Удивительная палеонтология

Автор:
Кирилл Еськов

Удивительная палеонтология

Кирилл Юрьевич Еськов

О чем умолчали учебники

Синтезируя большое количество сведений из самых разных областей науки, автор книги, ученый-палеонтолог, создает целостную картину эволюции биосферы Земли. Книга предназначается для всех, кому интересно побывать на «научной кухне», научиться понимать механизмы развития жизни и узнать, как менялась наша планета на протяжении миллиардов лет.

Кирилл Юрьевич Еськов

Удивительная палеонтология:

История Земли и жизни на ней

Светлой памяти Сергея Викторовича Мейена – ученого и Учителя

Авторское предуведомление

Цель настоящего учебного курса мне видится в том, чтобы у ученика возникла максимально целостная картина функционирования биосферы Земли в процессе ее исторического развития. Между тем одно из положений теории систем

гласит: систему невозможно оптимизировать по двум независимым параметрам одновременно; в частности, добиваясь целостности рисуемой картины, неизбежно приходится жертвовать ее детальностью, или наоборот. Попытка запихнуть в голову ученика побольше конкретных фактов в отсутствие некоей обобщающей концепции неизбежно приведет нас к созданию ухудшенной копии старого университетского курса палеонтологии – унылого мартиролога вымерших организмов, который по сдаче экзамена следует забыть, как страшный сон. Именно поэтому во многих случаях я вполне сознательно жертвовал палеонтологической и геологической конкретикой в пользу теоретических (иногда к тому же – в достаточной степени умозрительных) обобщений.

Поскольку этот учебный курс предназначен не для «среднестатистического школьника», а для людей, собирающихся связать свою судьбу с наукой, есть смысл по мере возможности демонстрировать здесь всю «научную кухню»: ход рассуждений, приведших исследователя к обсуждаемым выводам, историю борьбы различных теорий и т. д. При этом я старался честно указывать на слабые стороны не только прошлых, но и ныне господствующих научных концепций; кое-кому это, возможно, покажется «подрывом авторитета науки в глазах школьника», но я думаю иначе. Выбирая форму изложения, я постарался приблизить ее (насколько это возможно) к реальному научному тексту – пусть приучаются. Кстати, выделение светлым курсивом терминов и названий организмов означает, что об этом есть статья в соответствующем словаре в конце книги. (Так же выделены латинские названия видов и родов.)

Эйнштейн как-то заметил (вполне справедливо), что если ученый не в состоянии объяснить ребенку суть своей работы на доступном для того уровне, это свидетельствует о его профессиональной непригодности. Все так, однако по ходу обсуждения у нас будет возникать необходимость обращаться к знаниям, накопленным в иных, чем палеонтология, областях (они излагаются в дополнительных, «вставных» главах, предназначенных лишь для желающих). Честно говоря, я никак не могу поручиться, что мое изложение, к примеру, принципов неравновесной термодинамики, которая, разумеется, не входит в сферу моих профессиональных занятий, будет достаточно квалифицированным и, тем более, – доходчивым.

Хочу также предупредить, что иногда я буду излагать факты и обобщения последних лет, которые в принципе могут быть названы «недостаточно проверенными» или, во всяком случае, «необщепринятыми». По этому поводу

придется заметить, что в палеонтологии с «общепринятостью» концепций дела вообще обстоят неважно; вероятно, это общая черта всех наук, занимающихся событиями прошлого, – ведь в них прямо подтвердить или опровергнуть некую теорию можно, лишь имея в своем распоряжении пресловутую машину времени. В этой связи мне кажется уместным изложить одну назидательную историю, коей я сам был свидетелем.

Несколько лет назад в Палеонтологическом институте Академии наук, где я имею честь работать, проходила научная конференция, посвященная климатам прошлого. Присутствовал весь цвет отечественной палеонтологии (а поскольку в этой области Россия, как ни странно, продолжает оставаться одним из признанных лидеров, – то и мировой, соответственно, тоже). При разработке представленных на ней палеоклиматических реконструкций были мобилизованы все возможности современной науки – от тончайшего геохимического и радиоизотопного анализа до новейших методов компьютерного моделирования. Когда дело дошло до обсуждения докладов, на трибуну вышел профессор N, известный едкостью своих оценок, и начал так: «Глубокоуважаемые коллеги! Я категорически настаиваю на том, что Земля круглая. (Легкий шум в зале.) Я настаиваю также на том, что Земля вертится, а ось ее вращения наклонена относительно плоскости эклиптики. Из этих трех обстоятельств следует, как вам должно быть известно из курса географии для шестого класса средней школы, существование экваториально-полярного температурного градиента, западного переноса в атмосфере и смены времен года. (Шум в зале сменяется полной тишиной.) Так вот, обращаю ваше внимание на то, что в подавляющем большинстве представленных здесь палеоклиматических реконструкций нарушается по меньшей мере одно из этих исходных условий…».

Вряд ли в палеонтологии найдется реконструкция, по поводу которой между специалистами наблюдалось бы полное единодушие.

И можно сколь угодно глубоко сопоставлять различные точки зрения, основываясь и на литературе, и на личных оценках специалистов в данной области, однако конечный выбор – и сопряженная с ним моральная ответственность – все равно ложится на плечи составителя курса. Главное же при таком выборе, как я полагаю, – это не забывать хотя бы о том, что «Земля круглая» – и так далее…

Пользуясь случаем, выражаю глубокую признательность своим коллегам, геологам и биологам – О. А. Афанасьевой, В. Ю. Дмитриеву, А. Ю. Журавлеву, Г. А. Заварзину, Е. Н. Курочкину, А. А. Карху, О. А. Лебедеву, В. М. Моралеву, А. Ю. Розанову, А. Г. Сенникову, М. А. Федонкину, А. Б. Шипунову, чьими консультациями я пользовался в процессе работы. Особую благодарность я хотел бы выразить М. Б. Бурзину, В. В. Жерихину, А. Г. Пономаренко и А. С. Раутиану, взявшим на себя труд прочесть рукопись и высказать ценные критические замечания. Благодарю московскую гимназию № 1543 и ее директора Ю. В. Завельского за предоставленную мне возможность разрабатывать и совершенствовать этот спецкурс в 1995–1999 годах.

Глава 1

Возраст Земли и Солнечной системы. Абсолютный и относительный возраст. Геохронологическая шкала

Прежде всего заметим, что для ученых сама по себе постановка вопроса о возрасте Земли была некогда весьма революционной – ибо «возраст» подразумевает наличие «даты рождения». Конечно, в любой из религий соответствующее божество создает Землю с населяющими ее существами из первозданного Хаоса, однако европейская наука унаследовала от античных философов-материалистов принципиально иное видение Мира. Для нее Земля всегда была неотъемлемой частью той самой Вселенной, которая «едина, бесконечна и неподвижна… Она не рождается и не уничтожается… Она не может уменьшаться и увеличиваться» (Джордано Бруно). Но вот в конце Средневековья астрономы открывают существование так называемых новых звезд: оказывается, небеса не абсолютно неизменны, как считалось испокон веков! Следовательно, в принципе возможны и наиболее решительные (с точки зрения Человечества) изо всех возможных изменений: начало и конец существования Земли и видимой части Вселенной. А раз так, то не можем ли мы попытаться установить, когда было это начало и каким будет этот конец – не прибегая к помощи мифологии (шести дням творения, Сумеркам богов и т. д.)?

Необходимо заметить, что людей первоначально заинтересовал возраст не Земли как небесного тела, а именно обитаемой Земли – как сейчас сказали бы, биосферы. Однако ясно, что, определив время возникновения жизни, мы тем

самым получим минимальный срок существования и самой планеты. А поскольку источником жизни на Земле вполне справедливо полагали энергию Солнца, то возраст нашего светила, в свою очередь, даст нам максимальный срок существования биосферы.

