

## Часть II

# ИСТОРИЯ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

## Глава 6. Планеты в начале пути. На эволюционном распутье

### 6.1. Планетологическая эволюция как особый уровень эволюции

Прежде чем переходить к истории планет и отдельных процессов на них в целом и по отдельности, имеет смысл высказать несколько общих соображений об особенностях и закономерностях эволюции планет и других небесных тел Солнечной системы. Прежде всего, *планетную или – шире – планетно-спутниковую эволюцию можно считать особой ступенью эволюции* (см. также: Рис. 2 в Заключении). Выше мы видели, что крупные спутники во многих отношениях оказались гораздо ближе к планетам земной группы, чем планеты-гиганты. Поэтому говорить о планетно-спутниковой эволюции вполне резонно. Ее можно рассматривать либо как отдельную часть звездно-космической эволюции, что часто делается, либо как новый уровень эволюции. Мы полагаем, что *это новый уровень эволюции*, поскольку здесь по сравнению со звездной эволюцией налицо гораздо большее разнообразие новых сфер-оболочек, новых веществ (минералов), молекулярных структур, а также решительное ускорение химической эволюции (см. *Главу 10*). В дальнейшем такую эволюцию мы будем называть *планетологической*.

Когда возникли первые планеты, сказать не может никто. Но судя по последним открытиям экзопланет, по тому, что появление планет является частью процесса генезиса звезд, это произошло достаточно давно, задолго до рождения Солнечной системы. Хотя напомним, что в период, когда начали появляться первые звезды (примерно 150–200 млн лет после БВ), они были гигантского размера. Из-за отсутствия углерода, кислорода и других элементов,

поглощающих в настоящее время энергию от сгущающихся облаков, процессы структурирования в эту эпоху шли медленнее, соответственно, могли сжиматься только гигантские облака, из которых получались огромные звезды, в сотни раз превосходившие массу Солнца (см., например: Мэй и др. 2007: 54; подробнее см.: Гринин 2013: 106–107). Первые звезды содержали мало атомов тяжелых элементов, и чтобы их количество стало более или менее достаточным, должно было смениться не одно поколение звезд. Поэтому у первых поколений звезд либо не было планет, либо, что более вероятно, они были газовыми, подобными Юпитеру, но только практически не содержащими тяжелых элементов. Говорить же о планетологической эволюции как о новой ступени можно, по нашему мнению, только с появлением каменных (силикатных) планет. А такие могли возникнуть в каком-то значимом количестве лишь при достаточном накоплении тяжелых элементов. Это означает, что *планетологическая эволюция стала выделяться, только когда звездно-галактическая прошла значительный путь развития, когда космохимическая эволюция стала вполне заметной.*

А уже позже планетологическая эволюция происходила параллельно со звездно-галактической, как ее маргинальная часть. Подобным образом имел место параллелизм в развитии химической и других фаз эволюции (см. Рис. 2 в *Заключении*). Уже в самых первых фазах мегаэволюции, предшествующих звездно-космической (инфляционной/предкосмической и предзвездной/облачной; см. Рис. 2) в качестве боковой выделилась предхимическая ветвь эволюции. В рамках следующей фазы – звездно-галактической – выделилась космохимическая эволюция. Она развивалась достаточно быстро, в частности, в виде шел процесс появления тяжелых элементов и их накопления во Вселенной. Однако, помимо химической эволюции, проходившей в звездах, наметилась и другая линия химической эволюции – в холодном космическом пространстве, в газопылевых облаках, где стали образовываться различные молекулы, включая органические (см. *Главу 10*). Связь планетной и химической эволюции усилилась. Поскольку на планетах иной температурный режим, чем в звездах, там также происходила химическая эволюция, только ее развитие продвинулось существенно дальше. Таким образом, мы видим слияние двух типов эволюции – планетологической и химической, то есть своего рода коэволюцию.

Более того, говоря о планетологической эволюции, мы фактически говорим о нескольких направлениях эволюции, находящихся на уровне и в условиях, обозначенных размерами и характеристиками планет и крупных спутников. Причем эти линии эволюции находятся не просто в очень тесной, а во многих отношениях и коэволюционной взаимосвязи. О коэволюции мы будем подробно говорить в *Главе 10*.

