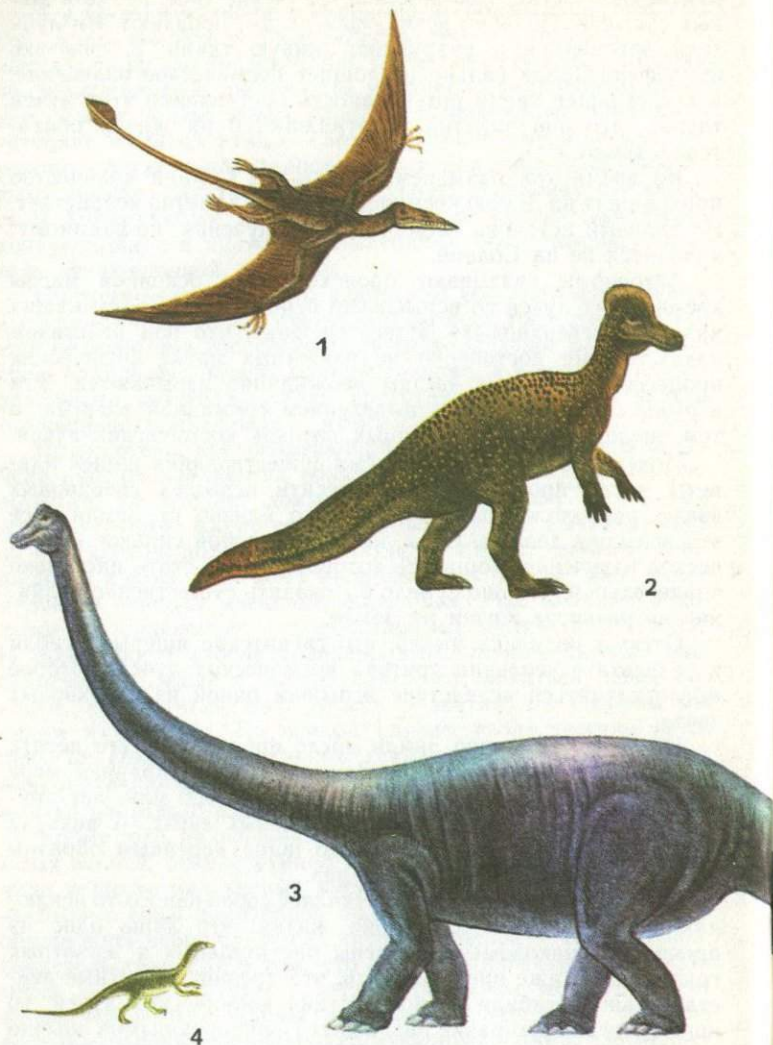
Подсчитано, что за все время существования нашей планеты могло произойти около десяти вспышек сверхновых звезд, расположенных сравнительно близко от Земли. Все эти вспышки должны были повлечь за собой сильное космическое излучение, мощность которого могла стать настолько значительной, что оно сумело бы оказать существенное влияние на развитие жизни на Земле.

Отсюда родилась мысль, что гигантские ящеры погибли в результате усиления притока космических лучей, которое могло случиться вследствие вспышки одной из сверхновых звезд.

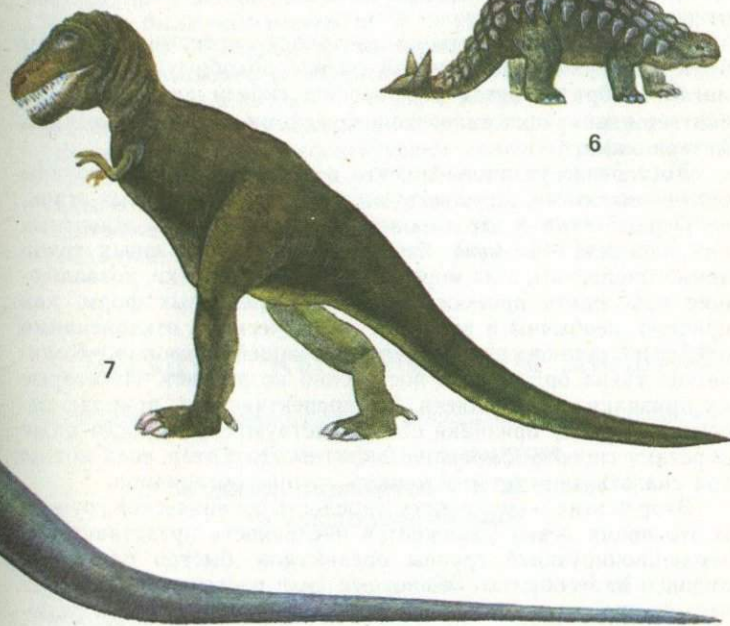
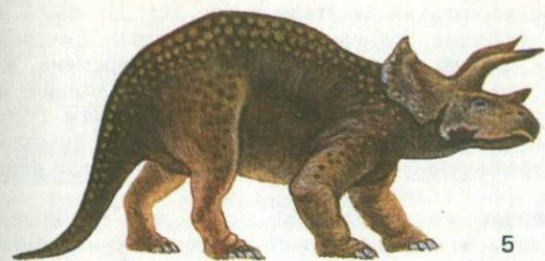
Но за всю историю Земли могло произойти всего десять подобных вспышек. Возраст Земли равен по крайней мере 5 млрд. лет, следовательно, на последние 600 млн. лет приходятся только одна-две вспышки новых звезд. А ведь за это время животный мир земного шара коренным образом изменялся по крайней мере 14 раз.

Гибель динозавров не представляет собой какого-то исключительного события в истории жизни; это лишь одно из проявлений закономерной смены растительных и животных групп. Если даже предположить, что древние животные действительно погибали от воздействия космических лучей, то почему тогда вымирание различных групп организмов обычно происходило неодновременно? Почему, например, космическое излучение не погубило других животных, живших рядом с динозаврами? Почему остались в живых млекопитающие, птицы, земноводные? Почему не погибла растительность на Земле? Ведь космические лучи вредны не только для животных, но и для растений.

Авторы гипотезы предполагали, что ее проверкой могло бы послужить палеонтологическое доказательство того, что



Некоторые представители группы динозавров: 1 — птерозавр; 2 — гадрозавр; 3 — трицератопс; 4 — сколозавр; 5 — тиранозавр.



завр; 3 — диплодок; 4 — текодонт, палеозойский предок динозавров;



динозавры вымерли на Земле повсеместно за время, не превышающее нескольких десятков тысяч лет. Но была ли гибель этой огромной группы организмов столь быстрой? Рассматривая земную историю сквозь призму времени, мы видим ее словно в перевернутый бинокль: чем дальше от наших дней, тем более сближенными кажутся нам события. Это обманчивое впечатление и заставило в прошлом веке сделать предположение об одновременности гибели динозавров.

Однако сейчас мы доподлинно знаем, что вымирание ящеров шло на протяжении долгого времени, исчисляемого не десятками тысяч, и даже не сотнями тысяч, а многими миллионами лет. Одни за другими уходили в небытие различные семейства, роды и виды древних пресмыкающихся. И только в сравнении с огромной длительностью общей истории планеты этот интервал времени представляется нам относительно кратким.

Поэтому специалисты-палеонтологи, которые призваны быть арбитрами при научной оценке подобных гипотез, не могли одобрить «звездную» версию гибели динозавров, не подтверждаемую ни палеонтологическими, ни геологическими материалами.

Достоверно установлено, что в развитии каждой группы органического мира существуют три последовательных этапа.

Первый этап — это зарождение новой группы животных или растений. На этой стадии представители юных групп немногочисленны, а их морфологические признаки, позволяющие проследить преемственность от предковых форм, как правило, необычны и выглядят экзотическими отклонениями от нормы, «узаконенной» предшествующей эволюцией. Количество таких организмов постепенно возрастает. Некоторые их признаки, оказавшиеся бесперспективными, природа отсеивает; другие признаки совершенствуются, а иногда даже обретают гипертрофированные формы. Этот этап, если можно так сказать, — детство и юность группы организмов.

Второй этап — молодость и зрелость органической группы. В это время резко умножается численность представителей эволюционирующей группы организмов, быстро растет их видовое многообразие. Животные (или растения) осваивают новые территории и приспосабливаются к различным условиям обитания. На этой же стадии в полной мере осуществляется биологическая специализация организмов, отражающая сложный комплекс их взаимоотношений с внешней средой.

Третий этап — это своеобразная старость группы. На этой стадии организмы как бы утрачивают способность действительно реагировать на перемены, происходящие в окружающем мире, лишаются своей биологической «пластичности» и словно теряют умение вырабатывать приспособительные свойства, ко-



которые позволяли бы им переносить изменения внешних условий.

Мы знаем теперь, что вырождение и вымирание больших групп животных и растений происходит не мгновенно, а на протяжении довольно значительного отрезка времени, длительность которого составляет для животных миллионы лет, а для растений — даже десятки миллионов лет. Так, группа динозавров начинает приходить в упадок во второй половине мелового периода и вымирает только в самом его конце, т. е. это продолжалось 30—40 млн. лет. Значит, гибель этих животных, по-видимому, не могла быть следствием ни быстрого изменения температуры, ни тем более усиления притока космических лучей.

Сходная закономерность прослежена на примере многих вымерших групп фауны и флоры. Но знание этого не дает ответа на вопрос: в чем именно выражались изменения среды, приводившие к преобразованиям органического мира? Что это были за изменения? В качестве объяснения причин вымирания отдельных групп организмов выдвигались гипотезы о повышении радиоактивности; о колебаниях прозрачности воздуха в связи с обильным выбросом вулканического пепла в эпохи горообразования; о возникновении дегенеративных мутаций под воздействием палеогеографических обстановок, климатических условий и питательной среды организмов; о скачкообразных изменениях солевого режима водоемов... Но ни одна из этих гипотез не позволяла оценить продолжительность превращений животного мира.

## ВОЗДУХ, КОТОРЫМ МЫ ДЫШИМ

### О жизни зеленого царства, о лесах, обращенных в камень, и кислороде-убийце

Как известно, наша планета окружена газовой оболочкой — атмосферой. Атмосфера Земли представляет собой смесь нескольких газов. Главенствующую роль среди них играют азот, кислород и аргон. На долю азота приходится около  $3/4$  объема всей атмосферы, кислород составляет приблизительно  $1/5$ , аргон — около  $1/100$ . Подчиненное значение в составе воздуха имеют углекислый газ и пары воды. Есть в атмосфере и другие газы, но они содержатся в ничтожных количествах.

## Состав атмосферы

Газ	Химическая формула	Содержание в атмосфере, %
Азот	$N_2$	78,09
Кислород	$O_2$	20,95
Аргон	Ar	0,93
Углекислый газ	$CO_2$	0,03
Пары воды	$H_2O$	До 4
Водород	$H_2$	0,001
Гелий	He	0,0005
Озон	$O_3$	0,000 007

Газовый состав атмосферы, на первый взгляд, кажется постоянным. Но он не всегда был таким, как сейчас. С помощью различных методов исследования достоверно установлено, что на протяжении истории Земли соотношение газов, входящих в состав воздуха, сильно изменялось.

В современной атмосфере первое место занимает азот, на втором месте стоит кислород, на третьем — аргон, на четвертом — углекислый газ. Но если бы мы могли перенестись на миллионы и миллиарды лет назад, перед нами предстала бы совершенно иная картина. В прошлые геологические периоды атмосфера содержала в сотни раз больше углекислого газа, чем ныне. Зато кислорода было мало. И чем дальше в глубь истории Земли, тем больше углекислого газа было в составе воздуха.

Правда, есть предположения, что первичная атмосфера состояла в основном из метана и аммиака. Но расчеты показывают, что и в этом случае химические процессы неизбежно должны были привести к замещению этих газов азотом и диоксидом углерода ( $CO_2$ ).

4 млрд. лет назад кислород, по-видимому, почти совсем отсутствовал в атмосфере, а первое место по объему занимал углекислый газ. Затем кислород стал постепенно накапливаться в воздухе, а углекислого газа становилось все меньше и меньше, пока, наконец, атмосфера Земли не приобрела свой нынешний состав. Этому в значительной степени способствовало развитие на Земле зеленой растительности.

Молекула углекислого газа состоит из одного атома углерода и двух атомов кислорода. Растения в процессе питания поглощают из воздуха углекислый газ и расщепляют его на углерод и кислород. Благодаря наличию в листьях зеленого вещества — хлорофилла — растения могут под действием солнечной энергии усваивать взятый из воздуха углерод и образовывать органические вещества. Эти вещества остаются в теле растений, а кислород выделяется обратно в атмосферу.

Процесс, в результате которого углекислый газ преобразуется в органическое вещество, получил название фотосинтеза. При фотосинтезе зеленые растения выделяют в



атмосферу громадное количество кислорода, спасая современные города от удушья и придавая лесному воздуху его живительную свежесть.

Если подсчитать, сколько кислорода освобождается растениями в ходе фотосинтеза, то окажется, что вся растительность земного шара (включая водоросли) ежегодно выделяет в атмосферу 430 млрд. т кислорода.

Подобно всем другим живым организмам, растения не только питаются, но и дышат. При дыхании они поглощают кислород и выдыхают углекислый газ. Процессы фотосинтеза могут протекать только под действием солнечного света. Поэтому растения способны выделять кислород лишь в дневное время, причем в освещенную часть суток они настолько интенсивно поглощают углекислый газ для питания, что дыхание у них становится совершенно незаметным. Зато ночью наблюдается обратное явление: зеленые листья начинают в большом количестве выдыхать углекислый газ, поглощая кислород воздуха. По этой причине и не рекомендуется спать ночью в закрытом помещении, в котором много комнатных растений, так как при отсутствии вентиляции в комнате может скопиться опасное для человеческого организма количество углекислого газа.

Для питания растениям требуется очень много углекислого газа. Они поглощают 590 млрд. т этого газа в год, очищая тем самым воздух. Но при дыхании выделяется углекислого газа значительно меньше. И разница между поглощенным и выдохнутым углекислым газом используется растением для строительства своего организма.

Однако проходит какое-то время, и растение погибает. Оно начинает гнить, разлагаться и вскоре от него не остается ничего, кроме горстки минеральных солей. Это значит, что все атомы углерода, из которых был построен организм растения, соединились с кислородом воздуха и вновь образовали углекислый газ; получилось то же самое количество углекислого газа, которое было некогда изъято живым растением из атмосферы.

