

## **ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ: ХОЛОДНАЯ ИЛИ ГОРЯЧАЯ?**

**(В продолжение дискуссии о роли космогонической гипотезы О.Ю.Шмидта)**

Кузнецов В.В.

*Кузнецов Владимир Валерьевич* – доктор технических наук, профессор.  
Институт геофизики СО РАН. Новосибирск.

Недавно на страницах ВИЕТ появились две статьи докторов наук И. А. Резанова [1] и Е. Л. Рускол [2], посвященные обсуждению вопроса о роли и влиянии на физику Земли космогонической гипотезы О.Ю.Шмидта. Оценки авторов относительно роли этой гипотезы принципиально расходятся: если И. А. Резанов приходит к твердому убеждению об её ошибочности, то Е. Л. Рускол, аспирантка О. Ю. Шмидта, придерживается противоположной точки зрения, полагая, что гипотеза Шмидта оказала огромное влияние на развитие мировой науки и не потеряла своего значения до нашего времени. Авторы, взаимно упрекая друг друга в том, что оппонент не использует данных современной астрономии, сами в этих статьях ни разу не коснулись ряда очень важных результатов, осмысление которых позволит однозначно оценить роль этой гипотезы. Это касается, например, открытия т.н. Коричневых Карликов – инфракрасных звезд, занимающих промежуточное положение по массе между Солнцем и Юпитером [3]. Они не коснулись проблемы “What is a Planet?”, которая широко обсуждалась год назад на страницах журнала Science [4] и в Internet, на сайте этого журнала [5], и практически осталась без внимания в Российских журналах.

В научном мире принято считать, что критика оппонента должна быть по возможности конструктивной, а это означает, что, критикуя гипотезу, теорию или модель, необходимо предложить альтернативу, свободную от отмеченных критикой недостатков. В предлагаемой ниже статье обсуждается принципиально новая модель «горячей» Земли, как альтернативная общепринятой модели холодной Земли. Модель горячей Земли находится в позиции, принципиально противоположной гипотезе Шмидта. Первая книга автора, в которой изложена модель горячей Земли, издана в ИГиГ СО РАН 20 лет назад [6]. Последующие публикации на эту тему, не меняя сути основной идеи, углубляли детали предложенной модели [7]. Суть модели состоит в том, что вещество Земли, в момент образования в процессе самогравитации Солнца и её планетной системы, было нагрето до температуры порядка нескольких десятков тысяч градусов. Вещество при такой температуре, находится в состоянии плотной слабоионизованной плазмы. Причем, так как это газ, он может быть сжат внешним давлением до состояния, с плотностью выше, чем

плотность конденсированного тела. В процессе эволюции Земля остывала: вещество находившееся поначалу в газообразном состоянии - конденсировалось (становилось жидким), и затем - кристаллизовалось. В результате протекания этих процессов, на Земле формировались оболочки: внутреннее ядро с первичным веществом, внешнее ядро – жидкое и мантия – в твердом состоянии. Так как плотность вещества внутреннего ядра (из которого Земля целиком состояла в момент образования) значительно выше средней плотности Земли, в процессе эволюции - Земля расширяется. Расширение Земли происходит циклично, вслед за циклом расширения следует цикл сжатия, расширение прекратится после того, как релаксирует все вещество внутреннего ядра. При этом на Земле исчезнет её магнитное поле и существенно уменьшится величина теплового потока. Все это уже произошло, например, на Луне и Марсе.

### **“What is a Planet?”**

Сегодня никто не сомневается в том, что Вселенная горячая и расширяющаяся. Однако еще совсем недавно эта идея широко обсуждалась специалистами. Звезды, объединенные в скопления и галактики, составляют значительную часть вещества Вселенной. Звезды, как известно, горячие, а планеты - принято считать холодными... Почему? Ведь достаточно чуть внимательнее присмотреться к особенностям строения Солнечной системы и сравнить ее с системами Юпитера, Сатурна, Урана: сразу видна их общность. Еще совсем недавно, после того, как космические аппараты «Пионер-Х» и «Пионер-ХI» обнаружили заметное тепловое излучение Юпитера, астрономы обсуждали вопрос: Юпитер, - это планета или звезда? [8, 9]. Однако, тем не менее, до сих пор планеты земной группы принято считать холодными, разогревающимися только за счет радиоактивного распада элементов. Правда, в самые последние годы появилось несколько работ, в которых их авторы допускали, что большие газообразные планеты - возможно горячие [10].

