

Возраст земли.

Дж. Джоли.

Слова «возраст земли» несколько двусмысленны. С геологической точки зрения под ними подразумевают обыкновенно возраст океана: иначе говоря, возраст земли, считая с начала тех геологических изменений поверхности, которые вызваны денудацией. Однако в эти слова можно еще вложить и другой смысл. Мы можем, напр., отнести начальный момент ко времени охлаждения сильно нагретой оболочки до точки затвердения. В этом случае мы увеличим возраст земли на те долгие периоды архейских времен, в течение которых роль воды была лишь второстепенной, а главное значение для полужидких масс земного шара имела вулканическая деятельность. Третья интерпретация переносит момент рождения в еще более отдаленную и неопределенную эпоху, в течение которой произошла дифференциация земли как самостоятельной планеты под действием сил неизвестной нам природы. Большая часть астрономических соображений и выводов относится именно к этой последней интерпретации. То, о чем я буду говорить здесь, имеет в виду почти исключительно первую интерпретацию слов «возраст земли». Возрастом земли я называю период времени, который протек после того, как поверхность земли стала ареной действия сил разрушения в мировом масштабе и были заложены основания органической эволюции. Факт существования сил денудации дает нам некоторые методы оценки возраста, которые правильны постольку, поскольку мы можем принять, что скорость процессов денудации в наше время лишь незначительно отличается от их средней скорости в течение геологических времен.

Такое допущение имеет следующие основания:

а) Решающее значение в процессах денудации имеет количество дождя, падающего на сушу, которое определяется в свою очередь солнечным теплом и циркуляцией атмосферы. Из существования органической жизни на земном шаре, начиная с очень ранних времен, следует, что температура колебалась лишь в узких границах, иначе говоря, в прошлом не было продолжительных и значительных изменений интенсивности солнечного излучения, которые могли бы повлиять на скорость денудации. Колебания же в пределах обычных

изменений климата не могут иметь заметного влияния на размывающее действие воды. То же можно сказать и о вариациях циркуляции атмосферы, так как последняя зависит преимущественно от вращения земли и распределения солнечного тепла.

b) Так как значительная часть поверхности суши фактически лишена дождя, то изменение величины поверхности материков не может сильно сказаться на размерах денудации; единственным следствием этих изменений является некоторое перемещение полосы, подвергавшейся размыванию. Кроме того из палеографических данных и из распространения осадочных отложений следует, что теперешняя площадь суши не очень отличается от средней площади в течение прошлых времен.

c) Так как второстепенные факторы, имеющие влияние на скорость размывающего действия воды и выветривания, очень многочисленны и разнообразны по своей природе, то мало вероятно, чтобы когда-либо в течение достаточно долгого времени наблюдалось сочетание таких изменений этих факторов, которые бы все действовали в одном направлении и могли бы вызвать значительное отклонение от среднего.

Недостаток места не позволяет мне войти подробнее в рассмотрение этих утверждений. Я коснусь только вкратце тех методов, с помощью которых, исходя из статистики разрушающего действия воды и воздуха, можно определить возраст океана.

1) Ключем к этому вопросу является химический состав океана и горных пород. На основании сравнительного изучения первичных или изверженных пород и вторичных или осадочных мы находим, что, скажем, n грамм натрия попадают в океан на каждую тонну изверженных пород, превращающихся в осадочные, в океане же мы находим N грамм натрия. Общее количество размытых вулканических пород за все геологические времена, выраженное в тоннах, равняется

таким образом $\frac{N}{n}$. Наше исследование дает нам также среднюю величину общей потери, сопровождающей переход от первичных пород к осадочным, так что мы можем узнать и общую массу осадочных пород в тоннах. Обращаясь теперь к важнейшим рекам всего мира и пользуясь оценками количества материалов осадочных пород, переносимого ими с суши в океан, мы можем вычислить число лет, необходимое, чтобы на дно океана легла огромная масса осадочных пород, образовавшаяся в течение прошлых времен. Делая известные допущения, мы приходим таким образом к числу 100 миллионов лет.

