



МОДЕЛЬ ГОРЯЧЕЙ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ

В. В. Кузнецов

Предложена модель горячей расширяющейся Земли. Факт расширения Земли подтверждается тем, что регистрируемое по палеомагнитным данным перемещение материков в принципе возможно только на ее увеличивающейся поверхности. По модели в момент образования планеты ее вещество (в основном водород, вода и окись кремния) находилось в состоянии горячего переуплотненного пара, занимавшего объем, равный объему внешнего ядра. В эволюции планеты непосредственное участие принимали два экзотермических фазовых перехода: конденсация и кристаллизация. После образования горячая Земля охлаждалась. На раннем этапе эволюции скорость охлаждения ее вещества определял процесс кристаллизации вещества мантии, и расширение было медленным. Когда толщина жидкого слоя внешнего ядра стала достаточной для того, чтобы во внешнем ядре возникла конвекция, стал возможен конвективный теплоперенос от внутреннего ядра к мантии, и увеличение радиуса Земли пошло значительно быстрее. В статье сделаны количественные оценки изменения параметров Земли (радиус планеты, радиусы внутреннего и внешнего ядра, температура, химический состав, плотность и др.) на разных стадиях ее эволюции. Идея расширения Земли получила косвенное подтверждение в результате экспериментов по изучению гравитационного поля Луны (миссия GRAIL), которые показали, что Луна расширялась на раннем этапе ее эволюции. Оценки величины и времени расширения Луны, следующие из нашей модели, совпадают с данными, полученными при выполнении миссии GRAIL. Наша модель позволяет оценить количество воды, выделившейся на Земле и на Луне при кристаллизации мантии.

Ключевые слова: горячая расширяющаяся Земля, миссия GRAIL, расширение Луны.

MODEL OF THE HOT EXPANDING EARTH

V. V. Kuznetsov

Model of the Hot Expanding Earth is proposed. The Earth expansion is confirmed by a fact that continents movement traceable by paleomagnetic data is theoretically possible only on its (Earth) increasing surface. According to the model the planet substance (mainly hydrogen, water and oxide of silicon) in the moment of its formation was in the state of hot overcondensed vapor occupied the volume equal to the outer core volume. Two exothermal constitutional changes such as condensation and crystallization participated directly in the planet evolution. The hot Earth cooled after formation. At the early stage of the Earth evolution the process of mantle matter crystallization had determined the cooling rate of the planet substance and the expansion was slow. When the thickness of the outer core liquid layer has become sufficient for origination of the outer core convection, the conventional heat interchange from the inner core to mantle became possible, and the Earth radius increasing went much faster. The article contains quantitative estimations of the Earth parameters changes (planet radius, radiuses of inner and outer core, temperature, chemical composition, density, etc.) at various stages of its evolution. The concept of the Expanding Earth received an indirect confirmation as a result of experiments on the Moon gravity field research (GRAIL mission). These experiments showed that the Moon expanded at the early stage of its evolution. Estimations of magnitude and the Moon expansion time ensuing from the author model coincide with data obtained by carrying out the GRAIL mission. The author model enables researchers to evaluate the quality of water exuded on the Earth and the Moon during the mantle crystallization.

Keywords: Hot Expanding Earth, GRAIL mission, Moon expanding.

Разрабатываемая автором в течение 30 лет (первые публикации в 1983–1984 гг.) [3, 4] модель горячей расширяющейся (пульсирующей) Земли является альтернативой общепринятым в наше время моделям: тектоники плит, с одной стороны, и геодинамо (генерации геомагнитного поля в жидком железном ядре) – с другой. Принципиальное отличие состоит в том, что модель горячей Земли предлагает очевидный и физически прозрачный источник внутренней энергии планеты и спутника. Этот источник обеспечивает энергией тепловой поток, движение материков, сейсмичность и вулканизм, а также геомагнитное поле. Суть его в следующем.

Образование планет и их спутников происходит в едином механизме рождения звезды

и по единому для всех механизму быстрого гравитационного сжатия. Вещество солнечного состава сжимается и нагревается до тех пор, пока гравитационное сжатие не уравновесится внутренним газокинетическим давлением. Часть вещества переходит в пар, часть – в расплав. Все зависит от исходной массы вещества. Вещество, находящееся в газообразном (парообразном) состоянии, охлаждаясь и релаксируя, конденсируется и превращается в расплав. При этом выделяется теплота фазового перехода конденсации U_1 (например, для SiO_2 $U_1 \approx 15$ кДж/г – примерно такая же, как для бурого угля). Далее расплав кристаллизуется, выделяя при этом теплоту плавления (кристаллизации) U_2 (например, для SiO_2 $U_2 \approx 1$ кДж/г).

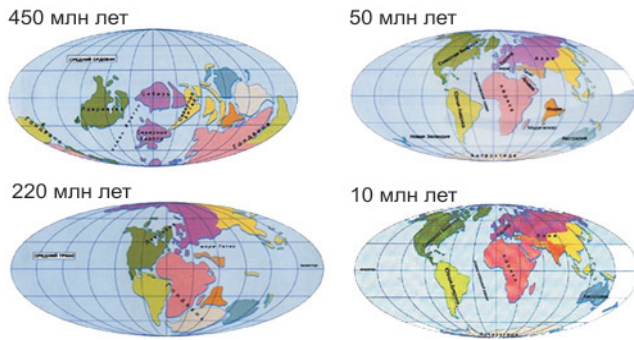


Рис. 1. Общепринятое представление о дрейфе материков (из школьного учебника)

Вещество в газообразном состоянии может быть сжато до более высокой плотности, чем плотность вещества в конденсированном состоянии. При релаксации горячего вещества планета расширяется. Так как за счет выделившегося при конденсации тепла вещество нагревается и режим конденсации может измениться на режим испарения, расширение планет имеет пульсирующий характер, т. е. режим сжатия меняется на режим расширения. Процессы испарения и конденсации внутри Земли происходят на границе внутреннего G-ядра, конкретнее – в промежуточном F-слое. Именно в этом слое находится источник внутренней энергии Земли. Само G-ядро – это своеобразное хранилище «топлива» Земли (так сказать, ее «бензобак»)¹.

На материках Земли сохранилось огромное количество «следов», однозначно указывающих на то, что земная кора ранее расширялась: дайки, плюмы, траппы и т. п. Судя по геодезическим данным [3], в настоящее время Земля переживает период сжатия, который вскоре сменится на период расширения.

Для иллюстрации приведем два рисунка. На первом (рис. 1) показана картина дрейфа материков из школьного учебника, второй (рис. 2) демонстрирует ошибочность первого.

Р. Мезервей [12] показал, что только на расширяющейся Земле возможна согласованность между современной топологией материков и океанов и палеомагнитными данными, такими как дрейф магнитных полюсов и полосовые магнитные аномалии в океанах (см. рис. 2). Например, положения виртуальных геомагнитных полюсов, оцененные на различных материках для одного и того же периода эволюции, не совпадают друг с другом. Объединение материков в Гондвану невозможно на поверхности земного шара, радиус которого равен современному.