Долгое время считалось, да и сейчас некоторые исследователи придерживаются такой точки зрения, что атмосфера Земли очистилась от углекислого газа и обогатилась кислородом благодаря «асимметрии» процесса дыхания и газового питания растений. Но уже в середине прошлого века появились серьезные возражения против этой гипотезы.

Если подсчитать, сколько углекислого газа было поглощено растением в результате фотосинтеза и сколько его было выделено в сумме при дыхании живого растения и разложении уже погибшего, то окажется, что эти величины будут равны между собой. Точно так же обстоит дело и с кислородом: при фотосинтезе его выделяется ровно столько, сколько в сумме используется для дыхания живого растения и идет на окисление после его гибели.

Тем не менее кислород все-таки постепенно накапливается в атмосфере. Почему же это происходит? Оказывается, не всегда после смерти растения углерод, входивший в состав его тканей, возвращается в атмосферу. Иногда погибшие растения попадают в такие условия, где доступ кислорода к ним бывает затруднен или вообще невозможен. Например, стволы деревьев могут упасть на дно озера и покрыться толщей глинистых наносов. В подобных случаях отмершие растения не гниют, а либо обугливаются, либо испытывают целый ряд других сложных химических преобразований, в результате которых получаются залежи каменного угля, торфа и других горючих полезных ископаемых.

Если провести, например, химический анализ каменного угля, то мы увидим, что эта порода состоит почти целиком из чистого углерода. Значит, кислород, который после гибели растения должен был соединиться с атомами углерода, не попал в круговорот и остался в атмосфере.

Академик Владимир Иванович Вернадский заметил, что количество углерода, содержащегося в горючих полезных ископаемых и известняковых породах, соответствует количеству свободного кислорода в атмосфере. Это дает возможность предположить, что накопление кислорода в атмосфере зависит от накопления горючих ископаемых, или, как их называют геологи, каустобиолитов.

Кислород начал накапливаться в атмосфере приблизительно 4 млрд. лет назад. Многие данные свидетельствуют о том, что примерно 700—800 млн. лет назад количества кислорода и углекислого газа в атмосфере, по-видимому, были равны между собой. Последующий отрезок времени, охватывающий геологическую историю Земли от кембрийского до четвертичного периода, характеризуется образованием в земной коре толщ каустобиолитов.

В конце 30-х годов ленинградский ученый, академик Павел Иванович Степанов составил интересную таблицу, в которой было показано, сколько каменного угля отлагалось на протяжении каждого геологического периода. Он установил, что накопление каменного угля происходило неравномерно. Периоды, для которых характерно образование большого количества залежей этой породы, чередуются с длительными отрезками времени, когда отложение ископаемых углей было ничтожно малым. Всего в истории Земли наблюдаются три максимума угленакопления — три эпохи, когда каменный уголь отлагался в толще земной коры особенно интенсивно.

Первая эпоха угленакопления охватывает середину и конец каменноугольного и весь пермский период. За это время образовалось около 40% всех известных запасов ископаемых углей. Вторая эпоха совпадает с юрским периодом и ранне-меловой эпохой, когда отложилось 5% всей массы каменного угля. Наконец, третий максимум угленакопления, на-



чавшийся в меловом периоде, продолжился в палеогене и неогене. За этот отрезок времени отложилось более половины известного на земном шаре количества угля. Зато в остальные периоды образование угольных залежей происходило значительно слабее.

Десять лет спустя после выхода в свет работы Степанова советские ученые провели подсчеты, в результате которых выяснилось, что отложение других горючих ископаемых приблизительно подчиняется той же закономерности. Было установлено, что на протяжении палеозойской эры образовалось около 40, в мезозое — 10 и в кайнозое — 50% всех подсчитанных запасов каустобиолитов.

Но если накопление кислорода в атмосфере действительно зависит от формирования залежей горючих ископаемых, то значит, и кислород накапливался в воздухе не равномерно, а скачкообразно. И чем больше горючих ископаемых отлагалось на протяжении того или иного периода, тем больше углекислого газа изымалось за это время из атмосферы и тем больше кислорода должно было оставаться в воздухе.

Исходя из этого предположения можно составить график, на котором будет изображено изменение соотношения между кислородом и углекислым газом в атмосфере на протяжении истории Земли.

В настоящее время в атмосфере содержится 1 500 000 млрд. т кислорода. Для освобождения такого количества кислорода необходимо, чтобы из воздуха было изъято приблизительно 2 060 000 млрд. т углекислого газа. Можно предположить, что это количество углекислого газа и было первоначально в атмосфере.

Общепризнано, что в значительных количествах кислород появился в атмосфере около 2,5 млрд. лет назад. Горные породы, имеющие возраст около 2 млрд. лет, уже несут признаки сравнительно высокоорганизованной жизни. Таковы, например, синие-зеленые водоросли и простейшие формы грибов, найденные в безжелезистых кремнистых породах Южного Онтарио (Канада).

Минимальное содержание кислорода, при котором возможна жизнь воздуходышащих организмов, равно 1,5—2%. Зная это, можно допустить, что в такой обстановке и существовали обитатели Земли 2 млрд. лет назад. Если принять, что компоненты воздуха вели себя как идеальные газы, и если считать количество азота в атмосфере величиной постоянной, то для достижения парциального давления кислорода 2% в атмосферу должно было поступить 116 000 млрд. т кислорода в результате изъятия из нее 165 000 млрд. т углекислого газа.

До начала кембрийского периода увеличение количества кислорода в связи с усилением фотосинтеза, очевидно, протекало по возрастающей кривой. На фоне этого возраста-

ния фиксируется крупный скачок в изменении соотношения между кислородом и углекислым газом, произошедший 700—800 млн. лет назад. По-видимому, с этого времени кислород стал преобладать над диоксидом углерода. Появление в позднем докембрии представителей животного мира может косвенным образом свидетельствовать в пользу такого предположения.

Последующий этап геологической истории Земли характеризуется ступенчатыми изменениями состава атмосферы. Эти изменения пропорциональны накоплению в земной коре горючих ископаемых, и наиболее резкие из них приурочены к тем периодам, на протяжении которых образование каустобиолитов достигало наибольшей интенсивности, т. е. к каменноугольному, юрскому, меловому, палеогеновому и неогеновому периодам.

В наши дни хозяйственная деятельность человека существенно нарушает ход природных процессов и приводит к возрастанию количества углекислого газа в атмосфере. Однако на расчетах для минувших геологических эпох это не сказывается.

А теперь вновь обратимся к палеонтологии. Биологи и палеонтологи широко используют старинный принцип составления родословных. Исследователи рисуют «родословное дерево», по которому можно проследить происхождение и развитие той или иной группы животных или растений. Каждому известно, например, родословное дерево позвоночных. В упрощенном виде оно выглядит совсем несложно.

От рыб произошли земноводные.

Земноводные дали начало пресмыкающимся.

Пресмыкающиеся явились родоначальниками птиц и млекопитающих.

Из класса млекопитающих выделилось высшее существо — человек.

Ветви или, вернее, стволы этого генеалогического дерева неодинаковы по толщине. Это не случайно. Палеонтологами подсчитано, сколько видов древних животных встречено в отложениях каждого периода. Там, где их много, соответствующий ствол утолщается, а где мало, он вытягивается в тонкий стебель.

Не подлежит сомнению, что атмосфера имеет громадное значение для появления и развития жизни на Земле. Без нее не могли бы существовать ни животные, ни растения. Животные очень чутко реагируют на все изменения окружающей среды. Поэтому, если в атмосфере действительно происходили циклические изменения газового состава, они неизбежно должны были повлечь за собой перемены в животном мире.

Из опытов, проведенных над современными животными, известно, что более высокоразвитые организмы чувствительнее к колебаниям состава воздуха, чем организмы менее сложные, а долгоживущие существа чувствительнее, нежели



недолговечные. И неожиданно намечается новое интересное решение палеобиологического вопроса.

Если приложить к родословному дереву позвоночных график, на котором показано изменение газового состава атмосферы во времени, можно увидеть, что линии, характеризующие вымирание или расцвет различных групп животного мира, соответствуют ходу кривой, показывающей увеличение содержания кислорода в атмосфере.

Напрашивается вывод: вымирание больших групп древних животных непосредственно связано с изменением газового состава воздуха. И это, конечно, касается не только динозавров. По-видимому, изменение состава атмосферы сыграло свою роль в эволюции всех классов позвоночных, будь то млекопитающие, земноводные или даже рыбы. В пользу этой гипотезы имеется немало доводов. О ее справедливости свидетельствуют анализ скелетных тканей вымерших организмов, закономерности эволюции дыхательного аппарата и системы кровообращения древних животных, характер биохимического режима тканей и особенности эмбрионального развития представителей современного животного мира. Но и эта гипотеза ни в коей мере не может считаться всеобъемлющей.

Бесспорно, что на вымирание и прогресс организмов определенное влияние оказали и борьба за существование, и местные похолодания, и образование новых горных хребтов, и изменения режима водоемов. Но какую роль сыграла каждая из этих сил — пока остается невыясненным.

Не исключена возможность, что на развитие органического мира повлияло и увеличение содержания в гидросфере дейтерия — тяжелого изотопа водорода. Сведения, которыми располагает геохимия, свидетельствуют о том, что содержание дейтерия в воде неуклонно повышается. Возможно, удастся найти доказательства, что и этот процесс на протяжении геологической истории ступенчато менял свою скорость.

Можно считать доказанным, что внезапные космические катастрофы не могут быть причиной эволюционного преобразования органического мира всей планеты. Тем не менее и они в состоянии сыграть определенную роль на общем фоне направленной эволюции.

В 1979 г. лауреат Нобелевской премии профессор Луис Альварес (по специальности — физик) и группа ученых Калифорнийского университета изучали в Италии химический состав горных пород, сформировавшихся в конце мелового и в начале палеогенового периодов. В отложениях, разделяющих мезозойские и кайнозойские образования, они обнаружили повышенную концентрацию редких химических элементов. Особенно интересным оказался пласт розоватого известняка, в нижней части которого содержались остатки микроорганизмов мелового, а в верхах — палеогенового возраста.

Между этими палеонтологически охарактеризованными слоями располагался тонкий (не более 1 см) прослой глины, в котором было установлено аномально высокое содержание иридия. Количество этого металла в глинистом пропластке более чем в 30 раз превышало его содержание в окружающем известняке.

Известно, что иридий мало распространен в земных породах, но довольно часто встречается в космической пыли и в некоторых типах метеоритов. Поэтому Альварес объяснил эту аномалию как результат столкновения Земли с каким-то космическим телом.

В последующие годы геохимические исследования пограничных отложений мела и палеогена были проведены во многих странах. И в десятках мест удалось установить наличие слоя с повышенным содержанием иридия. Увеличенные концентрации этого элемента были обнаружены на территории Испании, Китая, Новой Зеландии, Гаити, США, в донных осадках Тихого и Атлантического океанов. Наиболее значительной была аномалия, выявленная в Дании. В ее пределах содержание иридия было в 160 раз выше, чем в окружающих породах.

Стало очевидно, что аномалии иридия имеют глобальный характер и, скорее всего, являются следствием космических причин. Такой причиной могло быть падение на Землю крупного метеорита или астероида. Можно даже приблизительно оценить его размеры — около 10 км в диаметре. Статистические расчеты показывают, что встреча с метеоритом такого размера вероятно один раз в 30—100 млн. лет. Энергия подобного удара столь велика, что метеорит неизбежно разрушится. Значительная часть его должна при этом превратиться в пыль, которая вследствие движения воздушных потоков равномерно распределится в атмосфере и на некоторое время может существенно уменьшить ее прозрачность. Естественно, что пока эта пылевая завеса полностью не оседет на земную поверхность, животные и растения будут испытывать некоторую нехватку солнечного света и тепловой энергии. Если же атмосфера окажется настолько насыщенной пылью, что станет почти непрозрачной, то это может привести к гибели определенной части органического мира планеты. Эти аргументы и привел Альварес для объяснения причины вымирания динозавров.

Палеонтологические данные, однако, неопровержимо говорят о том, что вымирание динозавров началось задолго до предполагаемого момента падения астероида и не могло быть его следствием. Но тем не менее открытие иридиевой аномалии на границе мела и палеогена представляет большой интерес для палеонтологии. Любопытно, что в отложениях, располагающихся в разрезе над горизонтом с повышенным содержанием иридия, действительно не встречено



никаких следов существования древних ящеров. Не стало ли падение метеорита фатальным для последних представителей этой группы?

На Земле пока еще достоверно не найден кратер от упавшего в это время космического тела. Но оно вполне могло упасть в океан. В этом случае отыскать метеоритную воронку, а тем более продукты кратерных выбросов — дело почти безнадежное. Правда, известно несколько впадин, которые могли образоваться вследствие падения метеоритов в конце позднемелового времени или в самом начале палеогена. В нашей стране — это парные «кратеры» Приазовья, имеющие диаметр 25 и 3 км, а также две сближенные структуры, расположенные неподалеку от побережья Карского моря (60 и 25 км в диаметре). Похожие парные впадины известны и за пределами СССР — в Ливии. Если предположить, что все эти впадины возникли одновременно и являются следами падения осколков одного небесного тела и если принять во внимание, что за время, истекшее с начала палеогена, континенты могли переместиться, то можно даже начертить траекторию движения этого метеорита, которая завершится в море. А может быть...

На территории Украины под толщей кайнозойских отложений скрывается интересная структура — Болтышская котловина. Она имеет округлую форму, достигает 25 км в диаметре, вдаётся в древний кристаллический фундамент на глубину 0,5 км и по многим признакам очень напоминает ископаемый кратер невулканического происхождения. Радиологический возраст этой впадины — около 70 млн. лет. Не здесь ли упал метеорит, рассеявший в атмосфере Земли иридиевую пыль?

Геологи пытались обнаружить сходные геохимические аномалии вблизи границ и других стратиграфических подразделений. Их поиски вскоре увенчались успехом. Повышенные концентрации иридия были выявлены на рубеже эоцена и олигоцена, а также на границе пермских и триасовых отложений. Есть основания полагать, что Земля неоднократно встречалась с крупными метеоритами. За последние 2 млрд. лет на поверхность планеты выпали сотни тысяч больших небесных тел радиусом не менее 1 км, и по крайней мере несколько десятков из них оставили после своего падения кратеры более 10 км в поперечнике.