2) Исходя из общего количества натрия в океане можно вычислить возраст земли и другим, более прямым способом. Мы знаем, что большая часть этого натрия была принесена в океан в течение геологических времен реками. Обращаясь к анализам речной воды, мы можем оценить общую годовичную подачу этого элемента в океан. Деля первое

число на последнее, и делая некоторые допущения, мы приходим опять-таки к числу 100 миллионов лет.

3) Третий, более трудный метод не зависит от наших сведений относительно химизма денудации. Мы оцениваем максимальную толщину всех осадочных отложений и, зная вес твердого вещества, которое ежегодно переносится реками, определяем толщину ежегодно образующегося слоя осадочных пород; деля первое число на последнее, мы снова приходим к числу 100 миллионов лет.

Из этих методов самым непосредственным является тот, который оперирует только с числами относящимися к натрию. Причина, почему в качестве критерия был выбран именно этот элемент, заключается, конечно, в большой растворимости его соединений, благодаря которой он, в отличие от всех остальных растворенных составных частей океана, был огражден от химического осаждения и поглощения живыми существами. Метод этот был разобран многими критиками, в особенности Солассом (Sollas), который подверг его подробному рассмотрению в президентском обращении к Геологическому Обществу в 1909 году. Он находит, что при некоторых допущениях можно прийти к периоду в 175 миллионов лет и что это и есть с большим приближением возможный максимум. Все собственное обсуждение этого метода убедило меня, что возможно прийти с его помощью к числу 150 миллионов лет, но что число 200 миллионов лет несовместимо с нашими современными сведениями о факторах, принимающих участие в этих процессах. Все это относится, как я уже говорил, только к продолжительности осадочных процессов и не может быть сравнено с датами, которые уходят в глубь архейских времен.

Однако и в архейские времена были некоторые незначительные отложения осадочных пород. Мы не можем учесть их влияния ни на величину нашего числителя, ни на величину нашего знаменателя, мы можем только, повидимому, считать, что оно незначительно. «Архейская эпоха была временем мирового вулканизма и в смысле отношения количеств изверженных и осадочных пород представляет отклонение от однообразия условий более поздних геологических времен», так говорят об этом в своей монографии ван Гиз и Лейт (Van Hise и Leith).

Раньше, чем перейти к результатам, основанным на радиоактивных методах, я должен коснуться подробнее одного возражения против принятия теперешней скорости денудации в качестве основания для измерения времени. А именно, было высказано утверждение, что мы живем в период ненормального возвышения материков, которое ведет за собой чрезмерное увеличение размывающего действия воды. При некотором внимании к природе и условиям этого размывающего действия было бы легко опровергнуть это возражение, но достаточно обратиться к следующим данным. Средняя высота материка Северной Америки равна 700 метрам; размывается он со скоростью 79 тонн на

квадратную милю в год; для Южной Америки соответствующие числа суть 650 метр. и 50 тонн. Европа же имеет гораздо меньшую среднюю высоту—всего 300 метров. Соответственная скорость размывания, однако, равна 100 тонн на квадрат. милю в год. Таким образом опыт показывает, что скорость разрушающего действия воды тем меньше, чем выше расположена суша, как того и требует теория, так что если бы рассматриваемое возражение имело какие-либо основания, то мы должны были бы заключить, что вышеприведенные числа слишком высоки.

Насколько я знаю до появления методов определения возраста земли, основанных на радиоактивных превращениях элементов, не было выдвинуто никаких серьезных возражений против результатов, полученных по геологическому методу. Некоторые исследователи считали даже найденные числа слишком высокими. Так, например, Беккер (Becker) пришел к более низким числам, принимая во внимание возрастающее истощение составных частей поверхности в течение геологических времен. Правильность этой поправки остается, однако, под сомнением. Другие считали, что органические изменения, запечатленные породами, требовали более долгого периода времени. Мне кажется, что Соллас дал ясный ответ на эти возражения в своем «Возрасте Земли». Во всяком случае, и Ляйель (Lyell), и Гейки (Geikie) и Пултон (Poulton) защищали в течение прошлых лет учение об единообразии геологических условий. Однако с появлением нового радиоактивного метода, основанного на изучении семейства урана, пришлось, казалось, принять гораздо более высокое значение возраста земли и сделать неожиданный вывод, что интенсивность разрушающего действия воды в настоящее время, не менее, чем в четыре, а может быть в восемь (или даже еще больше) раз превышает среднюю интенсивность в прошлые времена.

