

*Всем хорошо известно, что наука – это, прежде всего, инакомыслие.
Но регулярная стрижка газонов дала то, что, мы пожинаем сегодня.
С.Г. Инге-Вечтомов (Санкт-Петербург).*

Нужна ли новая физика Земли?

Введение

Физика Земли (ФЗ) - неотъемлемая часть ФИЗИКИ среди других её разделов, непосредственно связанных с физикой Земли, таких как солнечно-земная физика, физика планет, физика Солнца и пр. Естественно, как в любом другом разделе ФИЗИКИ, в ФЗ должны работать все законы, свойственные ФИЗИКЕ. Однако ФЗ, в отличие от других разделов ФИЗИКИ, особенно, таких её разделов как механика, электродинамика, гидродинамика и др., практически не имеет общих фундаментальных законов и закономерностей. Кроме, пожалуй, таких эмпирических, как законы Гуттенберга-Рихтера (ГР) и Омори - в сейсмологии. Надо сказать, что закономерности связи числа событий N с их энергией E , аналогичные закону ГР, обнаружены не только для землетрясений, но, например, и для вулканов, и для солнечных вспышек и т.д. Зависимость $N(E)$ характерна для многих явлений, происходящих в Природе. По-видимому, впервые она была обнаружена ещё в древнем Египте, когда выяснилось, что число очень сильных разливов Нила меньше, чем более слабых, а тех, в свою очередь, ещё меньше, чем более слабых и т.д. В последние годы показано, что такая зависимость является общим для Природы, если её рассматривать как самоорганизующуюся открытую фрактальную структуру. В частности, количество вспышек на Солнце N , обладающих энергией E связано формулой: $N = E^{-D}$, где D – фрактальная размерность, показывающая степень самоорганизации системы, причем, чем меньше D , тем выше степень самоорганизации.

Явления самоорганизации происходят в природе повсеместно. Например, кусок горной породы сжимается на гидравлическом прессе. В нем по всему объему ($D = 3$) образуются трещины, которые, раскрываясь, генерируют акустические импульсы, регистрируемые аппаратурой. По мере увеличения нагрузки, трещины, за счет взаимодействия друг с другом, стягиваются к плоскости Кулона-Мора ($D = 2$), по которой, в дальнейшем, произойдет разрушение образца. Вероятно, самоорганизацию в Природе можно считать одним из законов ФЗ.

Однако сказать, что Земля, это самоорганизующаяся, эволюционирующая, открытая система, - это слишком мало. Явно недостаточно для того, чтобы иметь основание отменить общепринятый в геологии закон эволюции Земли – принцип актуализма, который утверждает: «всегда было как сейчас». Вся история Земли противоречит этому принципу, тем не менее, он «не снят с повестки дня». Одним из результатов использования принципа актуализма является ни где и никогда не объявленная договоренность между геологами относительно того, что радиус Земли в течение времени её эволюции - остается неизменным. Наблюдения за изменением земного радиуса в течение примерно тысячи лет показывают, что он «вроде» не меняется. Однако более точные геодезические измерения последних лет показывают, что сила тяжести на Земле увеличивается, а объем Земли уменьшается. Существование неписанного закона о постоянстве радиуса Земли, в конечном счете, привело в современной геодинамике к постулату о необходимости привлечения такого механизма как субдукция, - как «противовес» океаническому спредингу.

Кстати, к вопросу о радиусе и вообще, почему Земля круглая? Вразумительного ответа на этот, казалось бы элементарный вопрос, - современная ФЗ не дает.

Как очевидно, Земля – сложная и многофункциональная структура, обладающая многими и, на первый взгляд, не связанными по общепринятой физике свойствами, хотя многолетние наблюдения показывают их очевидные взаимосвязи. В дальнейшем мы обсудим проявление известных свойств Земли, таких как её магнитное поле, геодинамика,

тепловой поток и др., и покажем, что существующая в настоящее время ФЗ не способна найти объяснение им с общей позиции.

1. Образование Земли и планет

История развития представлений об образовании и строении Земли складывалась так, что до сравнительно недавнего времени преобладающим мнением о внутреннем устройстве Земли были представления о «горячем» ядре, состоящем в основном из «солнечного вещества». Таких взглядов придерживались такие ученые как Декарт, Кант, Лаплас, Ломоносов и многие другие. Затем, в связи с успехами в сейсмологии и некоторых других разделах ФИЗИКИ, точка зрения на внутреннее устройство Земли резко переменялась. Толчком к этому послужило то, что в результате анализа характера распространения скоростей сейсмических волн, генерируемых землетрясениями, по толще Земли, было выяснено, что жидкое ядро Земли отдалено от её поверхности мантией, толщина которой составляет без малого три тысячи км. К этому времени, благодаря привлечению изотопного анализа, был оценен «возраст», который составил 4.5 млрд. лет. Зная величину температуропроводности вещества мантии, можно оценить, на какую толщину может кристаллизоваться мантия за время жизни Земли, если все вещество её в момент образования было расплавлено. Было показано, что мантия за это время могла бы «застыть» на толщину, не превышающую 800 км, а сейсмология показывала, что вся мантия на все её 3000 км – твердая. Этот парадокс не смогли объяснить геофизики тех лет и идея «горячей Земли» была «похоронена» и забыта.