Установление же времени существования Солнца – после того как были открыты законы сохранения вещества и энергии – казалось физикам довольно простой задачей. Солнце постоянно излучает энергию в пространство, назад ничего не возвращается, так что, по идее, количество энергии в Солнечной системе должно постоянно убывать. Самый энергетически выигрышный процесс (из известных до XX века) – сжигание каменного угля; тепло и свет при этом создаются в результате химической реакции C + O

? CO

+ Q. А поскольку нам известны и величина Q, и количество энергии, излучаемой Солнцем за единицу времени, и масса Солнца (она была приближенно вычислена еще в XVII веке), то рассчитать суммарное время существования угольного костра таких размеров можно буквально в одно действие. Вот тут-то и выяснилось, что он должен прогореть дотла всего-навсего за полторы тысячи лет. Конечно, существуют вещества более энергоемкие, чем уголь, но это не решает проблему: расчетное время существования Солнца все равно оказывается меньше шести тысяч лет, т. е. меньше времени существования человеческой цивилизации; ясно, что это абсурд.

Необходимо было найти источник, питающий своей энергией Солнце, – иначе вообще рушился закон сохранения энергии. И вот в 1853 году Г. Гельмгольцу удалось предложить вполне приемлемую для того времени гипотезу. Он предположил, что Солнце постоянно сжимается – верхние его слои под собственной тяжестью как бы падают на нижние, а их потенциальная энергия при этом убывает (ведь масса слоев постоянна, а высота их «подъема» над центром Солнца уменьшается); именно «теряющаяся» потенциальная энергия верхних слоев и выделяется в виде тепла и света. Возникает вопрос: какая скорость этого сжатия необходима для того, чтобы обеспечить нынешнюю светимость Солнца? Ответ: очень небольшая – за 250 лет (т. е. за все время существования современной астрономии) всего-навсего 37 км; для сравнения: нынешний диаметр Солнца – почти 1,5 млн км. Очевидно, что такие изменения диаметра никакими измерительными приборами не ловятся.

Гипотеза эта имела и одно следствие, прямо касающееся возраста Земли. Если считать, что светимость Солнца (и, соответственно, скорость его сжатия) в прежние времена была примерно такой же, как сейчас, то, согласно расчетам Гельмгольца, 18 млн лет назад диаметр светила должен был превышать нынешний диаметр орбиты Земли. Следовательно, наша планета никак не старше этих самых 18 млн лет. Физиков эта цифра вполне удовлетворила, и они сочли вопрос о предельном возрасте Земли исчерпанным, но вот геологи восстали против такой датировки самым решительным образом.

Дело в том, что геология уже накопила к тому времени огромное количество эмпирических (т. е. основанных на непосредственном опыте) данных о строении поверхностных слоев планеты и о происходящих на ней процессах (например, о движении горных ледников, водной эрозии и т. д.). В 1830 году Ч. Лайель, исходя из того, что геологические процессы (прежде всего осадконакопление) в прошлом должны были протекать примерно с той же скоростью, что и ныне (принцип актуализма[1 - Подробнее см. в дополнении к главе 1.]), подсчитал, что время, необходимое для образования одних только доступных для прямого изучения осадочных толщ, должно составлять несколько сот миллионов лет. Расчеты Лайеля основывались на гигантском фактическом материале и казались геологам и биологам гораздо более близкими к истине, чем гельмгольцевы 18 млн лет. Однако логика Гельмгольца казалась неопровержимой – с законом сохранения энергии особо не поспоришь… Для того чтобы возобладала точка зрения геологов (а правильной, как теперь известно, оказалась именно она), необходимо было найти иной, чем гравитационное сжатие, источник энергии для Солнца.

В 1896 году А. Беккерель открыл явление радиоактивности. Радиоактивность оказалась одним из типов ядерных реакций – изменений в комбинациях составляющих атомное ядро протонов и нейтронов; при этих реакциях выделяется неизмеримо больше энергии, чем при любых химических превращениях. В 1905 году А. Эйнштейн установил, что в ядерных реакциях массу можно рассматривать как чрезвычайно концентрированную форму энергии, и вывел свою знаменитую формулу их эквивалентности: $E = mc$

, где c – скорость света. Величина c

чрезвычайно велика, а потому даже небольшое количество массы эквивалентно огромному количеству энергии: 1 г массы = 21,5 млрд ккал (столько энергии выделится, если сжечь 2,5 млн литров бензина). Если предположить, что Солнце черпает энергию за счет ядерных реакций (каких именно – пока неважно, эйнштейнова формула справедлива для них всех), то для обеспечения его нынешней светимости необходимо расходовать 4 600 т вещества в секунду.

Много ли это? Ничтожно мало: расчеты показывают, что происходящее при этом изменение тяготения Солнца приведет к увеличению времени оборота Земли вокруг светила – т. е. удлинению земного года – всего на 1 секунду за 15 млн лет, что, разумеется, нельзя установить никакими измерениями. Таким образом, проблема практически неиссякаемого источника энергии для Солнца была решена, и теперь уже ничто не препятствовало принятию геологической оценки возраста Земли – «не менее нескольких сот миллионов лет».

Однако открытие радиоактивности имело и еще одно следствие: это явление само по себе позволило создать новый метод определения возраста планеты, несравненно более точный, чем все предыдущие. Суть его заключается в следующем. Известно, что атом урана нестабилен: он испускает энергию, потоки частиц и со временем превращается в атом свинца – устойчивого элемента, не подверженного дальнейшим превращениям. Природа этого типа реакций такова, что скорость ядерного распада абсолютно постоянна и никакие внешние факторы (температура, давление) на нее не влияют. Значит, если экспериментально определить темп этих изменений за короткий промежуток времени, то его можно совершенно точно предсказать и для более длительного промежутка. Так вот, было установлено, что в любой порции урана (точнее – изотопа

U) половина составляющих его атомов превратится в свинец за 4,5 млрд лет; соответственно, через 9 млрд лет урана останется 1/2 от 1/2, т. е. четверть, и т. д. Срок в 4,5 млрд лет называют периодом полураспада

U.

Пусть мы имеем горную породу, содержащую соединения урана. Если она остается нераздробленной, то все атомы свинца (в которые постоянно превращаются атомы урана) остаются внутри породы, и в результате уран все

более «загрязняется» свинцом. Поскольку, как мы помним, внешние факторы не влияют на скорость этого процесса, степень «загрязнения» будет зависеть только от времени, в течение которого порода оставалась монолитной. Последнее обстоятельство весьма важно: таким способом можно устанавливать время образования изверженных пород, но не осадочных – те всегда разрушены, и уран-свинцовое соотношение в них необратимо нарушено миграцией этих элементов в окружающую среду.

Определять возраст изверженных пород уран-свинцовым методом (впоследствии появились калий-аргоновый, рубидий-стронциевый и другие[2 - Самым точным продолжает оставаться уран-свинцовый метод – когда соотношение этих элементов определяют в зернах минерала циркон.]) начали в 1907 году и очень скоро обнаружили граниты с возрастом 1 млрд лет. По мере дальнейших поисков этот «максимальный известный возраст» быстро увеличивался, пока не достиг 3,5 млрд лет, после чего, несмотря на все усилия, почти не прирастал; древнейшие же из известных минералов были недавно найдены в Австралии и Канаде – 4,2 млрд лет[3 - Недавняя (в 2000 году, опять же в Австралии) находка минералов с возрастом 4,4 млрд лет нуждается в подтверждении.]. Значит, Земля никак не моложе 4,2 млрд лет; но, может быть, она еще старше, и породы с возрастом 7 или, скажем, 20 млрд лет просто пока не найдены? Судя по всему, нет – и вот почему. Дело в том, что возраст всех изученных на этот предмет метеоритов составляет 4,5–4,6 млрд лет; возраст всех горных пород, собранных в девяти районах Луны американскими экспедициями «Аполлон» и советскими автоматическими станциями «Луна», также варьирует от 4 до 4,5 млрд лет. Все это свидетельствует о том, что цифра «4,6 млрд лет» верно отражает реальный возраст не только Земли, но и всей Солнечной системы.

