

К вопросу о происхождении Луны и плюм-, плейттектонической эволюции геосфер (оболочек) Земли¹

© Э. И. Терез¹, М. Е. Герасимов², 2009

¹ НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория",
Научный, Украина

² Крымская геофизическая экспедиция,
ГПП "Укргеофизика", Симферополь, Украина

Поступила 23 сентября 2008 г.

Представлено членом регколлегии В. П. Коболевым

Запропонована модель пояснює утворення Місяця внаслідок термоядерного вибуху, результатом якого був відрив значного об'єму земної маси. У межах цієї моделі, з одного боку, добре узгоджуються дані щодо фізико-хімічних параметрів Місяця, а з іншого — модель відповідає сучасним уявам про динамізм геологічної будови Землі, яка припускає наявність потужного джерела енергії в ядрі Землі, що, ймовірно, має термоядерну природу. Останнє можливо, якщо ядро Землі "водневе", тобто складається з металічного водню або з гідрідів заліза. Імовірний варіант і залізо-нікелевого ядра, в якому розчинена величезна кількість водню. Подальші квазітермоядерні процеси зумовили плюмтектоніку та плейттектоніку на рівні різних оболонок Землі.

The proposed model accounts for the Moon's formation as a result of thermo-nuclear explosion due to which an enormous land mass of the Earth was torn away. According to the model there is a good agreement of physical and chemical parameter data. On the other hand, the model corresponds to the modern idea of dynamic features of geological structure of the Earth which presupposes presence of powerful source of energy in the Earth's core that might have been of thermo-nuclear origin. The last one is possible if the Earth's core is "hydrogenous", i. e. it consists of metallic hydrogen or iron hydrates. A variant of the Earth's Fe-Ni core with a great amount of dissolved hydrogen is also possible. Consequent quasi-thermonuclear processes have caused plume tectonics and plate tectonics at a level of different shells of the Earth.

Введение. Согласно последним данным наша Солнечная система была сформирована более 4 млрд лет тому назад во времена эры образования планет, которая длилась от 10 млн до нескольких сотен миллионов лет. (Изотопный анализ наиболее древних из известных метеоритов свидетельствует о том, что макроскопические твердые частицы начали формироваться в пределах солнечной газовой туманности около 4,567 млрд лет тому назад.) Чтобы исследовать механизм и этапы формирования Солнечной системы, прежде всего, необходимо понять, как и ког-

да могла возникнуть система Земля—Луна, физико-химические и геолого-минералогические параметры которой достаточно хорошо изучены.

Существует целый ряд моделей, объясняющих картину возникновения Луны [Физика ..., 1973]. После полетов "Аполлонов" и анализа полученных экспериментальных данных в настоящее время принята как базовая гипотеза так называемого "мегаимпакта". Она была предложена в 1975—1976 гг. двумя независимыми группами исследователей: Уильямом Хартманном и Дональдом Девисом. Мо-

¹ Критику на концепцию Э. И. Тереза и М. Е. Герасимова см. в настоящем журнале (стр. 164-166).

дель мегаимпакта предполагает, что в эпоху ранней Земли произошло касательное столкновение Земли с объектом размером с Марс, что привело к выбросу на земную орбиту вещества, из которого затем сформировалась Луна. Американский астроном А. Камерон [Origin ..., 2000] рассчитал разные варианты этой модели, в частности случай, когда масса налетающей планеты достигает $\approx \frac{1}{2}$ массы Протоземли.

Одним из результатов этой катастрофы стало возникновение массивного протолунного диска с большим угловым моментом. Таким образом, диск, а затем и спутник, сформировались из земной мантии, имеющей приблизительно ту же плотность, что и Луна. Однако, как отмечено в работе [Боярчук и др., 1998], столкновение Земли с крупным космическим объектом (планетой) должно было бы привести к большому эксцентриситету орбиты Земли, чего не произошло. Джоунс и Палм [Origin ..., 2000] показали, что модель мегаимпакта имеет также целый ряд несоответствий с физико-химическими данными Луны: химический состав у Луны заметно отличается от состава земной мантии. В частности, концентрация железа в Луне в 1,5—2 раза больше, чем в мантии Земли. Как показывают расчеты, при ударе космического объекта размером с Марс выделилось бы колоссальное количество энергии и, как следствие, произошло бы полное расплавление Луны и Земли. При этом первоначально расплавленная Луна должна была остаться частично расплавленной до настоящего времени как из-за низкой теплопроводности, так и из-за непрерывного выделения радиоактивного тепла. Однако анализ современных геохимических данных не подтверждает этого. Так, изучение лунных пород, доставленных на Землю, позволило методом изотопного анализа установить, что горные породы на Луне стали твердыми около 4,44 млрд лет назад. Притчард и Стивенсон, а также Снайдер, Борг, Найквист и Тейлор [Origin ..., 2000] считают доказанным, что Луна была сравнительно холодной и имела лишь частичное "затопление" магмой. На Земле также не существовал океан расплавленной мантии.

Недавно проведенное гидродинамическое моделирование мегаимпакта [Wilson, 2008] показало, что большая часть (80 %) того вещества, которое впоследствии стало лунным материалом, должно было быть взято не с Земли, а с планеты, столкнувшейся с Землей. Меж-

ду тем соотношения *W*-изотопов показали убедительное свидетельство того, что Луна унаследовала свои химические свойства у Земли. Действительно, мантии обоих тел неразличимы с точки зрения изотопного состава, по крайней мере для тех регионов Луны, образцы из которых были доставлены на Землю. Возникает естественный вопрос, могла ли планета, налетевшая на Землю, состоять из такой же смеси первоначального материала, как Земля и таким образом, в результате эволюции, получить такой же изотопный состав? Это возможно только в том случае, если они находились на равном расстоянии от Солнца, подпитывались одинаковым веществом солнечной туманности, а также имели подобную историю разделения ядра от мантии [Wilson, 2008], т. е. в прошлом была планета-близнец Земли. Это абсолютно нереально. В итоге можно сделать вывод о несостоятельности теории мегаимпакта.