Р. Мезервей обратил внимание на то, что по палеомагнитным данным материка, расположен-

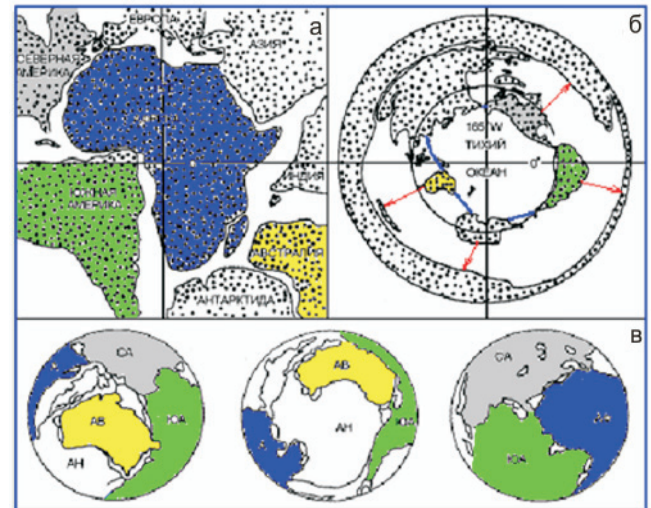


Рис. 2. Предполагаемое первоначальное расположение материков (а); экваториальная проекция периметра Тихого океана и направления дрейфа материков, необходимые для получения исходной картины [12] (б), расположение материков на шаре с радиусом внешнего ядра (в)

ные по берегам Тихого океана, не могли 200 млн лет тому назад находиться друг от друга на расстояниях, больших, чем в настоящее время (см. рис. 2). Для того чтобы образовать Гондвану (см. рис. 2, а), этим материкам пришлось бы двигаться вдоль по направлениям, показанным на рис. 2, б, увеличив примерно вдвое площадь поверхности Тихого океана, что противоречит палеореконструкциям океана. Как показано многими авторами [1, 3, 4, 6, 10, 13, 20], материки можно приложить один к другому практически без зазоров на шаре радиусом, равным радиусу внешнего ядра Земли (см. рис. 2, в). Чтобы убедительно доказать это, доктор Фогель изготовил прозрачный глобус, внутри которого на шаре с радиусом внешнего ядра располагались те же самые материки, что и на современном глобусе [20]. Глобус Фогеля демонстрирует, как изменялось положение материков за время от образования Земли до наших дней.

Известно огромное количество примеров, демонстрирующих расширение Земли, но геологами они, как правило, в рассмотрение не принимаются. Возможно, ситуация изменится после того, как научное сообщество познакомится с фактом расширения Луны, обнаруженным во время миссии GRAIL?

Миссии NASA GRAIL (2012) и LCROSS (2009). Результаты наблюдений

При изучении гравитационного поля и внутреннего строения Луны по проекту GRAIL получена детальная картина лунной коры. Кора испещрена трещинами, заполненными застывшей магмой, образовавшейся при расширении Луны в ее далеком прошлом [5, 9, 16].

В экспериментах GRAIL использовались два космических аппарата-«близнеца» (назван-

¹ Оценим энергию внутреннего ядра E_G . Масса его $M_G \approx 1\%$ от массы Земли. Теплота $U_1 \approx 15$ кДж/г. Энергия $E_G = M_G U_1 \approx 6 \cdot 10^{25} \cdot 15000 = 10^{27}$ Дж, или $2,5 \cdot 10^{11}$ Мт в тротиловом эквиваленте.

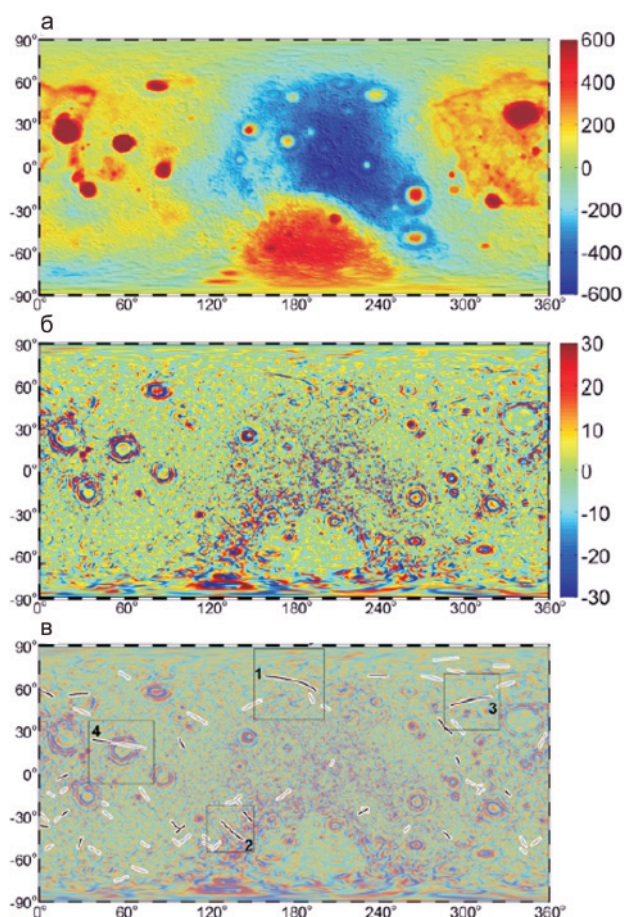


Рис. 3. Значение силы тяжести (по Буге в мГал для модели GL0420A) и плотности 2560 кг/м^3 (а); горизонтальный градиент (в Э) в диапазоне сферических гармоник 50–300 (б); карта линейных аномалий силы тяжести (в), наибольшие аномалии (1–4) – на обратной стороне Луны [5]

ные, как утверждают специалисты NASA, школьником из г. Бозмена (Монтана, США) Приливом и Отливом). Аппараты проводили измерения, вращаясь вокруг Луны на близких орбитах и находясь в ее гравитационном поле. Измерялись расстояние между аппаратами и их высоты над поверхностью Луны, которые менялись в зависимости от свойств ее поверхности и концентрации массы под ней. Как выяснилось, на Луне наблюдаются значительные гравитационные аномалии, связанные с концентрациями массы в ее литосфере.

Авторы [5] обнаружили, что Луна расширялась в течение первых 700 млн лет эволюции. Возраст аномалий определялся по известной методике подсчета количества кратеров на поверхности Луны. Полученные авторами оценки показали, что увеличение радиуса Луны находится в диапазоне $\Delta R = 0,6\text{--}4,9 \text{ км}$, причем расширение происходило на самом раннем этапе ее эволюции. Во время измерений гравитационного поля Луны на ее поверхности были обнаружены магматические интрузии, похожие на Большую Дайку в Зимбабве (Африка) [5]. Глубина лунной коры варьирует в ин-

тервале 40–60 км. Общая длина таких внедрений достигает 25 тыс. км при средней ширине около 20 км. Это дает суммарную площадь поверхности линейных зон внедрения около $5 \cdot 10^4 \text{ км}^2$, что составляет примерно 0,1 % от площади поверхности Луны (рис. 3, в).

Наша задача заключается в том, чтобы ответить на вопросы: почему, когда и как Луна расширялась? Для этого обратимся к модели горячей расширяющейся Земли, разрабатываемой автором. Однако прежде скажем несколько слов о воде на Луне.