Итак, физики преподнесли геологам поистине царский подарок: стало возможным достаточно точно определить время существования Земли и протяженности различных периодов ее истории (палеозоя, мезозоя и т. д.). Как же отнеслись к этому геологи? Спокойно, если не сказать – равнодушно: дело в том, что к собственно геологическим проблемам все это, как ни странно, имеет весьма косвенное отношение.

Физики мыслят в категориях абсолютного времени: для них существенно, когда именно произошло некое событие, а главная проблема, которую они при этом решают – это проблема часов (ведь распадающийся уран – это, по сути дела, песочные часы хитрой конструкции). Однако совершенно очевидно, что время

существует вне зависимости от того, есть ли у нас приборы для его измерения. Во множестве случаев для нас существенна лишь очередность событий («это произошло после…, но до…»), тогда как строгие их датировки куда менее важны; рассказывая о неком происшествии, часто говорят не «в 15 часов», а «после обеда»; не «20 марта», а «как только сошел снег»; не «в 1939 году», а «перед войной» – и в этом есть достаточно глубокий смысл. Любая последовательность событий уже сама по себе является временем – относительным временем. Так вот, геологи всегда работали в мире этого самого относительного времени. Точность, с которой мы можем определить положение некого события на шкале относительного времени, прямо зависит от ее дробности (т. е. числа составляющих шкалу событий) и полноты (события должны распределяться по шкале более или менее равномерно, не оставляя «пустот»). Поэтому геологи видели свою задачу не в поиске «часов», а в том, чтобы совершенствовать в указанных направлениях шкалу относительного времени – палеонтологическую летопись (это не метафора, а термин).

Есть два фундаментальных принципа (фактически это аксиомы), которыми пользуются геологи при изучении истории. Первый – принцип Стено, или закон напластования: если один слой (пласт) горных пород лежит на другом, то верхний слой образовался позднее, чем нижний. Второй – принцип Гексли, или закон фаунистических и флористических ассоциаций: слои, содержащие ископаемые остатки одних и тех же видов животных и растений, образовались в одно и то же время. Первый принцип позволяет установить хронологический порядок образования горных пород в одном месте, второй – синхронизировать между собой пласты, залегающие в разных местах (рис. 1, а).

а)

б)

Рис. 1. Составление сводной стратиграфической шкалы на пяти(1–5) разрезах – а; образование запрокинутого залегания (линия, складка и эрозия «нормальной» половинки) – б (по Фентон, 1997)

Принципы эти, казалось бы, предельно просты, однако при их практическом применении нас подстерегает целый ряд ловушек. Так, исходная последовательность слоев в результате тектонических движений зачастую сминается в более или менее горизонтальные складки. Если в дальнейшем вышележащая половинка складки (с «правильной» последовательностью) окажется полностью уничтоженной эрозией, то установить, что в нашем распоряжении осталось лишь искаженное, запрокинутое залегание слоев, будет весьма непросто (рис. 1, б). Еще бо?льшие проблемы возникают с законом фаунистических ассоциаций. Синхронные, но пространственно удаленные фауны всегда будут отличаться друг от друга; в частности, они будут иметь в своем составе разную долю реликтов, унаследованных от предшествующих эпох. Представьте-ка себе, что вам предложено «вслепую» сопоставить выборки из современных фаун млекопитающих Европы и Австралии (со всеми ее сумчатыми и однопроходными). Много ли у вас будет оснований для заключения об их синхронности? Сведение множества региональных последовательностей фаун и флор в единую глобальную шкалу – одна из основных задач специального раздела геологии, стратиграфии (от латинского stratum – слой).

Трудности, возникающие на этом пути, велики, но вполне преодолимы. Последовательное применение принципов Стено и Гексли (плюс накопление огромного эмпирического материала) позволило геологам уже в самом начале XIX века разделить все отложения на первичные, вторичные, третичные и четвертичные; это деление полностью соответствует современному делению осадочных толщ на палеозойские, мезозойские и кайнозойские (объединяющие два последних подразделения). А к 30-м годам XIX века в составе этих отложений были выделены и почти все принятые ныне системы (юрская, меловая, каменноугольная и пр.); последняя из них – пермская – была выделена Р. Мурчисоном в 1841 году.

Так была создана всеобъемлющая шкала относительного времени – геохронологическая шкала, к которой может быть однозначно «привязана» любая содержащая ископаемые осадочная порода. Шкала эта оказалась столь совершенной, что XX век не внес в нее сколь-нибудь существенных корректив, за исключением чисто формального изменения ранга некоторых ее подразделений (в 50-е годы единый третичный период был разделен на два – палеогеновый и неогеновый, а ордовик, считавшийся частью силура, получил ранг самостоятельного периода),[4 - Американские палеонтологи предпочитают делить каменноугольный период, или карбон, на два – миссисипий

(соответствующий европейскому раннему карбону) и пенсильваний (средний и верхний карбон), что отражает неполную адекватность событий на разных континентах.] и лишь снабдил ее подразделения абсолютными датировками. Основная проблема, которую с той поры пришлось решать геологам, – это создание такой же шкалы для наиболее древних пород, которые считались «немыми», т. е. лишенными сколь-нибудь сложных (и, соответственно, диагностичных) ископаемых остатков (см. рис. 2, а также таблицы (#litres_trial_promo) в конце книги).

Самыми крупными подразделениями геохронологической шкалы являются эоны. Хорошо известные вам палеозой, мезозой и кайнозой – это эры, на которые подразделяется последний из эонов – фанерозой (от греческих слов phaneros – видимый, явный и zoe? – жизнь), начавшийся 0,54 млрд лет назад. Эоны, предшествующие фанерозою, – протерозой (0,54–2,5 млрд лет) и архей (2,5–4,6 млрд лет) – часто объединяют под названием криптозой (от греческого krypto?s – скрытый), или докембрий (кембрий – самый первый период фанерозоя). Фундаментальное разделение геохронологической шкалы на фанерозой и докембрий основано на наличии или отсутствии в соответствующих осадочных породах ископаемых остатков организмов, имевших твердый скелет. Первая половина архея, катархей – время, из которого осадочные породы не известны по причине отсутствия тогда гидросферы. Последний отрезок докембрия, венд – время появления бесскелетных многоклеточных животных.

Рис. 2. Геохронологическая шкала. Для того чтобы запомнить последовательность периодов, составляющих фанерозой (кембрий, ордовик, силур, девон, карбон, пермь, триас, юра, мел, палеоген, неоген, антропоген), студенты испокон веков пользуются мнемонической фразой не вполне педагогичного свойства: «Каждый отдельный студент должен купить пол-литра. Ты, Юрик, мал – подожди немного, а то…»

С каждой из единиц, составляющих существующую последовательность осадочных пород, можно однозначно соотнести определенное подразделение временно?й шкалы – и наоборот; так, все отложения, образовавшиеся на Земле на протяжении юрского периода, образуют юрскую систему, или просто юру. Системы объединяются в группы (юра входит в состав мезозоя) и делятся на отделы (нижняя, средняя и верхняя юра), ярусы (верхняя юра – на келловей,

оксфорд, кимеридж и титон), а далее на зоны (Cardioceras cordatum). Временны?м эквивалентом группы является эра, отдела – эпоха, яруса – век, зоны – время (рис. 3).