Необходимо сделать пояснение. Разумеется, эволюция планет и спутников должна рассматриваться в целом как качественное изменение этих небесных тел и систем. Ниже мы увидим, как и в каких направлениях у них менялись параметры, в том числе температурный режим, шли процессы дифференциации и формирования структуры. Но уровень сегодняшних знаний даже в отношении Земли таков, что мы знаем неизмеримо больше о геологической и географической эволюции верхней части литосферы и океанической коры, чем об эволюции мантии или ядра Земли. Поэтому в рамках наличных знаний далее мы значительно более подробно расскажем о планетологической эволюции в аспекте изменений различных внешних оболочек планет и спутников.

Такая эволюция включает в себя формирование литосфер, атмосфер, других сфер (ледяных, водных, ионных, магнитных и т. п.), как мы это наблюдаем на планетах и спутниках Солнечной системы. Подчеркнем, что, происходя в пограничной зоне, где соединяются различные субстанции и слои, такая эволюция не могла не быть комплексной, включающей в себя целый ряд изменений в разных направлениях. В этом плане химическая эволюция была неотъемлемой частью геохимической (точнее, планетохимической), а также минералогической эволюции. И здесь нельзя не подчеркнуть, что развитие минералов явилось одним из наглядных показателей того, что планетологическая эволюция стала новым уровнем эволюции.

Рассмотрим некоторые факты, свидетельствующие о том, что развитие царства минералов может происходить только в условиях планетологической эволюции. Согласно современным данным, на астероидах может быть несколько сотен различных видов минералов. Только в метеоритах – обломках астероидов найдено около 300 минеральных видов. На Луне таких видов обнаружено около сотни (но, вероятно, найдена только меньшая их часть). На Зем-

ле число видов минералов достигает 3500–4000 (Сурдин 2012: 97, 343)<sup>55</sup>.

Правда, по поводу числа минералов есть существенные разночтения. Специалисты утверждают, что общее число названий минералов, встречающихся в старой и новой геологической литературе, достигает 6000. Однако при критическом подходе к установлению минеральных видов и их разновидностей на основе рациональной классификации подавляющее большинство этих названий должно быть оставлено по ряду соображений. Прежде всего многие из них, как это доказано с помощью современных точных методов исследования, представляют собой механические смеси (правда, это не мешает учитывать их как комбинированные вещества/минеральные смеси, что также важно с точки зрения планетологической эволюции). Весьма значительное число названий оказалось синонимами одних и тех же минеральных веществ, отличающихся друг от друга либо по степени дисперсности кристаллической фазы, либо по некоторым внешним признакам (оттенку окраски, форме кристаллических индивидов и др.), либо по несущественным отличиям в химическом составе (особенно для названий разновидностей) и т. д. Если упразднить все эти синонимы и вычеркнуть из списка минеральные смеси, то число действительных минеральных видов в настоящее время выражается цифрой немного менее 1500. Кроме того, сохраняется около 200 названий для разновидностей. Правда, следует заметить, что в ряде случаев реально существующие разновидности минеральных видов не имеют специальных названий (Бетехтин 2007: 673–674). Но, так или иначе, число минералов на Земле в несколько раз превышает их число в космосе (по крайней мере, тех, что нам известны по исследованиям планет и метеоритов). Хотя вне Земли есть минералы, на планете отсутствующие (как реголит, о котором шла речь выше).

Таким образом, потенциально уже в процессе формирования планетных систем может возникать немалое количество минералов, число которых соответственно увеличивается под воздействием различных факторов с течением времени (температуры, вулка-

---

<sup>55</sup> Причем примерно 800 из них образуются при обязательном участии воды в гипергенных условиях (в зоне осадконакопления и в стратисфере), а около 500 – в пневматолитово-гидротермальных процессах (Сиротин 2009).