Миссия LCROSS показала наличие льда на южном полюсе Луны [11]. Ракета NASA Centaur весом более 2 т врезалась в дно кратера Кабеус в октябре 2009 г. Следом за ней был запущен зонд LCROSS. Анализы выброшенной из кратера пыли показали, что на его дне в больших количествах содержится замерзшая вода. Авторы [11] полагают, что этот лед возник из воды, занесенной на Луну кометами. Предложим иную – эндогенную – причину появления воды на Луне. Эта причина также следует из нашей модели Земли.

Модель горячей расширяющейся Земли

Принято считать, что Земля формировалась в течение 100 млн лет [3, 4], причем оставалась всегда холодной. Эта идея была принята учеными после того, как выяснилось, что толщина мантии около 3000 км, и, если бы Земля была изначально расплавлена, то мантия не успела бы кристаллизироваться на такую глубину за время эволюции Земли (4,5 млрд лет). Поэтому в дальнейшем решение проблемы эволюции Земли на стадии образования осуществлялось в рамках холодной модели.

Количественные оценки делались, исходя из энергетических соображений. Гравитационная энергия Земли

$$E = \frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} = 2,25 \cdot 10^{32} \text{ Дж}$$

(здесь G – гравитационная постоянная, M – масса Земли, R – ее радиус). Гравитационная энергия планеты показывает, сколько нужно затратить энергии, чтобы распылить вещество планеты на большие расстояния. Иными словами, это энергия аккреции, т. е. количество энергии, выделившееся при образовании планеты. Для того чтобы при этом Земля не нагрелась и ее поверхность имела температуру порядка современной ($T = 300 \text{ К}$), эта энергия должна быть сброшена в космос за счет радиационного излучения. Тогда время образования Земли можно оценить из закона Стефана – Больцмана:

$$E = \sigma S t_0 T^4,$$

где σ – постоянная Стефана, S – площадь поверхности Земли, t_0 – время ее формирования.



Получается, что t_0 составляет несколько десятков миллионов лет (сторонниками теории О. Ю. Шмидта принято значение 100 млн лет).

Но столь продолжительного времени для сброса энергии во время формирования у планеты Земля могло и не быть. Если этот период был короче, то Земля должна была нагреваться, причем существенно. Максимально возможную температуру получим, разделив энергию E на теплоемкость вещества Земли $c_p = 820$ Дж/кг·К ($c_p = 0,3$ кал/г·град) и ее массу. Получаем, что температура земного вещества может достичь очень большого значения – порядка 30000 К.

Известны ли еще какие-либо оценки времени образования планет во Вселенной? Да, например, авторы [8], зная возраст звезды (100000 лет), пытались обнаружить в ее окрестности планетезимали и оценить их размеры. В частности, они сообщают: «Результаты исследований спектров пропускания галактического электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн при просвечивании допланетного диска (circumstellar disks in the Orion nebula) показали, что планетезимали в диске отсутствуют, а планеты в диске уже образовались. Возраст этого диска не превышает 100000 лет» [8]. Таким образом, столь короткий (в сравнении с t_0) период образования планет (в том числе Земли) в принципе возможен.

Отсюда вывод: **если истинное время формирования Земли $t < t_0$, то Земля должна быть в этот период горячей, если нет – холодной.** Постараемся подтвердить тезис в пользу горячей модели более детальными расчетами.

Удельная гравитационная энергия Земли $E^* = GM/R \approx 30$ кДж/г. Предположим, что Земля состоит в основном из окиси кремния (SiO_2). В этом случае теплота фазового перехода (ФП) U SiO_2 для испарения U_1 не превышает 15 кДж/г, а для плавления $U_2 \approx 1$ кДж/г. Применим критерий Зельдовича [2], согласно которому, если в вещество «закачана» удельная энергия в две теплоты испарения ($E^* = 2U_1$), то вещество полностью испарится (критерий полного испарения). Наши оценки показывают, что вещество Земли при быстром его самосжатии за счет самогравитации в процессе образования планеты прошло стадию полного испарения. В процессе сжатия температура вещества Земли возрастала, при этом росло и внутреннее газокINETическое давление вещества в состоянии пара. Когда газокINETическое давление уравновесило давление гравитации (критерий Джинса), сжатие Земли остановилось. Ориентировочные оценки величины радиуса Земли R_0 в момент остановки сжатия показывают его равным 3–4 тыс. км, что примерно в 2 раза меньше современного.

Обратим внимание на такую интересную деталь. Предположим, что начальный радиус Земли R_0 составлял 3,5 тыс. км. Отметим, что ради-

ус внешнего ядра Земли также равен 3,5 тыс. км, а площадь поверхности внешнего ядра практически равна суммарной площади материков. Как мы уже отмечали, континенты хорошо совмещаются друг с другом на шаре радиусом, равным радиусу внешнего ядра (см. рис. 2, в). Это обстоятельство, по-видимому, можно истолковать в пользу того, что первоначальный размер Земли был равен размеру ее внешнего ядра, а материки полностью занимали всю ее поверхность. Учтем и то, что материки по своему составу отличаются от океанической коры: они сложены в основном гранитом, а океаническая кора – базальтом.

Разделив массу Земли на объем внешнего ядра, получим значение начальной плотности вещества Земли (ρ_0), которая могла достигать 35 г/см³. Так как начальный радиус Земли был примерно в 2 раза меньше современного, то и начальная температура вещества T_0 должна быть тоже вдвое больше, чем оцененная нами ранее величина $T = 30000$ К. Давление в центре Земли (nkT , где n – концентрация частиц, k – постоянная Больцмана) тоже должно быть тоже больше современного примерно в 10–15 раз. Это связано с тем, что величина n раньше была значительно больше, чем сейчас, поскольку молекулярный (атомный) вес μ вещества Земли за счет присутствия огромного количества водорода, потерянного Землей в ходе эволюции, был меньше современного.

После образования Земля эволюционировала в течение последующих 4,5 млрд лет, при этом изменялись значения ее основных параметров: радиуса, температуры в центре и на поверхности, плотности и химического состава вещества внутреннего ядра, а также тепловой поток, гравитационное и магнитное поля и т. д.

Может возникнуть вопрос: насколько правдоподобна наша оценка исходной плотности планеты? До недавнего времени ответа на него не имелось. Однако совсем недавно была обнаружена планета CoRoT-Exo-3b, обладающая веществом очень высокой плотности: предварительная оценка дала результат 45 г/см³, а окончательная (около 30 г/см³) приведена в публикации [17]. Естественно, что такой большой плотностью обладали планеты земного типа на самой ранней стадии их эволюции.

Оценим величину молекулярного веса вещества внутреннего ядра Земли. Величину T/μ вещества внутреннего ядра можно получить из равенства $nkT = \rho g R = 3,5 \cdot 10^{12}$ дин/см² (где $\rho g R$ – давление в центре Земли; T в 10^4 К, $n = \rho_G/\mu m$ – концентрация вещества; ρ_G – плотность вещества G-ядра; m – масса протона; k – постоянная Больцмана; ρ – средняя плотность Земли; g – сила тяжести; R – современный радиус Земли). В итоге $T/\mu \approx 1/3$.