Названия подразделений геохронологической шкалы происходят от названий мест, где были впервые описаны «эталонные» для того или иного времени осадочные породы (пермский период, оксфордский век); исключение составляет низшая единица шкалы, всегда называемая по руководящему ископаемому, характерному для этого момента геологической истории (время Cardioceras cordatum). Например, пермский период следует определить как время, когда на Земле образовывались горные породы такого же типа, что ныне выходят на поверхность в окрестностях уральского города Пермь. Имея дело с геохронологической шкалой, необходимо всегда помнить, что первичен здесь определенный тип геологических тел, а время производно, вторично. (Тот же самый принцип используется и в археологии: мезолит и бронзовый век – исторические периоды, время, когда люди делали орудия и украшения определенного типа.) Именно по этой причине геохронология спокойно обходилась и без датировок ее подразделений в миллионах лет, ставших привычными лишь в последние три-четыре десятилетия. Вообще роль абсолютных датировок (радиоизотопных датировок) очень велика для стратиграфии докембрийских толщ, где отсутствуют достаточно сложные ископаемые; радиоуглеродный метод[5 - Радиоуглеродный метод позволяет датировать древесину и ее производные (например, древесный уголь); он основан на содержании в углероде древесины нестабильного изотопа

C. Этот изотоп возникает в верхних слоях атмосферы при воздействии космического излучения на атом обычного азота (

N), а затем в виде CO

ассимилируется растениями. Доля

C в живом растении стабильна (и равна доле

С в атмосферном углекислом газе), а после гибели растения начинает закономерно уменьшаться.] широко применяется для датировки новейших отложений, возрастом менее 40 тыс. лет. В остальном же эти методы играют в стратиграфии сугубо подчиненную роль, и мы в дальнейшем будем в основном обозначать время в терминах не абсолютной, а относительной шкалы.

Рис. 3. Соответствие стратиграфических и временных подразделений

Однажды академику А. Л. Яншину задали вопрос: в чем состоит разница между абсолютной и относительной геохронологиями? Тот, согласно преданию, ответил: «Главная разница в том, что относительная геохронология точна, а абсолютная – нет». Радиоизотопные методы дают нам датировку с точностью до 1–2 %, которая, на первый взгляд, кажется вполне приемлемой. Но на отрезках времени в сотни миллионов лет (которыми оперирует геология) эта погрешность измерения тоже будет исчисляться миллионами лет. Пусть мы определили абсолютный возраст некой осадочной толщи как 154 ±2 млн лет; в течение этих двух миллионов лет могли накопиться многие сотни метров (или даже километры) осадков. Палеонтологи же способны распознать в этой толще однообразных пород слой толщиной всего в несколько метров, руководствуясь известным им «адресом»: верхняя юра, оксфордский ярус, зона Cardioceras cordatum (ибо только в это «мгновение» геологической истории жил на Земле головоногий моллюск Cardioceras cordatum). Определить столь ничтожный отрезок времени методами абсолютных датировок нельзя ни в каком приближении.

Здесь опять напрашивается сравнение с археологией. Предположим, мы обнаружили древнеегипетский саркофаг. Можно отколупнуть от него щепку и установить, что дерево, из которого он был изготовлен, срублено 4 500 ±300 лет назад. Археолог же поглядит на орнамент саркофага и без колебаний скажет: «Среднее царство, XIII династия… конец, но не самый». Ну и какая из датировок, на ваш взгляд, более содержательна?

Дополнение к главе 1

Несколько слов о методологии науки. Принцип актуализма, «бритва Оккама» и презумпции. Проверка теории: верификации и фальсификации

Принцип актуализма (этот термин был введен в 1830 году Ч. Лайелем): при любых реконструкциях событий прошлого мы исходим из того, что в те времена должны были действовать такие же законы природы, что и ныне. «Настоящее есть ключ к прошлому» – так формулировал принцип сам Лайель. Пусть, к примеру, в докембрии существовали экосистемы, которым нет сегодня аналогов, но камень-то, надо думать, и тогда падал на землю с ускорением 9,8 м/с

, вода замерзала при нуле градусов Цельсия, молекула хлорофилла исправно поглощала кванты света… А, собственно говоря, почему? Вопрос этот вовсе не так уж прост.

Непосредственно в прошлое заглянуть невозможно, машина времени – это несбыточная мечта человечества. Любые наши суждения о прошлом есть лишь более или менее вероятные предположения, основанные на интерпретации фактов и событий современности. Динозавры (столь полюбившиеся широкой публике после «Парка юрского периода») – это, вообще-то говоря, лишь куски песчаника, напоминающие своей формой кости современных рептилий; все остальное – чистые домыслы. Понятно, что цена домыслам режиссера С. Спилберга и академика от палеонтологии Л. П. Татаринова несколько разная, однако экспериментально проверить нельзя ни первые, ни вторые – ни сегодня, ни в будущем. Поэтому вначале нам следует решить для себя принципиальный вопрос: познаваемо ли прошлое вообще? При этом необходимо признать, что на логическом уровне проблема неразрешима, т. е. это вопрос не разума, а веры.

Если ответ будет «нет», то мы можем дальше по собственному усмотрению населять прошлое атлантами и лемурийцами, разумными спрутами и крылатыми огнедышащими драконами, а можем, наоборот, отрицать существование всего, что не упомянуто – черным по белому – в Ветхом Завете. Пожалуйста. Мы теперь находимся в сфере мифологии, можно ни в чем себе не отказывать. Отправившись по этому пути, мы с неизбежностью должны прийти к отрицанию существования Хеопса, Ивана Грозного, а то и товарища Сталина – чем они в этом смысле лучше динозавров?

Если же мы примем, что прошлое принципиально познаваемо (а подавляющее большинство людей решают для себя этот вопрос именно так), и останемся при этом на позициях рационального мышления (т. е. будем полагаться не на «откровения свыше», а на свои собственные наблюдения и умозаключения), то упомянутый выше кусок песчаника немедленно превратится в бедренную кость тиранозавра. Структура ее поверхности позволит нам сделать выводы о местах прикрепления мышц и, соответственно, о типе походки, скорости передвижения и возможных способах охоты; внутренняя структура кости – о характере кровоснабжения и, соответственно, о возможной теплокровности этих существ. Ископаемая древесина с годичными кольцами позволит заключить, что климат в этом месте тогда был сезонным, а ископаемый коралловый риф – что температура окружающей его морской воды превышала 20 °С. Все эти выводы будут основаны на аналогиях – на том, как ведут себя кости позвоночных, древесина и коралловые рифы в наши дни. Но вправе ли мы исходить из такой предпосылки? Не только вправе – мы обязаны поступать именно так, и вот почему.

Мы уже оговорили, что действуем в сфере рационального мышления. Рациональный тип мышления – отнюдь не единственно возможный; бывает мышление художественное, мистическое, религиозное и т. п. Надо отчетливо осознавать, что ни одно из них не «хуже» и не «лучше» остальных – они просто разные и имеют свои собственные «своды законов». Мы вольны в выборе типа мышления – но, раз выбрав, обязаны будем в дальнейшем подчиняться определенным правилам.

Одним из фундаментальных принципов рационального мышления является «бритва Оккама» – по имени средневекового английского философа У. Оккама, который формулировал его так: «Не умножай сущностей сверх необходимого». Применительно к правилам научного исследования это означает следующее: выбирая одну из нескольких гипотез, объясняющих некое явление, надо начинать с самой простой из них, и только убедившись в том, что она «не работает», переходить к более сложной, повторяя эту процедуру до тех пор, пока не будет найдено простейшее удовлетворительное объяснение.

