

П. С. Паращенко

ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЛУНЫ

В статье представлена история возникновения гипотез, объясняющих формирование Луны. Рассмотрены гипотезы центробежного разделения, совместной аккреции, гравитационного захвата, испарения, многих лун, гигантского столкновения, метеоритной бомбардировки, взрыва природного ядерного реактора. Приведён перечень основных фактов, касающихся состава и строения Луны, которые должны быть объяснены гипотезой, претендующей на объяснение происхождения Луны. Показаны изменения, произошедшие на Земле из-за возникновения Луны.

Представления науки о времени и механизме появления Луны неоднократно существенно менялись по мере накопления новых научных фактов и открытий в области геотектоники, физики Земли, совершенствования методов математического моделирования и космических исследований.

В 1878 г. была выдвинута первая гипотеза, считающаяся научной, о возникновении спутника нашей планеты была сформулирована британским астрономом Дж. Дарвином. Он утверждал, что образовавшее Луну вещество было оторвано от Земли вследствие воздействия центробежных сил. Земля, по мнению автора, на начальном этапе своего существования вращалась вокруг своей оси с очень большой скоростью, вследствие чего испытала сжатие в районах полюсов и растяжение в районе экватора, что сделало возможным отрыв от Земли её части в экваториальной области. Автор гипотезы указывал на гигантскую впадину Тихого океана, как на оставшийся след отрыва и источник материала, сформировавшего Луну. На момент предложения данной гипотезы ещё не был открыт факт движения литосферных плит, не было возможности определить возраст тихоокеанской земной коры (который не превышает 70 млн. лет) и рассчитать многочисленные физические показатели предлагавшейся модели, поэтому гипотеза выглядела логично.

В первой половине XX века возникли другие гипотезы, предлагавшие иное объяснение – гипотеза совместной аккреции (утверждавшая, что Земля и её спутник сформировались из газопылевого облака вместе с образованием всей Солнечной системы, таким образом, Луна изначально являлась спутником Земли), гипотеза гравитационного захвата (гласившая, что Луна представляла собой блуждающую планету, которая в какой-то момент пролетала вблизи Земли, гравитационное поле Земли захватило планету и превратило её в спутник Земли). Три этих гипотезы (особенно гипотеза совместной аккреции) доминировали в науке вплоть до появления возможности непосредственного исследования лунных пород, доставленных на Землю. Кроме них, однако, существовал ещё целый ряд гипотез, занимавших периферийное положение. В качестве примера можно привести гипотезу испарения (происходящие на молодой Земле процессы сопровождались выделением огромного количества тепла, расплавившего всю планету, вследствие чего элементы, перешедшие в газообразное состояние улетучивались и концентрировались на орбите Земли, где солнечный ветер сдувал летучие элементы и приводил к конденсации тяжёлых, слившихся в итоге в единое тело) и гипотезу многих лун (гласившую, что гравитационное поле Земли захватило не один, а несколько мелких объектов, которые приблизительно за миллиард лет слились в единый спутник) [1].

В 1960-х гг. начались полёты российский и американских космических

аппаратов к Луне, что сделало возможным доставку лунного грунта на Землю и геофизическое изучение Луны. Были получены данные, которые вступали в противоречие с имевшимися на тот момент гипотезами. Требовалось, чтобы новое объяснение происхождения Луны не только не вступало в противоречие с имеющимися научными данными, но и смогло объяснить следующие факты:

- железно-никелевое ядро Луны чрезвычайно маленькое (2–3 % по массе) по сравнению с земным (около 30 %), отсюда средняя плотность Луны ($3,3 \text{ г/см}^3$) ниже, чем средняя плотность Земли ($5,5 \text{ г/см}^3$);

- Луна имеет заметно меньшее содержание легколетучих элементов и соединений и повышенное содержание тугоплавких;

- аномально большую по сравнению с земной мощность лунной коры (около 60–80 км), состоящую из пород, сформировавшихся в результате расплава, это означает, что в начальный период существования Луна была расплавлена полностью, чего никогда не происходило на нашей планете;

- идентичное с Землёй соотношение в породах стабильных изотопов кислорода ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O (которое строго индивидуально для космических тел, сформировавшихся в различных условиях и частях Солнечной системы, так, что оно получило образное название «кислородная подпись») и некоторые другие.