В 2004 г. Н. Н. Горькавый [Gorkavyi, 2004; Горькавый, 2007] модернизировал теорию мегаимпакта, предположив, что Луна образовалась не в результате одного мощного столкновения (мегаимпакта), а вследствие бомбардировки Земли миллионами крупных астероидов диаметром 10—1000 км с последующей аккумуляцией образовавшегося протоспутникового диска в твердую Луну.

Однако и мультиимпактная гипотеза не может объяснить ряда существенных моментов в истории Земли—Луны. Прежде всего, бомбардировка Земли миллионами крупных астероидов, результатом которой стало возникновение Луны, должна была проходить в течение достаточно большого промежутка времени — сотен миллионов лет. А геофизические данные как Луны, так и Земли свидетельствуют в пользу достаточно быстрого возникновения Луны. Так, основываясь на измерениях состава изотопов вольфрама в лунной мантии, геохимиками показано [Touboul et al., 2007], что Луна сформировалась в интервале 60—100 млн лет после возникновения Солнечной системы (даже, вероятнее, в интервале 30—50 млн лет). Мультиимпактная модель не в состоянии полностью объяснить угловой момент системы Земля—Луна, поскольку рост в результате множества небольших ударов обычно дает небольшой угловой момент и вызывает медленное вращение планеты. Кроме того, в рамках модели мультиимпакта невозможно объяснить проблему асимметрии кратеров и морей на видимой и обратной сторо-

не Луны. В этом смысле более логично было бы предположить единовременный отрыв большой массы от Земли. Но остается вопрос: как это могло произойти?

Проблемы радиационного баланса Земли и планет-гигантов. Из всех наблюдаемых геофизических и геологических явлений наибольшее значение в планетарном масштабе имеет поток тепла из внутренних областей Земли. Первые прецизионные измерения теплового потока на континентах были выполнены сравнительно недавно (в 1939 г.) Буллардом в Южной Африке и Бенфилдом в Англии. В 1956 г. Буллардом были проведены измерения теплового потока под океаном (в Атлантике); они дали те же значения, которые были получены на континентах. В настоящее время уже выполнены тысячи подобных измерений, и можно уверенно сказать, что поток энергии из внутренних областей на поверхности Земли составляет 46 ± 3 Твт (или $1,45 \times 10^{21}$ Дж/год) [Lay et al., 2008]. Эта величина на один-два порядка превышает суммарную энергию, высвобождающуюся при землетрясениях и вулканической деятельности. Также необходимо учесть, что примерно столько же энергии должно выделяться в земном ядре для генерации геомагнитного поля, т. е. в сумме энергия Земли оценивается не менее $2,9 \times 10^{21}$ Дж/год. В то же время по содержанию долгоживущих радиоактивных элементов, таких как ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th и ^{40}K , обнаруженных в метеоритах и в земной коре, было приблизительно рассчитано, что энергия, освобождаемая в результате радиоактивного распада, составляет не более $2,3 \cdot 10^{20}$ кал/год или $9,63 \cdot 10^{20} \approx 1 \cdot 10^{21}$ Дж/год — величина, недостаточная для объяснения энергии, выделяемой Землей. Тенденция к снижению содержания в породах литосферы радиоактивных элементов по мере погружения в мантию Земли также противоречит гипотезе о радиогенной природе глубинного теплового потока. Кроме того, установлено, что в геологической истории Земли неоднократно происходили кратковременные (годы, десятки, сотни лет) катастрофические тепловые выбросы из ее недр в верхнюю мантию, земную кору, атмосферу и гидросферу. Это также не согласуется с гипотезой о радиогенной природе тепла Земли, так как радиоактивный распад — это монотонный процесс, медленно изменяющийся со временем.

В последние три десятилетия с помощью спутниковых измерений удалось провести

прецизионные измерения излучения, исходящего от планет Солнечной системы. Так, непосредственные измерения, сделанные в США с помощью спутников "Пионер-10" и "Пионер-11", показали, что эффективные температуры Юпитера и Сатурна равны 125 ± 3 К и $94,4 \pm 3$ К соответственно. Запущенные в 1977 г. спутники "Вояджер-1" и "Вояджер-2" позволили уточнить эффективную температуру Сатурна (96,5 К) и измерить (в 1986 г.) температуру Нептуна (59,4 К). Эти данные убедительно свидетельствуют о том, что у планет-гигантов должен быть мощный источник теплового излучения. Так, излучение Юпитера в два раза больше, чем энергия, получаемая этой планетой от Солнца. Астрономы неоднократно пытались связать излучения планет-гигантов с их массами с помощью обычного в астрономии метода — построения диаграммы масса/светимость. На такой диаграмме все планеты-гиганты ложатся строго на одну линию, как звезды. Физическое объяснение диаграммы масса / светимость для звезд только одно — энергия образуется в результате термоядерных реакций, при которых скорость выделения энергии экспоненциально возрастает с ростом температуры. Чем больше масса звезды, тем выше температура ее ядра, поэтому с возрастанием массы повышается светимость звезды, т. е. поток энергии. Поэтому можно утверждать, что тот факт, что диаграмма масса/светимость для планет-гигантов аналогична звездной, свидетельствует о термоядерной природе внутренней энергии этих планет.

Недавно китайский астроном Ванг Хонг-цханг [Wang, 1990] построил диаграмму масса/светимость для планет-гигантов и для Земли (рис. 1). Что удивительно, на диаграмме Земля попадает на ту же прямую, что и планеты-гиганты.