Но метеориты — не единственные космические объекты, которые могут оказать воздействие на органический мир планеты. Незадолго до Альвареса известный американский геохимик Гарольд Юри высказал предположение, что причиной гибели отдельных групп организмов (имелись в виду те же самые динозавры) могло быть столкновение Земли с огромной (массой в миллиарды тонн) кометой. При этом должно было произойти разогревание атмосферы, которое

могло оказаться гибельным для многих живых существ. Кроме того, если бы это космическое тело упало в океан, то воды его были бы отравлены солями синильной кислоты, образовавшейся из цианидов, которые есть в составе вещества кометы.

Таким образом, столкновения Земли с крупными космическими телами также могут рассматриваться в ряду многих факторов, влиявших на отдельные события в истории жизни на Земле. И хотя эволюция органического мира совершается постепенно и представляет собой направленный процесс, закономерности которого не могут быть объяснены мгновенными воздействиями подобных случайных катастроф, изучение катастрофических актов в геологической истории представляет большой научный и практический интерес. Поэтому в 1983 г. ЮНЕСКО и Международный союз геологических наук утвердили специально посвященный исследованию этой проблемы международный проект «Редкие события в геологии». В работе по этому проекту принимают участие ученые СССР, США, Великобритании, Франции, Швейцарии, Китая и других стран.

Материалов, по которым в той или иной мере можно проследить историю развития жизни на Земле, собрано много. Однако до сих пор еще никто не создал универсальной теории о причинах всех изменений, происходивших в животном и растительном мире нашей планеты. Эти проблемы по сей день ждут своего исследователя. Необходимы совместные усилия многих наук: геологии, палеонтологии, геофизики, зоологии, ботаники, зоогеографии (науки, занимающейся изучением географического распространения животных), фитогеографии (науки о пространственном размещении растений), химии, физики, генетики, климатологии, астрономии. Только обобщив данные всех этих отраслей знания, можно будет создать достоверную теорию, которая прольет свет на многие до сих пор темные страницы эволюции жизни.

Но мысль о том, что развитие органического мира планеты подчинено строгим циклам, уже сегодня дает нам возможность подойти к построению конкретных схем, на основании которых можно пытаться установить абсолютную продолжительность геологических периодов, опираясь на сведения о существовании представителей различных групп животных и выявленные закономерности формирования пластов горных пород, вмещающих останки вымерших организмов.



# ПУЛЬС ГАЛАКТИКИ

## О великих оледенениях, слоистой глине и космическом пути Солнца

Попытки исчисления геологического времени на основании периодической смены систематических групп древних организмов предпринимались уже давно. Еще в прошлом веке высказывались соображения о том, что можно найти единицу измерения времени, используя биостратиграфические подразделения, установленные в отложениях наиболее хорошо изученных геологических систем.

В 1889 г. Мельхиор Неймайр в работе «Племена животного царства» утверждал, что интервалы времени, в которые происходило развитие каждого из видов наиболее распространенных морских животных, можно считать приблизительно одинаковыми по их продолжительности. Значит, и отрезки геологических разрезов, охарактеризованные равноценными в стратиграфическом отношении комплексами видов ископаемых организмов, можно принять за единицу шкалы, отражающей протяженность геологической истории.

Подобные отрезки геологических разрезов, в пределах которых древние морские животные продолжали оставаться в большинстве своем одинаковыми, были названы зонами. Продолжительность геологических периодов и эпох должна была, по предположению Неймайра, измеряться количеством зон, наблюдаемых в составе тех или иных отложений.

Действительно, еще за 20 лет до выхода в свет труда Неймайра известный немецкий палеонтолог Вильгельм Вааген развивал гипотезу о том, что мутации видов головоногих моллюсков — аммонитов — возникают через определенные и приблизительно равные интервалы времени.

Но хронологическая единица Ваагена и Неймайра, соответствующая времени образования зоны (ее называют зональным моментом), есть величина относительная. Какова же ее абсолютная протяженность? И можно ли утверждать, что смена комплексов животного мира всегда происходит через равные промежутки времени? Палеонтологический материал не мог предоставить достаточных оснований для ответа.

Пришлось обратиться к изучению сил, способных вызывать изменение внешних условий, в которых протекает жизнь органического мира. Исследования географической обстановки минувших времен показали, что наряду с признаками,

присущими той или иной эпохе, существует множество характерных черт, проходящих через всю доступную для изучения земную историю.

Одной из таких черт, оставивших свои следы в отложениях всех геологических периодов, являются свидетельства изменения климатических условий на земном шаре. Мимо внимания геологов не могло пройти крайне интересное явление: во всех осадочных образованиях — от кембрия и доныне — упорно повторяется некая единообразная последовательность процессов.

Начали систематизировать наблюдения, обрабатывать их, и оказалось, что эта циклическая повторяемость условий формирования осадков подчинена хорошо выдержанным во времени ритмам, характер которых напоминает периодичность изменения климата в современную эпоху. Общая закономерность была такая же: малые ритмы объединялись в более крупные, а те в свою очередь оказывались подчиненными следующим, еще более грандиозным циклам. Вставал вопрос: можно ли измерить в абсолютных единицах протяженность этих этапов развития земной коры? Казалось, что историческая геология и абсолютная геохронология еще не располагают достаточным количеством сведений, чтобы решить эту сложную проблему. Остановились перед нею в нерешительности и астрономы.

Выяснилось, что далеко не все ритмы, нашедшие отражение в слоистых толщах, могут быть использованы для воссоздания хода древних климатических процессов. Очень часто слоистость пород бывает обусловлена действием внутренних геологических сил, проявляющихся на сравнительно ограниченной территории. Она может порождаться особыми колебаниями дна бассейна, где происходит накопление осадков.

В древних вулканических областях, например на Алтае и Южном Урале, можно встретить иной вид слоистости, возникший в результате деятельности нагретых вод. Своеобразную слоистость можно наблюдать в отложениях, связанных с извержениями некоторых вулканов. Во всех этих образованиях тоже наблюдается ритмичность. Но это явления местного порядка. В лучшем случае они составляют особенность той или иной геологической провинции. Поэтому геологи обратились к слоистости другого типа, имеющей более широкое, возможно даже планетарное, распространение.

Самые короткие по продолжительности периодические колебания погоды проявляются в ежедневном изменении температуры земной поверхности и воздуха. Геологическое влияние этих суточных изменений может увидеть каждый. Если взглянуть на разрез свежееобразованных наносов в устье оврага, нельзя не заметить чередования простейших осадочных цик-



лов, вызванных бурной деятельностью водотока в дневное время и сменяющим ее спокойным течением в ночные часы.

Подобные суточные ритмы хорошо известны в отложениях временных потоков пустынных предгорий и в солевых осадках мелких озер засушливой зоны. Некоторые минеральные источники также подчиняют свою жизнь размеренной смене дня и ночи. Примеров таких можно привести множество. И значение суточных ритмов в формировании лика планеты огромно. Но в отложениях геологического прошлого суточная цикличность почти неизвестна.

Значительно чаще геологи встречаются с проявлением ритмов слоистости, обусловленным чередованием времен года. Количество выпадающих осадков, интенсивность засух, ветры и ливни — все эти сезонные изменения метеорологических условий сказываются на характере слоистости.

Уже давно было замечено, что слоистость такого типа наиболее отчетлива в солевых и ледниковых образованиях. Классическим объектом изучения годичной смены слоев стали ленточные глины — осадки приледниковых озер. Эти глины состоят из чередующихся слоев песчаных и глинистых частиц.

В летнее время ледниковые воды приносили в озеро много обломочного материала и на дне осаждался светлый слой песка. Зимой озеро покрывалось льдом, песчаные частицы не поступали, взмученная за лето вода постепенно отставалась и на дно ложился тонкий темный слой глинистого осадка. Каждый летний слой постепенно переходит в зимний, образуя двухцветный пласт. Эти пары сменяющих друг друга слоев похожи на ленты, отсюда и название породы «ленточная глина». Переход же от зимнего слоя к очередному летнему всегда выражен очень резко. На поверхности весенней границы зимних лент нередко можно увидеть отпечатки кристаллов льда либо сложный рисунок мерзлотного растрескивания породы.

Поскольку осадки каждого года разделены отчетливо выраженным рубезом, можно подсчитать, сколько лет потребовалось для образования всей толщи ленточных глин. А сравнив результаты подсчета числа лент в отложениях различных районов, можно установить скорость движения ледника. Было выяснено, например, что с начала формирования ленточных глин под Ленинградом прошло 16,5 тыс. лет; приблизительно в это же время ледник находился на территории Финляндии и Дании, а 15 тыс. лет назад он коснулся южного побережья Швеции.

Но палеоклиматологи не успокоились на достигнутом. Измеряя толщину ежегодного прироста осадочных отложений, они заметили, что количество вещества, выпадающего на дно водоемов, в разные годы неодинаково. В ход было пущено простое, но действенное оружие — ритмограммы.

Ритмограмма представляет собой несложный график. По его горизонтальной оси откладывают равные отрезки, соответствующие годам, а по вертикальной — годичный прирост осадков. Этот прирост можно фиксировать для каждого года в целом, а можно строить и отдельные графики для летнего и зимнего сезонов. Полученные таким способом спектры кривых вскрывают интересные подробности. Теперь вместо общих соображений о наличии цикличности нескольких порядков можно установить достоверность существования таких циклов и измерить их продолжительность с точностью до одного года.

Циклы первого порядка, как уже говорилось, представлены чередованием зимнего и летнего накопления осадков. В поисках более длительных периодических изменений климата геологи прежде всего продолжили изучение древних ледниковых образований.

Известно, что ледниковые отложения присутствуют во всех (вернее, почти во всех) геологических системах. Предстояло сравнить между собой ледниковые толщи различных континентов и выяснить, действительно ли все эти оледенения имели планетарное распространение. Задача была не из легких. При попытке очертить площади, захваченные в былые времена ледниками, надо было учитывать условия, регулирующие характер проявления и сохранности ледниковых образований. А условия эти существенно зависят от взаимного расположения морей и материков, которое в ходе геологической истории многократно менялось и не всегда может быть установлено бесспорно.

Тем не менее усилиями геологов многих стран была выполнена огромная работа, позволившая собрать воедино разрозненные факты и восстановить общую картину. Теперь мы знаем, что крупные материковые оледенения оставили свои следы лишь в отложениях на границе докембрия и палеозоя, в верхнепалеозойских и четвертичных. Обычно же геологи встречаются с ледниковыми образованиями, формировавшимися на стыке суши и моря — в области так называемого шельфа. Такие ледниково-морские отложения известны, например, в Боливийских Андах, а в Советском Союзе — на Патомском нагорье.

Оледенения же палеогенового, юрского, триасового, девонского и кембрийского периодов, по-видимому, были местными; они не дают возможности говорить о наступлении холодных эпох планетарного масштаба. Свидетельств подобных местных оледенений множество. Их находят почти повсюду: от окрестностей Красноярска в СССР до горных хребтов Колорадо в США.

Ритмограммы ледниковых отложений различного возраста имеют много общего.



Сказать о том, каковы были изменения климата в древнейшую — архейскую — эру, трудно. Можно лишь утверждать, что и в это время тонкослоистые ленточные отложения имели правильный сезонный характер.

Но в зеленоватых сланцевых породах, так называемых филлитах, образовавшихся в конце архейской эры, уже обнаруживаются климатические ритмы. В классическом обнажении этих пород, расположенном на берегу оз. Нисаярви на юго-западе Финляндии, была изучена серия сланцев, отлагавшаяся на протяжении 40 тыс. лет. В течение всего этого времени накопление осадков подчинялось постоянным циклам, сменявшим друг друга каждые три года. А на фоне трехлетних циклов достаточно отчетливо заметна периодичность, повторявшаяся через 10 или 11 лет.

В нижнепротерозойских ленточных сланцах Енисейского кряжа выступает ритмичность несколько иной длительности. Если от устья Подкаменной Тунгуски подняться вверх по Енисею до оз. Монастырского, можно увидеть наряду с трехлетними циклами ритмы пяти- и шестилетней продолжительности.

В еще более молодых отложениях на западных склонах Южного Урала заметны трех- и одиннадцатилетние циклы. Кроме того, в распространенных здесь озерно-морских ленточных породах верхнего докембрия намечается менее четкая тридцати- или тридцатипятилетняя периодичность.

Правильная повторяемость трех- и одиннадцатилетних циклов прослеживается в докембрийских отложениях из многих мест земного шара. Тридцатилетние циклы тоже наблюдаются достаточно часто. А в бассейне Ангары к ним присоединяются ритмы продолжительностью 70 лет.

Сквозь весь фанерозой проходит трехлетняя смена циклов, и столь же постоянны одиннадцатилетние колебания климата. Их можно наблюдать и в нижнем кембрии бассейна Лены, и в ордовике Центральной Сибири, и в каменноугольных отложениях Тянь-Шаня, и в эоценовых сланцах Северной Америки.

А диаграммы слонстости четвертичных отложений с завершающей полнотой подчеркивают общую закономерность. И здесь протяженность планетарных колебаний климата сохраняется прежней: 3, 11 и 25—35 лет.

Проявление трехлетних ритмов можно проследить в колебаниях уровня замкнутых морей (например, Каспийского) и в современном изменении количества ежегодно выпадающих атмосферных осадков. Одиннадцатилетний период соответствует появлению солнечных пятен. Не исключено, что и другие циклы также отражают влияние на климат Земли каких-либо изменений солнечной активности, природа которых сегодня еще не установлена.

Можно только отметить, что если трехлетние циклы соответствуют некоторому «нормальному» состоянию климата, то ритмы более высоких порядков связаны с процессами, вызывающими периодическое понижение среднегодовой температуры и общее ухудшение климатических условий. Такую же роль, по-видимому, играют и семидесятилетние климатические периоды, которые можно проследить и в четвертичное время, например, в дюнных отложениях Средней Азии. Однако циклы более высоких порядков изучены пока еще недостаточно.

В 30-х годах нынешнего века в Берлине была опубликована любопытная работа. Ее автор сербский физик Милютин Миланкович предлагал вниманию специалистов построенную им кривую солнечной радиации. Такие кривые и раньше вычерчивались астрономами, но новое построение отличалось от всех предшествующих: оно охватывало интервал времени протяженностью 600 тыс. лет.

На кривой Миланковича хорошо заметны периоды, приближающиеся к 21 тыс. лет, т. е. отвечающие солнечному циклу предварения равноденствий. Возможно, что отражением этих периодов в геологической истории является чередование ледниковых и межледниковых эпох.