нической деятельности, химических реакций, сплавления, ударов, разогрева, влияния атмосферы и гидросферы и т. п.). Изучение экзопланет пока не дает сколько-нибудь системных знаний об их минеральном составе, но даже исследования в телах Солнечной системы не оставляют сомнений, что там можно столкнуться с разными линиями планетологической эволюции. История Земли демонстрирует, что для ее высокого развития и перехода на новый уровень требуется симбиоз с эволюцией жизни. И в этой связи можно условно говорить о более грубых (планетологических) и более тонких (связанных с развитием жизни) геологических процессах.

Таким образом, **мы можем говорить об особом уровне эволюции – планетологическом, который занимает промежуточное место между космической и биологической эволюцией.** Планетная эволюция долгое время выступала как дополнительная ветвь эволюции, которая затем в рамках Солнечной системы, и особенно развития Земли, становится ведущей<sup>56</sup>. Планеты возникают в процессе рождения звезд как побочный продукт, как результат консолидации остатков материи после формирования звезды. В Солнечной системе, как мы видели, это были ничтожные доли процента от всей массы материи. Это *нередкий случай в эволюции, когда периферийные процессы становятся на определенном периоде развития главными* (см. ниже). При этом, вследствие *правила зависимости скорости эволюции от сужения ее фронта*, то, что было незначительными остатками в рамках более широкого фронта развития, становится вполне достаточным для прорыва к новому уровню эволюции. Точно так же абиогенная химическая эволюция использовала ничтожные доли процента ресурсов молодой Земли (см. *Главу 11*), а древнейшие люди в период антропогенеза составляли и потребляли тысячные доли процента, создаваемого биосферой<sup>57</sup>.

Нельзя также не удивляться тому, сколь велики различия между планетами. Судьбы звезд, как мы уже писали (Гринин 2013),

<sup>56</sup> В настоящей работе на Рис. 2 мы представляем геологическую эволюцию Земли как более высокую фазу по сравнению с планетологической.

<sup>57</sup> Закон *зависимости скорости эволюции от сокращения ее фронта* означает, что при сужении области действия эволюции повышаются возможности появления новых ее уровней и скорость ее изменений. Ведь для эволюции не столь больших объектов требуется меньше энергии, соответственно, возможности эволюции повышаются.

весьма разнообразны. Но все же кажется, что в звездах эволюция в значительной степени уже запрограммирована и происходит «по накатанной». Фазовые переходы там связаны прежде всего с температурой и гравитацией. Судьбы же планет запрограммированы в гораздо меньшей степени, чем у звезд, а потому более индивидуальны (хотя и зависят от размеров планет, близости к звезде и других факторов). И в результате они более разнообразны, сама планетологическая эволюция более многолинейна. Сказанное лишнее раз доказывает, что *эволюционный процесс индивидуализации* усложняется и трансформируется вместе с развитием эволюции, что индивидуализация – это одна из важных черт сквозного эволюционного развития.

Таким образом, планетологическая эволюция, на наш взгляд, – более сложная, поскольку она включает в себя уже формирование рельефа, сочетание гидро-, лито- и атмосфер, льдов и прочего, не говоря уже об ионосфере, магнитосфере и т. п. Иными словами, планетологическая эволюция – более высокая фаза эволюции, которая существенно продвигается вперед по сравнению с эволюцией звезд (см. также *Заключение*). Это происходит потому, что за счет более низких температур при наличии большой массы и достаточной плотности возможности для эволюции возрастают, происходит соединение двух ее ветвей (молекулярной и звездной). На планетах создается более разнообразный химический и молекулярный состав веществ, причем в большом объеме. Все это создает избыточное разнообразие, необходимое для движения вперед.

Сказанное о том, что, будучи побочным результатом процесса возникновения звезд, планеты тем не менее являют собой возможность развития эволюции, вполне укладывается в *эволюционное правило центра, полупериферийного объекта и перехода к новым уровням*. Согласно этому правилу, процессы обычно происходят более активно в центре, чем на периферии. Поэтому достаточно часто новые уровни или формы эволюции возникают не в центре системы, где проходит основная на данный момент линия эволюции и зарождение нового затруднено силой общего процесса, не на дальней периферии, где отсутствует необходимая концентрация ресурсов. Новые уровни эволюции возникают на полупериферии и в местах достаточного разнообразия условий, соединения пограничных

условий. Переход к новым уровням также обычно не реализуется в самых крупных объектах.