Приведем такой пример. На тихоокеанском острове Пасхи имеются циклопические статуи, которые, казалось бы, не могли быть воздвигнуты примитивным племенем, населяющим остров в наши дни. Можем ли мы высказать гипотезу, что статуи эти поставлены пришельцами с другой планеты? Конечно, можем. Однако, находясь в рамках рационального подхода, мы вправе

принять подобное объяснение лишь после того, как будут исчерпаны все более простые – «земные» – гипотезы. Тур Хейердал, сделавший успешную попытку установить пасхианскую статую с помощью лишь тех средств, что есть в наши дни в распоряжении тамошних аборигенов, действовал строго в рамках «бритвы Оккама», хотя наверняка не задумывался над этим. Последнее весьма существенно: дело в том, что принцип «бритвы Оккама» и впоследствии развившийся из него принцип парсимонии для любого ученого (по крайней мере, в сфере естественных наук) настолько фундаментальны, что обычно их просто не замечают – как мы не замечаем воздуха, которым дышим.

Возвращаясь к методам реконструкции картин далекого прошлого, отметим, что с этой точки зрения актуализм (стремление в исторических реконструкциях отталкиваться от современных аналогов) совершенно корректен. Существование же в прошлом принципиально иных, чем ныне действующие, законов природы будет той самой «избыточной сущностью», которую и отсекает «бритва Оккама». Собственно говоря, прошлое вообще познаваемо ровно настолько, насколько точные аналогии былым ситуациям существуют в современности. Однако в следующих главах мы регулярно будем сталкиваться и с такими совокупностями фактов, для объяснения которых нам придется предполагать, что в природе существовали и ситуации, ныне совершенно немыслимые, как-то: экосистемы, не имевшие в своем составе хищников (с. 102); ландшафты, которые были не сушей и не морем, а чем-то средним (с. 86); атмосферная циркуляция, при которой число конвективных ячеек (с. 147) отлично от нынешнего. Не оказываются ли такие реконструкции отступлением от принципа актуализма? Нет, потому что принцип актуализма не является аксиоматичным положением. Аксиома – это принимаемое без доказательств положение, на основе которого строится внутренне непротиворечивая система взглядов. Если мы принимаем за аксиому утверждение, что через точку, лежащую вне прямой, можно провести одну (только одну) прямую, параллельную данной, то получаем внутренне непротиворечивую геометрию Евклида. А если принять, что через такую точку можно провести несколько прямых, не пересекающих данную, то возникнет геометрия Лобачевского, такая же внутренне непротиворечивая, как и «нормальная», евклидова.

Выше мы уже сталкивались с одним аксиоматичным утверждением – законом напластования («если один слой горных пород лежит на другом, то верхний слой образовался позднее, чем нижний»), на котором основана такая внутренне непротиворечивая система взглядов, как стратиграфия. Поэтому если бы вдруг удалось доказать (напрягите воображение!), что вышележащий слой может образоваться прежде нижележащего, это означало бы полное разрушение

картины мира, что создана стратиграфией.

Принцип актуализма принадлежит к иному типу утверждений – презумпциям. Презумпция – юридический термин, означающий признание факта достоверным, пока не будет доказано обратное. Всем известна используемая в юриспруденции презумпция невиновности. Она может быть сформулирована так: поскольку большинство людей не являются преступниками, то каждый отдельно взятый человек должен считаться невиновным до тех пор, пока не доказано обратное. Последнее – чрезвычайно важно: в понятие «презумпция» заложена возможность опровержения; презумпция лишь устанавливает очередность, в которой следует рассматривать соответствующие гипотезы (применительно к презумции невиновности это означает, что обвиняемый не обязан ничего доказывать – это дело обвинителя).

Палеонтолог А. П. Расницын показал, что этот тип утверждений используется в естественных науках чрезвычайно широко, хотя практически всегда – в неявном виде. Например, постоянно практикуемое биологами определение степени родства организмов по степени их сходства – не что иное, как презумпция, которую можно сформулировать так: более сходные между собой организмы должны считаться более близко родственными между собой до тех пор, пока не доказано обратное (т. е. конвергентное возникновение этого сходства). В дальнейшем мы будем часто сталкиваться с этим типом логических конструкций. Одной из презумпций и является принцип актуализма, который может быть переформулирован таким образом: в процессе исторического исследования мы должны исходить из того, что любые системы в прошлом функционировали так же, как их современные аналоги, до тех пор, пока не доказано обратное.

Раз уж зашла речь о научном мышлении, то следует рассказать о взглядах К. Поппера, одного из крупнейших философов XX века, математика по базовому образованию. Он одним из первых задался вопросом «когда теорию можно считать научной?».

«Меня интересовал не вопрос о том, «когда теория истинна?» […] Я поставил перед собой другую проблему, – уточняет Поппер. – Я хотел провести различие между наукой и псевдонаукой, прекрасно зная, что наука часто ошибается, а псевдонаука может случайно натолкнуться на истину». Издавна существует стандартный ответ: наука отличается от псевдонауки (или от «метафизики») своим эмпирическим методом, т. е. исходит из наблюдений и экспериментов.

Однако такой ответ вряд ли можно счесть исчерпывающим: например, астрология (которая наукой в строгом смысле не является) оперирует громадной массой эмпирического материала, опирающегося на наблюдения, – гороскопами и биографиями.

Поппер вспоминает, что в 1919 году, когда он начинал учиться в Венском университете, все были увлечены новыми, поистине революционными, концепциями: теорией относительности Эйнштейна, а также историческим материализмом Маркса и новейшими психологическими теориями – психоанализом Фрейда и так называемой индивидуальной психологией Адлера. Быстро ощутив (сперва на каком-то подсознательном уровне) некое принципиальное различие между двумя этими группами теорий, Поппер попытался сформулировать для себя: чем марксизм, психоанализ и индивидуальная психология так отличаются от физических теорий, например от теории относительности? Ясно, что дело тут было не в математическом аппарате (или отсутствии такового), а в чем-то ином, более серьезном.

«Я обнаружил, что те из моих друзей, которые были поклонниками Маркса, Фрейда и Адлера, находились под впечатлением некоторых моментов, общих для этих теорий, в частности под впечатлением их явной объяснительной силы. Казалось, эти теории способны объяснить буквально все, что происходило в той области, которую они описывали. Изучение любой из них как бы приводило к полному духовному перерождению или к откровению, раскрывающему наши глаза на новые истины, скрытые от непосвященных. Раз ваши глаза однажды были раскрыты, вы будете видеть подтверждающие примеры всюду: мир полон верификациями теории. Все, что происходит, подтверждает ее».

Итак, главная черта этой группы теорий – непрерывный поиск верифицирующих их эмпирических результатов (наблюдений): чем больше, тем лучше. Более того, невозможно представить себе, например, такую форму человеческого поведения, которая не укладывалась бы в рамки соответствующей психологической теории. В примере, рассматриваемом Поппером, один человек толкает ребенка в воду с намерением утопить его, а другой жертвует жизнью в попытке спасти этого ребенка: «Каждый из этих случаев легко объясним и в терминах Фрейда, и в терминах Адлера. Согласно Фрейду, первый человек страдает от подавления некоего комплекса (скажем, Эдипова), а второй достиг сублимации. Согласно Адлеру, первый человек страдает от чувства неполноценности (которое вызывает у него необходимость доказать самому себе, что он способен отважиться на преступление); то же самое происходит и

со вторым (у которого возникает потребность доказать самому себе, что он способен спасти ребенка)». С такой же легкостью обе эти теории переинтерпретируют и любые другие человеческие поступки.

С теорией относительности дело обстоит совершенно иначе. Как раз во время, описываемое Поппером, А. Эддингтону впервые удалось подтвердить одно из предсказаний, сделанных Эйнштейном. Согласно его теории гравитации, большие массы (такие, как Солнце) должны притягивать свет точно так же, как они притягивают материальные тела. Поэтому свет далекой фиксированной звезды, видимой вблизи Солнца, достигает Земли по такому направлению, что звезда кажется смещенной по сравнению с ее реальным положением. В обычных условиях этот эффект наблюдать невозможно, поскольку близкие к Солнцу звезды совершенно теряются в его ослепительных лучах. Однако звезды можно сфотографировать во время полного солнечного затмения, а затем сравнить их положение с тем, что наблюдается ночью, когда масса Солнца не влияет на распространение их лучей. Именно это и проделал Эддингтон. И получил эффект, предсказанный Эйнштейном.