«Могильщиком» идеи горячей Земли выступил О.Ю.Шмидт, предложивший идею медленного холодного «слипания» пылевых частиц (планетезималей) при образовании Земли. Согласно предложенной Шмидтом формуле, Земля должна была медленно, в течение 100 млн. лет наращивать свою массу и объем путем присоединения к планете планетезималей из «материнского» пылевого облака. Пусть так, но возникает много вопросов и первый из них: почему время образования равно именно 100 млн. лет, ни больше и не меньше. Шмидт не обосновывает эту цифру, хотя это сделать сравнительно легко. Для этого следует принять такое условие. Температура Земли в момент её образования остается неизменной и равной $T = 300 \text{ K}$ (как сейчас). Это может происходить при выполнении единственного условия: вся гравитационная энергия Земли ($2 \cdot 10^{39}$ эрг) идет на нагревание её вещества, а тепло излучается в космос. Такое излучение описывается формулой Стефана-Больцмана: ($E = \sigma T^4 S t$), где - E энергия излучения, σ - постоянная Стефана-Больцмана, T и S – температура и площадь поверхности Земли, t - время процесса излучения, равное времени образования Земли. При такой оценке действительно оказывается, что для «сброса» гравитационной энергии Земли через излучение нагретого тела потребуется именно 100 млн. лет. Не меньше и не больше.

Формула Шмидта неоднократно подвергалась критике. Например, если использовать её применительно к другим планетам, как это было сделано в своё время Рингвудом, то окажется, что время образования Урана и Нептуна оказывается порядка 10^{11} лет, т.е. значительно больше возраста Солнечной системы. Время образования Марса составляет 2.6×10^9 лет. Подсчет кратеров, хотя и не очень точный метод, указывает на его гораздо более древнюю поверхность. Например, изучение Луны показывает, что период частой бомбардировки закончился, по крайней мере, около 3.9×10^9 лет тому назад, и т.п.

Более того, как было недавно обнаружено с помощью космических телескопов Хаббл и Спитцер, процесс образования планет у «молодых» звезд возрастом ~ 100 тыс. лет уже закончился, у очень «старых» звезд, с возрастом больше солнечного - ещё существуют пылевые кольца. Анализ данных, полученных как на этих приборах, так и на других, работающих ранее, в целом противоречит общепринятой на сегодня модели холодной Земли. По-видимому, первый «удар» механизму холодного образования планет был нанесен после интерпретации данных, полученных космическими аппаратами «Пионер-Х» и «Пионер-ХI», с помощью которых 25 лет тому назад было обнаружено

мощное тепловое излучение, исходящее от Юпитера. В этих экспериментах так же обнаружена высокая симметрия гравитационного поля Юпитера, характерная для газового шара. После открытия теплового излучения Юпитера возникла дискуссия о том, что представляет собой Юпитер: планету или звезду. Заметим, что в последнее время появились работы, в которых авторы допускают, что недра Юпитера, как и других планет гигантов, - горячие. Второй «удар» механизму холодного образования планет был нанесен открытием «Коричневых карликов» – инфракрасных звезд, занимающих по массе промежуточное положение между Юпитером и Солнцем. Возникла парадоксальная ситуация: Юпитер – планета холодная, в недрах которой водород находится в жидком, и даже твердом состоянии, а Коричневый карлик, масса которого всего в 10 раз больше чем у Юпитера, – звезда (хоть и инфракрасная). Наконец, результат, полученный в самое последнее время с использованием внеатмосферного телескопа Хаббла, можно считать третьим и самым решительным «ударом» по холодной модели. Авторы исследовали спектры пропускания галактического электромагнитного излучения (ГЭМИ) в широком диапазоне длин волн при просвечивании протозвездного пылевого диска одной из «молодых» звезд в созвездии Ориона. Было определено, что возраст пылевого диска не превышает 100 тыс. лет. Согласно общепринятой модели образования планет, в таком диске должны находиться планетезимали, рассеивающие ГЭМИ. Однако ожидаемого эффекта поглощения ГЭМИ не обнаружено. Авторы пришли к выводу, что планеты в этом диске уже сформировались, хотя их время формирования значительно меньше (в 1000 раз!), чем следует из принятой модели формирования планет.