Первые соображения о возможности использования накопленных продуктов радиоактивных превращений были высказаны Резерфордом (Rutherford). Он и позже Стрэтт (Strutt—ныне лорд Рэлей) произвели оценку геологического времени, исходя из количества образовавшегося гелия. Стрэтт дал геологическую хронологию, первую в своем роде, считая, однако, что он оперирует только с низшими пределами. Больтвуд (Boltwood) использовал конечный продукт превращения урана—свинец и для архейских (?) материалов пришел к столь высокому числу, как 1640 миллионов лет. Как я уже говорил выше, геологический метод не может быть применен к этим отдаленным временам. Во всяком случае, однако, такие результаты, как 430×10^6 лет для силурийских или ордовичских отложений и 1200×10^6 лет для после-ятулийских, находятся вне всякого соответствия с данными геологического метода. Во всяком случае, ныне установлено следующее: ряд чисел, полученных с тщательно отобранным материалом, показывает, что отношение содержание свинца к содержанию урана

увеличивается при переходе к более глубоким и уменьшается при переходе к менее глубоким слоям, сохраняя достаточную степень согласия даже для далеко удаленных местностей.

Удовлетвориться таким результатом можно, однако, только игнорируя следующий чрезвычайно интересный и наводящий на размышления факт: если в основу вычислений положить содержание свинца в тщательно отобранных ториевых минералах, то получаются числа, которые находятся в достаточном согласии с результатами, полученными по геологическому методу. Такое согласие между результатами методов, совершенно различных по своей природе, является серьезным подтверждением их правильности.

Уже давно было известно, что ториевые минералы, как, напр., торит, приводят постоянно к более низким значениям возраста, чем урановые; по примеру некоторых исследователей вошло, однако, в обычай считать эти значения недостоверными. Ныне мы знаем, что такая точка зрения ничем не оправдывается; напротив, на тех, кто отвергает показания ториио-свинца и статистики денудации, лежит обязанность объяснить причины их замечательного согласия.

Определение атомного веса ториевого изотопа свинца, произведенное Содди (Soddy) в 1917 году, дало материал для оценки возраста пород в очень широком масштабе; ценность его была особенно высока по самому характеру такого исследования. Содди работал с цейлонским торитом из пород, непосредственно покрывающих харнокитовые серии. Последние же нужно считать чрезвычайно древними левисскими или ниже-архейскими. Читая в «Nature» отчет проф. Содди об его определении атомного веса свинца, полученного из этих пород, я пришел к выводу, что, судя по количеству свинца, извлеченного из торита, с момента возникновения этого минерала протекло 130 миллионов лет; сообщив этот вывод профессору Содди, я убедился, что он пришел приблизительно к такому же результату.

В это время, однако, можно было еще предполагать, что ториио-свинец не вполне устойчив. Считалось особенно возможным, что конечным продуктом его является таллий. Однако сомнения эти были разрешены следующими опытными данными: Коттеру, работавшему с ториянитом в моей лаборатории, не удалось открыть даже спектроскопических следов этого элемента, в торите же, с которым работал проф. Содди, таллия оказалось недостаточное количество. Позже в письме в «Nature» проф. Содди указал, что исследование, произведенное в радиологическом институте в Вене, подтвердило устойчивость обоих изотопов свинца, получающихся из тория. Я сейчас дам еще добавочные доказательства того, что превращения семейства тория оканчиваются свинцом.

Гольмс (Holmes) в письме в «Nature», посвященном защите гипотезы неустойчивости ториио-свинца, приводит данные для отобранного образца уранинита, согласно которым возраст пород, содержавших