Представим себе, что все планеты и спутники Солнечной системы образовались одновременно с Солнцем в едином процессе. Что может измениться в этом случае в нашем представлении о внутреннем устройстве планет? Возможно, новая модель позволит найти объяснение тем моментам в физике Земли, которые встречают определенные трудности в ее холодной модели? Зададимся вопросом: что же такое планеты? Оказывается, такая постановка вполне своевременна и актуальна. Данные по обнаружению планет в других звездных системах и изучению планетарных туманностей – своеобразных «колыбелей» планет, полученные с помощью телескопа Хаббла в самые последние годы в межзвездной

астрономии, вполне оправдывают привлечение внимания к такому, казалось бы, весьма тривиальному вопросу. Как уже отмечалось выше, на страницах журнала Science и в Internet, в 2001 г. разыгралась дискуссия на тему: “What is a Planet?” [4, 5], которая пока так и не окончилась. Это означает, что дискуссия на тему What is a Planet?” – продолжается.

Надо сказать, что «планетная» тема обсуждается учеными в течение нескольких сотен лет. В прежние годы, ещё 100 лет тому назад, ответ на этот вопрос был бы однозначен: Земля? - конечно горячая. Декарт, например, считал, что в центре Земли находится солнечное горячее вещество. Разделяли эту точку зрения Кант, Лаплас, Ломоносов и многие другие. Однако по мере накопления экспериментальных фактов, взгляд на внутреннее устройство Земли менялся. Например, не находил решения такой вопрос. Если Земля была горячей, и её мантия в момент образования находилась в расплавленном состоянии, а время её эволюции  $\tau$  не превышало 5 млрд. лет ( $\sim 10^{17}$  с), то мантия, толщина которой около 3 тысяч км, не могла полностью кристаллизироваться на всю свою толщину. По этой, и ряду подобных причин, предпочтение было отдано холодной модели. Заметную роль в этом сыграла космогоническая гипотеза Шмидта. Однако ученые явно поторопились. В модели холодной Земли несоответствий её наблюдаемым данным значительно больше, чем те, о которых мы уже упоминали. Рассмотрим некоторые из них.

Скорость роста планеты, согласно теории Шмидта – Сафронова, определяет время образования Земли около  $10^8$  лет, и «это значение широко использовалось в литературе. Однако, согласно этой теории, время аккреции Урана и Нептуна оказывается порядка  $10^{11}$  лет, т.е. более чем в 10 раз больше возраста Солнечной системы. Попытки обойти эти трудности, - неубедительны». ([11] с. 95). Для того чтобы получить этот результат ( $10^8$  лет), О.Ю.Шмидтом написана соответствующая формула, подобраны размеры протопланетного диска и плотность его вещества. Уяснить смысл этих оценок можно очень легко, если привести простой расчет, согласно которому оказывается, что время в 100 млн. лет необходимо для того, чтобы тепло, выделившееся за счет гравитационной энергии Земли может быть «сброшено» излучением в космос (согласно закона Стефана-Больцмана, связывающего энергию излучения  $E$  с температурой тела  $T$ :  $E = \sigma T^4$ ). Это принципиальный момент холодной модели: если время формирования будет меньше чем  $10^8$  лет, Земля оказывается горячей.

До недавнего времени никто не мог определить, каково же реальное время формирования планеты. Эта оценка была получена в самое последнее время. Однако, для того, чтобы ею воспользоваться, необходимо допустить, что механизм образования планет Солнечной системы не уникален и неповторим, а обычен во Вселенной. Иначе: все планеты в звездных системах образуются «по одному сценарию». Мысль – достаточно очевидная.

Совсем недавно с помощью космического телескопа Хаббл были обнаружены и исследованы протопланетные туманности, из которых «вырастают» планеты. Оказалось, что туманности, в которых должны были бы находиться уже заметно «подросшие» слипшиеся пылинки (планетезимали), из которых затем, согласно модели Шмидта, образуются планеты, - в радиодиапазоне прозрачны. Это означает, что радиоизлучение с длиной волны, соизмеримой с размерами таких частиц, свободно проходит сквозь протопланетные туманности и на частицах не рассеивается. Вывод из этих наблюдений состоит в том, что таких частиц-пылинок в диске просто нет. Время существования протопланетных дисков в созвездии Орион измерено, это 100 тыс. лет, а совсем не 100 млн. лет, необходимых для образования Земли. По мнению авторов этого открытия, «сырье», пригодное для «изготовления» планет, за прошедшие 100 тыс. лет, всё испарилось. В подтверждение приведем слова Г. Троопа из Боулдера (Университет Колорадо, США), получившего эти важные результаты: «если вы намерены создать планету, то вам следует поторапливаться, а то спустя первый же миллион лет от диска почти ничего не останется» [4]. Складывается впечатление, что любой планете, и Земле в том числе, остается один путь для образования. Это быстрое сжатие вещества за счет самогравитации в едином процессе образования звезды. Именно этим путем образуются и звезды, и «Коричневые Карлики» (инфракрасные звезды). По-видимому, этот путь определен и для образования планет.