«В рассматриваемом примере, – пишет Поппер, – производит впечатление тот риск, с которым связано подобное предсказание. Если наблюдение показывает, что предсказанный эффект определенно отсутствует, то теория просто-напросто отвергается. Данная теория несовместима с определенными возможными результатами наблюдения – с теми результатами, которых до Эйнштейна ожидал бы каждый. Такая ситуация совершенно отлична от описанной мною ранее, когда соответствующие (психологические. – К. Е.) теории оказывались совместимыми с любым человеческим поведением, и было практически невозможно описать какую-либо форму человеческого поведения, которая не была бы подтверждением этих теорий».

Все это и привело Поппера к заключению о том, что подтверждения (верификации) теории недорого стоят – их при желании можно набрать сколько угодно, почти для любой теории. Собственно говоря, принимать во внимание подтверждающее свидетельство следует лишь в тех случаях, когда оно является результатом реальной «проверки теории на прочность» – попытки ее опровергнуть, которая оказалась безуспешной. Теория же, которая не опровергаема никаким мыслимым событием, является ненаучной; принципиальная неопровергаемость представляет собой не достоинство теории (как часто думают), а ее порок. Итак, критерием научного статуса теории является ее проверяемость и принципиальная опровергаемость

(фальсифицируемость).[6 - Отсюда и всю методологическую концепцию Поппера называют фальсификационализмом. Слова «фальсифицируемость» и «фальсифицированный» употребляются здесь, разумеется, не в обиходном их значении («Таможня обнаружила партию фальсифицированной водки…»).] Иными словами, наука (в отличие от псевдонауки) должна делать проверяемые предсказания («Будет так-то и так-то, в противном случае я съем свою шляпу»), причем предсказания эти должны быть рискованными, не очевидными априори (не типа «Солнце завтра по-прежнему взойдет на востоке»).

Из рассмотренных выше теорий критерию фальсифицируемости отвечает лишь теория относительности: даже если в период ее выдвижения существующие измерительные инструменты не позволяли осуществить проверку, принципиальная возможность опровержения этой теории существовала уже тогда. Случай с астрологией – обратный; астрологи попросту игнорируют неблагоприятные для них свидетельства, а в своих прогнозах прибегают к обычному трюку всех прорицателей: предсказывают события неопределенно, чтобы предсказания всегда сбывались, т. е. чтобы они были неопровергаемыми. Вспомним истории о Ходже Насреддине. «Буду ли я счастлива в своем новом браке?» – трепетно спрашивала какая-нибудь почтенных лет вдова и замирала в ожидании ответа. «Да, будешь счастлива, если на рассвете не влетит в твое окно черный орел, – гласил ответ гадальщика. – Остерегайся также посуды, оскверненной мышами, никогда не пей и не ешь из нее». И вдова удалялась, полная смутного страха перед черным орлом, тягостно поразившим ее воображение, и вовсе не думая о каких-то презренных мышах; между тем в них-то именно и крылась угроза ее семейному благополучию, что с готовностью растолковал бы ей гадальщик, если бы она пришла к нему с жалобами на неправильность его предсказания.

Сложнее ситуация с марксистской социологией. В ранних своих формулировках она действительно давала проверяемые предсказания (например, Марксов анализ движущих сил и сроков грядущей «социальной революции»), которые все оказались опровергнутыми (революции происходили не в промышленно развитых, а в самых отсталых странах, и т. п.). Однако последователи Маркса, вместо того чтобы признать это опровержение, переинтерпретировали и теорию, и свидетельства так, чтобы привести их в соответствие. Они «спасли» свою теорию, но при этом сделали ее неопровергаемой – и тем самым лишили ее научного статуса (в Советском Союзе марксизм превратился уже в чистое богословие, т. е. в комментирование священных текстов). Что же касается двух упомянутых психоаналитических теорий, то они являются изначально непроверяемыми и неопровергаемыми. Как подчеркивает Поппер, «это не

означает, что Фрейд и Адлер вообще не сказали ничего правильного. […] Но это означает, что те „клинические наблюдения“, которые, как наивно полагают психоаналитики, подтверждают их теорию, делают это не в большей степени, чем ежедневные подтверждения, обнаруживаемые в своей практике астрологами». Итак, по Попперу: теория относительности – научная и правильная, т. е. не опровергнутая, несмотря на все усилия; марксизм (ранний) – научная, но неправильная; психоанализ – правильная (в том смысле, что дает позитивные практические результаты), но ненаучная.

Разумеется, Поппер нарисовал умышленно упрощенную картину. Ведь, согласно его методологическим правилам, если теории противоречит некий факт, то она становится фальсифицированной и должна быть немедленно отброшена. Однако в реальности научное сообщество сплошь и рядом вынуждено сохранять заведомо «фальсифицированные» теории до тех пор, пока не появятся новые, более совершенные (за неимением гербовой…); с этим был вынужден согласиться и сам Поппер. Попперовский фальсификационализм пережил пик своей популярности в 60–70-е годы, а ныне уступил место более утонченным методологическим концепциям. Тем не менее главные попперовские положения (что цена непроверяемой гипотезе, сколь бы красива она ни была, пятак в базарный день и что суть научного исследования – не в подборе примеров, подтверждающих теорию, а в поиске всё новых способов ее критической проверки) остаются в силе. Тем из вас, кто собирается в дальнейшем заниматься наукой, следует иметь это в виду.

Глава 2

Образование нашей планеты: «холодная» и «горячая» гипотезы. Гравитационная дифференциация недр. Происхождение атмосферы и гидросферы

Рассказ о происхождении Земли и Солнечной системы нам придется начать издалека. В 1687 году И. Ньютон вывел закон всемирного тяготения: каждое тело во Вселенной притягивает остальные с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Теоретически закон всемирного тяготения позволяет рассчитать движения любого тела во Вселенной под влиянием тяготения других тел. Но – увы! – только теоретически: уравнения, необходимые для описания движения

всего трех изолированных тел под влиянием притяжения друг друга, столь сложны, что их решение не удавалось получить почти три столетия, до 60-х годов XX века. Понятно, что о полном решении для такой системы тел, как Солнечная система, и говорить не приходится. Что же до приближенных расчетов, которыми занимались многие выдающиеся математики и астрономы (Ж. Лагранж, П. Лаплас и другие), то они показывают, что возмущения в орбитах планет носят периодический характер: параметры орбиты меняются в одном направлении, затем в противоположном, и так до бесконечности. В самой по себе определяемой тяготением структуре Солнечной системы вроде бы нет ничего, что мешало бы ей существовать вечно; недаром сам Ньютон вопрос о происхождении Солнечной системы вообще не ставил.

Давайте, однако, задумаемся: если бы причиной движения планет было одно лишь тяготение, то что с ними произошло бы? Правильно, они «упали» бы на Солнце. Но планеты благополучно двигаются по своим орбитам перпендикулярно действующей на них силе тяжести и при этом еще вращаются вокруг собственной оси. Это движение не могло возникнуть – и не возникло! – под влиянием тяготения Солнца. Откуда же оно взялось? Дело в том, что всякое вращающееся тело обладает определенным качеством, которое называется моментом количества движения (МКД). Величина МКД зависит от трех параметров: массы тела, его круговой скорости и расстояния до центра вращения. К XVIII веку было установлено, что МКД не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а может лишь передаваться от тела к телу. Это закон сохранения момента количества движения, принадлежащий к ряду законов сохранения (таких, как законы сохранения вещества, энергии и пр.). А коли так, то любая теория возникновения Вселенной (или Солнечной системы) как минимум не должна ему противоречить.