торит Содди, судя по отношению уран-свинец, равняется 512 милл. лет. Предыдущие определения отношения уран-свинец дали гораздо более высокие числа, однако и в этом случае результаты противоречивы: урановое число в четыре раза больше ториевого. По урановой шкале времени торит должен быть старше силурийских пород, для которых урано-свинец указывает возраст в 430 миллионов лет; вероятно, он относится к кембрийскому или даже к до-кембрийскому времени. На основании соображений, изложенных выше, мы должны считать число 130 миллионов лет для ранне-палеозойских времен совместимым с максимумом, который указывается геологическим методом. Более позднее определение количества свинца в одном норвежском торите из Лангезундфюрда, относящегося также к началу палеозойской эры, приводит, повидимому, к числу 150 миллионов лет. И в этом случае уверенность увеличивается наличием определения атомного веса. Мы не имеем права дискредитировать эти результаты, допуская неустойчивость свинца. Почему, действительно, отказаться от них в пользу чисел, полученных с урано-свинцом, которые находятся в безнадежном противоречии со всеми данными о процессах, происходящих на поверхности земного шара? Я полагаю, что не будет слишком большой смелостью считать все положение в настоящее время изменившимся и взять под сомнение значение частного уран-свинец. И действительно, как мы увидим, есть много темных мест в вопросе о начальных превращениях в ряду урана; открытие же изотопов указывает нам на возможности, о которых и не думали в первые дни изучения радиоактивности.

Я перейду теперь к тем выводам, к которым приводит нас изучение плеохроических двориков.

Дворики позволяют нам исследовать некоторые факты, касающиеся распада радиоактивных элементов в отдаленном прошлом. Размеры двориков, как бы малы они не были, могут быть определены со значительной точностью, размеры же эти обусловлены комбинированным действием нескольких групп α -лучей, испускаемых превращающимися элементами. Брэгг и Климан (Bragg и Kleeman) наблюдали и измерили совершенно аналогичные суммарные ионизационные эффекты в воздухе. Масштаб кривых ионизации в минерале, благодаря его высокой задерживающей способности, в 2000 раз меньше, чем в воздухе. Тем не менее, они являются гигроглифами, на которые можно положиться, и они делают доступной нашему познанию почти бесконечно удаленную эпоху.

Определенный α -луч дает хорошо известную кривую ионизации, измеренную Гейгером (Geiger). Величина пробега α -луча не влияет на общий характер кривой. Если мы вообразим, что уран или торий в качестве элементов-родоначальников заключены в микроскопическом кристаллике, скажем циркона, то каждому из α -лучей, действующих на окружающее вещество — пусть это будет слюда — отве-

чает концентрический сферический слой, соответствующий радиальному расстоянию, на котором ионизирующее действие различных α -лучей имеет максимальное значение. Слои эти более или менее покрывают друг друга. В результате, на пластинках слюды, расколотых по плоскостям спайности, мы видим окрашенные концентрические кольца, отображающие ионизирующее действие лучей.

Чтобы установить теоретическое распределение этих колец, мы должны сложить все ионизационные эффекты, наблюдающиеся в воздухе, иначе говоря каждому лучу нужно приписать кривую Гейгера, принимая во внимание величину его пробега и просуммировать все ординаты.

Рассмотрим сначала случай ториевого дворика. На рисунке 1-м изображена кривая, полученная только что описанным способом. Ординаты ее пропорциональны суммарной ионизации, производимой элементами ряда тория, испускающими α -лучи. В верхней части рисунка я отметил, пересчитав их на воздух, положения окрашенных колец, которые окружают в биотите небольшую частицу минерала, содержащего торий и все последующие продукты его превращений. При этом, конечно, мы производим очень сильное увеличение размеров дворика — в 2000 слишком раз. Как вы видите, дворик очень хорошо подходит к очертаниям воздушной кривой. Быть может, будет небезынтересным упомянуть, что открытие третьего кольца привело

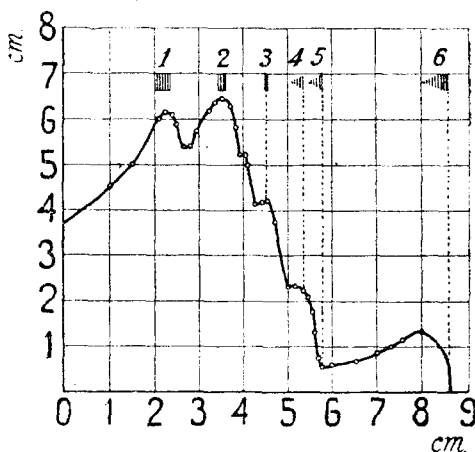


Рис. 1.