### **Оценка температуры**

Оценим температуру горячей Земли. Гравитационная энергия Земли  $E = 3/5 GM^2/R$  ( $G$ - гравитационная постоянная,  $M$  - масса, а  $R$  - радиус Земли) равна  $E = 2.25 \cdot 10^{39}$  эрг. Если эту энергию поделить на  $M$  и приемлемую величину теплоемкости вещества Земли ( $c_p = 0.3$  кал/г·град., как известно,  $c_p$  конденсированного тела  $\approx 3 R_g$ , где  $R_g$  - газовая постоянная), то оказывается, что температура земного вещества может достичь очень большого значения:  $T \approx 30\ 000$  К. Геофизики не знают, как можно воспользоваться этой оценкой, т.к. такая температура представляется им абсолютно нелепой. Академик В.А.Магницкий в своей книге [12] пишет, что «такая оценка бессмысленна, так как разогрев Земли целиком определяется принятой схемой образования планеты из протопланетного облака, поскольку

при этом возникают огромные потери тепла через излучение» ([12] с. 47), т.е. температура планеты определяется скоростью её роста. В такой ситуации для геофизиков остался лишь один путь - развитие модели «холодной» Земли. В этом случае, как мы отмечали, для «изготовления» Земли необходимо примерно  $10^8$  лет, чтобы образующееся в этом процессе тепло успевало отводиться радиационным способом, через излучение.

Рассмотрим, к чему приведет “сценарий” образования горячей Земли и планет. Как мы отмечали, температура вещества Земли окажется порядка нескольких десятков тысяч градусов. Очевидно, что температура вещества планеты (звезды, спутника) определяется величиной ее массы:  $T \sim E/Mc_p \sim M/Rc_p \sim M^{2/3}/c_p$ . Оцененная таким способом величина  $T$  соответствует температуре вещества планеты в момент ее образования. Полагая, что в процессе эволюции планет и их спутников, они охлаждались, величина  $T$  в настоящее время примерно соответствует температуре вещества, находящегося в самом центре планеты.

Обратим внимание на зависимость:  $T \sim M^{2/3}$  и предположим, что она справедлива для Луны, Земли, Юпитера, Коричневого Карлика (инфракрасной звезды) и Солнца. (При этом необходимо учитывать, что величину  $c_p$  никак нельзя считать константой: она в конденсированном теле возрастает при увеличении температуры, при его испарении, - в газе – уменьшается, и при достижении критической точки, – устремляется к нулю). Наша модель, основанная на использовании простой формулы  $T \sim M^{2/3}$ , демонстрирует очевидную логику и стройность: все объекты (звезды, планеты и спутники) оказываются на продолжении Главной Последовательности звезд, в состав которой входит Солнце.

Мы отмечали, что вещество, имеющее температуру 30 000К, будет находиться в состоянии слабоионизованного газа - плазмы. Вещество планеты (звезды) будет нагреваться до такой температуры при его сжатии за счет самогравитации. Внутреннее (газокинетическое) давление вещества в процессе его сжатия, по мере увеличения его температуры, будет возрастать. Сжатие остановится в тот момент, когда газокинетическое давление ( $nkT$ ) станет равным давлению ( $\rho gR$ ) самогравитации (в соответствии с известным критерием Джинса). Этим критерием можно пользоваться для оценки термодинамических параметров вещества Земли и планет. Сделаем одно весьма существенное для нашей модели предположение. Будем считать, что в настоящее время земное вещество в "первородном" состоянии находится во внутреннем ( $G$  по модели Буллена) ядре Земли. Это очень важное предположение. Если это действительно так, то все остальное в нашей модели является физически непротиворечивым следствием этого предположения...

Итак, мы приняли, что:  $nkT = \rho gR = 3.5 \cdot 10^{12}$  дин/см<sup>2</sup> (давление в центре Земли), где  $n = \rho_G / \mu m$  - концентрация вещества,  $\rho_G$  - плотность вещества G-ядра,  $m$  - вес протона,  $k$  - постоянная Больцмана,  $\rho$  - средняя плотность Земли,  $g$  - сила тяжести,  $R$  - ее современный радиус. Отсюда следует оценка  $T/\mu \approx 3 \cdot 10^3$  К, принимая  $T = 30\ 000$  К, получаем  $\mu \approx 10$ . Величина молекулярного веса вещества Земли  $\mu$  в момент её образования показывает, что в ее составе значительное место принадлежало водороду. Для примера представим, что внутреннее ядро Земли состоит из водорода и кремния. Молекулярный вес  $\mu$  "молекулы", составленной из атомов кремния и водорода, будет равен примерно 10, при условии, если один атом кремния будет "окружен" двумя атомами водорода. Аналогичным образом можно представить, что ядро Земли состоит из водорода и кислорода (воды), тогда величина  $\mu \approx 6$  и т. п., в пределе  $\mu \geq 1$ .