В 1975 году американскими исследователями В. Хартманом и Д. Дэвисом выдвинута гипотеза Гигантского столкновения [2], которая стала основной и является таковой до настоящего времени. В рамках данной гипотезы была разработана модель ударного формирования Луны, которая в общих чертах заключается в следующем (рисунок 1). Во время образования Солнечной системы из газопылевого облака наряду с Землёй и другими протопланетами, сформировавшимися вследствие гравитационного коллапса облака, в одной из точек Лагранжа системы Земля–Солнце на орбите Земли образовалась протопланета Тейя, которая просуществовала там 20–30 миллионов лет, достигнув размера приблизительно с Марс. Однако предположительно в результате гравитационных возмущений со стороны других планет Тейя перешла на беспорядочную орбиту, около 10 миллионов лет двигалась по ней и около $4,45 \pm 0,05$ млрд. лет назад [3] столкнулась с Землёй. Столкновение произошло на малой скорости и под скользящим углом (по касательной), что позволило избежать разрушения планеты. В результате из мантии Земли и Тейи было выброшено на орбиту 60 тысяч км вещества, которое в течение нескольких недель консолидировалось, образовав спутник Земли [1, 4].

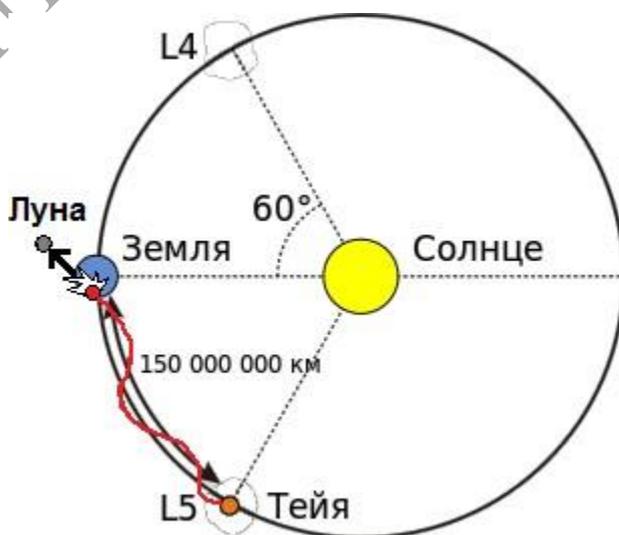


Рисунок 1 – Схема, показывающая формирование Тейи в точке Лагранжа L5, столкновение с Землёй и формирование Луны

Результатом столкновения также стал близкий к современному наклон оси вращения Земли, обеспечивающий смену времён года, и значительная скорость вращения Земли (один оборот за примерно 5 часов). Поскольку к моменту столкновения гравитационная дифференциация вещества уже произошла, то в составе выброшенного вещества присутствовали в основном более лёгкие соединения кремния, тогда как более тяжёлые соединения железа в основном уже были в составе ядер в центре планет, которые слились и остались в недрах Земли.

Выделение гигантского количества тепла полностью расплавilo породы, формирующие Луну, вследствие чего из них были выпарены летучие соединения и вода. После своего формирования Луна стала отдаляться от Земли, к настоящему времени радиус её орбиты увеличился с первоначальных 60 до 384 тыс. км и продолжает увеличиваться со скоростью 38 мм в год [5].

Действие приливного ускорения Луны влечёт за собой замедление вращения Земли. За 4,5 млрд. лет существования Луны это замедление достигло существенных значений. В настоящее время рассчитано, что Луна замедляет скорость вращения Земли на 2,3 миллисекунды за 100 лет. Однако существуют и другие факторы, изменяющие скорость вращения Земли, например, гляциоизостазия, приводящая к увеличению полярного радиуса и уменьшению экваториального, следовательно, уменьшается момент инерции, а скорость вращения в силу закона сохранения импульса увеличивается. Величина этого увеличения определена в 0,6 миллисекунды в 100 лет. Таким образом, учтя эти факторы, было вычислено, что скорость вращения Земли снижается на 1,7 миллисекунды в 100 лет. Замедление вращения, как считается, будет продолжаться до тех пор, пока скорость вращения Земли вокруг своей оси не будет синхронизирована со скоростью вращения Луны вокруг Земли, тогда Луна будет постоянно располагаться над одной и той же точкой Земли. На самой Луне в силу значительно более сильного приливного ускорения Земли эта синхронизация уже произошла, и скорость вращения Луны вокруг своей оси сравнялась со скоростью её вращения вокруг Земли.