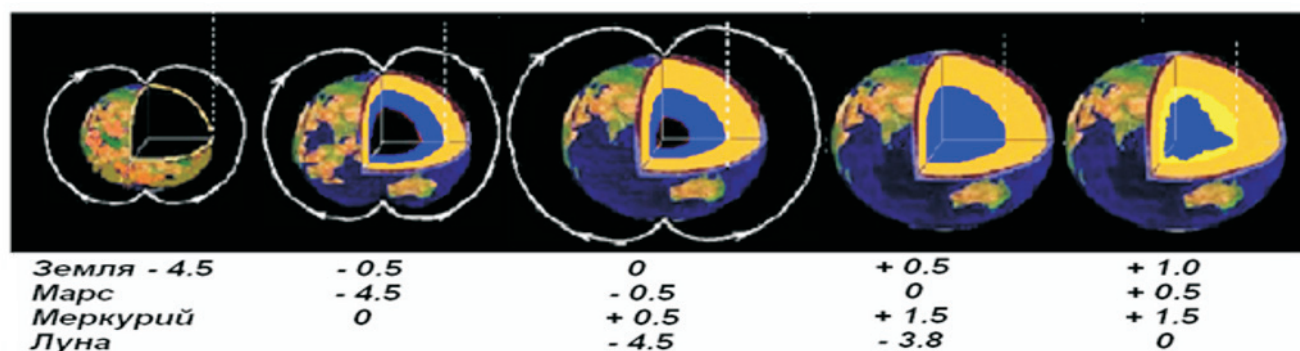


Рис. 4. Внутреннее строение Земли, Марса, Меркурия и Луны на различных этапах их эволюции. Силовые линии магнитного поля показывают этапы, на которых поле на планетах существовало; цифры – возраст планеты в млрд лет. Внутреннее ядро – черное, внешнее – синее, мантия – желтая

Принимая $T = 3 \cdot 10^4$ К, получаем $\mu = 3T \approx 10$. Заметим, что в этом случае значение молекулярного (атомного) веса вещества Земли показывает, что в ее составе значительное место принадлежит водороду.

Согласно нашей модели Земля, планеты земного типа (Венера, Марс и Меркурий) и большие спутники (Луна, Ганимед и пр.) образовались и эволюционировали по одному сценарию (рис. 4). Наличие магнитного поля было обусловлено присутствием в их недрах горячего сжатого вещества, являющегося внутренним источником энергии планеты. В отношении Венеры остаются сомнения, так как до сих пор не выяснено, имеет ли она магнитное поле. Этот вопрос представляет особый интерес в плане построения модели генерации магнитного поля планет и спутников.

Можно ли найти подтверждение в природе принятым нами величинам теплоты плавления U_2 и теплоты конденсации (испарения) U_1 ? Постараемся это сделать, используя данные о планетах и спутниках Солнечной системы (см. рис. 4). Наименьшее космическое тело, обладающее шарообразной формой, – Европа, наибольшее тело, не имеющее такой формы, – Титания. Их массы различаются примерно в 10 раз, а размеры – всего в 3 раза. Спутник принимает форму шара в том случае, когда его удельная энергия равна теплоте плавления. Такое тело должно иметь примерные массу $M \approx 2 \cdot 10^{25}$ г и радиус $R \approx 10^8$ см, тогда $GM/R = 1$ кДж/г. Еще раз напомним, что, согласно нашей модели, Земля в момент образования полностью прошла газообразную стадию, так как $GM/R = 2U_1$.

Используя этот подход, космические тела Солнечной системы можно разделить на три класса (рис. 5). К первому отнесем те, у которых $GM/R < U_2$, ко второму – $U_2 < GM/R < U_1$, к третьему – $GM/R > 2U_1$. Таким образом, к первому классу относятся малые спутники и астероиды, ко второму – большие спутники и маленькие (меньше Венеры) планеты и к третьему – планеты с массой больше, чем у Венеры. Вещество планет третьего класса к моменту их образования полностью

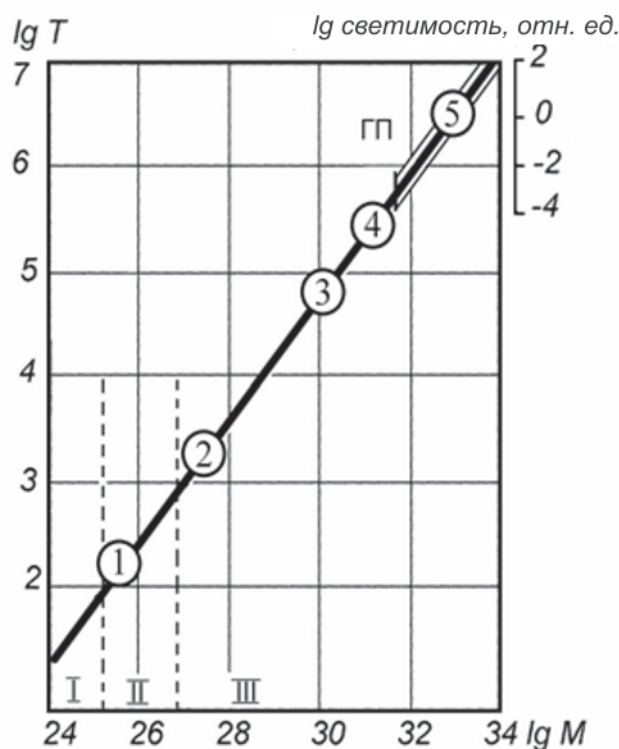


Рис. 5. Температура T образования звезд и планет: Солнца (5), коричневого карлика (4), Юпитера (3), Земли (2) и Луны (1) как функция их массы M . Справа сверху – зависимость светимости звезд Главной Последовательности (ГП, отн. ед.) от их массы. В Солнечной системе можно выделить объекты I, II и III классов

прошло газообразную стадию, тогда как объекты первого класса при образовании не прошли стадии полного плавления. Объекты второго класса были полностью расплавлены, а часть их вещества находилась в газообразном состоянии. Заметим, что объекты второго класса имели магнитное поле в прошлом (кроме Меркурия, обладающего дипольным магнитным полем в настоящее время), объекты третьего класса имеют его в настоящем. (Вопрос о магнитном поле Венеры остается открытым.)