Согласно нашей модели, температура  $T = 30\ 000$  К (или близкая к ней) присуща только веществу внутреннего ядра. Большая часть вещества Земли (внешнее ядро и мантия) за время ее эволюции остыла (релаксировала). Это один из главных постулатов нашей модели. Другой, не менее важный, говорит о том, что вещество, нагретое до такой температуры, будет находиться в газообразном состоянии и может быть сжато до плотности, большей, чем у металла. Отсюда следует, что начальный размер Земли, в момент ее создания, был меньше современного ( $R_0 < R$ ). Оценки начального радиуса Земли  $R_0$ , проведенные различными способами, не слишком надежны, хотя все они показывают, что  $R_0 < R$  современного примерно в 1.5 – 2 раза. Наиболее интересное решение возникает в том случае, если принять  $R_0$  равным 3.5 тыс. км. В пользу него, приведем такое, весьма интересное наблюдение: Радиус внешнего ядра Земли равен 3.5 тыс. км, площадь его поверхности точно равна суммарной площади материков. При этом материки плотно «упаковываются» на шаре радиуса  $R_0$ . Это обстоятельство, по-видимому, можно истолковать в пользу того, что Земля имела первоначальный размер, равный размеру ее внешнего ядра, а материки занимали полностью всю ее поверхность. Очевидно, что в этот момент на Земле ещё не было ни мантии, ни внешнего, жидкого ядра. В процессе остывания газообразной оболочки сформировалась гранитная кора, которая в ходе дальнейшей эволюции и расширения Земли была разорвана. При этом возникли материки в их практически современном виде. В процессе формирования, когда вещество Земли находилось при температуре порядка критической, в её плотной газовой оболочке могли возникнуть флуктуации плотности «полезных» элементов – прообразы будущих месторождений. Чуть позже, когда гранитная кора уже образовалась, на её поверхности

существовали условия, необходимые для образования алмазов. Процесс расширения Земли наглядно демонстрирует глобус, созданный инженером Клаусом Фогелем из Потсдама [13]. Автор расположил материки на поверхности прозрачного шара, в центре которого находился другой шар, меньшего радиуса, на котором эти же материки были плотно упакованы и составляли некоторый праматерик Пангею.

Эта идея находится в очевидном противоречии с представлением Пангеи, идущим ещё от Вегенера. Легко показать несостоятельность общепринятого представления о том, что материки, которые 160 млн. лет назад были единым и целым образованием, могли принять современное расположение на шаре, радиус которого равен радиусу современной Земли. Согласно общепринятой точке зрения, Африка и Южная Америка представляли собой единый материк. С другой стороны, периметр Тихого океана никогда не был больше современного. Этот факт означает, что, не «разорвав» периметра, нельзя приблизить Южную Америку к Африке. Как было показано Мезервеем [14], топология современного расположения материков запрещает их объединение в единый материк на шаре радиусом, равным радиусу современной Земли. Это противоречие неразрешимо. Модель холодной Земли не может решить этой задачи.

### **Эволюция параметров Земли**

Итак, после образования, Земля охлаждалась. На первом этапе остыла и кристаллизовалась (возможно, прямо из газовой фазы) ее внешняя оболочка - прообраз земной материковой, гранитной коры. Вещество Земли конденсировалось, образуя внешнее ядро, и затем кристаллизовалось, - образуя мантию. Таким образом, в эволюции планеты принимали участие два экзотермических фазовых перехода: конденсация и кристаллизация. Скорость эволюции Земли на раннем этапе, как мы отмечали, определял процесс кристаллизации, который «контролировался» кондуктивным теплопереносом – температуропроводностью  $\chi = \lambda/\rho c_p$  ( $\rho$  - плотность,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности). По началу, наращивание мантии происходило очень медленно, соответственно, медленно увеличивался радиус Земли:  $R \sim (\chi t)^{1/2}$ ,  $t$  - время эволюции. Так продолжалось до тех пор, пока толщина мантии  $l$  не стала достаточной для того, чтобы в ней возникла конвекция и «заработал» конвективный теплоперенос, более эффективный, чем кондуктивный. При этом радиус стал увеличиваться:  $R \sim t^2$ , вместо  $R \sim (t)^{1/2}$  в начале процесса эволюции Земли. Самое интересное состоит в том, что согласно оценкам, следующим из модели, первый период эволюции, когда  $R \sim (t)^{1/2}$  продолжался примерно 4 млрд. лет, что примерно соответствует

докембрию, а второй этап, когда скорость расширения стала:  $R \sim t^2$  начался примерно 500 млн. лет назад и продолжается в настоящее время.