Из анализа фактов, собранных геологами и палеоклиматологами, напрашивается вывод о планетарном значении и постоянстве крупных климатических циклов на протяжении всего доступного изучению геологического времени начиная с архея или, во всяком случае, с протерозоя. А это в свою очередь заставляет предположить, что существуют некие формирующие климат силы, действующие на планету извне. На передний план снова выступают признаки похолоданий и связанных с ними оледенений. Особенно интересны в этом отношении оледенения, сказавшиеся на флоре и фауне всей или почти всей планеты.

Последнее оледенение произошло в четвертичном периоде. Ему предшествовало повсеместное похолодание. Более 2 млн. лет назад появились первые признаки понижения температуры. Они оставили слабые следы в плиоценовых отложениях Черноморского бассейна. Но во второй половине плиоценовой эпохи новые волны холода залили Землю. Горные области покрылись ледниками.

На территории нынешних Испании, Франции, Северной Италии, Австрии и Украины развивались в это время отложения, свидетельствующие об изменении климата. Сходная обстановка наблюдалась и в Азии: на Алтае, на севере Патомского нагорья, в Западном Приверхоянье и в приуральской части Западно-Сибирской низменности. Влияние наступивших холодов сказалось и на температурном режиме морских бассейнов. Беднее и однообразнее стал органический мир морей, далеко на юг проникли водные животные аркти-



ческого облика. Затем волна холодов ненадолго отхлынула, чтобы вернуться с удвоенной силой.

Около 500 тыс. лет назад началось настоящее материковое оледенение. Оно охватило Европу, Сибирь и Канаду. Временами ослабевая, холод продолжал натиск и около 230 тыс. лет до наших дней достиг своего максимума. После этого оледенение стало отступать. Заметное похолодание коснулось Земли в меловом периоде. Последний раз ледники пытались возобновить свою атаку 25 тыс. лет назад.

Мощное оледенение произошло на грани каменноугольного и пермского периодов. Оно продолжалось несколько миллионов лет. Основное поле его действия располагалось в Южном полушарии, где, по мнению многих геологов, простиралась в это время обширная, ныне не существующая провинция Гондвана.

В Северном полушарии следы этого оледенения изучены недостаточно. Может быть, его свидетелями являются неслоистые, мелкозернистые, наполненные валунами породы — тиллиты, найденные близ Бостона в Северной Америке. Не исключена возможность, что к ледниковым относятся также родственные им породы, открытые на р. Сакмаре (Южный Урал). Правда, надо оговориться, что некоторые видные геологи не разделяют этого мнения. Зато можно считать установленным, что на западе Сибирской платформы в это время был прохладный климат с отчетливо выраженной многолетней цикличностью.

Значительное материковое оледенение происходило и в ордовикском периоде. На территории Англии, Тюрингии, на крайнем севере Европы, в бассейне р. Святого Лаврентия (Канада), в Боливийских Андах и Южной Африке встречаются ледниковые отложения этого возраста. Имеются они и на Среднем Урале в бассейнах рек Вишеры и Косьвы.

Куда более сильный холод охватывал Землю еще раньше — на границе позднего протерозоя и кембрия. Нет на земном шаре ни одной значительной области распространения верхнедокембрийских отложений, где не были бы встречены следы этого грандиозного понижения температуры.

Радиологические методы позволили установить абсолютный возраст эпох, в которые наша планета подвергалась нашествию холода. Оказалось, что эти критические моменты истории Земли располагаются через приблизительно равные промежутки времени.

Факты планетарных похолоданий известны и в докембрийских образованиях. 700 или 800 млн. лет назад, очевидно, произошли какие-то серьезные изменения в химическом составе газовой оболочки Земли. По всей вероятности, они были тесно связаны с изменением климата.

1 млрд. лет до наших дней имело место крупное оледенение, получившее название гуронского. А рубеж в 1,2 млрд.

лет охарактеризован еще одним — тимискаминским — наступлением ледника. Таким образом, на протяжении около 1 млрд. лет великие оледенения, по-видимому, повторяются через каждые 190—200 млн. лет. Эти цифры, конечно, весьма приблизительны и требуют уточнения, но общая закономерность отражает действительное положение вещей.

Для более древних отложений имеется значительно меньше данных о времени, характере и площадях распространения оледенений. Но сколь ни скудны эти сведения, обращает на себя внимание интересное совпадение: среди оценок абсолютного возраста предполагаемых ледниковых образований часто фигурируют даты 1200, 1650, 2000 и 2650 млн. лет. Создается впечатление, что и здесь временные интервалы кратны 200 млн. лет.

Интересно, что протяженность вычисленного ныне промежутка между великими оледенениями совпадает с очень важной величиной, которая совершенно независимо от геологов была установлена астрономами. Эта величина — продолжительность космического, или галактического, года, т. е. то время, за которое Солнечная система совершает полный оборот вокруг центра Галактики. Она тоже составляет 190—200 млн. лет. Едва ли такое совпадение может быть случайным.

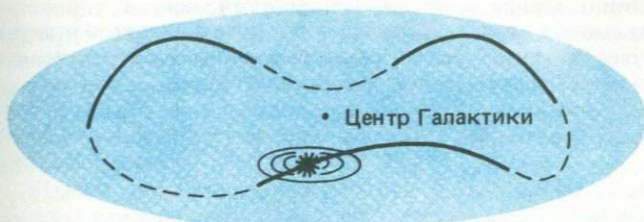
Движение Солнечной системы из внутренних, изобилующих звездными мирами областей Галактики в ее разреженные периферические участки (а также обратное перемещение), по всей вероятности, не может не оказывать влияния на нашу планету. Такое перемещение неизбежно должно сказаться на скорости движения Земли, а следовательно, должно отразиться и на характере энергетических процессов, протекающих в атмосфере, гидросфере и твердых оболочках планеты.

Можно предположить, что общее похолодание и великие оледенения наступали в то время, когда Солнечная система находилась на участке своей орбиты, расположенном в наиболее далеко отстоящих от центра Галактики областях, обладающих минимальной звездной плотностью.

За последние 3 млрд. лет по крайней мере 15 раз приходили на Землю подобные космические зимы. Возможно, они не были полностью похожи друг на друга и могли различаться степенью похолодания. Некоторые астрономы предполагают, что Земля и сейчас находится в разреженной наружной зоне Галактики.

Но космическая зима намного короче того периода, когда Солнце пребывает в пространстве, насыщенном звездными системами. Поэтому одна из ближайших задач геологов — найти такие признаки, по которым можно было бы изучать тепловую палеоклиматическую зональность космического года.





Плоскость Галактики

Галактическая орбита Солнечной системы. Для наглядности размах отклонений траектории Солнечной системы от плоскости Галактики значительно увеличен.

Не подлежит сомнению, что кроме циклов в 200 млн. лет существуют и другие — более короткие — геологические и палеоклиматические ритмы. 10 млн. лет — это примерная продолжительность космической зимы. Но за время каждого оледенения происходило неоднократное чередование волн тепла и холода. Еще предстоит выяснить их периодичность и отыскать причины, вызывающие эти перемены.

До недавнего времени было предпринято много попыток объяснить оледенения как результат процесса образования гор, поглощающего большое количество энергии. Гипотеза о связи оледенений с горообразованием, казалось, находила подтверждение при изучении местных горных оледенений. Однако закономерности материковых оледенений никак не укладывались в рамки этой гипотезы.

Было установлено, что крупные этапы горообразования проявляются примерно каждые 38—45 млн. лет. Эти цифры никак не согласовываются с возрастом великих оледенений. Время формирования гор не совпадает с эпохами похолоданий и даже не предшествует им.

В 1954 г. советский астроном Павел Петрович Паренаго установил, что в процессе движения по своей орбите Солнечная система совершает плавные волнообразные колебания, направленные перпендикулярно к плоскости Галактики. Период таких колебаний равен приблизительно 85 млн. лет.

Эта величина сразу заинтересовала геологов. Она была в среднем вдвое больше, чем интервал между соседними фазами горообразования. Так наметился еще один цикл в развитии планеты, равный полупериоду колебания Солнечной системы по отношению к плоскости ее движения. И уже имеются соображения, что горообразующие силы наиболее интенсивно проявляются в те отрезки времени, когда Солнечная система (и Земля в том числе) пересекает плоскость Галактики.

Нет сомнения, что космические причины влияют не только на климат нашей планеты. Их видимая связь с горообразовательными процессами заставляет искать и другие отзвуки космической жизни Земли, которые позволили бы установить продолжительность геологических явлений.

## КОЛЬЦА ВРЕМЕНИ

### О желтой сосне, рубленых церквах, Холопьев улице и коммунальном хозяйстве Новгорода

Проходя по лесу, остановитесь у старого замшелого пня. Сотрите мохнатый покров со среза. Перед вами откроется похожая на паутину сеть концентрических кругов, перечеркнутая радиальными трещинами, — кольца дерева. Они могут поведать о рождении растения, о долгих осенних дождях и ярком июльском солнце, о месяцах цветения, плодородных годах, безводных временах...

Тщательно изучая древесные кольца, ученые шаг за шагом восстанавливают историю леса, историю природы, историю жизни. Десятилетие за десятилетием всплывают перед глазами человека, сумевшего разгадать язык деревьев.

Совсем недавно родилась эта наука, получившая название дендрохронологии, — наука о закономерностях изменения толщины колец роста растений.

В Сибири и на Украине, в преддверии Аляски и на солнечных склонах Апеннинских гор — в любом месте умеренной и холодной зон деревья обладают замечательным свойством, известным любому из нас с детства: каждый год, будь то злая засуха или сплошные ливни, на стволе деревьев нарастает новый слой древесины. Эти слои прироста известны под названием годовичных колец, ибо за год обычно образуется одно такое кольцо.

Ширина годовичных колец крайне изменчива. Температура, количество выпавших осадков, число солнечных дней, режим окрестных водоемов, нападения насекомых-вредителей — все эти причины либо способствуют росту дерева, либо приостанавливают его. На толщину ежегодного прироста влияют еще и внутренние биологические силы, например, возраст растения, периодичность, с которой оно плодоносит, обильность плодоношения в нынешний год, интенсивность питания и обмена веществ, а также положение интересующего нас слоя древесины в стволе.



Все эти обстоятельства, складываясь вместе, воздействуют на организм дерева и создают благоприятную или неблагоприятную обстановку для его роста. В те годы, когда условия внешней среды неблагоприятны для растения, годовичные кольца его выглядят угнетенными — это тонкие окружности, порой едва различимые даже на свежем срезе. Если же год был благоприятным для дерева, образуются отчетливые широкие кольца.

Одни и те же природные факторы могут оказывать неодинаковое влияние на разные породы деревьев. Жаркое солнечное лето способно оживить одно растение и приблизить гибель другого. В таком случае и кольца роста этих деревьев разовьются по-разному. Другое дело — условия неблагоприятные. Будет ли чрезмерное увлажнение, повеют ли устойчивые иссушающие ветры, нападут ли на лес насекомые или вдруг оскудеет почва — все это не замедлит сказаться на каждом растении. На десятки и сотни километров окрест зеленые обитатели леса ответят на эти явления одинаково: их кольца прироста, образовавшиеся в этот год, будут тонкими, болезненными.

Толщина колец роста во многом зависит и от возраста дерева. Чем моложе растение, тем шире его кольца. В один и тот же год у старых и молодых деревьев образуются кольца различной толщины. Случается иногда даже так, что при самых неблагоприятных условиях на молодых деревьях возникают кольца более широкие, чем появившиеся на древесине старого дерева в самые благоприятные для него годы. Зная эту особенность роста деревьев, можно заключить, что сравнивать между собой годовые кольца деревьев разного возраста бесполезно.

Но если мы проследим, как изменяется толщина слоев нарастания по сравнению с предшествующими и последующими годовичными кольцами, перед нами откроются широкие возможности для тех или иных выводов. Среди различных сил, способствующих росту дерева, главнейшую роль играют свет, тепло и влажность. Изменения климата: долгие дожди или затяжной зной, морозы, зимние заносы или бесснежные зимы — обычно наблюдаются на огромных территориях. Поскольку погодные условия связаны с активностью Солнца и состоянием атмосферы, единообразное действие их проявляется на большой площади, оказывая влияние на развитие всего живого.

Отражаются эти изменения и на древесине, обуславливая на ней кольца роста различной толщины. Но поскольку силы, побуждающие рост дерева, и особенно те из них, которые оказывают на растения отрицательное влияние, действуют на больших участках земной поверхности одновременно, то и колебания толщины годовичных колец деревьев должны быть синхронными.

Различные породы деревьев по-разному реагируют на изменения внешней среды. Одни из них отчетливо запечатлевают историю природы в своих ежегодных слоях прироста, другие проявляют большее безразличие к внешним условиям. Поэтому и «книга» годичных колец читается то легко, а то с трудом.

Самые отчетливые годичные кольца мы находим у сосны. Не уступают ей и многие другие хвойные деревья, с которыми обычно и предпочитают работать специалисты-дендрохронологи. Зато у лиственных деревьев кольца роста, как правило, менее отчетливые, иногда совсем неясные, и восстанавливать по ним минувшую обстановку намного сложнее.

Колебания толщины годичных слоев можно изобразить на графике. Если потом сравнить такие графики, построенные для нескольких деревьев, срубленных одновременно, можно увидеть, что закономерность, с которой чередуются узкие и широкие кольца на каждом из срезов, повторяется на всех чертежах. Рассматривая зигзагообразные линии, характеризующие интенсивность роста дерева, мы можем представить себе, как изменялись климатические условия на протяжении десятилетий.

Изучать поперечные срезы древесины сравнительно несложно. Поперечный разрез ствола рассматривается под микроскопом, и на нем измеряется ширина каждого годичного слоя. По этим данным строится график изменений толщины колец. Там, где кольца толще (благоприятная обстановка), кривая графика идет вверх; там, где они наиболее узкие, — опускается вниз, свидетельствуя о суровых и трудных для растения годах.

Взяв дерево, срубленное в нынешнем году, и построив для него график роста годичных колец, мы получим эталон — краткую запись изменений природной обстановки за весь период жизни растения. Предположим теперь, что где-то в той же климатической зоне мы нашли спиленный ствол другого дерева, и нам нужно определить его абсолютный возраст. Для этого необходимо изготовить биологический срез древесины интересующего нас ствола и тоже составить для него график роста. Сравнивая оба графика, мы увидим, что более старые слои только что срубленного дерева чередуют свою толщину с той же закономерностью, которую мы наблюдаем на молодой половине дерева, спиленного раньше.