Ванг Хонг-цханг предположил, что основной механизм внутренней энергии Земли — термоядерные реакции. Этот вывод, конечно, кажется нереальным из-за низких температур ядра Земли и отсутствия, согласно современным представлениям, необходимой среды — водорода. Температура ядра Земли определяется исходя из гипотезы, что ядро Земли железное, а температура плавления железа при $P \approx 1,4 \div 3,6 \cdot 10^6$ бар (давление на границе мантия—ядро) не более 4600 К. Таким образом, предполагается, что температура на границе мантия—ядро 4500—5000 К [Lay et al., 2008]. Следовательно, температура в центре

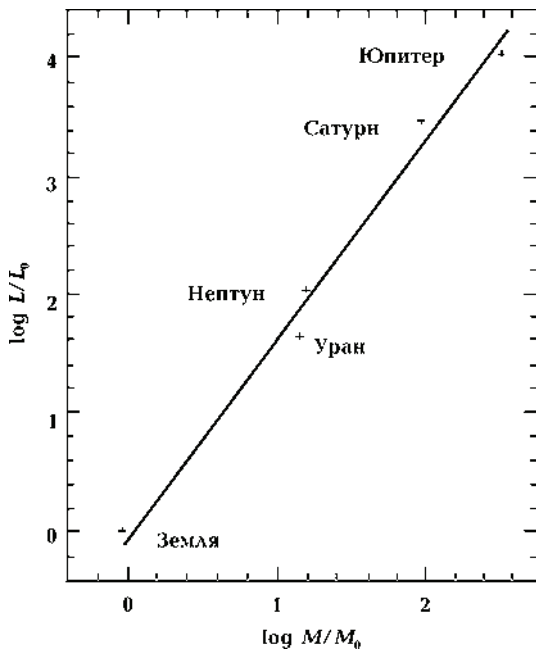


Рис. 1. Диаграмма масса / светимость для больших планет. Массы и светимости планет выражены в относительных единицах по отношению к массе и светимости Земли [Wang, 1990].

Земли ≈ 6000 К. (Если же ядро состоит не из железа (или не только из железа), то, естественно, расчетная температура ядра будет иной.)

Возможна ли в принципе низкотемпературная термоядерная реакция? Согласно классической теории термоядерной реакции, предложенной Гамовым [Gamov, 1939] и Бете [Bethe, 1939], скорость воспроизведения синтеза ядер при температуре $T < 10^5$ К быстро падает. Но формула Гамова для поперечного сечения реакции синтеза учитывает лишь столкновение и плавление (синтез) двух ядер атомов без учета какого-либо внешнего воздействия. Эта формула применима лишь для сверхвысоких температур. Она не в состоянии объяснить большое количество наблюдаемых аномалий при реакциях плазмы высокой плотности при низких температурах ($T < 10^5$ К).

В новейшей физике известен целый ряд экспериментов, когда кратковременно в лабораторных условиях удавалось получать низкотемпературную термоядерную реакцию. Не все эти эксперименты прошли повторную проверку. И тем не менее есть убедительные доказательства, что в ряде случаев, например, химические взрывы или так называемый "пузырьковый термояд" [Taleyarkhan et al., 2002;

2004; Nigmatulin, 2005], наблюдалась именно термоядерная реакция, о чем свидетельствовал поток быстрых нейтронов и трития.

В плазме высокой плотности любая пара реактивных ядер подвергается воздействию сильного внешнего поля со стороны окружающих заряженных частиц. Это воздействие значительно повышает скорость термоядерной реакции [Dewitt et al., 1973; Ichimaru et al., 1984; Griem, 1974]. Ванг Хонг-цханг считает, что можно рассматривать формулы Гамова для поперечного сечения термоядерного синтеза лишь как частный случай для сверхвысоких температур. При низких температурах ($T < 10^5$ К) и высокой плотности плазмы характеристики ядерного синтеза могут быть объяснены лишь при учете необходимых поправок [Wang, 1990].

Водородное ядро Земли. В 40—50-х годах прошлого века господствовала гипотеза, что ядро Земли состоит из силикатов, но не простых, а металлизированных с достаточно высокой электропроводимостью. Дело в том, что единственным разумным объяснением магнитного поля Земли является эффект динамо. А для этого необходимо предположить, что ядро Земли (или часть ядра) жидкое и электропроводящее. Прогресс, который произошел в динамической физике высоких давлений в 50—60-х годах, позволил изучить для Земли функции распределения плотности $\rho = f(L)$ и давления $P = f(L)$ с глубиной L . Если эти функции известны, то известно уравнение состояния земного вещества $P = f(\rho)$. При сравнении зависимости $P = f(\rho)$, определенной в лабораторных экспериментах для различных горных пород и минералов, появляется возможность подобрать конкретный вещественный состав для земных недр на количественной основе. Для земного ядра (согласно оценкам [Жарков, 1983] для внешней границы ядра интервал давлений составляет $(1,4—3,6) \cdot 10^6$ бар)) подходит лучше всего железоникелевый состав. Поэтому сегодня господствует мнение, что ядро Земли железное [Жарков, 1983; Рудник, Соботович, 1984].

Изучение внутреннего строения Земли, в основном, выполняется сейсмическими методами по анализу скоростей распространения продольных и поперечных волн, возбуждаемых землетрясениями или искусственно. За последние два десятилетия ученые, исследующие глубины Земли, открыли целый ряд новых свойств ядра Земли, в том числе анизотропию внутреннего ядра, его дифференци-

альное вращение и масштабную сейсмическую неоднородность. На основании этих данных ядро Земли можно представить состоящим из двух оболочек: внешнего и внутреннего ядра с переходным слоем между ними. Плотность внешнего ядра $10\text{—}11,5\text{ г/см}^3$, внутреннего ядра $12,5\text{—}13\text{ г/см}^3$. На основании экспериментального факта, что при прохождении внешнего ядра поперечные сейсмические волны затухают, можно считать, что внешнее ядро является жидким. В то же время по данным сейсмотомографии предполагается, что внутреннее ядро Земли является твердым. И, по-прежнему, главным остается вопрос об источнике энергии ядра, потому что магнитное поле, существующее по крайней мере 3,5 млрд лет, исчезнет достаточно быстро (во временной шкале порядка десятка тысяч лет) при отсутствии регенерации. А это требует постоянной энергетической подпитки.