к обнаружению выступа на кривой, который ему соответствует (эта часть кривой была первоначально начерчена по недостаточному числу ординат). Наблюдающееся близкое согласие чрезвычайно любопытно. Характер воздушной кривой зависит от той величины пробега α -лучей, которую мы измеряем в настоящее время в нашей лаборатории. Измерения же двориков относятся к радиоактивным эффектам, начавшим оставлять свой след в слюде в каменноугольные времена — быть может, еще значительно раньше. Дворики не обнаруживают никаких признаков изменений в величине соответствующих пробегов. Как известно, скорость распада (или постоянная превращения радиоактивных элементов) тесно связана с пробегом. Таким образом в случае ряда тория, в этих древних микроскопических записях мы можем найти гарантии того, что накопление конечного продукта — ториевого изотопа свинца — происходило в отдаленные времена с той именно скоростью, которую мы вывели из результатов блестящих исследований нашего времени. Этой уверенностью мы обя-

заны ториевым дворикам. Они же показывают нам маловероятность неустойчивости образующегося свинца, так как если бы последняя имела место, то мы должны были бы констатировать присутствие еще одного вида лучей, сверх тех, которыми мы воспользовались при выводе кривой ионизации. Правда соответствующие лучи могли бы быть, благодаря совпадению величины пробегов, скрыты в одном из колец дворика, но структура дворика так точно подходит к каждому изгибу кривой, что такой случай представляется чрезвычайно маловероятным. Можно также наблюдать последовательные стадии разви-

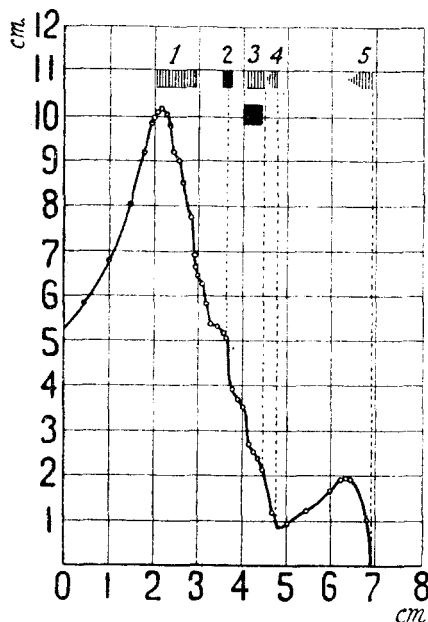


Рис. 2.

тия ториевых двориков. Первыми появляются кольца, соответствующие двум самым заметным гребням кривой на рис. 1. Если центральное ядро слишком мало или слабо, ничего больше не выступает.

Перейдем теперь к урановой кривой. Расположив все восемь отдельных кривых ионизации согласно величине пробега каждого луча и сложив ординаты, мы получаем кривую, изображенную на рис. 2. Выше же расположены кольца, наблюдающиеся в урановых двориках.

Рассматривая эти кольца, мы замечаем, что наружные очертания двориков находятся, повидимому, в хорошем согласии с современными величинами пробегов. Внутреннее же кольцо имеет больший радиус, чем можно было

ожидать по кривой. Это наблюдение было подвергнуто весьма тщательной проверке. В девонской слюде из графства Карлоу можно найти эти дворики во всех стадиях развития, смотря по величине и активности ядер. Урановый дворик появляется сначала в виде темного одиночного кольца, окружающего микроскопическое центральное ядро. Он может быть измерен, начиная с той стадии своего развития, которая граничит с невидимостью, до той, в которой его центральная часть уже затемняется и появляются первые туманные признаки самого внешнего кольца, образующегося исключительно под действием лучей радия C. Ряд измерений, произведенных за последнее время различными исследователями над этими эмбриональными двориками, подтвердил величину среднего значения радиуса первого кольца, приведенную в работе, сообщенной в 1916 году Королевскому Обществу. Расхождение с теоретической кривой невелико; оно составляет от 10 до 12% величины внешнего радиуса. Некоторая неточность неизбежна вследствие трудности как измерения величины ядра, так и

