

ОЧЕРКИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПЛАНЕТОЛОГИИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критически оценивая наше действительное знание даже такой изученной планеты, как Земля, мы приходим к парадоксальному выводу. Можно принять, что, помимо астрономических и геофизических характеристик, мы знаем строение и состав земной коры (около 0,01 массы планеты) и ее историю в течение $2 \cdot 10^9$ лет (около 0,5 ее истории), что является явным преувеличением. Таким образом, достоверное знание Земли определится ничтожной долей ($0,01 \cdot 0,5 = 0,005$), а основные 99,5% относятся только к более или менее вероятным гипотетическим представлениям.

Для сравнения напомним, что то или иное предположение о составе ядра Земли может изменить взгляд на состав ее в целом. Наиболее изученные оболочки Земли — атмосфера и гидросфера — расцениваются как продукт дегазации мантии, составляющий, по А.П.Виноградову, в среднем около 7,5% от каждого из летучих мантии. Другие исследователи называют иные числа. Особенно показательна неопределенность в оценке мантийного ^{40}Ar , который не диссипирует из атмосферы Земли и часто рассматривается как типично атмосферный элемент, представительный для истории дегазации планеты в целом. А.П.Виноградов оценивает количество дегазированного аргона всего в 0,1% его общего содержания, и достаточно лишь слегка изменить исходные условия, чтобы существенно поколебать эту величину, а значит, и изменить расшифровку истории атмосферы. Совершенно ясно, что при таких неопределенностях состава Земли и ее истории не может быть единственного их истолкования, полученного при изучении только Земли, и первостепенное значение приобретают результаты изучения внеземных тел.

Независимо от тех или иных взглядов на происхождение Солнечной системы, сейчас необходимо учитывать по крайней мере следующие положения, которые могут считаться достаточно надежно установленными.

Космическая распространенность элементов связана с устойчивостью их ядер и временем нуклеогенеза. Молекулярные группировки в значительной степени определяются термодинамическими условиями среды, их конкретной историей и распространенностью элементов в окружающем пространстве.

Межпланетное вещество, которое так или иначе сближают с протопланетным веществом, уже значительно дифференцировано, что хорошо видно при сравнении метеоритов разных групп (например, каменные и железные), астероидов и комет и т. д. Это отчетливо проявляется в различном содержании летучих соединений, которые концентрируются в дальних областях Солнечной системы и составляют основу состава Солнца.

Тела планетного типа в отличие от малых тел Солнечной системы характеризуются сферичностью формы. Характерно, что их размер отвечает массам, при свободном падении на которые возникают явления ударного метаморфизма и плавления падающего вещества и мишени. Все известные тела этого типа имеют дифференцированное оболочечное строение, напоминающее строение Земли, но выраженное в разной степени. По этим признакам они объединяются в группу планет независимо от типа орбит — планетарных или спутниковых (например, Луна).

Общий состав планет зависит, по крайней мере, от их массы и расстояния от Солнца. По этим признакам планеты делятся на три группы: планеты земного типа, планеты-гиганты и недостаточно изученная группа дальних планет. Спутники планет-гигантов только

начинают исследоваться, но некоторые из них, по-видимому, напоминают планеты земного типа.

Если предполагать общность исходного вещества Солнца и его системы, то главным по масштабу процессом, определяющим средний состав внутренних планет, следует признать процесс потери легких элементов, на фоне которого другие изменения вещества выглядят побочными. Наоборот, при дифференциации вещества в планетарную стадию процесс дегазации может считаться лишь побочным отходом формирования планет. Иным процессом дифференциации вещества в допланетную стадию было разделение его на металлическую и силикатную фазы, которое отразилось даже на общем составе планетных тел. Об этом можно судить, сравнивая крупное, считающееся железным, ядро Меркурия с проблематичным и уж наверняка незначительным по размеру ядром Луны.

Все данные с несомненностью показывают, что состав допланетного вещества был различен в разных частях протопланетного облака и менялся по мере развития системы, т. е. был неоднороден в пространстве и времени. Таким образом, первостепенное значение для среднего состава образующейся планеты и ее исходной неоднородности по глубине имеют детали механизма аккреции, время и последовательность в образовании планет.

Планетные тела земного типа имеют отчетливо выраженную дихотомию поверхности: на возвышенные «материковые» области накладываются более поздние структуры пониженных «морских» равнин. Эта асимметричность поверхности типична для Земли, Луны, Меркурия и Марса и весьма вероятна для Венеры. В изученных случаях она связана с развитием коры разного типа — древней полевошпатовой коры материков и базальтовыми излияниями, формирующими равнины. Вероятно, наличие двух типов коры является фундаментальным общепланетарным свойством внутренних планет.