Возраст эталонного дерева нам известен. Допустим, что оно было срублено в 1985 г. в возрасте 50 лет. График роста этого дерева за первые 20 лет его жизни совпал с кривой, характеризующей последние 20 лет жизни найденного нами дерева. Подсчитаем теперь общее число годовых колец на определяемом дереве; пусть, к примеру, их оказалось 65. Стало быть, можно утверждать, что интересующее нас дерево было спилено в 1955 г., а расти оно начало в 1890 г.



Картину изменения климатических условий за последние 50 лет мы прочли по стволу, срубленному последним — в 1985 г., но теперь у нас появились новые данные, позволяющие восстановить природную обстановку, существовавшую на нашей территории с 1890 по 1935 год. С этим вторым эталоном можно сравнивать срезы древесины других — еще более старых — деревьев и, надстраивая графики годичных колец, проникать все дальше в глубь истории леса.

Казалось бы, этот простой метод позволит углубиться в прошлые времена на многие десятки и сотни лет, стоит лишь изучить срезы старых деревьев и бревен из старинных строений, время закладки которых известно по древним летописям. Ученые многих стран Европы стали пытаться применить дендрохронологический метод к датированию материалов, полученных при раскопках городов.

Но выяснилось, что дело обстоит далеко не так просто. Древние деревья в европейских лесах насчитывают всего 300—400 лет от роду. Разве только дуб живет полтысячелетия и лишь иногда достигает шестисотлетнего возраста. Но древесину лиственных пород изучать трудно. Крайне неохотно рассказывают ее расплывчатые кольца о прошлом. Кроме того, необходимо было собрать биологические срезы древесины по каждому из многочисленных районов со своей спецификой природных условий. Да и пригодного археологического материала, вопреки ожиданиям, оказалось недостаточно.

В более благоприятном положении находились американские исследователи. В лесах Северной Америки встречается немало древесных пород, жизнь которых длится целое тысячелетие. Таковы, например, пихта Дугласа, желтая сосна и некоторые другие голосеменные растения. Продолжительные поиски принесли еще большую удачу: был обнаружен вид высокогорных сосен, живущих более 4500 лет.

Волею природы в лесах Нового света наиболее долговечными оказались хвойные деревья, годичные кольца которых отчетливые и позволяют легко дешифровать древнюю климатическую обстановку. Повезло здесь и археологам. На раскопках индейских городищ найдено много образцов древесины, что дало возможность построить дендрохронологическую шкалу более чем на тысячелетие.

Долгое время дендрохронологические исследования проводились в основном на территории Америки. Европа в этом отношении оставалась для ученых белым пятном. Но с 50-х годов такие исследования широко развернулись в нашей стране. Особенно благоприятными для изучения оказались северные районы европейской части России. Почвы этих мест, обильно увлажненные осадками и глубоко прохватаемые морозами, хорошо консервируют древесину. Они превратились в хранилище многочисленных древесных стволов.

Одна из богатейших коллекций ископаемого дерева собрана на раскопках древнего Новгорода. Старинные здания, бревенчатые настилы, стояки церквей, срубы колодцев — этот обширный археологический материал получили в свои руки исследователи. Слои за слоем вскрывая напластования, отложившиеся за время многовекового существования великого города, археологи обнаружили несколько тысяч образцов древесных пород, захороненных на самой различной глубине.

Более 8 м наносов накопилось в Новгороде за последнюю тысячу лет. И повсюду в этой толще встречается древесина. Но как связать между собой возраст разрозненных находок? И удастся ли это сделать вообще? Чтобы ответить на эти вопросы, предстояло изготовить поперечные срезы более чем трех тысяч найденных в земле деревьев, сосчитать на каждом из них количество слоев, построить графики роста годовичных колец. Затем надо было несчетное число раз располагать эти графики в различной последовательности до тех пор, пока кривые роста всех образцов не совместятся и, надстраивая друг друга, не вытянутся в одну неразрывную линию.

Но остатки деревьев, найденные при раскопках, принадлежат нескольким древесным породам. Для каждой из них приходилось строить свою дендрохронологическую шкалу. И естественно, возникали опасения, хватит ли имеющегося материала, чтобы воссоздать полностью всю картину истории лесов этого района? Не выяснится ли, что среди изучаемых находок будут невосполнимые пробелы во времени, которые сделают невозможным построение законченной шкалы?

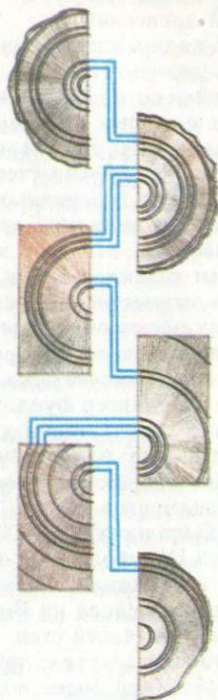
Для того чтобы связать дендрохронологическую шкалу с абсолютным летосчислением, достаточно знать точный возраст хотя бы одного кольца. Проще всего, конечно, выполнить привязку, если известен год, когда было срублено дерево. При работе с многовековыми породами деревьев этот путь наиболее перспективен: по свежесрубленному дереву устанавливается эталон, к которому впоследствии «привязывают» кривые годовичных колец, прочитанные на археологической древесине. Таким методом составлено большинство американских шкал. Но при новгородских раскопках не было встречено погребенных деревьев, которые позволили бы на одном срезе сразу пронаблюдать историю нескольких столетий. Поэтому работа дендрохронологов значительно усложнилась.

Необходимо было внимательно изучить летописные источники и выбрать из них все календарные даты, касающиеся времени постройки деревянных зданий, а также выискать все даже самые мимолетные сообщения о значительных изменениях климата и о других природных явлениях, которые могли оказать влияние на интенсивность роста деревьев. Полученные сведения потребовалось тщательно систематизировать и расположить в хронологической последовательности,

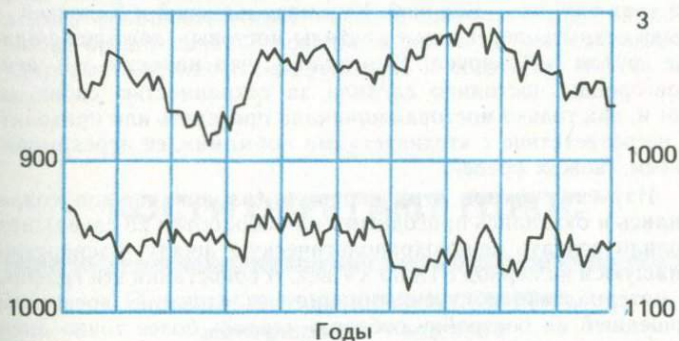




1



2



3

Дендрохронологические построения: 1 — поперечный срез древесного ствола; 2 — сопоставление синхронно образовавшихся годичных колец по срезам нескольких деревьев; 3 — изменение прироста годичных колец хвойных растений в лесах Новгородской области с 900 до 1100 года.

чтобы затем сопоставлять с ними кривые роста археологической древесины.

До наших дней сохранились некоторые строения, воздвигнутые девять столетий назад. В основном это храмы, год постройки которых отмечен в летописях. Правда, очень многие из них сложены из камня. Но, к счастью, лежни фундаментов каменных зданий обычно были бревенчатыми; кроме того, кое-где внутри стен сохранились остатки укрепляющих связей, тоже деревянных. На эти детали старинных построек и обратили внимание дендрохронологи.

Известно, что для постройки зданий лес обычно заготавливали в зимнее время, с тем чтобы с наступлением тепла начать строительные работы. Проверка древесины с новгородских раскопок подтвердила, что это правило соблюдалось нашими предками на протяжении почти тысячи лет. Значит, последнее внешнее кольцо прироста, которое мы видим на лежне старинного фундамента, соответствует году, предшествующему календарной дате постройки храма.

Установив по летописям годы заложения новгородских церквей, дендрохронологи взяли для исследования лежни от фундаментов церкви Михаила Архангела, постройка которой была начата в 1300 г., церкви Святого Саввы (1418 г.) и Спаса Преображения (1421 г.). Из двух других церквей — Святого Михаила в Сковоротском монастыре (1355 г.) и Иоанна Богослова на Витке (1384 г.) — были изучены срезы деревянных связей стен. Все кривые роста древесины хорошо сопоставились друг с другом и позволили начертить график, охватывающий более полутора столетий.

Но особенная удача ожидала исследователей, когда сразу на трех улицах — Великой, Кузьмодемьянской и Холопией — были вскрыты деревянные настилы мостовых, лежавшие один на другом в 32 яруса. Выяснилось, что начиная с X века новгородцы постоянно следили за сохранностью своих дорог и, как только мостовая начинала проседать или приходила в несоответствие с «техническими нормами», ее перекрывали слоем свежих бревен.

Изучение срезов этих деревьев (из них хорошо сохранились и оказались пригодными для обработки 28 слоев) позволили создать дендрохронологическую шкалу, распространенную на период с IX по XV век. А сопоставив эти графики с материалами, полученными при исследовании древесины, пошедшей на постройку соборов, удалось более точно датировать каждое изменение роста годовичных колец и выработать «древесный календарь» с 884 по 1462 год.

Впоследствии этот календарь был «надстроен» по срезам дерева, взятым от зданий XVI, XVII и XVIII веков; здесь с выяснением года постройки дело обстояло значительно проще. А графики, снятые со свежеспиленных двухсотлетних хвойных деревьев, позволили сомкнуть полученный календарь



с дендрохронологическими схемами, установленными для нынешних лесов.

С помощью этих графиков сначала определили время закладки различных зданий и сооружений в Новгороде. Было установлено, например, что самый старый из доступных определению ярусов мостовой был настлан в середине X века (в 953 г.). Следующий за ним двадцать седьмой по счету настил был положен через 19 лет. Новгородская «служба коммунального хозяйства» работала прекрасно. Не реже, чем раз в тридцатилетие, а то и через десяток лет, обновляли новгородцы свои улицы.

Для многих строений, о которых раньше был известен лишь век закладки фундамента, теперь выяснена точная дата постройки. Но является ли шкала, установленная в Новгороде, универсальной? Для выяснения этого необходимо было провести широкие сравнительные исследования и на других археологических раскопках.

С этой целью были изучены коллекции деревьев, собранные в двух других древних городах — Белозерске (Вологодская область) и Полоцке (Белоруссия). Таким образом, исследования охватили большую территорию, протянувшуюся с северо-востока на юго-запад почти на 800 км. Дендрохронологические графики, построенные для различных районов этой территории, показали некоторые различия в закономерностях изменения толщины годичных колец роста, однако общая картина подтвердилась.

Теперь археологи могут с достаточной уверенностью судить о возрасте деревянных построек последнего тысячелетия. Абсолютный возраст срубленного дерева удастся определить с точностью до 1 года. И для этого годится почти любое бревно хвойной породы, лишь бы на нем сохранились здоровые внешние слои древесины и последнее кольцо прироста.

## КОСТИ ОБРЕТАЮТ ГОЛОС

### О возрасте ископаемых скелетов, минеральном веществе и коллагене

Дендрохронологические шкалы разработаны лишь для отдельных участков земной поверхности. «Дальность» действия их сравнительно невелика. Кроме того, далеко не всегда в тех отложениях, возраст которых необходимо установить,

встречаются стволы деревьев или хотя бы обломки древесины. Как же поступить в этом случае? Нельзя ли использовать для определения возраста отложений скелеты древних животных?

Оказалось, что и это возможно. Известно, что каждая кость состоит из минеральных и неминеральных веществ. В этом нетрудно убедиться, если прокалить кость на огне и сделать химический анализ несгоревшего остатка.

После гибели животного минеральное вещество кости начинает выщелачиваться и постепенно замещается другими неорганическими соединениями. Утрачивая свой первоначальный состав, насыщаясь новыми элементами, кость медленно превращается в окаменелость.

При этом скелет погибшего животного может попасть на каменистый или песчаный грунт, может покрыться слоем наносов или остаться лежать под открытым небом, испытывая действие солнечных лучей, дождя и ветра. И в каждом случае процесс изменения первоначального состава кости будет протекать по-разному.

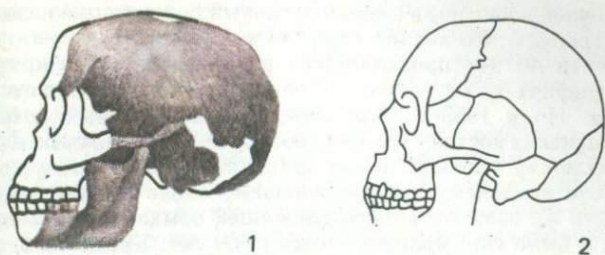
Немецкий анатом И. Дюрст определил скорость, с которой выщелачивается минеральное вещество кости в различных условиях. Ему удалось показать, что если известна обстановка, в которой был захоронен скелет погибшего организма, то, узнав органический состав кости и количество оставшегося в ней первичного минерального вещества, можно установить время смерти животного с точностью до одной-двух тысяч лет.

На основании расчетов Дюрста были построены таблицы, позволявшие оценивать возраст органических остатков, погребенных в наиболее близких к нам отложениях четвертичного периода. Этот метод давал неплохие результаты при изучении археологических находок и иногда даже при исследовании так называемых субфоссильных, т. е. полуокаменевших, скелетов.

Но за 14 тыс. лет все исходное минеральное вещество кости успевает подвергнуться выщелачиванию, и для более старых окаменелостей этот способ уже непригоден. Как же быть тогда?

Ответ на этот вопрос дал украинский ученый Иван Григорьевич Пидоплычко. Как уже говорилось, в каждой кости кроме минеральных веществ содержатся еще и неминеральные. Одно из них — промежуточное вещество костной ткани, известное под названием коллаген или оссеин, разлагается очень медленно, сохраняясь в скелете погибших животных десятки и даже сотни тысяч лет. Особым способом прокаливая ископаемые кости вымерших зверей, можно выяснить, какое количество коллагена сохранилось в этих костях, а зная первоначальное его количество, можно подсчитать, сколько лет назад погибло животное.





Находка в Пилтдауне: 1 — пилтдаунская подделка; 2 — череп современного человека.

Метод, предложенный Пидоплычко, гораздо совершеннее метода Дюрста. И хотя его тоже нельзя считать непогрешимым, но это уже отчетливо наметившееся направление, открывающее для абсолютной геохронологии широкие возможности. Достаточно вспомнить, что коллаген содержат все кости, известные из современных и верхнечетвертичных отложений, чтобы понять, насколько большую роль может сыграть это направление в стратиграфии горных пород, образовавшихся в ближайшую к нам эпоху кайнозойской эры.