А если предположить, что ядро Земли имеет солнечный химический состав, т. е. состоит из водорода с добавкой гелия? Как впервые показали Вигнер и Хантингтон [Wigner, 1935], водород, если его сжать до давления порядка 10^6 бар (при комнатной температуре), из молекулярной фазы переходит в металлическую, т. е. превращается в простейший одновалентный металл с плотностью $\approx 1\text{ г/см}^3$. В настоящее время свойства металлического водорода еще очень плохо изучены. Известно лишь, что согласно законам теоретической физики при повышении давления плотность металлического водорода должна быстро возрастать. Плотность гелия существенно больше, чем плотность водорода (при давлении $1 \cdot 10^6$ бар оценивается величиной $4,6\text{ г/см}^3$, при давлении $1 \cdot 10^7$ бар — 13 г/см^3). Если предположить, что ядро Земли имеет водородно-гелиевый состав, подобный солнечному, то плотность такого ядра существенно ниже плотности железоникелевого ядра при давлениях $(1,4\text{—}3,6) \cdot 10^6$ бар. Это серьезное несоответствие. Однако, как отмечено выше, в настоящее время данные о свойствах водорода и гелия при сверхвысоких давлениях и высоких температурах ($\approx 6000\text{ К}$) очень приближенные, и плотность их при увеличении давления может быть существенно большей. Кроме того, в реальной Земле имеется заметная концентрация массы к центру, и давление в центре Земли может быть большим, порядка 10^7 бар. Кроме того, следует отметить, что еще в 1950-х годах профессор геологии из Гарвардского университета Френсис Бирч при-

шел к выводу, что внешнее ядро Земли имеет меньшую плотность, чем железо или сочетание железа и никеля при соответствующих давлении и температуре ядра. Последние данные дефицита плотности железа требуют дополнительного количества элементов более легких, чем железо, порядка $6\text{—}10\%$ для внешнего ядра и $2\text{—}5\%$ для внутреннего [Dubrovinsky, Lin, 2009]. Такими элементами могут быть водород и гелий. Высокая летучесть водорода не противоречит этой гипотезе. На поверхности Земли и в земной коре сосредоточено огромное количество связанного водорода (вода, углеводороды и т. д.). Естественно предположить, что при формировании Протоземли — быстровращающегося плазменного облака — водород был основным элементом, который при сепарации (вследствие вращения) должен был собраться в центре и лишь затем при остывании планеты диффундировать к поверхности и образовать различные химические соединения. При этом в ядре Земли при высоких температурах и давлении мог образоваться как металлический водород, так и гидриды железа. Нельзя исключить и вариант, что ядро Земли железное, но в котором в огромном количестве растворен водород; поскольку способность Fe или Fe-Ni сплавов при высоких температурах и давлениях растворять газы и, в первую очередь, водород является универсальной [Арчаков, 1985].

В экспериментах с "пузырьковым термоядом" было зафиксировано, что термоядерная реакция возможна даже при температуре 273 К и давлении порядка 10^8 бар. (При более высоких температурах, естественно, давление может быть меньшим.) Такое давление в экспериментах создавалось при прохождении ультразвуковых волн большой мощности через дейтерированный ацетон. На Земле ежегодно происходят до миллиона подземных толчков, которые порождают упругие продольные волны. (Из них в среднем за год одно катастрофическое землетрясение с магнитудой более 8, десять разрушительных с магнитудой 7—8 и сто сильных землетрясений с магнитудой 6—7). Продольные волны, проходя через вещество в местах пучностей, создают локальные повышения плотности. Таким образом, давление в местах пучностей продольной волны может возрастать на порядки, т. е., если говорить о земном ядре, то при прохождении продольных (сейсмических) волн давление в локальных точках может достигать 10^8 бар и более. И это при температурах

в несколько тысяч градусов. Следовательно, при наличии соответствующей среды (водорода), в ядре Земли вполне возможны локальные термоядерные реакции (или, точнее, квазитермоядерные) по типу "пузырькового термояда", являющиеся основным источником внутренней энергии Земли. Очевидно, что на ранней стадии эволюции Земли эти реакции должны были протекать значительно активнее. Вполне вероятно, что произошел мощный термоядерный взрыв, приведший к отрыву значительного количества земной массы, из которой впоследствии образовалась Луна. Можно примерно оценить мощность взрыва, приняв массу вещества, выброшенного на орбиту Земли, равной массе Луны ($7,35 \cdot 10^{22}$ кг) по общей формуле $W = m v^2 / 2$. Сразу же следует отметить, что такой расчет некорректный, он дает на несколько порядков завышенную величину энергии взрыва, так как массы и Земли, и Луны миллиарды лет назад, когда был возможен отрыв Луны, были намного меньше современных [Молчанов и др., 1994]. Тем не менее расчеты дают величину $W = 2,47 \cdot 10^{30}$ Дж/с (Вт), в тротиловом эквиваленте — $2,47 \cdot 10^{15}$ мегатон. По космическим масштабам это небольшая величина. В случае термоядерной реакции протон-протонного цикла при переходе 1 кг водорода в гелий выделяется 10^{15} Дж энергии. Таким образом, для выделения энергии термоядерного взрыва, образовавшего Луну, потребовалась бы масса водорода, равная $2,47 \cdot 10^{15}$ кг или $2,47 \cdot 10^{12}$ тонн. Это всего лишь $3,4 \cdot 10^{-8}$ массы выброшенного вещества (Луны). Если принять плотность водорода при давлении 1×10^6 бар равной 1 г/см^3 , то объем взорвавшейся массы $2,47 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$. Диаметр шара соответствующего объема равен $\sim 16,7 \cdot 10^3$ м или 16,7 км — незначительная величина, если учесть, что диаметр мантийного плюма порядка 100 км.