Образование гетерофазного планетарного чехла Земли (коры, гидросферы и атмосферы) произошло очень рано. Редкие образцы с возрастом около 3,8 млрд. лет обнаруживают все признаки оболочек, характерные для их современного состояния, вплоть до наличия биосферы. Состав и температура атмосферы и гидросферы в течение последних 1,5 млрд. лет были близки к современным и могли испытывать колебания в пределах менее одного порядка вокруг некоего среднего уровня, не обнаруживая четких тенденций к одностороннему развитию. Породы древнее $1,7 \cdot 10^9$ лет, может быть, указывают на некоторое понижение содержания свободного кислорода в атмосфере, но это не является надежно установленным фактом. Никаких геохимических и геологических данных о существовании древней бескислородной метаново-аммиачной атмосферы нет.

Изучение образцов лунных пород показывает наличие материковой коры возрастом древнее $4 \cdot 10^9$ лет и морской коры базальтового типа возрастом до $3,8 \cdot 10^9$ лет. Детальное изучение свидетельствует об образовании обоих типов коры в условиях острого дефицита летучих веществ, т. е. о том, что процесс дегазации в основном уже прошел не менее 4 млрд. лет назад.

Морфологическое сходство древнейших регионов безатмосферных планет (и Марса) позволяет предположить общепланетарное значение сходства условий формирования древней коры с выделением двух ее типов. При этом очевидно более позднее образование коры базальтового типа, которая накладывается на древнюю (первичную?) материковую, вероятно, полевошпатовую кору с разрывом во времени в сотни миллионов – миллиард лет. Масса базальтовой коры на Луне составляет около 1% от массы всей коры и, вероятно, увеличивается на более развитых планетах. Следует подчеркнуть важность временных этапов становления коры разных