Итак, все тела, составляющие Солнечную систему, обладают собственным МКД. Создать МКД невозможно – откуда же он взялся? Рассмотрим следующий выход из этого тупика. МКД могут различаться в зависимости от направления вращения: по и против часовой стрелки – положительный и отрицательный МКД. Если телу (или системе тел) сообщить два МКД (равной величины, но разного знака), то оба момента взаимно уничтожатся, и возникнет система, лишенная МКД. Но в таком случае верно и обратное: система, изначально не обладавшая МКД, может разделиться на две: одну с положительным, другую – с равным ему отрицательным МКД. Таким образом, МКД как бы появляется и исчезает без нарушения закона сохранения. Исходя из этого, можно предположить, что Вселенная вначале не обладала МКД, но затем одни ее части получили положительный момент, а другие – одновременно – отрицательный.

Так вот, если посмотреть на Солнечную систему «с высоты» – из некой точки над Северным полюсом Земли (и, соответственно, над плоскостью ее орбиты), то окажется, что Земля, Солнце и большинство иных тел вращаются вокруг своей оси против часовой стрелки; планеты вокруг Солнца и спутники вокруг планет – тоже. Значит, положительные и отрицательные МКД всех тел, составляющих Солнечную систему, отнюдь не уравновешиваются между собой; суммарный МКД этой системы очень велик, и необходимо выяснить его происхождение.

В 1796 году П. Лаплас сформулировал небулярную теорию, согласно которой последовательность событий при образовании Солнечной системы такова. Имеется первичное газопылевое облако (туманность – по латыни «небула»), возникшее в результате концентрации рассеянного межзвездного вещества под действием взаимного притяжения его частиц (в соответствии с законом всемирного тяготения). Небула не является идеальным шаром, и ее края – просто по теории вероятности – находятся на неодинаковом расстоянии от ближайшей небулы (или звезды), а потому притягиваются той с неодинаковой силой (которая, как мы помним, обратно пропорциональна квадрату расстояния). Этой неравновесности достаточно для того, чтобы наша небула получила первичный толчок, который и придаст ей вращательное движение, пусть и чрезвычайно слабое.

Как только небула начинает поворачиваться вокруг своей оси, в ней возникает сила тяжести (как в космическом корабле, который специально «раскручивают» для противодействия невесомости). Под действием силы тяжести небула должна начать сжиматься, т. е. ее радиус уменьшается. А мы с вами помним, что МКД (который есть величина постоянная) зависит от трех параметров: массы тела, радиуса и скорости его вращения; масса – тоже величина неизменная, поэтому уменьшение радиуса может быть компенсировано только увеличением скорости вращения. В результате огромный газовый шар будет вращаться все быстрее и быстрее, работая как центрифуга: под действием центробежной силы его экватор вспухает, придавая шару форму все более сплющенного эллипсоида. Наступает момент, когда все возрастающая центробежная сила на экваторе уравновешивает силу притяжения и от него (экватора) начинает отслаиваться кольцо, а затем, по мере дальнейшего сжатия небулы, еще и еще. Вещество этих вращающихся колец начинает под действием взаимного притяжения его частиц конденсироваться в планеты, от которых, в свою очередь, отрываются их спутники.

Теория Лапласа, согласно которой Земля была изначально холодной, сохраняла популярность на протяжении почти столетия, хотя ей и противоречили некоторые астрономические данные (например, вращение Венеры и Урана в сторону, обратную всем остальным планетам и Солнцу). Однако ближе к концу XIX века, когда было твердо установлено, что температура в недрах нашей планеты чрезвычайно высока (по современным данным, свыше 1 000 °С), большинство ученых стало разделять мнение об изначально горячей Земле – огненном шаре, постепенно остывающем с поверхности. Поиски источника этого раскаленного вещества вполне естественно было начать с Солнца. В начале XX века астрономы Т. Чемберлен и Ф. Мультон выдвинули, а Дж. Джинс математически обосновал планетезимальную теорию происхождения планет Солнечной системы. Суть ее состоит в том, что некогда поблизости от Солнца («поблизости» – это по космическим масштабам) прошла другая звезда. При этом взаимное притяжение вырвало из каждой из них по гигантскому протуберанцу звездного вещества, которые, соединившись, составили «межзвездный мост», распавшийся затем на отдельные «капли» – планетезимали. Остывающие планетезимали и дали начало планетам и их спутникам.

Однако вторая половина XX века стала временем возвращения к концепции изначально холодной Земли. Во-первых, нашлись серьезные, чисто астрономические, возражения против планетезимальной теории. Г. Рессел, например, обратил внимание на то простое обстоятельство, что если между Солнцем и проходящей звездой протянется лента из звездного вещества, то ее средняя часть (где притяжение двух светил взаимно уравновешивается) должна будет пребывать в полной неподвижности. И напротив, выяснилось, что некоторые оказавшиеся ошибочными положения Лапласа вполне могут быть откорректированы в рамках дальнейшего развития небулярной теории. В качестве примера можно привести гипотезу О. Ю. Шмидта (в ней газопылевое облако захватывается уже существующим на тот момент Солнцем) или более популярную ныне модель К. фон Вайцзеккера (в ней вращающаяся небула представляет собой уже не гомогенный шар, как у Лапласа, а систему разноскоростных вихрей, несколько напоминающую шарикоподшипник). Полагают также, что газ и пыль во вращающейся газопылевой туманности ведут себя по-разному: пыль собирается в плоский экваториальный диск, а газ образует почти шарообразное облако, густеющее по направлению к центру туманности. Впоследствии пыль экваториального диска слипается в планеты, а газ под собственной тяжестью разогревается так, что «вспыхивает» в виде Солнца.

Более существенным для победы «холодной» концепции оказалось другое: был найден убедительный и при этом достаточно простой ответ на вопрос – откуда же берется тепло, разогревшее недра изначально холодной Земли до столь высоких температур? Этих источников тепла, как сейчас полагают, два: энергия распада радиоактивных элементов и гравитационная дифференциация недр. С радиоактивностью все достаточно ясно, да и источник это второстепенный – на него приходится, согласно современным оценкам, не более 15 % энергии разогрева. Идея же гравитационной дифференциации недр (ее детальную разработку связывают с именем О. Г. Сорохтина) заключается в следующем.

Зная массу и объем Земли (они были рассчитаны еще в XVIII веке), легко определить усредненную плотность земного вещества – 5,5 г/см

. Между тем плотность доступных нам для прямого изучения горных пород вдвое меньше: средняя плотность вещества земной коры составляет 2,8 г/см

. Отсюда ясно, что вещество в глубоких недрах Земли должно иметь плотность много выше средней.

Известно, что почти 9/10 массы Земли приходится на долю всего четырех химических элементов – кислорода (входящего в состав окислов), кремния, алюминия и железа. Поэтому можно с достаточной уверенностью утверждать, что более «легкие» наружные слои планеты состоят преимущественно из соединений кремния (алюмосиликатов), а «тяжелые» внутренние – железа.

В момент образования Земли («горячим» или «холодным» способом – для нас сейчас неважно) «тяжелые» и «легкие» элементы и их соединения не могли не быть полностью перемешаны. Однако дальше начинается их гравитационная дифференциация: под действием силы тяжести «тяжелые» соединения (железо) «тонут» – опускаются к центру планеты, а «легкие» (кремний) – «всплывают» к ее поверхности. Давайте теперь рассмотрим этот процесс в мысленно вырезанном вертикальном столбе земного вещества, основание которого – центр планеты, а вершина – ее поверхность. «Тонущее» железо постоянно смещает центр тяжести этого столба к его основанию. При этом потенциальная энергия столба (пропорциональная произведению массы тела на высоту его подъема, что в нашем случае составляет расстояние между центром Земли и центром тяжести столба) постоянно уменьшается. Суммарная же энергия Земли, в

соответствии с законами сохранения, неизменна; следовательно, теряющаяся в процессе гравитационной дифференциации потенциальная энергия может преобразовываться лишь в кинетическую энергию молекул, т. е. выделяться в виде тепла.