введения соответствующей поправки. Расхождение между теоретической кривой и размерами дворика имеет, повидимому, большое значение. Я уже указывал на то, что величина пробега α -лучей, испускаемых превращающимся элементом, связана со скоростью его распада. Величина пробега тем больше, чем меньше средняя продолжительность жизни элемента. И вот мы видим, что первое кольцо уранового дворика в слюде указывает на величину пробега большую, чем мы могли бы ожидать по современным наблюдениям воздушной кривой. Согласие, которое имеется в других случаях, показывает, что тут нет какого-либо неизвестного эффекта, который бы влиял на задержку α -лучей слюдой. Положение первого уранового кольца определяется по преимуществу α -лучами небольшого пробега, которые испускаются при начальных превращениях ряда урана. Мы можем заключить отсюда, что, по крайней мере, одна группа этих лучей должна была иметь в прежнее время большую величину пробега и что, следовательно, соответствующий период распада должен был быть короче. Особенно большое значение при образовании дворика имеют самые медленные α -лучи, которые испускаются при распаде урана I. Возможно, что наблюдающееся расхождение именно от того и происходит, что эти лучи обладали большей величиной пробега в ранние геологические времена. Во всяком случае, существование такого расхождения, очевидно, наводит нас на мысль, что скорость превращения урана в свинец была когда-то значительно выше, чем в наши дни.

Я могу коснуться теперь некоторых измерений, произведенных в последнее время над двориками, относящимися к сравнительно недавним и к очень отдаленным геологическим временам. При этом я должен сделать оговорку, что результаты эти вследствие трудности измерений и по самой природе своей требуют очень тщательного подтверждения. Исходная проблема может быть сформулирована в нескольких словах следующим образом: имеется ли зависимость между величиной отклонения размеров урановых двориков от теории и древностью пород, в которых образовался дворик?

Я старался найти урановые дворики в породах, которые были бы моложе Лейнстерского гранита, относящегося к началу девонского периода. Однако в Мурнском граните, который относится к эоцену или к началу третичной эры, долгое время не удавалось отыскать двориков, пригодных для измерений. Лишь недавно мне посчастливилось найти несколько таких ранних кольцеобразных двориков, которые я мог измерить. Дальнейшие поиски открыли еще некоторое количество их: но в общем они встречаются очень редко и отыскать их не легко. Ядра этих двориков состоят обыкновенно не из циркона, а, повидимому, из апатита или алланита; средние размеры их больше, чем в случае цирконовых ядер в слюде из Карлоу. Принимая во внимание состав и размеры ядер в Мурнском граните, нужно было бы внести в этом случае в наблюдаемый радиус дворика большую отрицательную поправку,

чем в случае двори́ков в слю́де из Карлоу. В действительности же, между наружными радиусами эоценовых и девонских двори́ков наблюдается, повидимому, небольшое расхождение в обратном направлении. Согласно большому числу отсчетов, произведенных несколькими исследователями, часть которых не была знакома с сутью дела, наружный радиус кольца в эоценовых двори́ках равен 0,0135 мм. (без поправки на радиус ядра). Те же лица в случае девонских двори́ков, также без поправки на ядро, нашли 0,0146 мм. Поправка на ядро, произвести которую затруднительно, как я уже говорил, еще увеличила бы расхождение. Нет оснований предполагать, что более 1% этого расхождения может быть отнесено на счет химического состава или плотности слюды, которые были исследованы в обоих случаях.

Совсем недавно я нашел эти первичные кольцеобразные двори́ки в слюдах из Арендаля и Иттерби, которые относятся, вероятно, к архейской эре и во всяком случае очень древнего происхождения. Радиус этих двори́ков равен, или немножко меньше 0,0160 мм. И в этом случае состав слюды, повидимому, не играет роли. Таким образом, согласно этим измерениям оказывается, что радиус кольца в эоценовом двори́ке должен быть увеличен приблизительно на 7%, чтобы сравняться с размерами девонского двори́ка, в то время как радиальные размеры последнего приблизительно на 10% меньше размеров архейского двори́ка. Можно установить целую геологическую хронологию по размерам этих колец.