Были предложены и другие методы определения абсолютного возраста слоев на основании химического анализа скелетов погребенных в них животных.

Один из таких методов основан, например, на изучении содержания в ископаемых костях фтора. Было выяснено, что чем «старше» найденный скелет, тем древнее его геологический возраст, тем больше фтора в веществе ископаемых костей. С течением времени увеличивается также и отношение количества фтора к присутствующему в кости монооксиду углерода (СО). Зная эти соотношения, можно оценить продолжительность пребывания в земле интересующей нас палеонтологической находки и, обобщив данные по многим коллекциям, указать даты образования каждого пласта, содержащего органические остатки.

Приведем один пример.

В начале нынешнего столетия в Англии, в окрестностях селения Пилтдаун, были найдены потемневшие обломки черепа, очень похожего на череп современного человека. Но нижняя челюсть этого существа резко отличалась от человеческой. Она напоминала, скорее всего, челюсть шимпанзе. Разгорелись споры. Одни считали, что попросту не могло существовать животного, которое столь явно совмещало бы в себе признаки обезьяны и человека. Другие, напротив, усмотрели в этой находке еще одно доказательство проис-

хождения человека от обезьяноподобных предков и выделили загадочное животное в самостоятельный род, который назвали «эоантропус», что значит «заря-человек».

Почти 40 лет продолжались разногласия. В некоторых монографиях даже появилось описание этого странного человека. Но в 1953 г. был определен абсолютный возраст пилтдаунских костей. Что же оказалось? Череп действительно принадлежал человеку, но не примитивному, а нашему сравнительно недавнему предку, жившему около 600 лет назад. Челюсть же оказалась принадлежащей обыкновенному шимпанзе и была еще моложе — около 500 лет. Кроме того, при изучении под микроскопом выяснилось, что зубы в челюсти были подпилены. Это придало им необычный вид и заставило некоторых исследователей поначалу усомниться в том, что найденная челюсть принадлежит обезьяне.

Но надо заметить, что и череп, и челюсть выглядели как настоящие окаменелости. Откуда же взялись у них признаки ископаемых костей, сумевшие ввести в заблуждение специалистов? Химики без труда ответили и на этот вопрос: просто авантюрист (или шутник?) тщательно обработал оба образца перманганатом калия и хромпиком. Надо отдать ему должное — сделано это было настолько искусно, что череп и челюсть приобрели одинаковую окраску и имели столь естественный вид, что даже опытный глаз не мог разоблачить фальсификацию.

## ВОЗРАСТ КАМНЯ

### О связи разных летосчислений и подарке исчезнувших морей

Определение абсолютного возраста ископаемых остатков животных возможно лишь в пределах последних 300 тыс. лет. Правда, уран-свинцовый, калий-аргоновый, стронций-рубидиевый и некоторые другие методы дают возможность проникнуть в глубь истории Земли на десятки миллионов и даже миллиарды лет. Однако минералы, содержащие эти радиоактивные элементы, обычно приурочены к так называемым магматическим и вулканогенным породам, т. е. к горным породам, образовавшимся из огненных расплавов.

Анализируя эти минералы, можно узнать, сколько времени прошло с момента кристаллизации магмы, когда излилась вулканическая лава и возникли рудные месторожде-



ния. Но породы эти не содержат органических остатков, по которым их можно было бы отнести к тому или иному геологическому периоду. Удастся ли связать между собой «относительный» календарь, построенный на закономерностях распространения в различные эпохи разных групп животных, с «абсолютным» возрастом земных слоев?

Изредка в морских отложениях вместе с остатками вымерших животных встречаются красивые зеленые зернышки. Это силикатный минерал глауконит. В его кристаллах и радиально-лучистых зернах содержатся радиоактивные вещества, позволяющие перебросить мост между «абсолютной» и «относительной» системами летосчисления.

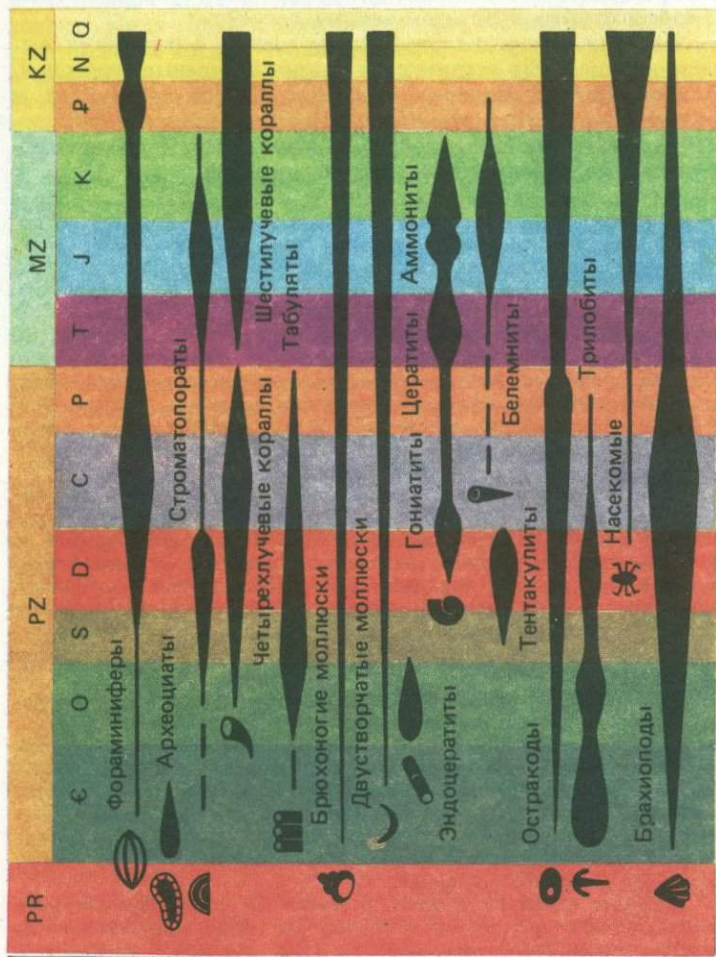
Для того чтобы определить возраст по глаукониту, нужно располагать довольно большим количеством зерен этого минерала. Около 80 г глауконита должен извлечь геолог из породы, чтобы установить, например, время образования неогеновых отложений. И хотя количество минерала, требующееся для анализа, уменьшается по мере продвижения к более древним эпохам, все равно даже в протерозойских толщах необходимо собрать не менее 10 г глауконита. Поэтому пробы осадочных пород, из которых предполагается извлекать глауконитовые зерна, обычно весят несколько килограммов. Лишь в докембрийских отложениях, если случается иногда найти в них переполненные этим минералом участки, можно ограничиться одним-двумя крупными кусками породы.

Для радиологического анализа пригоден только абсолютно чистый глауконит. Чтобы добыть его, горную породу дробят, просеивают и прямо на ситах тщательно промывают водой. Очищенную от пыли пробу осторожно высушивают, оберегая от воздействия высокой температуры, под действием которой может нарушиться химический состав минерала. Затем собирают все, даже самые мелкие частицы, получившиеся после дробления, и с помощью электромагнита или тяжелой жидкости — бромоформа — отделяют зерна глауконита.

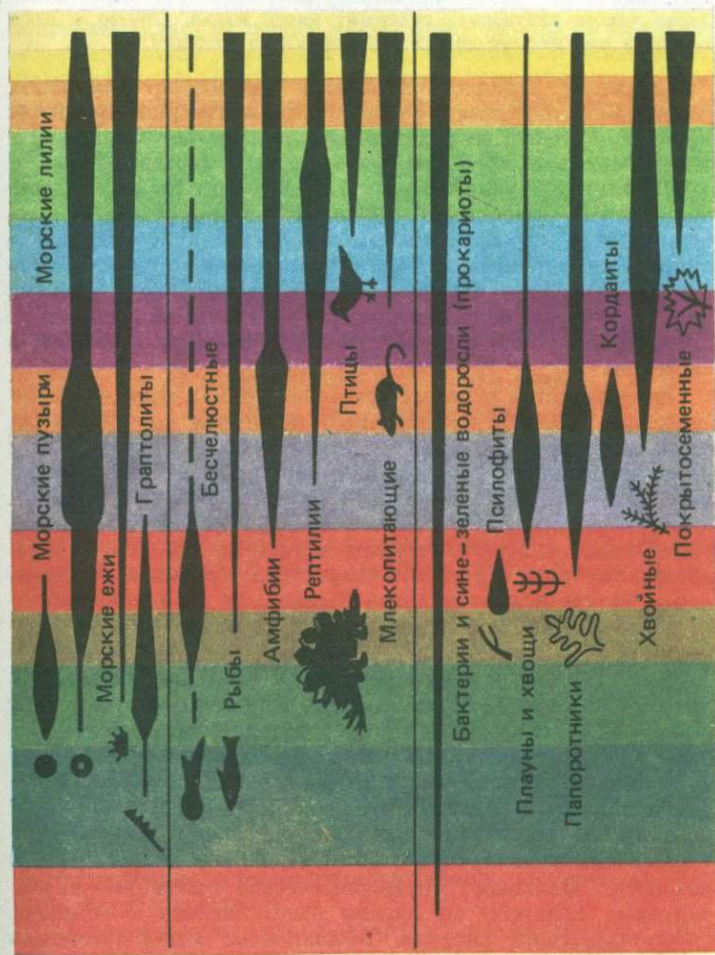
Если минерал, как это нередко бывает, был заключен в известковых породах, предварительно растворяют часть известкового цемента в слабых органических кислотах. Извлеченные из известняка зерна глауконита, как правило, бывают подернуты тонкой карбонатной пленкой. Поэтому непременно нужно промыть их слабым раствором уксусной или соляной кислоты. Если не сделать этого, углекислый газ, бурно выделяясь во время опыта, может развеять из пробирки мельчайшие летучие частицы минерала и сведет к нулю результат трудоемкого анализа.

Нередко зерна глауконита, особенно из глубоководных отложений, бывают чрезвычайно мелкими. Это затрудняет отбор их из породы. Кроме того, этот минерал легко поддается изменениям. Иногда он ожелезняется, превращаясь в бурые катышки, почти лишенные калия; в других случаях становится совершенно бесцветным. Стоит хоть немного проявиться процессам выветривания, как начинается бегство аргона из кристаллической решетки минерала.

Бывают и такие случаи, когда даже превосходно сохранившиеся на первый взгляд кристаллы по какой-то причине утрачивают некоторую часть радиогенного аргона. Предполагают, что это происходит в результате незначительных нагреваний породы за время ее



Геохронологическая шкала и эволюционное развитие органического



мира.



существования, а также вследствие изменений слоистой структуры минерала. Поэтому возраст, определенный по глаукониту аргоновым методом, может оказаться несколько моложе, чем ожидается.

Однако в результате упорных поисков все же удается обнаружить образцы минерала, которым посчастливилось избежать перекристаллизации и остаться незатронутыми действием выветривания. Зерна такого глауконита содержат много калия. Они-то и дают наиболее достоверные оценки геологического возраста.

Советские радиологи доказали, что возраст осадочных пород можно определить по глаукониту в огромном интервале времени — вплоть до полутора миллиардов лет, и ошибка в определении не превышает при этом 10, а иногда и 5%.

По глаукониту можно устанавливать возраст песков, песчаников, глин, известняков, доломитов и других пород, отложившихся в водных условиях. Этот минерал образуется в природе на границе водной среды и воздуха и потому особенно часто встречается вместе с окаменелостями. Он довольно широко распространен в морских породах, находящихся ныне на материках и принадлежащих к различным геологическим системам.

Из множества стратиграфических границ особенный интерес для геологов представляют некоторые «опорные» рубежи, определяющие существенные изменения в историческом развитии Земли. Об одном из таких рубежей уже говорилось. Это — граница меловой и палеогеновой систем, отделяющая мезозойские отложения от кайнозойских. Пользуясь различными радиологическими методами, геологи неоднократно пытались определить возрастное положение этой границы. Результаты получались близкие, но не одинаковые — от 63 до 70 млн. лет. Какой из этих датировок отдать предпочтение?

Для решения этого вопроса были использованы глаукониты из разреза верхнемеловых и палеогеновых отложений Прииртышья. С помощью методов ядерного гамма-резонанса были тщательно отобраны зерна минерала с неразрушенной кристаллической решеткой. Хорошая сохранность этого материала полностью исключала возможность утраты радиогенного аргона вследствие прогрева, окисления или выветривания и обеспечивала отсутствие искажений радиологического возраста. Детальное стратиграфическое положение анализируемых образцов по ярусам было оценено с помощью споро-пыльцевого анализа. Выполненные калий-аргоновым методом определения абсолютного возраста глауконитов полностью совпали с последовательностью появления в разрезе палеонтологических индикаторов времени и позволили уточнить положение границы мела и палеогена. Возраст этого рубежа оказался равным 67 млн. лет.

От миоцена до кембрия успешно «работает» глауконит, позволяя измерять абсолютный возраст слоев, относительная

геохронологическая позиция которых определена по содержащейся в них ископаемой фауне и флоре. Каждый новый точный анализ — шаг по пути уточнения методов абсолютной геохронологии, продвижение к укреплению ее связи с относительной шкалой геологического возраста.

А для отложений, которые старше 500 млн. лет, глауконит вновь выступает на первое место. Здесь он едва ли не единственный минерал, пригодный для определения абсолютного возраста калий-аргоновым методом. И именно по глауконитам установлен, например, возраст древних образований Русской платформы, сформировавшихся от 0,5 до 1,3 млрд. лет назад.

## СЛОВО БЕРЕТ АСТРОНОМИЯ

### О годе длиной четыреста дней и еще раз о кораллах

А что если найти такой способ, который позволял бы определять возраст непосредственно по скелетам доисторических обитателей Земли? Не по составу химических веществ, слагающих скелетную ткань, а прямо по самому скелету, по его строению.

Эта мысль давно приходила к естествоиспытателям, но никто не рисковал высказать ее вслух. И действительно, казалось безумием мечтать о невозможном вопреки строгим фактам, хорошо изученным физиками и химиками. О чем было говорить, если известно, что природное минеральное вещество сохраняется в костях всего 14 тыс. лет, а коллаген — не более нескольких сотен тысяч лет. Стоит углубиться в более древние времена, и мы встречаем кости, утратившие свою первоначальную структуру, окаменевшие. Мало того, десятки и сотни миллионов лет назад у большинства животных вообще не было костного скелета. Недаром их называют беспозвоночными.