Заметим, что характер эволюции радиуса Земли практически повторяет фридмановскую модель расширения Вселенной, где вместо  $R$  обычно приводится масштабный фактор в зависимости от возраста мира [15].

Можно ли найти подтверждение квадратичной зависимости увеличения радиуса Земли ( $R \sim t^2$ ) в геологических данных? Оказывается можно, более того, эта зависимость хорошо известна. Расширение Земли происходит путем разрастания океанического дна, где зависимость глубины астеносферы в зоне спрединга:  $h \sim t^{1/2}$ , ( $h$  – глубина астеносферы, а  $t$  – время, отсчитанное назад, от современного) подтверждена многократными наблюдениями. Функции  $R(t)$  и  $h(t)$  являются однозначно обратными и симметричными относительно:  $R \sim t_R$ , или  $h \sim t_h$  (что одно и то же). Действительно,  $\Delta R = -h$ , а  $t_R = -t_h$ . Используя наши оценки, полученные для зависимости ( $\Delta R \sim t^2$ ), и подставив  $h$  в км, а  $t$  в млн. лет, получим ориентировочно:  $h \approx 100 \times t^{1/2}$ , для  $t < 500$  млн. лет. Таким образом, известная зависимость, показывающая изменение толщины астеносферной зоны от времени эволюции, характеризует скорость расширения Земли. Обратим внимание на то, что зависимость  $h \sim t^{1/2}$  модель холодной Земли объяснить не может.

Градиенты  $dT/dR$  и  $dp/dR$ , согласно нашей модели, были в прошлом заметно выше (первый примерно в 3-4 раза выше, а второй - в 15-20 раз). Следовательно, тепловой поток  $Q$  ( $Q \sim dT/dR$ ) на начальном этапе эволюции Земли тоже был выше современного. Кстати, по нашей модели, можно оценить величину теплового потока. Воспользуемся для этого известным термодинамическим тождеством:  $E = pdV - TdS$ . Можно считать, что первое слагаемое правой части “отвечает” за увеличение объема и расширение Земли, второе - за тепловой поток. Положим, что температура  $T$  изменяется в области фазового перехода на 10 000 К, а изменение энтропии  $dS$  порядка 1 Дж/г град. Обычно, величина  $T \cdot dS \approx U$ , где  $U$  - теплота фазового перехода конденсации,  $U \approx 10$  кДж/г. Величина теплового потока в этом случае:  $Q = T \cdot dS \cdot M/t_0$ , где  $t_0$  - время эволюции Земли ( $t_0 = 4.5 \cdot 10^9$  лет), оказывается равной  $Q = 10^{29}$  эрг/год, что примерно на порядок больше современного значения величины  $Q$ . Учитывая то, что раньше тепловой поток был больше современного, эта оценка не должна вызывать особых сомнений. В этой модели очевидно равенство теплового потока на материках и океанах. Согласно модели холодной Земли тепловой поток связан с генерацией тепла за счет распада радиоактивных элементов в земной коре, концентрация которых



значительно отличается для коры континентальной и океанической. Эта проблема, так же как и другие, не находит правдоподобного решения в модели холодной Земли.

В течение эволюции Земли состояние термодинамического равновесия, вокруг которого могут совершаться (по модели) циклические колебания, постоянно смещается в сторону уменьшения температуры и давления. Этот факт говорит в пользу циклического характера эволюции Земли, т.к. линейная термодинамика необратимых процессов показывает, что колебания значений термодинамических параметров не могут происходить относительно равновесного состояния. Последнее означает, что только в такой (или подобной) модели могут происходить циклы, привлекающие пристальное внимание геологов. Циклическость эволюции Земли так же не находит объяснения в холодной модели.