В случае подтверждения вышеприведенных результатов, они явились бы веским доказательством того, что какой-то фактор, изменявшийся в течение геологических времен, имел влияние на величины пробега и периоды некоторых элементов, участвовавших в построении урановых двори́ков. Нельзя, однако, приписывать этим измерениям слишком большого веса, прежде чем они не будут подтверждены данными, относящимися еще и к другим слюдам. В ожидании дальнейших исследований, я возвращаюсь к тому факту, что урановые двори́ки девонского периода не соответствуют ионизационной кривой ряда урана, построенной по современным исследованиям. Между ними имеется значительное расхождение в области лучей с коротким пробегом, в особенности же в области тех первичных лучей, которые имеют особое значение для определения скорости накопления урано-свинца.

Повидимому, у нас нет оснований отрицать возможность уменьшения скорости распада урана в течение геологического времени. Лабораторные опыты, подобные тем, которые можно произвести в случае элементов с небольшой продолжительностью жизни, вряд ли могут помочь нам разобраться в этом вопросе. Во всяком случае, если приведенное объяснение правильно, мы должны предположить, что в случае тория соответствующие эффекты должны были быть гораздо слабее выражены. Наиболее вероятным представляется в общем допустить влияние одного или нескольких изотопов урана, которые в на-

стоящее время, быть может, почти исчезли. Некоторые выдающиеся исследователи уже пытались привлечь гипотетические изотопы урана, чтобы разрешить трудности, связанные с данными об ионизации в ряду урана. Болтвуд считает возможным, что то, что мы называем ураном, состоит из трех радиоактивных элементов, испускающих α -лучи: одного элемента родоначальника и двух его изотопных продуктов превращения (Phil. Mag., июль 1920 г.). В 1917 г. Риккард высказал предположение, что родоначальником актиния является третий изотоп урана, не принадлежащий к ряду урана, с атомным весом равным 240. Предположение Риккарда было встречено благоприятно Содди и Кранстоном. Оно устраняет затруднения, связанные с атомным весом урана и хорошо согласуется с атомным весом радия и ураносвинца.

Для объяснения аномалий девонских дворигов можно привлечь гипотезу, до некоторой степени подобную гипотезе Риккарда. Точкой отправления должны служить следующие факты: возраст, указываемый ураном для ранне-палеозойских пород, приблизительно в четыре раза с лишком, велик по сравнению с возрастом, указываемым торием. Мы принимаем поэтому, что три четверти свинца, находимого в урановых минералах, образовались из некоторого изотопа. Так как первичное α -излучение этого изотопа не могло быть обнаружено в настоящее время, то нужно предположить, что он почти целиком распался. Мы знаем, таким образом, что известная масса этого изотопа превратилась в свинец в известный интервал времени — 130×10^6 лет. Предполагая, что в настоящее время остался только 1% этого изотопа, мы получаем его постоянную превращения ($3,5 \times 10^{-8}$) и с помощью соотношения Гейгера и Нетталля находим соответствующую величину пробега (2,6 см. при 0° или 2,75 см. при 15°). В настоящее время α -излучение этого гипотетического тела должно составлять только одну тысячную α -излучения урана I, но за все время, начиная с девонского периода, на одну α -частицу, излученную более долговечным изотопом, приходится приблизительно три, излученные менее долговечным. Суммарная кривая ионизации, видоизмененная по этой гипотезе, была бы в согласии с результатами наблюдений над девонскими дворигами. Мы должны предположить также, что величины пробегов лучей, испускаемых последующими продуктами распада воображаемого изотопа, были таковы, что наружные части дворигов остались в своих существенных чертах неизменными. В таком предположении нет ничего невероятного.

Следующие факты выступают особенно ярко при изучении радиоактивных дворигов: во-первых, согласие, существующее между нашими современными измерениями и очертаниями палеозойских ториевых дворигов показывает, что периоды элементов, принимавших участие в их образовании, не изменились в течение 130 миллионов лет. На основании этого, принимая также во внимание устойчивость тория-свинца,

мы должны считать построенные на тории-свинце подсчеты геологического времени в высокой степени достоверными. Подсчеты эти подтверждаются согласными показаниями, которыми мы обязаны протекавшим на поверхности земли процессам денудации. Во-вторых, очертания урановых дворигов противоречат периоду, который мы приписываем в настоящее время урану; расхождение это еще более подчеркивается невозможностью примирить урановое время с согласными показаниями ториевого времени и времени, вычисленного по денудации.