Однако почему только физика и химия считают своим исключительным правом решать вопрос о возрасте Земли? Нельзя ли подойти к решению этой задачи с совершенно иных позиций?

Мы уже говорили об астрономических циклах протяженностью от одного до нескольких лет, которые находят отражение в ритмичном строении осадочных толщ. Эти циклы оказывают влияние и на представителей органического мира.



Многие животные и растения запечатлевают их в структуре своих тканей.

Годичные кольца роста встречаем мы у деревьев; ежегодно появляются новые полосы нарастания на раковинах моллюсков; следы трехлетних периодов солнечной активности можно прочесть на чешуе некоторых рыб. А если взглянуть на скелеты карбонатных водорослей, живших в прошлые периоды, на них можно проследить трех-, одиннадцати- и тридцатилетние циклы. Внимательно изучая окружающие нас и вымершие существа, нельзя не убедиться в том, что очень многие организмы на всю жизнь сохраняют в своем скелете отпечаток сезонных и многолетних изменений климата.

Но некоторые явления в жизни животных подчинены еще более коротким циклам. Например, морские черви палоло размножаются только в определенные фазы Луны; ракообразные периодически линяют в интервале между весенним и осенним равноденствиями; ежемесячные колебания климата сказываются на росте и жизни некоторых иглокожих.

А сутки — это простейшее чередование двух состояний: дня и ночи — заставляют пульсировать временные водные потоки, которые отлагают и уносят слои минеральных частиц. Неужели они не оказывают никакого влияния на формирование скелета организмов? Долгое время ответить на этот вопрос не удавалось. Но в конце концов поиски были вознаграждены. Помогли кораллы.

У некоторых кораллов известны кольца, каждое из которых указывает на годичный прирост его скелета. Но если подробно рассмотреть участок годового прироста такого коралла под сильным микроскопом, то на его морщинистом известковом покрове — эпитеке — можно заметить тонкие гребни.

О существовании этих гребней было известно давно, но никому не приходило в голову подсчитать их количество. А когда подсчитали, результат сразу насторожил палеонтологов. Они брали разные образцы, повторяли наблюдения, и оказалось, что у современных коралловых полипов число таких гребней колеблется от 360 до 366, т. е. в среднем соответствует количеству дней в году.

Это наблюдение было очень интересно с биологической точки зрения. Но, казалось, оно не имело отношения к вопросу о возрасте земных слоев, если бы не одна, на первый взгляд, малозначительная подробность: количество гребней в среднем соответствовало продолжительности современного года.

Астрономы доказывают, что время, за которое Земля совершает один оборот вокруг Солнца, за последние 600 млн. лет почти не изменилось. Зато скорость ее вращения вокруг своей оси по астрономическим подсчетам замедляется примерно на две секунды за каждые 100 тыс. лет. Таким образом,

на протяжении истории Земли длительность суток возрастает, а число дней в году уменьшается.

Зная скорость, с которой Земля замедляет свое вращение, можно высчитать продолжительность года в разные периоды. В кембрийском периоде год должен был содержать 424—412 суток, в ордовикском 412—402, в девонском 396, в каменноугольном 393—390, в пермском 385, в триасовом 381, в юрском 377, и так далее.

Для проверки этих данных были взяты скелеты древних девонских кораллов. Подсчитали у них количество гребней в кольцах прироста; оказалось, что оно изменяется от 385 до 410, а в среднем равно 400. Эти цифры, как нетрудно убедиться, совпадают с предполагаемым числом дней в году девонского периода. По-видимому, длительность суток составляла в это время около 21 часа. Изучение линий нарастания более молодых — каменноугольных — кораллов показало, что их количество у животных этого возраста изменяется от 385 до 390.

Но если можно по длине года определить, к какому периоду относятся ископаемые окаменелости, то нельзя ли с их помощью решить обратную задачу — оценить абсолютный возраст вмещающих эти окаменелости пород? Теоретически это вполне возможно. Ведь если бы удалось, например, по линиям нарастания установить, что в самом начале кембрийского периода год содержал 420 суток, можно было бы утверждать, что этот период начался 600 млн. лет назад.

Изучение циклических закономерностей нарастания скелетных форм на различных организмах показало, что задача намного сложнее, чем предполагали исследователи поначалу. Например, анализ большого количества образцов кораллов из тех же девонских отложений заставил признать, что во многих случаях годичную периодичность роста этих беспозвоночных установить не удастся. Сходные выводы получены и по кораллам, жившим в некоторые другие геологические периоды. Это вызвало сомнения в том, что по их скелетам можно с уверенностью судить об изменении скорости вращения Земли.

Но не успело это неутешительное заключение появиться в печати, как девонские кораллы преподнесли ученым новый сюрприз. Было установлено, что линии нарастания на эпитеке некоторых представителей этих животных бывают сгруппированы в пояски, каждый из которых содержит в среднем 30,6 тонкой линии нарастания. Известно, что у кораллов, как и у многих других морских организмов, биологические ритмы связаны с лунными, или приливными, циклами. По-видимому, эта закономерность унаследована ими от далеких предков. Если это так, то не означают ли наблюдаемые структуры роста кораллов, что лунный месяц в девонском периоде длился 30,6 суток?



Предполагаемая продолжительность девонского лунного месяца заметно превышает длительность современного приливного цикла, который составляет 29,5 суток. Если дальнейшие исследования подтвердят справедливость полученных выводов, то откроется еще одна возможность использования палеонтологических данных при изучении эволюционного развития системы планетных тел.

Значительно более дробные циклы удалось проследить при изучении раковин двустворчатых моллюсков. По различиям в структуре, толщине линий нарастания и по изменениям в составе вещества раковин моллюсков устанавливаются годовые циклы их роста, а также циклы, отвечающие развитию животного в летний и зимний сезоны. Кроме того, наблюдаются чередования циклов, соответствующих четырнадцатисуточным периодам максимальных и минимальных приливных амплитуд, и суточные циклы, проявленные в ускорении роста раковины днем и замедлении этого процесса ночью. Иерархию этих периодичностей завершают шестичасовые циклы, порожденные различными условиями роста раковины во время прилива и отлива.

Исследования цикличности роста организмов на палеонтологическом материале активно развиваются и постоянно приносят новые интересные сведения, позволяющие связать палеонтологические наблюдения с данными абсолютной геохронологии. Судя по имеющимся наблюдениям, не исключена возможность, что сокращение числа дней в лунном месяце происходило на протяжении геологической истории не равномерно, а подчинялось более сложной закономерности. Уточнение этого предположения — одна из практических задач будущего. На основании палеонтологических наблюдений — внести исправления в шкалу абсолютного возраста? Дерзкая идея! Но значит ли это, что она неосуществима?

Разумеется, эта удивительно простая и многообещающая гипотеза еще должна быть проверена на очень большом материале. И если окажется, что она верна, новый палеонтологический метод определения абсолютного времени, быть может, произведет переворот в геохронологии и даст в руки геологов несложный и верный способ оценки истинного возраста земных слоев.

# ДОРОГА НЕ КОНЧАЕТСЯ

## О поисках и перспективах

Сложным и исполненным противоречий предстает перед нами развитие дисциплин, составляющих геохронологию. С тех пор как в VI веке до нашей эры древнегреческий ученый Ксенофан из Колофона впервые понял, что ископаемые останки животных, заключенные в горных породах, отражают изменения в геологической жизни планеты, палеонтология прошла трудный путь. Несправедливо забытые на протяжении двух тысячелетий идеи вновь воскресли и получили блестящее развитие в трудах ученых XIX и XX веков.

Еще за четыре с лишним столетия до нашей эры древнегреческий историк Геродот полагал, что наносы, отложившиеся в долине Нила, могут служить мерой для установления продолжительности доисторического времени. И опять потребовалось более двадцати веков, чтобы человечество снова вернулось к той же мысли.

Немало трудностей пришлось испытать и биологам, шедшим независимой от геологов дорогой. В жестокой борьбе с косностью познавало человечество законы взаимоотношения живой материи и окружающей среды. Слезами и кровью оплачены победы учения о естественном отборе, наследственности и эволюции животного и растительного мира. И сегодня в ряду тех, кто самоотверженным трудом внес свою лепту в становление науки о возрасте Земли, по праву занимают место имена последователей Ламарка, Дарвина и Менделя.

Высказанные Декартом, Лейбницем и Бюффеном смелые мысли о том, что образование Земли произошло в результате продолжительных естественных процессов, проторили тропу научно обоснованным космогоническим теориям.

Но великий физик Ньютон объявил, что, согласно его расчетам и Библии, земной шар должен был появиться на свет 6030 лет назад. И почти 200 лет после этого заявления, попеременно испытывая горечь поражений и счастье удач, шла физика в поисках истины, пока не открыла возможности устанавливать возраст минералов по радиогенным элементам. Это заставило увеличить сроки, определенные Ньютоном, почти в миллион раз.

С тех пор наука о возрасте Земли прочно встала на ноги. Она постигла искусство устанавливать время рождения кри-



сталлических горных пород, определять сроки произошедших с ними изменений, выяснять зависимость их возраста от характера геологической обстановки, в которой породы образовались.

Она научилась определять тщательно замаскированный природой возраст осадочных пород. Изучая состав осадков, отложившихся на дне водоемов, радиологи умеют теперь устанавливать все многообразие форм, в которых существуют содержащиеся в породах материнские радиоактивные элементы: калий, рубидий, уран и торий.

Выпадая из морской воды, известковые осадки захватывают с собой свинец. Выяснив изотопные составы свинца, присущие каждой из прошлых геологических эпох, остается сравнить с ними результаты анализа породы и получить ответ, к какому времени следует отнести образование исследуемой толщи известняка. Но вместе с осажденным свинцом в породах накапливается также некоторое количество радиогенного свинца, возникшего за счет распада ничтожных количеств урана и тория, содержащихся в породе. Сколь ни мало их содержание, но оно влияет на оценку возраста. И разрабатываются точные методы, позволяющие устранить влияние этой помехи.

Огромную популярность во всем мире завоевал аргоновый метод определения возраста. Современная техника позволяет обнаружить в породе и измерить самые ничтожные количества аргона. Даже стотысячная доля кубического миллиметра этого элемента не ускользает от чуткой аппаратуры. А это значит, что с помощью аргонового метода, может быть, удастся устанавливать возраст отложений с точностью до 100 тыс. лет.

По глаукониту, сильвину и другим минералам определяется длительность геологических событий. Но сильвин очень часто подвергается перекристаллизации, в результате которой происходит почти полная потеря накопленного породами аргона. Значит, надо обратить внимание на поиски таких признаков, которые позволили бы выбирать из множества имеющихся образцов именно те, которые наиболее пригодны для анализа. Для сильвина нашли подобные приметы, и теперь известно, что наилучшие результаты обычно дают крупные кристаллы с характерными «лодочками» роста на нижней грани.

Но большинство осадочных пород не содержит ни глауконита, ни сильвина. В этом случае в ход идут мельчайшие чешуйки гидрослюдистых минералов, зародившиеся в породе во время ее образования.

В последние годы в некоторых лабораториях для определения абсолютного возраста стали использовать еще одну минеральную группу — пироксены. Однако эти минералы, типичные для магматических и метаморфических пород, со-

держат довольно большое количество «чужого» аргона, и происхождение присутствующего в них калия пока еще тоже не вполне ясно. Но радиологи начинают изучать их «язык», и, возможно, им посчастливится найти ключ к его толкованию, что поставит на службу геохронологии и этот класс минералов.

Еще предстоит поближе познакомиться с многочисленными родственниками урана. Семейство дочерних элементов урана крайне многообразно. Интересные результаты были получены при исследовании одного из членов этого семейства — иония ( $^{230}\text{Th}$ ). Некоторое количество иония постоянно осаждается вместе с тонкими глинистыми осадками, падающими на дно океана. Опустившись на дно, ионий начинает постепенно разлагаться. При этом период его полураспада равен 84 тыс. лет.

Если поднять с океанического дна колонку грунта и измерить, какое количество иония содержится в каждом из тончайших пропластков донного осадка, то выяснится, что содержание этого элемента постепенно уменьшается с глубиной. Эта закономерность вполне может быть использована для определения скорости формирования отложений морского дна и, вероятно, позволит создать возрастные карты для огромных площадей подводного царства, покрытых однообразным чехлом илов, время образования которых до сих пор остается загадкой. Может быть, этот способ пригодится и при выяснении возраста бывших морей, воды которых в недавнее время захватывали территорию нынешних континентов.

Все новые и новые изотопы находят применение при определении абсолютного возраста.

При изучении разнообразных объектов используется метод измерения времени по свинцу-210. Он позволил выяснить скорости смешения океанических вод и воздуха атмосферы, интенсивность выпадения осадков и рост снежного покрова Антарктики, возраст урановых месторождений в Альпах и историю минералов из вулканических fumarol Везувия и Долины Десяти Тысяч Дымов на Аляске.

Для исследования скорости накопления осадочных пород применяются протактиний-231 и торий-230. С помощью этих же изотопов сравнивается возраст удаленных друг от друга геологических разрезов и уточняются эпохи нашествия холода.

Два «брата» — уран-234 и уран-238 — нашли применение при датировании новейших морских и озерных отложений.

При изучении метеоритов пущены в дело «вымершие» изотопы: иод-129, ксенон-129, свинец-205 и плутоний-244. Для определения возраста редкоземельных минералов оказалась пригодной пара самарий-147 — неодим-143. С помощью самарий-неодимового метода удалось обнаружить закономер-



ные изменения изотопных характеристик, отражающих процессы эволюции Земли, и на основании изучения молодых вулканогенных пород, излившихся на дно океана, уточнить строение их источника — мантии нашей планеты.

Используя «привычку» минералов сохранять продукты ядерного деления, советские ученые Виталий Григорьевич Хлопин и Эрих Карлович Герлинг предложили ксенон-урановый метод. А свойство осколков ядерного деления оставлять на пути своего прохождения в минералах тончайшие следы — треки — позволяет с помощью электронного микроскопа ввести в практику еще один многообещающий способ оценки возраста — по количеству, форме и ориентировке треков.

Исследование соотношений изотопов позволило уточнить представления о происхождении метеоритов, выявить характерные особенности развития земной коры и мантии, проверить гипотезы о строении и эволюции интрузивных и вулканогенных пород.