Теперь вернемся к собственно планетологической эволюции и тому, как она происходила в Солнечной системе.

## 6.2. Сочетание порядка и беспорядка

После первых нескольких сотен миллионов лет формирования Солнечной системы, когда имели место бурные процессы образования планет, борьбы за ресурсы, мощных бомбардировок, столкновений и захватов, смены курсов и орбит планет, в ранней Солнечной системе наступает эпоха установления порядка. Такая смена хаотичных и бурных процессов процессами самоорганизации и более медленной эволюции очень распространена во Вселенной. Мы даже сформулировали *правило цикличности смены резких и медленных изменений*, которое звучит так: в эволюции органично сочетаются процессы медленного, почти незаметного и взрывного роста, периоды быстрых трансформаций, нередко связанных с разрушениями или даже коллапсами, и медленных накоплений изменений<sup>58</sup>. Однако под переходом к порядку мы имеем в виду **период относительного макропорядка** в самой Солнечной системе, то есть когда планеты сформировались, гибель протопланет прекратилась, их орбиты упорядочились, наиболее мощные бомбардировки планетезималей закончились (но речь идет о раннем периоде тяжелой бомбардировки, а эпоха поздней тяжелой бомбардировки затянулась на весьма длительный период). Едва планетам удалось сформироваться, как на них начались мощные процессы беспорядка, которые привели к тому, что в конце концов в каждой из них сформировались порядок и прочная структура.

Таким образом, мы должны говорить о *сочетании порядка и беспорядка на разных уровнях, когда порядок на одном уровне складывается из системы порядка-беспорядка на разных уровнях*. То есть сама система порядка часто органически включает в себя те или иные проявления беспорядка, внезапных явлений (случайных для тех мест или объектов, которые подпадают под последствия).

---

<sup>58</sup> К последним можно, например, отнести медленные изменения формы, скорости вращения и изменения расстояния между планетой и спутником, как это происходит с Землей и Луной. Отметим: в настоящее время стало понятно, что планеты значительно мигрируют в околозвездном газопылевом диске, в котором они образуются (Емельяненко 2012: 348).

Так, движение тектонических плит на Земле можно рассматривать как определенный порядок, но вызываемые им землетрясения есть локальный беспорядок. На планетах свой уровневый макропорядок может сочетаться с беспорядком на определенных участках (на поверхности или при вулканических явлениях и т. п.), то есть с локальным беспорядком<sup>59</sup>.

Переход к макропорядку в Солнечной системе был связан, как мы показывали (Гринин 2017), с исчерпанием запасов свободного вещества и возможностей их концентрации. Какие бы удачные условия ни сложились для некоторых планет (как предполагают, для Юпитера, который смог захватить наибольшую долю вещества; см.: Там же: гл. 7, 8), но и для них наступил предел. Поскольку многие процессы идут по экспоненциальной (или даже гиперболической) модели роста, они должны на какой-то стадии тормозиться, так как включается петля обратной отрицательной связи.

### 6.3. Общие процессы

Итак, каждое из крупных тел (планет) получает свою орбиту, свой «домен», некоторые – свою «свиту» спутников. Наступает относительно более спокойный период, хотя астероидные падения продолжают и, вероятно, имеют место какие-то захваты спутников и столкновения (особенно в поясе астероидов), но все же это сравнительно мелкие происшествия. Правда, как упоминалось, существует много гипотез о столкновениях, которыми объясняют все, что непонятно: изменение направления и скорости вращения, а также оси вращения планет, сильные изменения ландшафта. После того как гравитация создала систему порядка на высоком уровне, наступает пора выстраивания порядка на местах. Этот процесс можно сравнить с тем, как в феодализирующемся обществе местные (удельные) правители начинают укреплять государственный порядок.