После образования горячая Земля охлаждалась. На первом этапе остывала и кристаллизовалась ее внешняя оболочка – прообраз земной материковой гранитной коры. Вещество Протозем-

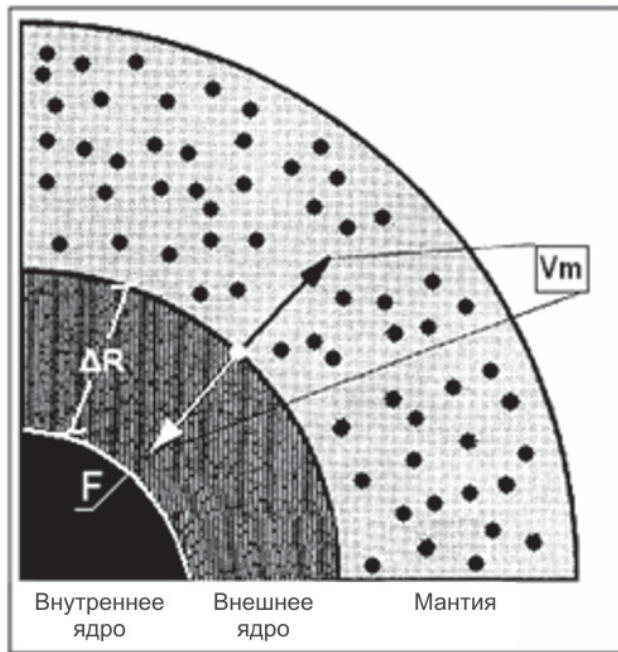


Рис. 6. Направления переноса вещества Земли со скоростью v_m : при конденсации вещества ядра – вниз к центру, при кристаллизации конденсата – вверх

ли, находящееся после образования в газообразном (плазменном) и в то же время сверхплотном состоянии (астрофизической плазмы [19], супер-ионном [15]), конденсировалось, образуя вещество внешнего ядра (рис. 6, стрелка вниз, толщина ядра ΔR), и затем кристаллизовалось, образуя мантию (см. рис. 6, стрелка вверх). Таким образом, в эволюции планеты непосредственное участие принимали два экзотермических ФП: конденсация и кристаллизация.

На самом раннем этапе эволюции Земли скорость охлаждения ее вещества определялась процессом кристаллизации, путем кондуктивного теплопереноса. Его скорость определялась скоростью (коэффициентом) температуропроводности $\zeta = \lambda/\rho c_p$, где ρ – плотность, λ – коэффициент теплопроводности. Поначалу увеличение толщины внешнего ядра и наращивание мантии происходило очень медленно: $l \sim (\zeta t)^{1/2}$, где t – время

эволюции (рис. 7, а). Так продолжалось до тех пор, пока толщина ядра l не стала достаточной для того, чтобы во внешнем ядре возникла конвекция ($l \geq l^*$) и сброс температуры стал поддерживаться конвективным теплопереносом, более эффективным, чем кондуктивный. Известно, что конвекция в слое толщиной l между двумя плоскостями, поддерживаемыми при постоянном перепаде температуры ΔT , возникает при числе Релея $Ra > 1710$:

$$Ra = \frac{g l^3 \beta T}{\nu \zeta}$$

Подстановка характерных для вещества Земли значений ускорения силы тяжести g , коэффициента объемного расширения β , кинематической вязкости ν и коэффициента температуропроводности ζ для $\Delta T = 10^4$ К дает $l^* \approx 300$ км (см. рис. 7, а).

В работе [7] показано, что для больших чисел Релея произведение чисел Рейнольдса $Re = (\nu k l)/\nu$ и Прандтля $Pr = \nu/\zeta$ пропорционально корню квадратному из числа Релея, $Re Pr \sim Ra^{1/2}$. В свою очередь, число Релея $Ra \sim \beta^3$. Подставляя в формулы для чисел Рейнольдса и Прандтля составляющие их величины и используя $Re Pr \sim Ra^{1/2}$, получаем зависимость между размером слоя l , скоростью конвекции v_k ($v_k = l/t$) и характерным временем процесса t : $v_k l \sim \beta^{3/2}$, или $l^2/t \sim \beta^{3/2}$. Заменяя l на ΔR , получаем зависимость $\Delta R \sim t^2$ в отличие от $\Delta R \sim t^{1/2}$ в начале процесса эволюции Земли (см. рис. 7, а).

На рис. 7, б показано изменение параметров Земли: радиуса (R), силы тяжести (g), средней плотности вещества Земли (ρ) и массы океанов (M) в течение периода интенсивного расширения, когда (по модели) $R \sim t^2$.

Сравним полученную нами зависимость $\Delta R \sim t^2$ (или $R \sim t^2$, где R – радиус Земли) с хорошо известным в тектонике плит эмпирическим соотношением между глубиной астеносферы в зоне спрединга h и расстоянием до центра срединно-океанического хребта, оцененного в годах: $h \sim t^{1/2}$. Здесь h – глубина астеносферы, км; t –

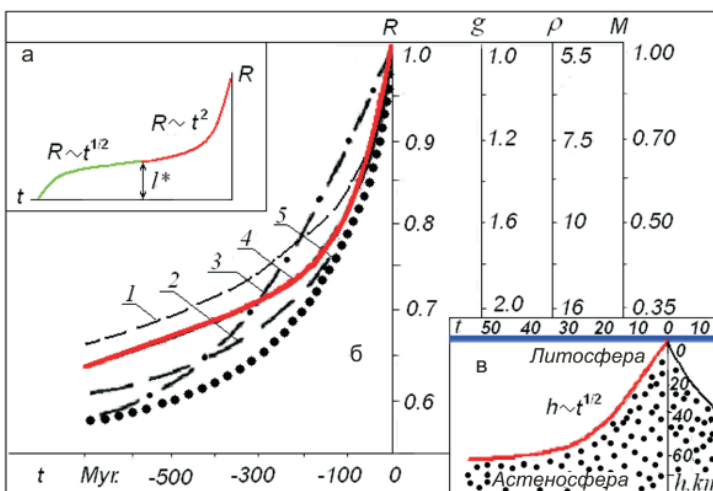


Рис. 7. Зависимость параметров Земли от времени эволюции t [4]: а – $R(t)$ в течение всего периода эволюции, точка – конец эволюции Луны; б – $R(t)$, $g(t)$, $\rho(t)$ за последние 500 млн лет: по данным: 1 – Кэри [6], 2 – Хильденберга [10], 3 – Оуэна [13], 4 – нашей модели [4]; 5 – увеличение массы океанов $M(t)$; в – толщина литосферы h (км) от расстояния до оси рифта (t в млн лет)



время, млн лет, отсчитанное назад от современного (см. рис. 7, в).

Обратим внимание на то, что в нашей модели (см. рис. 7, б, в) приращение радиуса Земли R и глубина астеносферы h направлены в противоположные стороны (относительно радиуса Земли). Точно так же время увеличения радиуса – положительно, а время спрединга (на рис. 7, в) – отрицательно. Функции $R \sim t^2$ и $h \sim t^{1/2}$ являются однозначно обратными¹ и симметричными относительно: $\Delta R \sim t_R$ или $h \sim t_h$ (что одно и то же). Действительно, $\Delta R = -h$, а $t_R = -t_h$.

Подставляя наши оценки увеличения радиуса ($\Delta R \sim t^2$), приведенные на рис. 7, б, в зависимость увеличения глубины астеносферы ($h \sim t^{1/2}$), приведенную на рис. 7, в, получим ориентировочно $h \sim 100t^{1/2}$ для $t < 500$ млн лет. Таким образом, известная зависимость изменения толщины астеносферной зоны от времени эволюции является (в нашей модели) ничем иным, как скоростью расширения Земли. Если суммировать все коэффициенты, стоящие перед $t^{1/2}$ в формуле $h \sim t^{1/2}$, для различных зон спрединга во всех океанических хребтах и учесть такой коэффициент в зоне Байкала и других разломов, то действительно получается цифра, близкая к 100.