Бесъ вопрос нельзя еще считать окончательно исчерпанным, но в общем я думаю, что 150 или 200 миллионов лет представляется наиболее вероятным значением возраста земли, считая со времени водворения современных геологических условий на земном шаре.

Астрономические изыскания по вопросу о возрасте земли оперируют по преимуществу с тем гораздо более высоким возрастом, который должен быть приписан земле как планете. Для этого возраста указывались чрезвычайно высокие значения. Последние можно, однако, согласовать со сравнительно небольшими значениями геологического времени. Для этого, насколько я могу судить, нам достаточно воспользоваться только необходимыми выводами из наших сведений о радиоактивности земных материалов. Я бы хотел пойти дальше, оставаясь, как мне кажется, вполне последовательным, и приписать радиоактивной энергии гораздо большее влияние на планетную и звездную эволюцию, чем это делалось до сих пор.

Единственная планета, которую мы можем детально исследовать — это, конечно, наша земля. И что же мы находим? В материалах, из которых построена ее поверхность, содержится достаточно радиоактивных элементов, чтобы объяснить, как показал впервые лорд Рэлей, средний наблюдающийся градиент температуры, предполагая, что поверхностные условия сохраняются до некоторой глубины, равной приблизительно 19 километрам. По многим причинам, однако, чрезвычайно невероятно, чтобы существовал такой точно определенный радиоактивный слой. Также невероятно, чтобы внутренние части земли не содержали бы радиоактивных веществ. Мы находим и торий и уран в метеоритах с высоким процентом железа и никкеля; правда, эти элементы до сих пор не были обнаружены в метеоритном железе, но мы знаем из средней плотности земли, что ее центральная часть не может состоять из чистого железа. Вероятно, к нему примешано значительное количество (около 40%) кремнистых материалов, а каждый раз, когда последние обнаруживаются в метеоритах, мы находим в них также и радиоактивные элементы. Какие можно, наконец, вообразить себе силы, которые бы могли отделить весь уран и торий и перенести их на поверхность?

Тот взгляд, согласно которому радиоактивные элементы содержатся в середине земли, часто наталкивается на формальное отрица-

ние возможности повышения внутренней температуры земли. На каких данных основано такое отрицание? Если бы температура центрального ядра земли, с радиусом, скажем, в 2000 килом., повысилась на 1000°C в течение геологического периода (а для этого, принимая низкие значения для внутренней радиоактивности, потребовалось бы 150 миллионов лет), то могли ли бы мы это обнаружить? Увеличилась ли бы заметно продолжительность дня? Был ли бы вообще какой-нибудь эффект, если бы внешние части в то же время охлаждались вследствие потери первоначального тепла? Мы должны далее принять во внимание, что пригодные наблюдения имеются только для короткого периода исторического времени. В общем, насколько я могу судить, отрицание это совершенно ни на чем не основано.

Примем теперь, что внутренняя температура земли действительно повышается. Не ожидает ли в этом случае нашу геологическую эпоху угрожающий конец? Кельвин показал, насколько совершенна тепловая изоляция середины земли, и несомненно, что внутреннее тепло в настоящее время не теряется. Повышение температуры внутри должно продолжаться, пока современная эпоха не падет жертвой накопившейся энергии. За нею должен последовать период вулканизма, который уничтожит жизнь на земле и обратит химические изменения, накопившиеся в течение долгих лет процессов денудации и органической деятельности. Вся последовательность событий — быстрое охлаждение вследствие излучения, возвращение океанов и, возможно, возрождение жизни с ее историей эволюции — повторилась бы снова. С этой точки зрения возраст земли, определением которого мы занимались, является, быть может, только одним из многих и должен неизбежно иметь свой верхний предел. Но затем должно прийти возрождение, и возможно, что настанет день, когда эпоха этого возрождения будет занимать мысли иных умов, отличных от наших. Не надо забывать, что после каких-нибудь десяти миллиардов лет еще будут существовать 50% порождающих тепло элементов, и что уменьшение их количества вызовет только увеличение продолжительности повторяющихся геологических эпох. Возможно, что другие планеты нашей системы находятся в различных стадиях таких циклических изменений.

Перевел А. Н. Фрумкин.