Какие общие процессы мы наблюдаем? Гравитация, конвекция и температура – вот три архитектора порядка, которые создают универсальную форму и структуру планет. Вращение вокруг оси и Солнца добавляет важнейшие детали. Начинается формирование

---

<sup>59</sup> В самом деле, только в течение последних нескольких десятилетий мы стали обращать внимание на внутренний беспорядок, непрерывно формирующий ландшафты, которые нас окружают (Сиротин 2009: 44).



оболочек (твердых и кое-где – атмосферных) и внутренних структур (ядер, мантий), что позволяет оградиться от внешнего влияния и длительное время сохранять внутреннюю энергию. Везде, но с различной скоростью, идет процесс затухания (или ослабления) внутренней активности (вулканической и конвекционной) и т. п. Идет процесс подгонки (притирки) между планетами и спутниками. Нам еще только предстоит узнать некоторые детали этой эволюции, в том числе пытаясь объяснить некоторые факты. Например, во время нижних соединений с Землей (то есть когда Земля и Венера сближаются в наибольшей степени) Венера всегда повернута к Земле одной и той же стороной. Почему? По-видимому, это еще одно проявление феномена резонансов в Солнечной системе: в течение длительного времени происходила постепенная «подгонка» периодов различных колебаний тел, связанных между собой гравитационным взаимодействием (Язев 2018: 55–56).

Здесь можно говорить о *принципе изменения параметров систем под влиянием их функционирования и взаимодействия с окружающей средой*. Как бы точно ни была настроена система, в результате различных противоположных влияний параметры постепенно изменяются. В итоге возникает более подогнанная система. Очень интересно, что такая подгонка часто вызывает некие циклические процессы, колебания (то есть равновесие достигается в динамических колебаниях). Приливы и отливы – наиболее известный пример. Но подгонка осуществляется и во многих иных отношениях: вращение вокруг своей оси вызывает изменение формы, шар оказывается сплюснутым; смена дня и ночи устанавливает соотношение температур и иных вещей. Подгонка осуществляется между Солнцем и планетами. В итоге формируется окончательная орбита, иногда весьма своеобразная, но эта орбита влияет на циклы времен года, что, в свою очередь, вызывает многие другие явления, среди которых можно упомянуть удивительные феномены. Так, на некоторых карликовых планетах происходит замерзание и оттаивание атмосферы (как на Плутоне, см. *Главу 3*). Таким образом, сформированный в результате подгонки («притирки») порядок заключается во взаимодействии множества циклов и проявлении беспорядка в ряде отношений. Чем дальше планета уходит по пути эволюции, тем сложнее становится подгонка.

#### 6.4. Эволюционное распутье

Если рассматривать эволюцию каждой планеты Солнечной системы как возможность особых путей развития, то, образно говоря, перед нами восемь эволюционных «беговых дорожек» (и множество «эволюционных тропинок», если брать другие небесные тела). Любопытно посмотреть, что было общего в историческом пути этих членов солнечного семейства, а в чем возникли особенность и уникальность.

Перед нами важнейший *паттерн эволюции: многолинейность*, которая колоссально расширяет вариативность, возможность отыскать новый путь. Везде происходили общие эволюционные изменения: в частности, формировалась структура планет (ядро, мантия, кора, во многих случаях атмосферы), другие параметры, такие как магнитное поле. Но скоро становится очевидным, что большинство тел оказывается недостаточно готово к эволюции, они перестают поддерживать свои оболочки и в этом смысле становятся мертвыми.

Довольно скоро выясняются различные эволюционные возможности планет, связанные с полученным «наследством» и удачей. Уместно будет вспомнить *правило зависимости особенностей системы от количества и качества ресурсов при ее рождении*. Везде в процессе самоорганизации и эволюции количество определяет качество процесса. От того, больше или меньше вещества, энергии, населения и т. п., очень часто зависит, какая именно система образуется и какая ее ждет судьба. В качестве иллюстрации обратимся к вопросу о причинах появления на Земле большого количества минералов. Большое их разнообразие в значительной мере зависело и от достаточной близости к Солнцу, что стимулировало химические реакции (это преимущество по сравнению с более удаленными от Солнца объектами). Существенную роль сыграла и относительно большая масса Земли, что позволяло за счет внутреннего разогрева сделать силикатное вещество более пластичным. В связи с вышеизложенным можно также говорить о *правилах оптимальных условий и пропорций*, которые требуются для тех или иных процессов или изменений. Это означает, что недостаток и из-

быток ресурсов может существенно изменить направление развития и пропорции системы.