Специалисты уже давно научились определять возраст метеоритов. Но было совершенно невозможно установить время, когда небесный камень прорвался сквозь заслон атмосферы к земной поверхности. С огромной силой ударяя в каменную оболочку Земли, метеориты нередко проходят сквозь толщу отложений нескольких эпох, и выяснить время их падения казалось невыполнимым. Радиоуглеродный метод помог ответить и на этот вопрос.

Время образования почв, периоды изменения температуры вод, эпохи и пути миграции вымерших животных, возраст вулканических извержений, периоды наступлений ледников — в решении всех этих вопросов может принять участие изотопная геохронология.

Но кроме «земных» изотопов на поверхность планеты постоянно поступают радиоактивные изотопы космического происхождения. Продолжительное время, во всяком случае уже несколько миллионов лет, скорость их притока на Землю сохраняется неизменной. В последние годы к ним добавились новые искусственные источники радиоактивности: ядерные взрывы и отходы ядерных установок. Значительная часть всех этих веществ попадает в океаны, занимающие семь десятых площади земного шара.

Тритий, бериллий-10, углерод-14, алюминий-26, хлор-36, кремний-32 — все эти изотопы, порожденные деятельностью человека и космосом, также могут быть использованы в геохронологии. Уже сегодня существуют точные методы, позволяющие определять их содержание. По-видимому, и недолговечные и долгоживущие представители этого сообщества вскоре найдут свое применение, например в океанографических исследованиях.

Уже говорилось, что для детального изучения горных пород из них изготавливают тонкие прозрачные пластинки —

шлифы. Если поместить шлиф под микроскоп, можно увидеть сложную картину внутреннего строения породы. Обломки минералов; микроскопические кристаллы; минералы сроставшиеся; минералы, разъедающие друг друга... И внутри некоторых из них можно встретить радиоактивные включения. Вокруг таких включений часто наблюдаются окрашенные ореолы. Их называют плеохроичными (т. е. многокрасочными) двориками.

При внимательном изучении видно, что каждый дворик состоит из нескольких обособленных концентрических колец. Их происхождение объясняется различной дальностью полета альфа-частиц, образующихся при радиоактивном распаде вещества, из которого состоит минеральное включение. Теоретически доказано, что степень окрашенности колец дворика должна быть пропорциональна времени, на протяжении которого осуществлялась бомбардировка вмещающего минерала радиоактивными частицами.

Значит, если удастся с достаточной точностью установить скорость изменения окраски плеохроичных ореолов, можно будет и этот метод взять на вооружение геохронологии. Но окрашенные зоны вокруг радиоактивных включений быстро разрушаются при нагревании. Следовательно, их можно использовать и для того, чтобы определять продолжительность тепловых воздействий, которым подвергалась горная порода за свою историю.

А может быть, и обычный поляризационный микроскоп послужит геохронологическим исследованиям? Неужели для того, чтобы определить, например, количество содержащегося в минерале аргона, непременно нужно произвести дорогостоящий химический анализ? В ответ на это московский ученый Ефрем Александрович Кузнецов предложил новый способ измерения абсолютного возраста — по оптическим свойствам минералов, определяемым с помощью поляризационного микроскопа.

Исследуя климаты древних эпох и нашего времени, специалисты разгадали размеренную смену климатических циклов. Через 3, 11, 30 и 90 лет повторяются на Земле различные изменения природной обстановки. Через 1800 лет наступают многоводные эпохи увлажнения, давшие начало мифам о всемирном потопе. Ритмы эти объединяются в более крупные, насчитывающие десятки и сотни тысяч лет, а те в свою очередь подчиняются циклам несравнимо большей протяженности, исчисляемым десятками и сотнями миллионов лет.

Однако несмотря на множество методов, еще не все границы между геологическими системами установлены с полной достоверностью. Не только радионуклидные, но иногда даже традиционные палеонтологические методы, случается, не позволяют однозначно наметить рубеж между геологическими подразделениями.



Еще бóльшие сложности вызывает проблема разделения докембрийских толщ, которые в большинстве случаев не содержат ископаемых животных и растений. Для них предложено множество классификаций, каждая из которых имеет свои преимущества и свои недостатки. Необходимо выполнить огромный объем исследований, чтобы с учетом абсолютного возраста движений земной коры, которые отражены в эпохах формирования гранитов, внедрения магмы и образования руд, создать шкалу геологического возраста, приемлемую для всех частей земного шара.

Во всех этих областях для геохронолога работы — непочатый край.

А дальнейшее развитие астрономии, астрофизики и астрогеологии выдвигает перед исследователями новую проблему — привести геохронологическую шкалу в соответствие с естественными этапами жизни планеты. Если удастся облечь в стройную систему колоссальное количество сведений, добытых палеозоологами, палеоботаниками, геологами и астрономами, это, вероятно, позволит внести некоторые уточнения и в схему подразделения земных слоев. Эти изменения коснутся прежде всего наиболее крупных геологических единиц, по объему приблизительно соответствующих космическому году. Основные черты подобной перестройки уже намечаются. Все большее число фактов ложится на чашу весов тех гипотез, которые предполагают связь закономерностей геологического развития Земли с космическими процессами.

Наша планета — частица Вселенной, и все значительные события, происходившие и происходящие в Галактике и Солнечной системе, безусловно должны оказывать влияние на становление и развитие Земли. Космические силы — наиболее вероятный источник глобальных циклических процессов. Подчиняясь их воздействию, перемещаются блоки земной коры, наступают моря, вздымаются горные цепи, активизируется вулканическая деятельность, меняется климат. Мы еще не знаем точно, какова истинная продолжительность космического года. Но есть основания полагать, что дальнейшие астрономические исследования и познание геологической летописи позволят дать ответ на этот вопрос.

По всей вероятности, фанерозойский этап развития Земли будет подразделяться не на три, как это принято сейчас, а на четыре эры, соответствующие циклам обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики. При этом в состав фанерозоя, возможно, придется дополнительно включить верхневендские отложения, охарактеризованные остатками достаточно высокоразвитых организмов.

Если удастся привести шкалу относительного геологического времени в соответствие с закономерностями движения Солнечной системы, получит новое объяснение факт неодинаковой продолжительности различных геологических периодов,

свидетельствующий, по-видимому, о том, что космический путь Солнечной системы совершается не по круговой, а по эллиптической орбите.

Циклы горообразования, магматической активности и глобальных оледенений, на первый взгляд, не имеют прямой связи друг с другом. Но будучи зависимыми от факторов, имеющих общую первопричину, они могут рассматриваться как проявления различных сторон одного общего процесса. И тогда сопоставление кривых, описывающих каждое из этих геологических явлений, позволит выявить скрытые закономерности эволюции земной коры.

Любые крупные события, сопровождающие развитие литосферы, воздействуют и на все другие геологические оболочки планеты. Они влияют и на положение уровня Мирового океана, и на изотопные характеристики природных вод, и на газовый состав атмосферы, и на развитие органического мира. С другой стороны, колебания уровня океанов приводят к изменению условий осадконакопления, причем не только в морских бассейнах, но и на континентах; перемены в составе атмосферы ощутимо преобразуют характер процессов выветривания; водная и газовая оболочки планеты оказывают воздействие на существование биоса, а животные и растения в свою очередь активно влияют на баланс среды своего обитания. Очень сложна эта совокупность прямых и обратных зависимостей, присущая развитию геосфер, но необходимо изучить ее во всей полноте и многообразии.

Взглянув на принятую ныне геохронологическую таблицу, можно заметить, что протяженность различных геологических событий, имевших место на протяжении истории Земли, по мере приближения к нашим дням сокращается. Создается впечатление, что геологические процессы как бы ускоряются во времени. В пользу такого заключения, по-видимому, свидетельствуют и результаты радиометрического определения возраста горных пород.

Непрестанно улучшаются методы геохронометрии, уточняются значения периодов полураспада различных радиоактивных изотопов, и все более совершенной становится шкала абсолютного геологического возраста Земли. Но в основе большинства геохронометрических построений лежит предположение о том, что одна из фундаментальных физических величин — гравитационная постоянная — неизменна во времени. А что если эта величина не является незыблемой константой и постепенно изменяется? Доводы в пользу такого предположения имеются. И если это подтвердится, в шкалу абсолютного возраста будут внесены соответствующие поправки.

Повышает надежность своих методов и магнитометрическая стратиграфия, стремясь использовать древние природные компасы для синхронизации геологических событий, про-



исходивших на разных материках. Связать изменения палеомагнитных характеристик с параметрами космической орбиты Солнечной системы — задача ближайшего будущего.

На новую ступень своего развития выходят и палеонтологические исследования. Древние животные и растения представляют собой едва ли не самый чуткий прибор, позволяющий зафиксировать сигналы, возникающие в природе под воздействием сил Космоса. Выявляется, что генетические механизмы, управляющие развитием органической жизни, также подчинены влиянию циклических процессов, генератором которых служат космические и связанные с ними планетарные события. Продолжительность существования тех или иных видов ограничена определенными отрезками времени, по истечении которых на смену старому таксону приходит новый. Различна скорость эволюции внутри отдельных групп растений и животных, но биологическое время каждой из групп подразделяется на соразмерные интервалы — кванты времени (фазы, или, как сейчас говорят, «хроны»), соответствующие зональным стратиграфическим подразделениям.

Некоторые виды, казалось бы, не подчиняются этой закономерности и сохраняют свой внешний облик в бесчисленном множестве поколений, существование которых исчисляется многими миллионами и даже десятками миллионов лет. Но применение математических методов позволяет установить, что и в этом случае идет ступенчатое изменение биологических признаков и что на различных стратиграфических уровнях мы имеем дело с совершенно различными организмами.

Изучение биологии животного и растительного мира открывает широкие перспективы и при определении возраста «новейших» геологических событий. Создаваемые при этом математические модели должны учитывать изменения скорости вращения Земли и закономерности планетарных взаимоотношений внутри Солнечной системы, в первую очередь поведение космических тандемов Земля—Луна и Земля—Юпитер.

И венцом всех этих многосторонних исследований должно стать создание единой геохронологической шкалы, в которой знания палеонтологии и биостратиграфии будут надежно увязаны с полевыми наблюдениями геологов и геофизиков, с анализами радиохимиков и новейшими достижениями планетарной геологии и астрономии.

Эта шкала позволит сверить время многочисленных геологических часов, отсчитывающих жизнь планеты, и, без сомнения, поможет человеку еще глубже проникнуть в земные недра в поисках их сокровищ.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## РОЖДЕНИЕ ЗЕМЛИ

О появлении на свет планеты, играющей немаловажную роль  
в жизни читателя

3

## КАМЕННАЯ РУКОПИСЬ

Об окаменелостях, землемере Уильяме Смите,  
умельцах Черепановых и автомобиле

7

## ЛЕСТНИЦА ЖИЗНИ

О том, какие животные и растения населяли Землю  
в различные эпохи

13

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ

О корненожках, благородной яшме  
и шкале относительного возраста

27

## ЛЕТОПИСЬ ДРЕВНИХ СКАЛ

О разрушении горных пород и директоре  
Королевского ботанического сада

38

## ПЛАСТЫ РАССКАЗЫВАЮТ

О песочных часах, коралловых рифах, курганах Батыя,  
озерах и дождевых червях

43

## СОЛЬ ОКЕАНА

Об английском астрономе, о морской воде и реках,  
засоряющих море

47

## ТАИНСТВЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

О соли, светящейся в темноте, о солнечном газе  
и дне рождения новой науки

51



## **ВЕЧНЫЕ ЧАСЫ**

О появлении новых элементов  
и о нескольких способах определения  
возраста земных слоев

53

## **ШКАЛА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА**

О небесных странниках и о том, что известно сегодня  
о возрасте Земли

58

## **В СТЕНАХ ЛАБОРАТОРИИ**

О трассерах, пламенных фотометрах и терпении

67

## **НЕОЖИДААННЫЕ ЗАТРУДНЕНИЯ**

Об искусстве скрывать число прожитых лет

72

## **СОВСЕМ НЕДАВНО**

О древнем угле и возрасте археологических находок

79

## **ДРЕВНИЕ КОМПАСЫ**

О магнитных свойствах горных пород  
и шкале геомагнитной полярности

83

## **ПОЧЕМУ ОНИ ВЫМЕРЛИ?**

О потоке космических лучей, гибели ящеров  
и полной неопределенности

95

## **ВОЗДУХ, КОТОРЫМ МЫ ДЫШИМ**

О жизни зеленого царства, о лесах, обращенных в камень,  
и кислороде-убийце

103

## **ПУЛЬС ГАЛАКТИКИ**

О великих оледенениях, слоистой глине  
и космическом пути Солнца

113

## **КОЛЬЦА ВРЕМЕНИ**

О желтой сосне, рубленых церквах, Холопьев улице  
и коммунальном хозяйстве Новгорода

122

## **КОСТИ ОБРЕТАЮТ ГОЛОС**

О возрасте ископаемых скелетов,  
минеральном веществе  
и коллагене

129

## **ВОЗРАСТ КАМНЯ**

О связи разных летосчислений и подарке исчезнувших морей

132

## **СЛОВО БЕРЕТ АСТРОНОМИЯ**

О годе длиной чотыреста дней  
и еще раз о кораллах

137

## **ДОРОГА НЕ КОНЧАЕТСЯ**

О поисках и перспективах

141



НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЕ ИЗДАНИЕ

**Александр Николаевич Олейников**

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ**

*Издание третье, переработанное и дополненное*

Редактор издательства Л. Г. Ермолаева. Художник-оформитель  
М. А. Федорова. Технический редактор Н. П. Старостина.  
Корректор О. Г. Попова

ИБ № 6366

Сдано в набор 12.01.87. Подписано в печать 02.07.87. М-39644.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага офсетная № 1. Гарнитура литературная.  
Печать офсетная. Усл.-печ. л. 7,98. Усл. кр.-отт. 32,34. Уч.-изд. л. 9,64.  
Тираж 100 000 экз. Заказ № 1837/698. Цена 65 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,  
Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171,  
ул. Фарфоровская, 18.

Набор выполнен в тип. № 2 Ленуприздата.

Предприятие малообъемной книги дважды ордена Трудового Красно-  
го Знамени Ленинградского производственного объединения «Типо-  
графия имени Ивана Федорова» Союзполиграфпрома при Государст-  
венном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной  
торговли.

192007, г. Ленинград, ул. Боровая, 51.

• НЕДРА •

4892

О строении Земли, о древних ее  
о разнообразных способ  
позволяющих разгадать время рождения земных слоев,  
рассказывает эта книга ленинградского геолога  
доктора геолого-минералогических наук, профессора  
Александра Николаевича  
Олейникова