Важно отметить, что взрывной выброс значительной массы (Луны) не мог привести к значительному повышению общей температуры Земли и Луны и к их расплавлению (в отличие от мегаимпакта). При этом в самом начале своего существования Луна находилась значительно ближе к Земле и скорость ее "убегания" не оставалась постоянной, иначе, чтобы выйти на нынешнюю орбиту, ей потребовалось бы 6,3 млрд лет. (Сейчас, как установлено лазерной локацией, Луна медленно удаляется от Земли на 3,8 см/год.) Таким образом, с астрономической точки зрения мо-

дель "большого взрыва" не вызывает противоречий. Однако насколько эта модель соответствует современным концепциям о геологическом строении Земли?

Геологический аспект. На современном уровне развития геологических наук закономерности глубинного строения земных недр наиболее аргументированно объясняются с позиций актуалистической геодинамики, в основе которой лежат представления о плюм-, плит-тектонических процессах на разных уровнях литосферы и мантии [Шарманов, 1990; Артюшков, 1993; Хаин, 1996; 2001; Хаин и др., 1997]. Как плюмтектонические, так и плиттектонические процессы объясняются существованием разноуровневых ячеек мантийной конвекции. Накопленный объем геолого-геофизической информации позволяет научно обоснованно объяснить всю геологическую историю Земли (на протяжении около 4,6 млрд лет) с позиций актуалистической геодинамики [Хаин, 2001; Кеннет, 1987]. Встает вопрос, а какие процессы в Земле, Солнечной системе и в нашей Галактике могли обусловить закономерное изменение положения, активности и направленности конвективных токов в мантии? По этому поводу высказано много гипотез, особенно о роли внеземных факторов. Однако, как нам представляется, главную роль все же должны играть термодинамические процессы, происходящие в самой Земле, особенно в ее ядре.

Изучение внутреннего строения нашей планеты в основном выполняется сейсмическими методами, использующими скорости распространения продольных и поперечных волн, возбуждаемых землетрясениями или искусственно. На основании этих данных земной шар состоит из геосфер, которые отличаются своим составом, физическими свойствами и состоянием вещества. Они разделяются сейсмическими границами первого порядка. К ним относятся:

- *земная кора* или сфера *A* со средней толщиной 33 (5—70) км, состоящая из осадочного чехла, гранитного и базальтового слоев;
- *мантия*, разделяющаяся на верхнюю и нижнюю;

— *верхняя мантия* делится на две части: верхняя (сфера *B*) называется слоем Гутенберга, нижняя (сфера *C*) — слоем Голицына.

Слой Гутенберга (называется еще астеносферой) сложен "размягченными" пониженной плотности горными породами, податливыми к пластическому течению. Глубина за-

легания и толщина астеносферного слоя переменна как под континентами, так и под океанами. Этот слой характеризуется повышенной электропроводностью, снижением скоростей прохождения сейсмических волн (особенно поперечных).

В пределах слоя Голицына на глубине 660—670 км выделяется переходная зона, играющая важную роль в формировании структуры верхней мантии и земной коры. К этим глубинам приурочены самые глубокие гипоцентры землетрясений.

Нижняя граница верхней мантии проводится на глубине 990—1050 км, где наблюдается резкий скачок значений скоростей сейсмических волн как продольных (с 7,9—8,2 км/с до 11,3—11,4 км/с), так и поперечных (с 4,5—4,7 км/с до 7,2—7,3 км/с).

Интервал глубин от 990—1050 км до 2900 км занимает нижняя мантия (сферы D' и D''), в нижней части которой значения скорости продольных сейсмических волн достигают 13,6 км/с.

Сейсмическая граница первого порядка на глубине 2900 км со скачком значений скоростей продольных волн с 13,6 до 8,0—8,1 км/с в ядре определяет положение границы мантия—ядро. В отличие от верхних геосфер (земной коры и мантии) в пределах ядра (сфера E) поперечные сейсмические волны затухают, что дает основание считать внешнее ядро геологической средой, подобной жидкости.

Ядро, по современным представлениям, также имеет трехслойное строение с переходным слоем F между внешним и внутренним ядрами на глубине 4980—5120 км. Если в низах внешнего ядра скорость распространения продольных сейсмических волн 10,4—10,5 км/с, то в переходном слое уменьшается до 9,5—10,0 км/с, а во внутреннем ядре (сфера G) возрастает до 11,2—11,3 км/с.

Главная граница скачка плотности вещества земного шара — глубина 2900 км, на которой плотность возрастает от 5,5—5,7 г/см³ в низах нижней мантии до 9,7—10,0 г/см³ в верхней границе внешнего ядра, увеличиваясь с глубиной до 11,0—11,5 г/см³. Плотность внутреннего ядра составляет 12,5—13,0 г/см³.

Давление в недрах Земли также возрастает с глубиной; на глубине 2900 км оно оценивается в $137 \cdot 10^3$ МПа. Глубина 2900 км является важной границей и при обобщении данных по тепловому режиму Земли; ниже до глубины 5100 км, т. е. в пределах внешнего ядра, выделяется зона плавления вещества. Предполагается, что внутреннее ядро твердое.

По современной геотектонической теории литосфера Земли разбита на крупные литосферные плиты, которые перемещаются по астеносфере в горизонтальном направлении (по сфере). В осевых зонах срединно-океанических хребтов литосферные плиты нарастают за счет вещества мантии и расходятся в стороны (спрединг); в глубоководных желобах одна плита пододвигается под другую и поглощается мантией (субдукция). Там, где плиты сталкиваются между собой, возникают горно-складчатые сооружения. Сейсмотомографический разрез мантии Земли в ее приэкваториальной зоне показывает, что глубина границы ядро—мантия изменяется в пределах ± 6 км, поднимаясь под океанами и опускаясь под континентами.

Геохимическими и сейсмотомографическими исследованиями в разных регионах мира доказана большая глубинность корней плюмов и суперплюмов (а также погружающихся в мантию слэбов при субдукционных процессах), достигающая многих сотен километров, вплоть до границы мантия—ядро. По этим данным считается, что корни суперплюмов могут быть заложены в низах нижней мантии, а возможно, и во внешнем ядре Земли. Термин введен А. Hofmann в 1997 г. Термину в настоящее время дается следующее определение. Мантийный плюм — узкий поднимающийся в твердом состоянии участок мантии диаметром порядка 100 км и образующийся в горячем граничном слое с низкой вязкостью, расположенном непосредственно над сейсмическим разделом (660 км) или около границы ядро—мантия на глубине 2900 км.