По модели вещество мантии образовалось при разуплотнении вещества внешнего ядра (см. рис. 6): $(R_3^3 - R_E^3)\rho_M = (R_E^3 - R_G^3)\Delta\rho$, отсюда разуплотнение:

$$\Delta\rho = \rho_M \frac{(R_3^3 - R_E^3)}{(R_E^3 - R_G^3)} \approx 5\rho_M = 20 \text{ г/см}^3.$$

Здесь R_3 , R_E , R_G – радиусы Земли, внешнего Е-ядра и внутреннего G-ядра; ρ_M – средняя плотность вещества мантии.

Согласно нашей модели, начальная плотность вещества Земли могла достигать 35 г/см^3 , а молекулярный вес μ был около 10. Принципиально для нашей модели то, что ядро и мантия состоят из одинакового вещества, скорее всего $\text{SiO}_2 + \text{H}_2$. Иллюстрируем сказанное рис. 8. На врезке к нему приведены расчетные данные [15] по плотности воды при давлении, близком к давлению в центре Земли (360 ГПа). Плотность H_2O при давлении 300 ГПа оказывается примерно 4 г/см^3 . В логарифмическом масштабе зависимость, приведенная на врезке к рис. 8, – прямая линия. Аналогичные зависимости для H_2 и SiO_2 , полученные по методике [15], приведены на рис. 8, из которого следует, что плотность SiO_2 достигает современной плотности внутреннего ядра ($\approx 13 \text{ г/см}^3$) при давлении 360 ГПа (линия 1 на

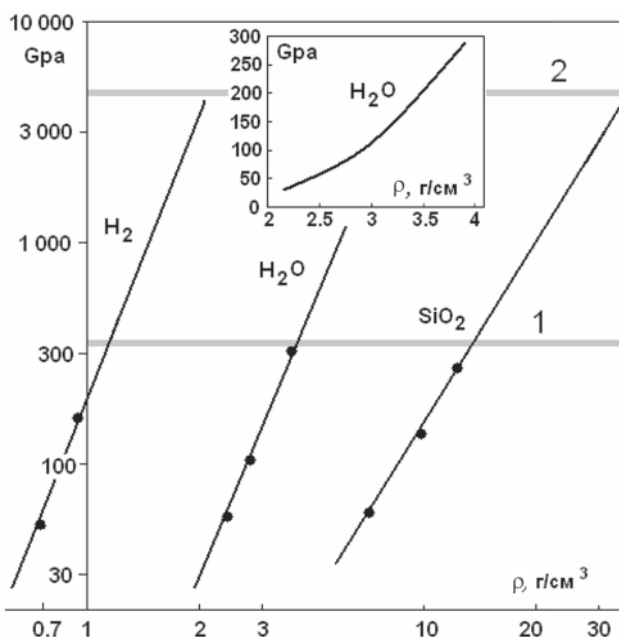


Рис. 8. Зависимость «плотность – давление» для водорода, воды [15] и окиси кремния

рис. 8). Согласно нашей модели [4], начальное давление в центре Земли могло быть в 10–15 раз выше современного (линия 2 на рис. 8). В этом случае начальная плотность SiO_2 могла достигать 35 г/см^3 .

Из статистической физики известно, что давление вещества в сверхсжатом состоянии $p \sim \rho^2$.

Отсюда следует, что плотность внутреннего ядра должна уменьшаться (примерно в 3 раза) в течение эволюции Земли по мере уменьшения давления (примерно в 10 раз) и достигнуть к настоящему времени общепринятых значений.

Как видно из рис. 7, б, общий характер зависимости $\Delta R \sim t^2$, однако на последнем участке кривой (≈ 5 млн лет) можно принять $\Delta R \sim t$. В течение

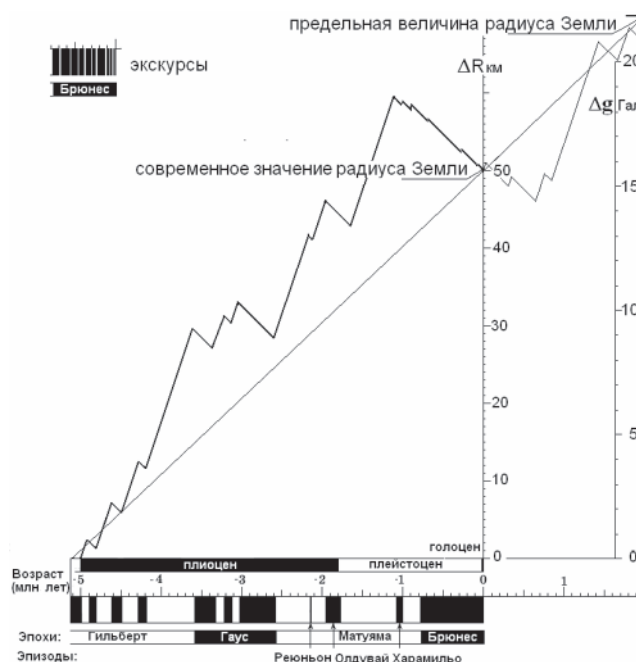


Рис. 9. Возможный (следующий из горячей модели) ход изменения радиуса Земли

¹ Обратная функция: если из соотношения $y = f(x)$ вытекает соотношение $x = \phi(y)$, то функция $\phi(y)$ называется обратной относительно функции $f(x)$. Например, для функции $y = x^2$ обратной является функция $x = \pm\sqrt{y}$.



последних 5 млн лет ΔR увеличился примерно на 50 км. Средняя скорость расширения Земли около 1 см/год. Очевидно, что пока существует внутреннее ядро, радиус Земли еще будет возрастать, но насколько?

На сколько возрастет радиус Земли, можно оценить из баланса массы: «излишек» массы внутреннего ядра $4\pi/3R_c^3\Delta\rho = \Delta RSp$, где $\Delta\rho \approx \rho$, $\Delta\rho$ – «излишек» плотности, ρ – средняя плотность вещества Земли, S – площадь ее поверхности. Увеличение радиуса ΔR оказывается в пределах 20–30 км. Отсюда следует важная для земных оценка: вполне возможно, что оставшееся время существования на Земле геомагнитного поля составит примерно 2–3 млн лет. В течение этого времени на Земле произойдут одна-две инверсии геомагнитного поля и несколько его экскурсов (рис. 9).

Оценка увеличения радиуса Луны и количества воды на Луне

Модель горячей расширяющейся Земли [3, 4] распространяется и на другие планеты и большие спутники, в том числе и на Луну. Модель позволяет оценить, насколько увеличился радиус планеты и спутника. В связи с этим сравним параметры процесса расширения Луны, следующие из нашей модели, с аналогичными оценками, полученными авторами [5].

Будем считать, что расширение Луны происходило по тому же сценарию, что и расширение Земли на первом этапе ее эволюции, и зависимость $\Delta R \sim t^{1/2}$ имеет силу. Плотное газообразное вещество конденсировалось. При этом образующееся жидкое магматическое вещество нормальной плотности частично внедрялось в лунную кору в виде даек и интрузий, а частично формировало жидкую прослойку, аналогичную земному внешнему ядру. Создающееся в процессе конденсации дополнительное давление приводило к механическому растяжению и растрескиванию лунной коры, иначе, к расширению радиуса Луны. Эволюция Луны закончилась примерно в то время (точка на рис. 7, а), когда расширение на Земле описывалось зависимостью $\Delta R \sim t^{1/2}$.