типов (рис. 112) для понимания условий возникновения коры Земли,

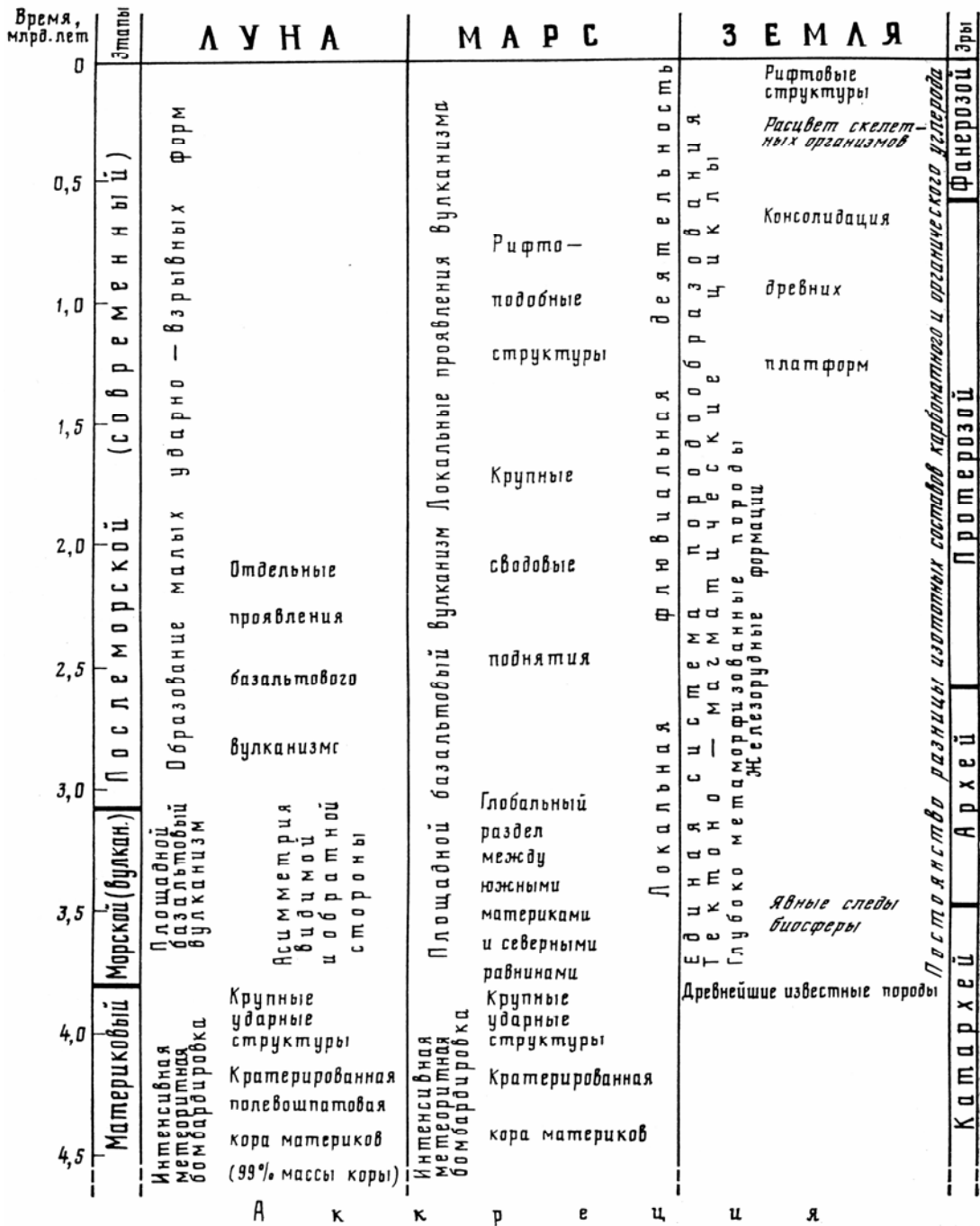


РИС. 112. История развития Луны, Марса и Земли

недоступных прямому наблюдению.

Изучение древнейших поверхностей планет не дает указаний на значительное изменение их в последующий период, которое должно

было бы возникнуть в связи с принципиальным изменением строения планеты в процессе формирования крупного металлического ядра в наблюдаемое время. Это дает существенный довод в пользу истинного существования ядер планет — в пользу гетерогенной аккреции вещества планет. Таким образом, есть основания полагать, что процесс основной дифференциации планет происходил в ранний период их развития, не позднее $4,0 \cdot 10^9$ лет назад, и связан по времени с последними этапами формирования самой планеты.

На примере Луны, Меркурия и Марса мы видим громадное значение метеоритных ударов о поверхность планеты, которые имели место 3,5–4,5 млрд. лет назад и не могли не сказываться на составе коры в целом. Кинетическая энергия удара со скоростью от 2,4 км/с (для Луны) и до скоростей порядка 70 км/с, возможных в Солнечной системе, очень велика. Мгновенно переходя в тепло при резком торможении метеоритного тела, она вызывает испарение и плавление вещества как снаряда, так и мишени. Продолжающийся рост планеты сопровождается этими процессами, которые должны приводить к резкой дифференциации веществ по их летучести. Тела малого размера (типа астероидов) вообще не способны удержать продукты взрыва на своей поверхности и поэтому не могут продолжать свой рост. Тела размера Луны и Меркурия теряют газообразные компоненты, и на их поверхности сохраняются лишь наименее летучие конденсаты тугоплавких соединений. Тела размера Земли и Венеры в процессе своего роста способны удержать летучие соединения и сформировать из них оболочки, окружающие планету, в то время как захоронению должны подвергаться существенно дегазированные остатки первичного вещества.

Последующее изменение химического строения поверхностного слоя планет идет на этом фоне под воздействием ряда известных эндогенных и экзогенных процессов. Первые, по-видимому,

развиваются в общем по одному типу под влиянием радиоактивных и гравитационных воздействий. Наиболее понятно возникновение базальтовой коры как накопление эвтектоидной выплавки в явлениях плавления и кристаллизации. Пример Луны показывает, что кора такого типа возникает относительно быстро в результате радиоактивного разогрева, через $(0,5-1) \cdot 10^9$ лет после формирования планеты, прорывая первичную материковую кору.

Древнейшая, материковая кора на Луне, Меркурии, Марсе (и, вероятно, на Венере) несет на себе прямые признаки участия в ударно-взрывном процессе и, возможно, связана с ударными событиями генетически. Происхождение ее может объясняться значительным расплавлением или испарением-конденсацией вещества при массовых ударах с местным (точечным) разогревом, что создает условия, близкие к зонному плавлению, но с переходом вещества через тепловой барьер сверху вниз. Такая кора на Луне имеет существенно полевошпатовый состав, представлена в различной степени литифицированными ударными брекчиями, что может быть характерно для всех планет.

Здесь мы сталкиваемся с принципиально новым процессом, типичным для ранней фазы планетообразования и теряющим свое значение в течение последующей геологической истории планеты. Мы вступаем в особую стадию ее формирования, которая находится на стыке протопланетного и планетарного этапов развития. Если последний может быть описан с использованием принципа актуализма в рамках привычных геологических процессов и тем самым подпасть под общее наименование геологического, то изучение этой стадии требует особого подхода, и поэтому она может быть названа догеологической.