Значение приливов для развития жизни заключается в том, что они интенсивно перемешивают океанические воды, что ускоряет круговорот веществ, насыщение вод кислородом и биогенными элементами. Потеря Землёй части своего вещества сделало возможным появление тектоники литосферных плит, которая также имеет исключительное значение для развития жизни, так как поддерживает углеродный цикл. Таким образом, можно констатировать, что появление Луны кардинальным образом повлияло на дальнейшую геологическую историю Земли и развитие жизни на ней.

В XXI веке продолжают появляться гипотезы, уточняющие или изменяющие сценарий столкновения как причину образования Луны, или предлагающие принципиально иные объяснения её появлению. Так, исследователи Центра изучения космоса и его обитаемости (г. Берн) по результатам компьютерного моделирования сделали вывод, что Тейя имела значительно большие размеры, чем предполагалось ранее (возможно, даже крупнее, чем сама Земля) и двигалась с большей скоростью. После произошедшего столкновения она не разрушилась, а, выбив из Земли часть материала и потеряв небольшую часть своего вещества, продолжила своё движение и, вероятно, существует и в настоящее время.

В 2004 г. появилась гипотеза метеоритной бомбардировки [6], утверждающая, что Луна образовалась не в результате столкновения с одной относительно крупной планетой, а вследствие продолжительного столкновения с Землёй крупных небесных тел (метеоритов, астероидов) диаметром в десятки километров, которые, попадая в океаны магмы, выбивали оттуда вещество, которое в следствие этого попадало в околоземное пространство.

Гипотеза взрыва природного ядерного реактора предполагает образование спутника как результат данного события, вследствие которого вещество Земли было выброшено на её орбиту. Эта гипотеза допускает существование природного ядерного реактора на границе мантии и ядра в экваториальной области. Появление такой гипотезы стало возможным после открытия первого и на сегодняшний день единственного природного ядерного реактора на территории Габона в 1972 году, функционировавшего

1,8–2,0 млрд. лет назад. Природный ядерный реактор представляет собой рудные тела в залежах урановых руд, в которых самопроизвольно возникла цепная реакция вследствие того, то концентрация ^{235}U в ранний период существования Земли достигала величин, достаточных для её инициирования [7]. В настоящее время такое явление невозможно вследствие того, что из-за естественного распада ^{235}U его уже не существует в концентрации, достаточной для запуска самопроизвольной цепной реакции. Можно предположить, что гипотетически существовавший реактор перешёл в критический режим и взорвался, что привело к образованию Луны.

Исходя из представленного обзора, можно сделать вывод, что на сегодняшний день центральной гипотезой, объясняющей появление Луны, является гипотеза Гигантского столкновения. С появлением новых, ранее недоступных, данных и методов исследования данная гипотеза уточняется, чтобы она могла объяснить все существующие на сегодняшний день факты, касающиеся строения, возникновения, истории развития Луны, её влияния на происходившие и происходящие земные процессы и другие вопросы селенологии.

Литература

- 1 Хейзен, Р. История Земли: От звездной пыли – к живой планете: Первые 4 500 000 000 лет / Р. Хейзен. – Москва : Альпина Нон-фикшн, 2017. – 364 с.
- 2 Hartmann, W. Satellite-sized planetesimals and lunar origin / W. Hartmann, D. Davis // *Icarus*. – 24 (4). – 1975. – С. 504–514.
- 3 Bottke, W. Dating the Moon-forming impact event with asteroidal meteorites / W. Bottke [et al.] // *Science*. – 2015. – Vol. 348. – No. 6232. – P. 321–323.
- 4 Herwartz, D. Identification of the giant impactor Theia in lunar rocks / D. Herwartz, A. Pack, B. Friedrichs, A. Bischoff // *Science*. – 2014. – Vol. 344. – No. 6188. – P. 1146–1150.
- 5 Ross, M. N. Evolution of the lunar orbit with temperature- and frequency- dependent dissipation / M. N. Ross, G. Schubert // *Journal of Geophysical Research*. – 1989. – Vol. 94. – P. 9533–9544.
- 6 Gorkavyy, N. N. The New Model of the Origin of the Moon / N. N. Gorkavyy // *Bulletin of the American Astronomical Society*. – 2004. – Vol. 36. – No. 4. – P. 861.
- 7 Meshik, A. P. Record of Cycling Operation of the Natural Nuclear Reactor in the Oklo/Okelobondo Area in Gabon / A. P. Meshik [et al.] // *Physical Review Letters*. – 2004. – Vol. 93. – No. 18. – P. 182302.