В принципе, следует отметить, что эволюция Земли отличается от эволюции Луны степенью проявления приливных эффектов. Луна под воздействием приливного действия Земли синхронизовала период своего осевого вращения с периодом орбитального движения. На Земле такой эффект не особенно заметен. На Меркурии оказывают влияние солнечные приливы. Скорость релаксации горячего вещества на Меркурии значительно меньше, чем на Луне и Марсе. Вероятно, благодаря этому эффекту Меркурий еще сохранил свое дипольное магнитное поле.

Оценим величину расширения радиуса Луны. Удельная гравитационная энергия Луны

$e^* = \frac{1}{2} GM/R = 1,4$ кДж/г. Как мы уже отмечали, теплота ФП $U_2 \approx 1$ кДж/г (плавление), $U_1 \approx 15$ кДж/г (испарение).

Это означает, что на плавление вещества Луны был потрачен 1 кДж/г, а остальные 0,4 кДж/г – на испарение части ее вещества. Эта часть гравитационной энергии Луны составляет $0,4/15 \approx 3\%$ от массы Луны, а с учетом критерия Зельдовича ($2U_1$) получаем в 2 раза меньшую величину – 1,5 % от массы Луны. Для оценок примем 1,0 %.

Масса Луны $7,3 \cdot 10^{25}$ г, следовательно, испарившаяся масса $\Delta M \approx 7 \cdot 10^{23}$ г. При плотности вещества Луны $3,5$ г/см³ объем $\Delta V \approx 2 \cdot 10^{23}$ см³. Поверхность Луны $S = 38 \cdot 10^6$ км² $\approx 4 \cdot 10^{17}$ см², увеличение радиуса Луны $\Delta R = \Delta V/S = 2 \cdot 10^{23}/4 \cdot 10^{17} \approx 5$ км. Таким образом, полученная нами оценка расширения Луны соответствует значению увеличения ее радиуса, определенному во время выполнения программы GRAIL [5].

Согласно нашей модели, на Земле испарившаяся масса вещества при кристаллизации выделяет воду. Этот процесс является составной частью процесса кристаллизации мантии. Обозначим через k отношение массы океанов к массе мантии. Коэффициент $k = 3,5 \cdot 10^{-4}$ (0,035 %) показывает ту часть магматического материала, которая отводится воде на Земле [3, 4]. Совсем недавно величина k была проверена на базальтах, доставленных с Луны на Землю во время американской лунной миссии Apollo-15. Авторы [18] определили, что в лунных базальтах вода составляет примерно 320 ppm ($320 \cdot 10^{-6}$) или 0,03%, что совпадает с принятой нами величиной k .

Итак, мы имеем все основания оценить массу воды на Луне, умножив массу базальтов на коэффициент k . Масса лунной воды оказывается приблизительно $2,5 \cdot 10^{20}$ г. Если этой водой залить ровную поверхность Луны, то толщина слоя будет равна примерно 5 м. Заметим, что эта вода на Луне должна быть такой же, как и в земных океанах, – соленой.

Как же могло происходить расширение Луны? Обратимся к схеме ее внутреннего устройства. Луна состоит из нескольких оболочек. Радиус внутреннего ядра составляет 240 км. Предположим, что вещество Луны, находящееся в газообразном состоянии, занимало объем, соответствующий именно такому радиусу. Отсюда следует, что плотность вещества плотного газообразного ядра могла достигать 12 г/см³. В настоящее время плотность вещества этого ядра равна примерно 4 г/см³. Разность плотностей газообразного и конденсированного веществ Луны достигала 8 г/см³. На Земле это различие на начальном этапе эволюции было примерно 25 г/см³ и определялось как разность между начальной плотностью вещества Земли 35 г/см³ и плотностью вещества внешнего ядра 10 г/см³.



Вещество Луны, находящееся в состоянии плотного газа (астрофизической плазмы, или суперионного состояния) релаксировало с выделением энергии ФП (конденсация) около $15 \text{ кДж/г} \cdot 7 \cdot 10^{23} \text{ г} = 10^{25} \text{ кДж}$, или 10^{35} эрг , т. е. на четыре порядка меньше, чем на Земле.

Время релаксации энергии фазового перехода на Луне, согласно модели, должно быть равно времени существования магнитного поля на Луне – примерно 700 млн лет. **Согласно нашей модели генерации геомагнитного поля по истечении времени релаксации плотного вещества внутреннего ядра магнитное поле на Земле исчезнет, поскольку геодинамические процессы, как и тепловой поток Земли обязаны своей энергией функционированию фазового перехода конденсации.**

Как было показано при выполнении миссии GRAIL, расширение Луны происходило в течение первых 700 млн лет эволюции (отмечено точкой на графике на рис. 7, а). Иначе говоря, это время точно соответствует периоду существования магнитного поля Луны. В этот период на Луне был значительно больший тепловой поток, происходили извержения вулканов, землетрясения, излияние траппов и образование интрузий. Эти явления, с одной стороны, были следствием расширения, а с другой – механизмом расширения лунной коры. В настоящее время тепловой поток на Луне поддерживается не столько радиоактивностью, сколько теплотой ФП кристаллизации, и его величина меньше земного примерно в U_1/U_2 раз. Тектоническая активность Луны в течение первых 700 млн лет, вытекающая из нашей модели, подтверждена в работе [5], в которой оценка времени эволюции производилась по количеству кратеров на единицу поверхности.

Авторы [5] полагали, что расширение Луны на раннем этапе эволюции можно объяснить при использовании некоторых тепловых моделей. Оценим принципиальную возможность расширения Луны за счет ее нагревания. Примем, что радиус Луны увеличился примерно на 3,4 км, тогда при $R \approx 1700 \text{ км}$ отношение $\Delta R/R = 2 \cdot 10^{-3}$. Известно, что отношение объемов $\Delta V/V$ в 3 раза больше, чем отношение радиусов, тогда $\Delta V/V = 6 \cdot 10^{-3}$. Мы ранее приняли, что Луна состоит из окиси кремния, коэффициент объемного расширения которого $\beta = \Delta V/V T = 5 \cdot 10^{-7} \text{ (K}^{-1}\text{)}$, где T – температура.

Отсюда следует, что для увеличения радиуса Луны на 3,4 км ее вещество должно быть нагрето до $T \approx 10^4 \text{ К}$, что нереально, если учесть, что гравитационная энергия Луны, деленная на величину теплоемкости, определяет среднюю начальную температуру вещества Луны в 6 раз меньшую, т. е. $T \approx 1,5 \cdot 10^3 \text{ К}$. Эта оценка означает, что радиус Луны не мог увеличиться за счет нагрева ее вещества.

Результаты работ [5, 9, 16] являются в физике Земли и планет вообще революционными. Они требуют пересмотра всей теории образования планет и спутников.