### **Может ли ядро Земли быть железным?**

Исторически принято считать, что ядро Земли железное, внутреннее - в кристаллическом состоянии, внешнее – в жидком. Плотность железа и скорость продольных сейсмических волн при температуре и давлении, характерным для внутреннего ядра Земли действительно примерно соответствуют этим параметрам. Однако, как было экспериментально определено совсем недавно [16], скорость сдвиговых волн в железе возрастает при повышении давления и температуры аналогично тому, как это происходит с продольными волнами. Короче, коэффициент Пуассона ( $\sigma$ ) железа остается неизменным и равным  $\sigma = 0.28$  в широком диапазоне температур и давлений, вплоть до параметров, характерных для G-ядра. (Коэффициент Пуассона определяется отношением объемных модулей сжатия, иначе, отношением скоростей сейсмических волн). Недавно была измерена скорость сдвиговых волн, проходящих через внутреннее ядро [17]. Полученные данные позволили оценить коэффициент Пуассона внутреннего ядра ( $\sigma = 0.44$ ), который оказался значительно выше, чем у железа. Можно было бы перечислить и ряд других соображений о невозможности существования железного ядра в общепринятой его модели.

Может ли вещество внутреннего ядра пропускать сдвиговые волны и проявлять свойства кристаллического тела, если это плотная плазма? Ответ был получен американскими физиками из университета Иова [18]. Авторы измерили величины объемной и сдвиговой скоростей звука, проходящего через пылевую кристаллическую плазму [19], получаемую в лабораторном эксперименте. Оказалось, что коэффициент Пуассона в такой плазме ( $\sigma = 0.47$ ) очень близок к величине этого параметра внутреннего ядра Земли. В исследованиях

плотной астрофизической плазмы [20] показано, что плазма, в составе которой есть железо, оставаясь газом, способна проявлять квантовые свойства и свойства кристалла, при РТ-условиях, довольно близких к современным условиям, характерным для внутреннего ядра Земли. Несоответствие  $\sigma$  железа и вещества внутреннего ядра так же является задачей, которую невозможно решить в рамках модели холодной Земли.

### **В каком состоянии находится вещество внутреннего ядра?**

Вещество во внутреннем G-ядре, согласно модели горячей Земли, находится в газообразном, плазменном – «кристаллическом» состоянии. Вещество во внешнем, E-ядре - в конденсированном, жидком. В промежуточном F-слое сосуществуют две фазы жидкости и газа. Именно это обстоятельство объясняет, почему в этом слое скорость распространения Р-волн ниже, чем во внутреннем и внешнем ядре. Незначительное повышение давления относительно давления в F-слое соответствует переходу вещества в критическое состояние. При этом свойства вещества присущи системе как единому целому, они определяются совокупностью всех частиц. В критическом состоянии сжимаемость вещества очень сильно возрастает, к бесконечности стремится коэффициент теплового расширения, а коэффициент тепловой диффузии, - к нулю. К нулю стремятся: теплота фазового перехода, производная энтропии по температуре ( $\partial S/\partial T \rightarrow 0$ ), теплоемкость вещества ( $c_p \rightarrow 0$ ).

Можно ли найти какие-либо доказательства того, что вещество внутреннего ядра обладает свойствами, соответствующими критической точке? Обратим внимание на характер распределения скорости звука во внутреннем ядре ( $V_G \sim \partial P/\partial \rho$ ). Видно, что она остается практически постоянной вдоль радиуса. Если бы во внутреннем ядре находилось кристаллическое железо, то скорость волн  $V_G$  к центру Земли возрастала бы так же, как она увеличивается во внешнем ядре ( $V_G \uparrow$ ). Известно, что в критической точке ( $\partial^2 P/\partial \rho^2 \rightarrow 0$ ), что соответствует постоянству скорости по радиусу внутреннего ядра:  $V_G \rightarrow \text{const}$ .

Рассмотрим, можно ли получить полезную информацию о термодинамических величинах вещества внутреннего ядра, воспользовавшись интересным фактом, не привлекавшим ранее внимание геофизиков. Как известно, вторая космическая скорость Земли  $V_g = 11.2$  км/с.

Скорость распространения Р-волны постоянна по радиусу G-ядра, и так же равна 11.2 км/с. Приравняем квадраты этих скоростей:  $V_g^2 = 2GM/R = V_G^2 = \gamma R_g T/\mu$ . (Полагая, что скорость Р-волны во внутреннем ядре можно описать как скорость звука в идеальном газе).