Слэб (заползень, подползень) — погруженная, с изгибом, часть литосферной плиты, подползающая поддвигающуюся навстречу литосферную плиту в зоне конвергенции двух литосферных плит. Плавление головной части слэба обуславливает магматизм и рифтогенез в задуговой области. С его подвижностью связана высокая сейсмичность.

Поскольку земная кора, как наиболее изученная, и, особенно, ее осадочный чехол представляют собой слоистые среды, то в их строении должны также присутствовать характерные для этого уровня аналоги плюм-, плейттектонических элементов, что и подтверждается наличием как диапировых образований (микрорплюмов), пронизывающих осадочный чехол, так и подвижных во времени тектонических пластин и чешуй, ограниченных тектоническими разрывами секущей кинемати-

ки (рэмпы) и субпослойными (флэты). Другими словами, с позиций актуалистической геодинамики земную кору и ее осадочный чехол модельно можно представлять состоящими из плюмов и плит разного иерархического уровня. Динамика плюмов и плит взаимосвязана и взаимообусловлена.

Наличие плюмов и плит — фундаментальное свойство слоистой среды, подверженной тектоническим деформациям. Поэтому и в целом для земного шара, состоящего из более компетентных оболочек и разделяющих их менее компетентных оболочек (астеносфер), естественно предположить существование плюмов, пронизывающих несколько оболочек Земли, и плит в пределах отдельной оболочки Земли (земная кора, литосфера, тектоносфера и др.). Если плюмы могут возникать (зарождаются) на уровне различных оболочек Земли, они могут быть свойственны и для ядра Земли, как мощного источника внутренней энергии планеты. Представляется, что именно формирование плюмов в ядре является одной из определяющих причин возникновения конвективных ячеек в нижней и верхней мантии, которые, возможно, иерархически взаимообусловлены. При этом сами плюмы ядра представляются следствием квазитермоядерных преобразований вещества ядра с выделением большого количества энергии во внешнее ядро и мантию, прежде всего в нижнюю. При таком понимании первопричиной эндогенных геодинамических и тектонических процессов в течение всей истории Земли могут быть следствия эволюции квазитермоядерных процессов в ядре. Следует отметить, что отказ от идеи железного ядра изменяет концептуальные основы глубинной геодинамики. От железного ядра нельзя взять никакой энергии, а именно оно рассматривается в качестве источника энергонапряженных плюмов, несущих глубинную энергию в земную кору. Водородное же ядро может быть источником энергии, и плюмы при этом приобретают конкретное вещественно-энергетическое обоснование. Этот тезис согласуется с принятой в настоящее время теорией об участии восходящих потоков сверхглубинных флюидов (т.е. плюмов), в которых преобладают газы (в основном, водород), в процессах магматизма, метаморфизма и рудообразования [Летников и др., 1985; 1978; 1994; Летников, Леви, 1985; Летников, 1986; 1992]. Геологически наиболее существенным проявлением квазитермоядерной эволюции Земли представляется форми-

рование глобального плюма, вследствие чего оказался возможным отрыв Луны от Земли с образованием Пратихоокеанской котловины и возникновением гидросферы (водной геосферы) как результат остывания геосферы базальтового состава.

С началом зарождения квазитермоядерного очага в центре Земли возникли условия для проявления антиподальности строения планеты, по-видимому, вначале в ее ядре, а затем и в других оболочках (геосферах) вплоть до отрыва Луны. Современную антиподальность, т.е. наиболее фундаментальную особенность строения Земного шара, следует рассматривать как результат определяющего влияния квазитермоядерных процессов в центре Земли. Главной фазой проявления антиподальности следует считать термоядерный взрыв, вызвавший отрыв глобального плюма (Луны), а последующие фазы обусловили формирование и распад Пангеи и перестройку конвективных ячеек мантии вследствие постепенного угасания активности квазитермоядерных процессов в центре Земли.

Исследования Луны показывают, что для нее также характерна антиподальность как по форме, так и по плотности пород на ее видимой и обратной (невидимой) сторонах (резко отличаются их рельеф и геологическое строение). Гравитационное поле и форма Луны в настоящее время детально исследованы по наблюдениям искусственных спутников Луны. Центр массы Луны смещен относительно геометрического центра примерно на 2 км к Земле. Имеющиеся данные позволяют представить в целом Луну как усеченный конус (или сфероид) вращения, в котором более высокоплотные породы развиты на видимой стороне, а менее плотные породы — на невидимой. В представлении Б.Ф. Шарманова [Шарманов, 1990] Луна объемом 22 млрд км³ является монолитным фрагментом оторвавшегося усеченного шарового сегмента объемом 277 млрд км³. Остальные были потеряны Землей в виде метеоров, метеоритной пыли, газов и паров. Часть вещества упала обратно на Землю. Из этого следует, что видимая сторона Луны соответствует более глубинным слоям (мантии) ее "праматери" Земли, а невидимая сторона — внешним оболочкам, возможно, содержащим гранитный и базальтовый слой.

В настоящее время вся информация о внутреннем строении Луны базируется на экспериментах, проведенных космическими экспе-

дициями "Аполлон". Сотрудники калифорнийской Лаборатории реактивного движения в Пасадине, уже много лет анализирующие данные, получаемые от лазерных отражателей, установленных на поверхности Луны, недавно пришли к выводу, что лунная поверхность то вдавливается, то выпучивается примерно на 10 см, реагируя на колебания земного притяжения. Такая упругость лунного шара свидетельствует о том, что его сердцевина податлива и частично расплавлена, т. е., иными словами, Луна имеет расплавленное ядро. По данным сейсмографов экспедиций "Аполлон", работавших на поверхности Луны с июля 1969 г. по октябрь 1977 г., Луна, как и Земля, имеет мощную кору (толщиной примерно 60 км), верхнюю, среднюю и нижнюю мантии и ядро размером (диаметром) порядка 400—700 км. Однако данные относительно больших глубин ненадежны, особенно о размере ядра Луны.