Выводы

Автор развивает модель горячей расширяющейся Земли более 30 лет. За это время суть модели не изменилась, но она каждый год прирастает новыми деталями и подробностями. Например, в предлагаемой читателю статье впервые приводится оценка величины конечного радиуса Земли и времени эволюции Земли до потери ею источника внутренней энергии и, следовательно, до исчезновения геомагнитного поля. Наша модель позволяет не только построить принципиально новую модель генерации геомагнитного поля, но и разработать физически непротиворечивую модель образования месторождений полезных ископаемых и т. п. Особенность этой статьи – ссылка на эксперимент по изучению гравитационного поля Луны (миссия GRAIL). В результате миссии GRAIL экспериментально доказан факт расширения Луны, получены количественные оценки расширения, зафиксировано увеличение радиуса на 5 км.

Полученная при экспериментах оценка совпадает по оценкой расширения Луны, следующей из модели горячей расширяющейся Земли, что является прямым подтверждением правильности модели горячей Земли.

Этот факт, на наш взгляд, доказывает, что разработанную автором модель горячей расширяющейся Земли можно в перспективе признать теорией, которая, вероятно, послужит основанием для построения теории Земли и планет и последующего создания науки, называемой **геономией**.

Замечание

По ходу чтения этой статьи у читателя может возникнуть вопрос, почему в модели принято считать, что Земля состоит в основном из SiO_2 . Суть нашей модели заключается в предположении того, что в момент образования планета состояла

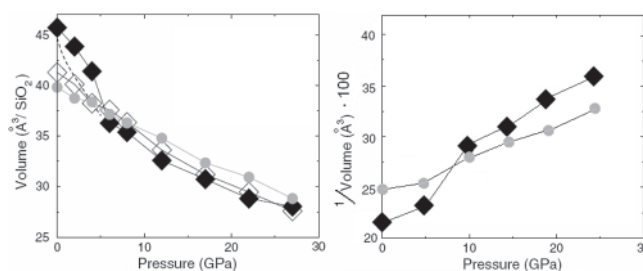


Рис. 10. Уравнения состояния кварца и жидкого SiO_2 при 3500 К. Ромбы (темные и светлые) – жидкость, серые круги – кварц. Пунктирная линия: уравнение состояния жидкости при 2000 К [14] – слева. Справа – обратная величина объема (плотность в отн. ед.), обозначения те же



из одного материала, входящего в состав Солнца. Изначального разделения на слои не было, оно возникло в ходе эволюции. Поэтому железо из модели исключено, хотя его роль на Земле очевидна, но не настолько принципиальна, как принято считать. Наиболее подходящим веществом мантии является SiO_2 . Недавно было показано, что SiO_2 обладает одним уникальным свойством: она, подобно воде, имеет плотность расплава при давлении $p \geq 7$ ГПа больше, чем плотность в твердом виде (рис. 10). Это свойство SiO_2 приводит к тому, что на Земле сформировались оболочки из твердой мантии, «плавающей» на ядре, состоящем из жидкого расплава SiO_2 [20].

Благодарю редакцию журнала за благосклонное отношение к моей статье и литературного редактора за сделанные замечания, которые, несомненно, привели к улучшению статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гораи, М.** Эволюция расширяющейся Земли [Текст] / М. Гораи. – М. : Недра, 1984.
2. **Зельдович, Я. Б.** Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст] / Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. – М. : Наука, 1966. – 686 с.
3. **Кузнецов, В. В.** Введение в физику горячей Земли [Текст] / В. В. Кузнецов. – Петропавловск-Камчатский : КамГУ, 2008.
4. **Кузнецов, В. В.** Физика Земли и Солнечной системы [Текст] / В. В. Кузнецов. – Новосибирск : ИГиГ, 1984.
5. **Ancient** Igneous Intrusions and Early Expansion of the Moon Revealed by GRAIL Gravity Gradiometry [Text] / J. C. Andrews-Hanna, S. W. Asmar, J. W. Head III [et al.] // Science. – 2012. – Vol. 339. – P. 675–678.
6. **Carey, S. W.** The expanding Earth [Text] / S. W. Carey. – Amsterdam : Elsevier, 1976. – 488 p.
7. **Chandrasekhar, S.** Hydrodynamics and hydromagnetic stability [Text] / S. Chandrasekhar. – Oxford : Clarendon Press, 1961. – 654 p.
8. **Evidence** for dust grain growth in young circumstellar disks [Text] / H. B. Throop, J. Bally, L. W. Esposito, M. J. McCaughrean // Science. – 2001. – Vol. 292. – P. 1686–1689.
9. **Gravity** Field of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission Gravity [Text] / M. T. Zuber, D. E. Smith, M. M. Watkins [et al.] // Science. – 2012. – Vol. 339, N 6120. – P. 668–671.
10. **Hilgenberg, O.** Vom wachsenden Erdball [Text] / O. Hilgenberg. – Berlin : Giessmann and Bartsch, 1933. – 56 p.
11. **Lunar** Reconnaissance Orbiter (LRO): Leading NASA's Way Back to the Moon; Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS): NASA's Mission to Search for Water on the Moon // http://lunar.gsfc.nasa.gov/images/LRO_LCROSS_presskit.pdf.
12. **Meservey, R.** Topological inconsistency of continental drift on the present-sized Earth [Text] / R. Meservey // Science. – 1969. – Vol. 166. – P. 609–621.
13. **Owen, H. G.** The Earth is expanding and we don't know why [Text] / H. G. Owen // New Scientist. – 1983. – N 22. – P. 27–29.
14. **Pressure-induced** changes in liquid SiO_2 from Ab Initio Simulations [Text] / A. Trave, P. Tangney, S. Scandolo [et al.] // Phys. Res. Lett. – 2002. – Vol. 89, N 24.
15. **Superionic** and metallic states of water and ammonia at giant planet condition [Text] / C. Cavazzoni, G. L. Chiarotti, S. Scandolo [et al.] // Science. – 1999. – Vol. 283. – P. 44–46.
16. **The Crust** of the Moon as Seen by GRAIL [Text] / M. A. Wieczorek, G. A. Neumann, F. Nimmo [et al.] // Science. – 2012. – Vol. 339, N 6120.
17. **Transiting** exoplanets from the CoRoT space mission VI. CoRoT-Exo-3b: The first secure inhabitant of the brown-dwarf desert [Text] / E. W. Guenther, R. F. Diaz, J.-C. Gazzo [et al.] // Astronomy & Astrophysics. – 2009. – Vol. 506.1. – P. 287–302.
18. **Water** in lunar anorthosites and evidence for a wet early Moon [Text] / H. Hui, A. H. Peslier, Y. Zhang, C. R. Neal // Nature Geoscience. – 2013. – Vol. 6. – P. 177–180.
19. **Van Horn, H. M.** Dense astrophysical plasmas [Text] / H. M. Van Horn. – Science. – 1991. – Vol. 252. – P. 384–389.
20. **Vogel, K.** Recent crystal movements in the light of Earth expansion theory [Text] / K. Vogel // 6th International Symposium "Geodesy and Physics of the Earth". – Potsdam, 1989. – P. 284–289.

© В. В. Кузнецов, 2014

КУЗНЕЦОВ Владимир Валерьевич

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР), Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка, вед. науч. сотр., д. т. н., проф.
E-mail: ikir@academ.org, vvkuz38@mail.ru

KUZNETSOV Vladimir, DSc, prof., Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS (IKIR), Paratunka, Russia
E-mail: ikir@academ.org, vvkuz38@mail.ru