Подставим вместо  $T = 3/5 GM/Rc_p$  и получаем:  $3/5 \cdot 1/c_p \cdot (\gamma R_g / \mu) = 2$ , отсюда следует:  $c_p = 0.3 (\gamma R_g / \mu)$ . Принимая адиабатический множитель  $\gamma = c_p / c_v \approx 1$ , а молекулярный вес  $\mu = 10$ ,

величина  $c_p = 0.03 R_g$ . Эта оценка означает, что  $c_p$  оказывается существенно меньше, чем  $c_p$  газа, где  $c_p = 3/2R_g$ , и в твердом теле, где  $c_p = 3R_g$ . В нашей ситуации:  $c_p = 0.03 R_g$  т.е. теплоемкость  $c_p \rightarrow 0$ , – как и полагается теплоемкости вещества в критическом состоянии. Приведенные выше рассуждения подтверждают факт, что вещество внутреннего ядра находится в состоянии, близком к критическому. Однако, как было выше показано, вещество внутреннего ядра находится в состоянии кристаллической плазмы. Только в этом случае оно может обладать свойствами твердого тела. По-видимому, в этих утверждениях нет противоречий, хотя нет твердых оснований и утверждать это. Дело в том, что физика вещества, находящегося в плазменном, кристаллическом состоянии (пятом состоянии?) находится пока на самом начальном этапе исследований.

### **В заключение**

В краткой заметке нет возможности отразить все особенности модели горячей Земли. Скажем только, что она физически обоснованна и внутренне непротиворечива. Приемлемость модели подтверждается рядом независимых, полученных в различных областях физики экспериментальных результатов.

Отметим основные моменты предлагаемой к обсуждению модели:

- 1) Земля имеет внутренний источник энергии (фазовый переход), необходимый для обеспечения теплового потока (равномерного по поверхности Земли), генерации магнитного поля, дрейфа континентов, вулканизма и сейсмичности.
- 2) Эволюции расширяющейся Земли присущ циклический, пульсирующий характер. Режим расширения сменяется режимом сжатия. При смене режимов меняется полярность геомагнитного поля и тектонический режим. В настоящий момент Земля сжимается. Это спокойный период эволюции Земли. Ему предшествовал очень короткий период расширения, который продолжался в течение экскурса геомагнитного поля, называемого Геттенбург и окончился 12 тыс. лет тому назад. Как известно, именно в это время (от 20 до 12 тыс лет тому назад) на Земле синхронно происходили такие события: а) изменение геомагнитного поля (экскурс Геттенбург), б) расширение океанического дна, в) увеличение интенсивности вулканизма, г) оледенение и последующее за ним резкое потепление и увеличение уровня океана (Библейский Великий потоп) и т.п.
- 3) Механизм генерации магнитного поля, так же как тепловой поток и геодинамика, является следствием работы фазового перехода «конденсация-испарение» на границе внутреннего ядра. Этот механизм с единых позиций находит непротиворечивое объяснение практически всем особенностям геомагнитного поля, таким как: инверсии, экскурсы,

джерки, западный дрейф, дрейф магнитных полюсов и пр. Этот механизм объясняет четкую корреляцию между тектоникой и геомагнетизмом.

4) Вещество внутреннего ядра Земли находится в метастабильном состоянии. Это дает основание использовать в качестве температурной зависимости ударную адиабату Гюгонио (общепринято использовать адиабату Пуассона). Пересечение ударной адиабаты с кривой равновесия фаз вещества Земли, «отбивает» её фазовые границы: «твердое-жидкость» и «жидкость-газ». Таким образом, внутреннее устройство Земли и её разделение на внутреннее и внешнее ядро и мантию находят логическое обоснование.

5) Вещество внутреннего ядра Земли обладает высоким коэффициентом Пуассона (0.44). Скорость объемных волн во внутреннем ядре практически постоянна вдоль радиуса. Эти, и ряд других особенностей ядра, позволяют считать, что оно не может состоять из твердого кристаллического железа. Наиболее вероятное состояние вещества G-ядра: плотная кристаллическая плазма, обладающая свойствами твердого вещества. Основной (но не единственный) элемент внутреннего ядра – водород.

6) Степень сжатия Земли не соответствует степени сжатия уравновешенного сфероида. Это означает, что на Земле нет глобальной конвекции, наличие которой привело бы Землю к гидростатическому равновесию. Земля в значительно большей степени уравновешена по высоте геоида, что говорит о течении только самого поверхностного слоя литосферы.

7) Принцип минимизации гравитационного потенциала, действующий на Земле, на других планетах, а так же на семи больших спутниках приводит к тому, что эти объекты стремятся приобрести форму шара и минимизировать площадь поверхности. На Земле реализация этого Принципа вынуждает Землю стремиться минимизировать высоту геоида посредством поверхностного течения материков и плит. Основные направления современного дрейфа плит ориентированы по градиенту геоида.