Размер и некоторые другие факторы влияли на возможность для планет сформировать и, главное, удержать атмосферу. В результате планеты начинают делиться на имеющие атмосферу и не имеющие ее. Казалось бы, эта оболочка не так много значит по сравнению с массой планеты. Однако на практике это мощный щит от метеоритного дождя. И, как мы видели, Меркурий и Луна без атмосферы оказались объектами, наиболее подверженными ударным явлениям. Зато на поверхности Земли и тем более Венеры этого не наблюдалось. Но у Венеры избыточно плотная атмосфера, которая препятствует дальнейшей эволюции. Недостаток ресурсов ограничивает жизненное пространство, необходимое для нормального существования объекта (организма) или функционирования системы. Избыток может вести к замедлению стимулов к развитию и диспропорциональности. Планеты также сильно отличаются по тому, сколько внешних оболочек они имеют. Помимо атмосферы это магнитосфера, ионосфера, литосфера, гидросфера, криосфера (ледяная и снеговая оболочка) и т. д.

Несмотря на то, что планеты и тела показывают очень разные успехи на эволюционном пути, в целом для эволюции это благоприятно: чем больше вариаций, разнообразия, тем больше шансов осуществить прорыв. Перейти на более высокий уровень можно лишь за счет аккумуляции усилий в разных линиях, а обеспечить удачу в отдельных местах – за счет множества эволюционных неудач.

В этот период можно говорить о целом ряде эволюционных правил. В частности, с этого момента особенно наглядно начинает действовать *правило подготовительной работы эволюции*. Эволюционный прорыв, совершенный в результате сочетания уникальных условий, никогда не является случайностью, но всегда подготавливается огромной и длительной «работой» эволюции по продвижению изменений в определенном направлении. Однако сочетание уникальных условий именно в данном месте и времени часто зависит от случайностей. Подготовительная работа ведется везде, но только в особых местах и случаях она приводит к новым эволюци-

онным результатам. Тем не менее с выходом на планетарные эволюционные пути возникают новые уровни в химической эволюции, геологической эволюции, новые паттерны климата и многое другое. Действительно, разве в рамках планетологии нельзя говорить о сравнительной климатологии? Ураганы, постоянные (на Юпитере) или сезонные (на Марсе), движения воздушных масс, грозы, пылевые бури, замерзание воды (и даже атмосфер) и таяние ледников, резкая смена жарких и холодных периодов и т. п. – все это, как мы видели выше, характерно для многих планет и их спутников. Несомненно, такое разнообразие создает возможности для новых явлений при создании определенных условий. Между тем о каком климате можно говорить в отношении звезд?

Стоит также упомянуть *правило сосуществования архаичных и эволюционно продвинутых объектов*. Сосуществование архаичных объектов с объектами, которые уже далеко продвинулись по пути эволюции, – характерная черта всех ее уровней. Иногда складываются прочные взаимосвязи или даже симбиозы архаических и эволюционно продвинутых объектов. В итоге каждую группу сложившихся систем, например, планет, высших видов, государств, окружают (и иногда находятся с ними в симбиозе) низкоорганизованные системы или вовсе неорганизованная материя, которая не смогла эволюционировать. Таким образом, на самом нижнем уровне эволюционных возможностей множество объектов оказываются неэволюционными и не имеют никакой перспективы. По этому поводу мы сформулировали *правило вариативной трансформации вещества*, согласно которому процесс трансформации вещества или энергии нигде и никогда не имеет 100%-ного КПД, всегда прослеживается несколько вариантов их распределения. Это и дает возможность для проявления многообразия и разнообразия комбинаций. Соответственно, при структурировании систем в процессе самоорганизации не вся материя может собираться в более упорядоченные системы, часть материала остается неоформленной, неорганизованной. Это мы и видим в различных подсистемах в рамках Солнечной системы и отдельных планет: пояса астероидов, системы колец вокруг всех крупных планет, а также и тех об-

ластей (таких как облако Оорта), структуру которых еще только предстоит узнать.