Космогонические соображения. Естественно, что рассмотрение проблемы происхождения Луны должно исходить из представления о начальном состоянии планетного космического тела (Протоземли) и причине появления его в пространстве. В настоящее время существуют две альтернативные концепции: холодной начальной Земли и горячей начальной Земли. Концепция "холодной Земли" (аккреционная) рассматривает образование планеты Земля за счет соударений и слияния в единое целое крупных и мелких холодных (твердых) астероидов и последующего радиогенного разогрева ядра Земли, с дифференциацией ее на оболочки разной плотности [Летников и др., 1994; Лобковский и др., 2004]. В концепции "горячей Земли" исследуются два варианта: 1) планеты образуются из холодного газопылевого облака и достигают горячего состояния при гравитационном коллапсе за счет мощного уплотнения вещества; 2) планеты представляют собой уже в начальном состоянии горячие тела — сгустки плазмы, оторвавшиеся от Протосолнца тем или иным способом [Амбарцумян, 1988; Шило, 1997]. Концепция "горячей Земли" приобретает сейчас все больше сторонников, как наиболее согласующаяся с современными астрономическими и геофизическими данными [Амбарцумян, 1988; Шило, 1997; Жирнов, 2005; Ларин, 1980; Маракушев, 1999].

Представление о плазменном начальном состоянии планет и образовании их путем отрыва от Протосолнца наиболее реально и в плане геохимической эволюции планет. В на-

чальный момент образования звезды представляют собой весьма неустойчивые в динамическом плане образования и до перехода их в период устойчивого стационарного развития претерпевают ряд трансформаций с выбросом и истечением части своего вещества. Мощные взрывные процессы перераспределения энергии и вещества внутри звезд приводят, с одной стороны, к выбросу в околозвездное пространство серии плазменных сгустков вещества звезд, а с другой стороны, уменьшают момент количества движения звезд.

После этого звезды и связанные с ними планетные системы вступают в период длительного эволюционного стационарного развития.

Аналогичным образом сгустки плазмы, выброшенные с большой скоростью, приобретают вращательное движение вокруг родоначальной звезды и входят в режим длительного революционно-эволюционного планетного развития. Быстровращательное движение сгустка плазмы и резкий переход в новое термодинамическое состояние (в холодный космос) приводят к концентрации основной части газового вещества (водорода) в центральной части формирующегося тела и к его мощному гравитационному уплотнению [Амбарцумян, 1988].

Молодая планета вступает в период последовательного длительного остывания и консолидации ее верхней оболочки (перехода в газожидкое, а затем и твердое состояние). Во внутреннем плотном газовом ядре планеты на фоне постепенного спада температурного режима скорость протекания термоядерных реакций резко замедляется [Хаббард, 1987] и происходят сложные неравновесные процессы дифференциации и перемещения потоков газового, а затем и жидкогазового вещества и формирования центрального ядра. В таком состоянии молодая планета приобретает резкую динамическую неустойчивость, которая может завершиться мощным взрывом (термоядерным) и выбросом в космос части вещества планеты, включая лунный плюм, из которого затем формируется спутник (или спутники). Именно такой механизм происхождения Луны представляется наиболее вероятным.

Заключение. Предлагаемая к обсуждению гипотеза происхождения Луны в результате "большого взрыва" при всей своей необычности, на первый взгляд, согласуется с име-

ющимися физико-химическими данными Земли и Луны и не противоречит законам небесной механики. В основе этой гипотезы лежит представление о термоядерных или квазитермоядерных реакциях в ядре Земли как мощных источников энергии, поскольку они, вероятно, имеют локальный и спорадический характер. Такие реакции возможны при тех температурах и давлениях, которые предполагаются в земном ядре и, естественно, при наличии необходимой среды — водорода. При этом водород может быть в любом состоянии: металлический водород, атомарный водород, растворенный в Fe-Ni сплаве ядра Земли и, наконец, в виде гидридов железа — соединений водорода с железом.

Следуя [Хаин, 1996] и с учетом изложенного, эволюцию Земли можно представить в такой последовательности:

- аккреция горячих тел — сгустков плазмы во вращающийся диск с формированием водородно-гелиевого ядра и твердой оболочки;
- уплотнение водородно-гелиевого ядра и твердой оболочки вследствие космического охлаждения и гравитационного сжатия;

— зарождение термоядерных процессов, термоядерный взрыв в ядре Земли с отрывом лунного плюма и образованием Пратихоокеанской котловины;

— возникновение антиподальности Земли, аккреция (рост) континентальных образований как следствие перераспределения вещества Земли после термоядерного взрыва в ее ядре;

— квазитермоядерная эволюция ядра Земли, обусловившая зарождение конвективных течений (токов) во внешнем ядре и мантии, тектонику роста;

— развитие плюмтектоники в мантии Земли с образованием суперплюмов (горячих точек планеты) и плюмов;

— развитие глобальной плейттектоники с раскрытием и закрытием океанских бассейнов, формированием и распадом суперконтинентов во взаимосвязи с глобальными плюмтектоническими процессами; развитие региональной плюм-, плейттектоники в земной коре и в осадочной толще как причина изменения их вещественного состава и формирования структур различного генезиса.