8) Земля, другие планеты и спутники образовались одновременно с Солнцем в едином процессе. При образовании звезды формируется облако газа, которое, вращаясь, сжимается за счет самогравитации. Образование центрального сгущения вызывает возникновение волн плотности, аналогичных волнам плотности в рукавах Галактики. Волны приводят к обособлению колец на расстояниях от центрального тела, определяемом законом Бодэ. В процессе формирования Солнца произошла бифуркация – разрыв сплошности протосолнечного диска на месте пояса Астероидов. Практически все вещество, входящее в этот круг, пошло на образование Солнца, и лишь незначительные «остатки» его были «потрачены» на образование планет земной группы. Основной элемент, входящий в состав Солнца и всех планет – водород. Планеты, способные удерживать водород в своей атмосфере

– газообразные гиганты, а те планеты, у которых масса оказалась недостаточной, – такой атмосферой не обладают.

Подведем итог краткого изложения модели горячей Земли. Оценим роль космогонической гипотезы О.Ю.Шмидта в развитии физики Земли. Мы вынуждены признать эту модель несостоятельной, а роль её в физике Земли - отрицательной. К сожалению, ошибочные идеи Шмидта были приняты и не подвергались сомнению не только нашими, но и зарубежными учеными. Базируясь на идее холодной Земли, следующей из этой гипотезы, такие разделы физики Земли как тектоника плит, идея железного ядра, и следующая из неё модель кинематического динамо, нагрев Земли за счет радиоактивного распада, влияние космических факторов на климат (теория Миланковича) и т.п., - приобрели признание и не подвергаемый сомнению статус. Все робкие попытки что-либо противопоставить идеям Шмидта жестко пресекались как у нас, так и за рубежом. Эта ситуация должна измениться: ошибочность гипотезы, какие бы авторитеты за ней не стояли, рано или поздно будет признана.

## Литература

1. Резанов И.А. История космогонической гипотезы О.Ю.Шмидта // ВИЕТ. 2002. № 4.
2. Рускол Е.Л. История космогонической гипотезы О.Ю.Шмидта (ответ на статью И.А.Резанова) // ВИЕТ 2003. № 3.
3. Rebolo R., Zapareto Osorio M. R., Martin L. // Discovery of a brown dwarf in the Pleiades star cluster. Nature. 1995. V. 377.
4. Throop H.B., Bally J., Esposito L.W., Mc Caughrean M.J. // Evidence for dust grain growth in young circumstellar disks. Science. 2001. V. 292.
5. <http://www.sciencemag.org/cgi/eletters/>
6. Кузнецов В.В. Физика Земли и Солнечной системы. Новосибирск. ИГиГ. 1984 г. (1990г).
7. Кузнецов В.В. Физика Земли и Солнечной системы. Новосибирск. ИГиГ. 1990г.; Физика Земли. Новый взгляд на некоторые проблемы, Новосибирск, Наука. 1989; Физика земных катастрофических явлений. Новосибирск, Наука. 1992. Земля, как термодинамическая система // Геология и геофизика 1998. Т. 39; Анизотропия свойств внутреннего ядра Земли // УФН 1997. Т. 167; Физика горячей Земли, - на сайте: <http://www.uiggm.nsc.ru/~kuz/site.htm> и др.
8. Козырев Н.А. Внутреннее строение Юпитера // Астрономический журнал 1977 Т. 54 № 2.
9. Колесников Ю. Юпитер: планета или звезда? // Знание-сила 1978. № 2.
10. Boss A.P. Formation of gas and ice giant planets // Earth Planet. Sci. Lett. 2002 V. 202.
11. Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра. 1982.
12. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра. 1965.
13. Vogel V.K. Beitrage zur frage der expansion der Erde auf der Grundlage von Globemodelten // Z. Geolog. Wiss. Berlin/ 1984. N. 5.
14. Meservey R. Topological inconsistency of continental drift on the present-sized Earth // Science 1969. V. 166.
15. Чернин А.Д. Космический вакуум // УФН 2001. Т. 171.
16. Mao H., Shu J., Shen G., Hemley R.J., Li B., Singh A.K. Elasticity and rheology of iron above 220 GPa and the nature of the Earth's inner core // Nature 1998. V. 396.
17. Okal E.A., Cansi Y. Detection of PKJKP at intermediate periods by progressive multi-channel correlation // EPSL 1998. V. 164.
18. Nosenko, V., Goree J., Ma Z.W., Piel A. Observation of shear-wave mach cones in 2D dusty plasma crystal // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 88.
19. Thomas, H., Morfill G.E., Demmel V. et al. Plasma crystal: coulomb crystallization in dusty plasma // Phys. Res. Lett. 1994. V.73.

20. Van Horn H.M. Dense astrophysical plasmas // Science 1991. V. 252.