Расчеты геофизиков показывают, что эта энергия составляет чудовищную величину 4·1030 кал (что эквивалентно триллиону суммарных ядерных боезапасов всех стран мира). Этого вполне достаточно для того, чтобы – даже не прибегая к помощи энергии радиоактивного распада – разогреть недра изначально холодной Земли до расплавленного состояния. Однако, рассчитывая тепловой баланс Земли за всю ее историю, геофизики пришли к выводу, что температура ее недр лишь местами могла доходить до 1 600 °С, в основном составляя около 1 200 °С; а это означает, что наша планета, вопреки бытовавшим ранее представлениям, никогда не была полностью расплавленной. Разумеется, планета постоянно теряет тепловую энергию, остывая с поверхности, но этот расход в значительной степени (если не полностью) компенсируется излучением Солнца.

Итак, Земля на протяжении всей своей истории представляет собой твердое тело (более того, в глубинах, при высоких давлениях – очень твердое тело), которое, однако, парадоксальным образом ведет себя при очень больших постоянных нагрузках как чрезвычайно вязкая жидкость. Сама форма планеты – эллипсоид с чуть выпяченным Северным полюсом и чуть вдавленным Южным – идеально соответствует той, что должна принимать жидкость в состоянии равновесия. В толще этой «жидкости» постоянно происходят чрезвычайно медленные, но немыслимо мощные движения колоссальных масс вещества, с которыми связаны вулканизм, горообразование, горизонтальные перемещения континентов и т. д. – их закономерности мы будем обсуждать в следующей главе. Здесь важно запомнить, что источником энергии для всех этих процессов является в конечном счете все та же гравитационная дифференциация вещества в недрах планеты. Соответственно, когда этот процесс завершится полностью, наша планета станет геологически неактивной, «мертвой» – подобно Луне. Согласно расчетам геофизиков, к настоящему моменту уже 85 % имеющегося на Земле железа опустилось в ее ядро, а на «оседание» оставшихся 15 % потребуется еще около 1,5 млрд лет.

В результате гравитационной дифференциации недра планеты оказываются разделенными (как молоко в сепараторе) на три основных слоя: «тяжелый», «промежуточный» и «легкий». Внутренний «тяжелый» слой (с плотностью

вещества около 8 г/см

) – центральное ядро, состоящее из соединений железа и иных металлов; из 6 400 км, составляющих радиус планеты, на ядро приходится 2 900 км. Поверхностный «легкий» слой (плотность его вещества около 2,5 г/см

) называется корой. Средняя толщина коры всего-навсего 33 км; она отделена от нижележащих слоев поверхностью Мохоровичича, при переходе через которую скачкообразно увеличивается скорость распространения упругих волн. Между корой и ядром располагается «промежуточный» слой – мантия; ее породы имеют плотность около 3,5 г/см

и находятся в частично расплавленном состоянии. Верхняя мантия отделена от нижней мантии лежащим в 60–250 км от поверхности расплавленным слоем базальтов – астеносферой; верхняя мантия вместе с корой образует твердую оболочку планеты – литосферу (рис. 4). В астеносфере находятся магматические очаги, питающие вулканы, деятельности которых Земля обязана своей подвижной оболочкой – гидросферой и атмосферой.

Рис. 4. Структура недр планеты (со схематическим вулканом)

Согласно современным представлениям, атмосфера и гидросфера возникли в результате дегазации магмы, выплавляющейся при вулканических процессах из верхней мантии и создающей земную кору. Атмосфера и гидросфера состоят из легких летучих веществ (соединений водорода, углерода и азота), содержание которых на Земле в целом очень мало – примерно в миллион раз меньше, чем в космосе. Причина такого дефицита состоит в том, что эти летучие вещества были «вымыты» еще из протопланетного облака солнечным ветром (т. е. потоками солнечной плазмы) и давлением света. В момент образования Земли из протопланетного облака все элементы ее будущей атмосферы и гидросферы находились в связанном виде, в составе твердых веществ: вода – в гидроокислах, азот – в нитридах (и, возможно, в нитратах), кислород – в окислах металлов, углерод – в графите, карбидах и карбонатах.

Современные вулканические газы примерно на 75 % состоят из паров воды и на 15 % – из углекислого газа, а остаток приходится на метан, аммиак, соединения серы (H

S и SO

) и «кислые дымы» (HCl, HF, HBr, HI), а также инертные газы; свободный кислород полностью отсутствует. Изучение содержимого газовых пузырьков в древнейших (катархейских) кварцитах Алданского щита показало, что качественный состав этих газов полностью соответствует тому, что перечислено выше. Поскольку эта первичная атмосфера была еще очень тонкой, температура на поверхности Земли равнялась температуре лучистого равновесия, получающейся при выравнивании потока солнечного тепла, поглощаемого поверхностью, с потоком тепла, излучаемым ею; для планеты с параметрами Земли температура лучистого равновесия равна примерно 15 °C.

В итоге почти весь водяной пар из состава вулканических газов должен был конденсироваться, формируя гидросферу. В этот первичный океан переходили, растворяясь в воде, и другие компоненты вулканических газов – бо?льшая часть углекислого газа, «кислые дымы», окиси серы и часть аммиака. В результате первичная атмосфера (содержащая – в равновесии с океаном – водяные пары, CO

, CO, CH

, NH

, H

S, инертные газы и являющаяся восстановительной) оставалась тонкой и температура на поверхности планеты не отклонялась сколь-нибудь заметно от точки лучистого равновесия, оставаясь в пределах существования жидкой воды. Это и предопределило одно из главных отличий Земли от других планет Солнечной системы – постоянное наличие на ней гидросферы.

Как же изменялся объем гидросферы на протяжении ее истории? В расплавленном базальте (в астеносфере) при температуре 1 000 °С и давлении 5–10 тыс. атмосфер растворено до 7–8 % Н

О: именно столько воды, как установлено вулканологами, дегазируется при излиянии лав. Бо?льшая часть этой воды (имеющей, таким образом, мантийное происхождение) пополняла собою гидросферу, но часть ее поглощалась обратно породами океанической коры

Конец ознакомительного фрагмента.

notes

Примечания

1

Подробнее см. в дополнении к главе 1.

2

Самым точным продолжает оставаться уран-свинцовый метод – когда соотношение этих элементов определяют в зернах минерала циркон.

3

Недавняя (в 2000 году, опять же в Австралии) находка минералов с возрастом 4,4 млрд лет нуждается в подтверждении.

4

Американские палеонтологи предпочитают делить каменноугольный период, или карбон, на два – миссисипий (соответствующий европейскому раннему карбону) и пенсильваний (средний и верхний карбон), что отражает неполную адекватность событий на разных континентах.

5

Радиоуглеродный метод позволяет датировать древесину и ее производные (например, древесный уголь); он основан на содержании в углероде древесины нестабильного изотопа

C. Этот изотоп возникает в верхних слоях атмосферы при воздействии космического излучения на атом обычного азота (

N), а затем в виде CO

ассимилируется растениями. Доля

C в живом растении стабильна (и равна доле

C в атмосферном углекислом газе), а после гибели растения начинает закономерно уменьшаться.

6

Отсюда и всю методологическую концепцию Поппера называют фальсификационализмом. Слова «фальсифицируемость» и «фальсифицированный» употребляются здесь, разумеется, не в обиходном их значении («Таможня обнаружила партию фальсифицированной водки…»).

Купить: https://tellnovel.com/ru/es-kov_kirill/udivitel-naya-paleontologiya

Текст предоставлен ООО «ИТ»
Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию: Купить