### 6.5. «Живая и мертвая вода» эволюции

Различные факторы служат источником энергии геологических процессов на планетах и соответственно воздействуют на планеты и их геологию. О некоторых из них мы уже вели речь выше. Эти факторы принято делить на внешние (экзогенные): солнечное излучение, метеориты, приливной разогрев; и внутренние (эндогенные): радиоактивный распад<sup>60</sup>, гравитационная дифференциация, когда формируются структуры планет под влиянием гравитации; сжатие планет<sup>61</sup> (см., например: Евсюков 1997). Также есть постоянные факторы, которые влияют на рельеф и геологию (их энергией в конечном счете служат вышеуказанные источники)<sup>62</sup>. Их тоже можно разделить на внешние (например, перепад температур и количество принимаемой солнечной энергии) и внутренние (вулканическая деятельность, влияние атмосферы и т. д.) Только совокупность внешних и внутренних факторов способна дать полноценную эволюцию планеты. Но здесь нужен оптимум. Соответственно, планеты, где внутренние факторы активны, рассматривают как геологически активные, а те, где внутренних факторов нет или они очень слабые, рассматривают как геологически неактивные (Там же). Но проявления этой активности и неактивности настолько бросаются в глаза, что хочется первые планеты и тела назвать живыми, а вторые – мертвыми. Соответственно, качественная эволюция на последних невозможна<sup>63</sup>. То есть планетарные си-

<sup>60</sup> Интересно, что в малых дозах ядерный распад оказался важным для эволюции, то есть просматривается отдаленное сходство со звездами.

<sup>61</sup> Для планет-гигантов основным источником их нагрева является гравитационное сжатие. Данный фактор все еще продолжает действовать на этих планетах, за исключением наименее массивного Урана (Жарков, Трубицын 1980). Для других планет этот фактор был существенен в период аккумуляции вещества (Евсюков 1997: 47).

<sup>62</sup> Все геологические структуры являются диссипативными, то есть возникают и поддерживаются за счет диссипации внутренней энергии Земли и одновременно изменяются за счет поглощения и рассеяния энергии Солнца (Савченко, Смагин 2013).

<sup>63</sup> Эти образы возникли не только у меня. В. Г. Сурдин (2011) пишет и по поводу астероидов: учитывая колоссальную разницу в размерах и массах астероидов, естественно, хочется разделить их на группы «мертвых» и «живых». Под «мертвыми» имеются в виду небольшие астероиды – камни, булыжники или льдистые глыбы, не обладающие существенными внутренними источниками тепла и достаточной гравитацией, чтобы их недра могли само-

стемы либо живут и саморегулируются, либо превращаются в мертвые миры. В самом деле, мы видели, что планеты и спутники, лишенные атмосферы, выглядят и «живут» совсем не так, как имеющие ее. И даже в очень разреженной атмосфере Марса существует масса интересных проявлений. То же касается и вулканической активности. Однако «мертвые» планеты не всегда были таковыми, они умерли, поэтому их можно назвать «умершими», но следы их жизни можно заметить по лавовым потокам и другим признакам.

---

стоятельно изменяться. Они испытывают удары соседей и нагрев солнечными лучами; их форма и состав поверхности изменяются, но все эти процессы – не более чем эволюция гальки под напором морской волны. Значительно более сложная эволюция, затрагивающая весь объем тела и меняющая его исходную структуру и состав до неузнаваемости, протекает только у достаточно крупных тел, и их в геологическом смысле можно считать «живыми». Астрономы называют их планетами (имеются в виду малые планеты, такие как Церера). Понятно, что астероид и большую планету в плане возможности развиваться сравнивать трудно. Тем не менее между планетами, включая крупные спутники, разница в эволюции колоссальная. И речь идет далеко не только о Земле. У Венеры, например, как мы видели, поверхность обновляется, а у Меркурия – нет.