Эта стадия характеризуется мощным притоком вещества и энергии из внепланетного пространства; в это время теряется граница между экзогенными и эндогенными процессами, происходит одновременное накопление ударно-метаморфизованных и

раздробленных космогенных осадков и их переплавленных дериватов. Происходит интенсивное расщепление протовещества на летучие и литофильные элементы. Происходит процесс одновременного возникновения ударной магмы и атмосферы с гидросферой и осадочными породами. В процессах этой стадии можно искать разрешение противоречия между представлениями Т.Барта о первичности осадочных пород и представлениями В.Руби об избыточных летучих. В это время закладывались основные структурные особенности планет и начало геохимических циклов на Земле.

Материковая кора Луны сохранилась с догеологической стадии ее развития в мало измененном виде и составляет сейчас около 99% всей коры. На планетах с более активной геологической жизнью процент ее, наверное, ниже. Весьма вероятно, что изучение особенностей этой стадии поможет развязать и некоторые, так называемые «проклятые», вопросы геологии Земли, которые не находят однозначного решения при изучении обычных геологических процессов. В качестве примера можно поставить вопрос о происхождении гранитной оболочки Земли, которое не удастся свести к простому циклу магматической дифференциации. Представляется обоснованным рассмотреть реальность взаимодействия ранней полевошпатовой коры лунного типа с летучими дериватами непосредственно вблизи растущей поверхности Земли и оценить возможность становления в эту стадию существенной доли ее коры.

Сравнительное изучение планет подчеркивает важное значение в их развитии поверхностных процессов, роль которых может оказаться особенно большой на самой ранней, догеологической стадии, когда закладываются основы их структуры, а экзогенные процессы смыкаются с космогенными. Характер экзогенных процессов специфичен для различных планетных тел и определяет последующее развитие внешнего облика планеты.

Земля резко выделяется из всех планет своей развитой гидросферой и биосферой. Последняя наряду с водой вызывает высокую активность химических процессов, происходящих на Земле ферментативным путем. На Земле сейчас преобладают циклические процессы, и не вполне ясно, в какой степени в них входит мантийное вещество. По-видимому, вопрос может найти свое решение в разделении элементов на группы с разной скоростью геохимического цикла таким образом, что наиболее подвижные циклические элементы возвращаются в глубины Земли и вновь выносятся на поверхность вместе с рядом ювенильных элементов, продолжающих поступать из мантии Земли. На такой планете, как Луна, геохимические циклы выражены очень слабо, и мы видим преимущественно результат однонаправленного процесса, в котором большой геохимический цикл не успел сформироваться. Мы склонны связать с этим существенно различное течение вулканических процессов Земли и Луны. Земной вулканизм продолжает поставлять громадные количества вторичной воды и других летучих, что сопровождается мощной эксплозивной деятельностью. Давно угасший вулканизм Луны проявлялся в виде спокойного излияния жидких дегазированных лав.

Вещество кор планет, достаточно известное сейчас для Земли и Луны, как геохимическая система отличается от возможного первичного вещества, как бы ни были неопределенны наши знания о его составе. Своеобразие экзогенных процессов на планетах определяется разницей в исходных количествах и составе летучих компонентов и условиями инсоляции. С этим тесно связаны разнообразие типов коровых пород и средний химический состав кор планет. На бедной летучими Луне спектр пород более однообразен, чем на богатой летучими, и прежде всего водой, Земле. Химический состав кор планет может быть также индивидуален, так как отражает разное соотношение эндогенных и экзогенных процессов на планетах.

Нам бы хотелось закончить эти очерки некоторым обобщающим образом, который, не претендуя на точность, все же близко передает сущность наблюдаемых явлений. Можно уподобить развитие планеты жизни живого организма. И тогда окажется, что общий характер их возрастных стадий аналогичен. Возможно, это есть проявление закона диалектического развития любой внутренне-организованной системы.

По представлениям астрофизики Солнечная система находится где-то в середине своего развития. Можно приравнять каждый миллиард лет жизни планеты 10 годам жизни, скажем, человека. Тогда тела астероидов, так и не сумевших развиться до стадии планет, — это мертворожденные эмбрионы, а Земля — вполне зрелый человек в возрасте около 45 лет. Мы хорошо его знаем в течение последних 10 лет и, конечно, замечаем каждую новую морщинку на его лице, но в целом он не изменился за это время. И за предыдущие 15 лет он мало менялся — это совершеннолетний субъект, который стал почти взрослым в 15 лет (еще в архее). Даже в 10 лет он уже проявляет все черты своего характера. О его детстве мы ничего не знаем, но по существу половину всей жизненной информации он, как и всякий ребенок, получает в возрасте 2–3 года, что соответствует первым сотням миллионов лет жизни планеты.

Какими бы отрывочными ни казались сейчас наши знания о планетах, именно совместное их рассмотрение ведет к пониманию общих законов их развития, и, в частности, неизвестной по геологическим наблюдениям ранней истории Земли.