Список литературы

- Амбарцумян В. А. Избранные статьи. — Москва: Знание, 1988. — 64 с.
- Артюшков Е. В. Физическая тектоника. — Москва: Наука, 1993. — 456 с.
- Арчаков Ю. И. Водородная коррозия стали. — Москва: Наука, 1985. — 260 с.
- Боярчук А. А., Рускол Е. Л., Сафронов В. С., Фригман А. М. Происхождение Луны: спутниковый рой или мегаимпакт? // Докл. РАН. — 1998. — 361, № 4. — С. 481—487.
- Горькавый Н. Н. Образование Луны и двойных астероидов // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. — 2007. — 103, № 2. — С. 143—155.
- Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. — Москва: Наука, 1983. — 415 с.
- Жирнов А. М. Глобальная космогеодинамика Земли в аспекте эксплозивного происхождения двойной планеты Земля—Луна // Закономерности строения и эволюции геосфер: Матер. VII Междунар. междисциплинар. науч. симпозиума. — Владивосток, 2005. — С. 70—72.
- Кеннет Дж. Морская геология: В 2-х т. — Москва: Мир, 1987. — Т.1. — 397 с. — Т.2. — 383 с.
- Ларин В. П. Гипотеза изначально гидридной Земли. — Москва: Недра, 1980. — 216 с.
- Левитан Е. П. Астрономия. — Москва: Просвещение, 2005. — 207 с.
- Летников Ф. А. Зрелость литосферных блоков и проблемы эндогенного рудообразования // Глубинные условия эндогенного рудообразования. — Москва: Наука, 1986. — С. 16—24.
- Летников Ф. А. Синергетика геологических систем // Новосибирск: Наука. — 1992. — 228 с.
- Летников Ф. А., Жатнуев Н. С., Лашкевич В. В. Флюидный режим термоградиентных систем. — Новосибирск: Наука, 1985. — 116 с.

- Летников Ф.А., Леви К.Г. Зрелость литосферы и природа астеносферного слоя. // Докл. АН СССР. — 1985. — **280**, № 5. — С. 1201—1203.
- Летников Ф.А., Феоктистов Г.Д., Вилор Н.В. Петрология и флюидный режим континентальной литосферы. — Новосибирск: Наука, 1978. — 112 с.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. — Москва: Науч. мир, 2004. — 612 с.
- Маракушев А.А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. — Москва: Наука, 1999. — 254 с.
- Молчанов В.И., Параев В.В., Осипов С.А., Лагутин Ю.И. Водород Земли. — Новосибирск: Изд. Новосиб. ун-та, 1994. — 66 с.
- Рудник В.А., Соботович Э.В. Ранняя история Земли. — Москва: Недра, 1984. — 349 с.
- Физика и астрономия Луны // Под ред. З. Копала. — Москва: Мир, 1973. — 316 с.
- Хаббард У. Внутреннее строение планет. — Москва: Мир, 1987. — 328 с.
- Хаин В.Е. Современная геология: проблемы и перспективы // Соросовский образов. журн. — 1996. — № 1. — С. 66—73.
- Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. — Москва: Науч. мир, 2001. — 606 с.
- Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Историческая геология. Учебник. — Москва: Изд. МГУ, 1997. — 448 с.
- Шарманов Б.Ф. О природе сил, двигающих материки // Сов. геология. — 1990. — № 9. — С. 100—106.
- Шило И.А. Спиралевидное с вихревой структурой термоплазменное облако — колыбель Солнечной системы // Четыре космопланетарных проблемы: от Солнечной системы до Каспия. — Москва: Фонд "Новое тысячелетие", 1997. — С. 5—34.
- Bethe H. E. Energy production in stars // Phys. Rev. — 1939. — **55**. — P. 434—456.
- DeWitt H. E., Craboske H. C., Cooper M. S. Screening factors for nuclear reactions. I. General theory // Astrophys. J. — 1973. — **181**. — P. 439—474.
- Dubrovinsky L., Lin J.-F. Mineral physics quest to the earth's core // Eos (Transactions of American Geophysical Union). — 2009. — **90**. — № 3. — P. 21—22.
- Gamov G. Physical possibilities of stellar revolution // Phys. Rev. — 1939. — **55**. — P. 718—725.
- Gorkavyi N. The new model of the origin of the moon // Bull. Amer. Astronom. Soc. — 2004. — **36**, № 2. — P. 17—18.
- Griem H.R. Spectral line broadening by plasmas. — New York: Academ. Press, 1974. — 273 p.
- Ichimaru, S., Tanaka S., Ietomi H. Screening potential and enhancement of the thermonuclear reaction rate in dense plasma // Phys. Rev. — 1984. — **A29**. — P. 2033—2035.
- Lay T., Hernlund J., Buffett B. A. Core-Mantle Boundary Heat Flow // Nature Geosci. — 2008. — **1**. — P. 25—32.
- Nigmatulin R.L. Nano-scale thermonuclear fusion in imploding vapor bubbles // Nuclear Engineering and Design. — 2005. — **235**. — P. 1079—1091.
- Origin of the Earth and Moon / Ed. R. M. Canup, K. Righter. — University of Arizona Press, 2000. — 555 p.
- Taleyarkhan R.R., Wes C., Cho J.S., Lahey R.T., Nigmatulin R. I., Block R. Additional evidence of nuclear emissions during acoustic cavitation // Phys. Rev. Series E. — 2004. — **69**. — P. 36109—36111.
- Taleyarkhan R.R., West C., Cho J.S., Lahey R.T., Nigmatulin R.I., Block R. Evidence for nuclear emissions during acoustic cavitation // Science. — 2002. — **295**. — P. 1868—1873.
- Touboul M., Kleine T., Bourdon B., Palme H., Wieler R. Late formation and prolonged differentiation of the Moon inferred from W isotopes in lunar metals // Nature. — 2007. — **450**. — P. 1206—1210.
- Wang Hong-zhang. On the internal energy source of the large planets // Chin. Astronom. Astrophys. — 1990. — **14**, № 4. — P. 361—370.
- Wilson M. Isotope-ratio measurements revealed a young Moon // Physics today. — 2008. — № 2. — P. 16—17.
- Wigner E., Huntington H. B. On the possibility of a metallic modification of hydrogen // J. Chem. Phys. — 1935. — **3**. — P. 764—771.
- Lay T., Hernlund J., Buffett B. A. Core-Mantle Boundary Heat Flow // Nature Geosci. — 2008. — **1**. — P. 25—32.