Запуск космического телескопа им. Спитцера (Аризонский университет, США), как мы отмечали выше, принес новую сенсацию: в 2004 г. вокруг некоторых старых звезд обнаружено инфракрасное излучение от пылевых колец и дисков. Очевидно, что этот факт так же находится в противоречии с общепринятой моделью формирования планет. Полученные в последние годы результаты стимулировали в 2001 г на страницах журнала Science и в Internet дискуссию на тему: “What is a Planet?” Эта дискуссия показала, что однозначно ответить на поставленный вопрос пока нет возможности. Вероятно, дело в том, что холодная модель образования планет находится в противоречии с данными, касающимися проблемы формирования планет, полученными в самое последнее время. Таким образом, анализ проблемы образования Земли, позволяет ответить на вопрос, поставленный в заголовке, - положительно, т.е. проблема образования Земли ещё далека от решения. То же самое относится и к проблеме образования других планет Солнечной системы и эволюции системы в целом. Здесь следует упомянуть о том, что расстояние планет от Солнца имеет совсем не случайный характер, а совсем наоборот, - четкую логарифмическую зависимость, названную законом (правилом) Тициуса-Боде. Похожую зависимость имеют спутники Юпитера, Сатурна и Урана. Галилей открыл т.н. «соизмеримости» периодов (частот) вращения планет и их спутников. Что это может означать: особенности механизма образования планет и спутников, или результат эволюции самой системы? Вразумительного ответа на этот, надо сказать, очень старый вопрос, как на не менее старый вопрос: почему Земля круглая – современная наука о Земле пока не даёт.

2. Особенности эволюции Земли

Принято считать, что Земля в процессе образования оставалась «холодной». Однако, изменение температуры поверхности Земли T (оцененной по изотопному составу образцов «каменной летописи») показывает, что Земля в процессе эволюции – охлаждалась. Плавное уменьшение T прерывалось резкими её колебаниями, связанными с оледенениями (см. рис. 1). На, казалось бы, элементарный вопрос: Земля изначально была горячей и потом остывала, или сначала была холодной, потом (непонятно почему) нагрелась и затем – начала остывать, – ясного ответа нет до сих пор.

Эволюция Земли, по данным палеонтологии, имеет ещё более странный и не менее необъяснимый характер. Как видно из рисунка 1, жизнь на Земле в течение 4.5 млрд. лет её существования развивалась совсем не равномерно: примерно 500 млн. лет тому назад произошло резкое увеличение биопродуктивности планеты, названное «кембрийским взрывом». Несмотря на огромный интерес к этой проблеме, до сих пор нет ни одной правдоподобной модели эволюции Земли, которая была бы способна объяснить это явление. К примеру, в момент начала Кембрийского взрыва никаких особенностей в ходе поверхностной температуры Земли, – не наблюдается.

Отметим ещё одну особенность эволюции Земли, которая, так же как многие другие проблемы физики Земли, – до сих пор так и не нашла объяснения. Геологам хорошо известно, что ещё 300 млн. лет тому назад на Земле не было высоких гор, но, в тоже время на Земле росли огромные деревья и обитали громадные ящеры-динозавры. Казалось бы, высота гор определяется силой тяжести и прочностью литосферы. Действительно, на Марсе, где сила тяжести примерно в три раза меньше чем на Земле, и высота гор (вулканов) – в три раза выше. Однако распространить эту идею на растения и животные – не получается. Ведь, если раньше на Земле сила тяжести была больше, то и растения, как и горы, должны были бы быть меньше, чем современные. На лицо парадокс – пока не разрешимый.

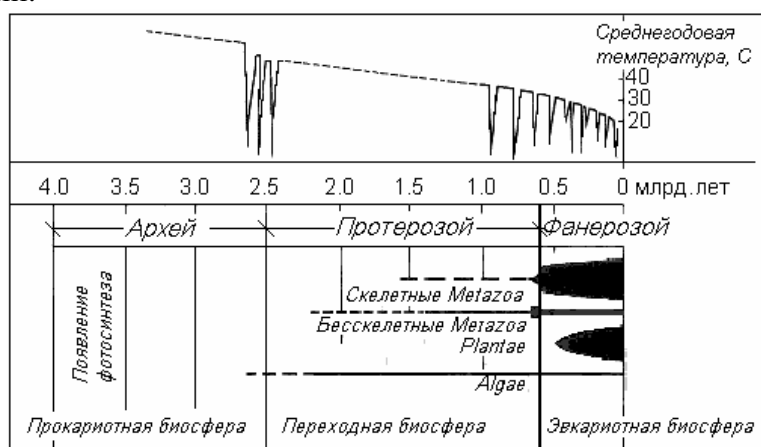


Рис. 1. Эволюция Земли. Верхняя панель – изменение температуры поверхности, нижняя – биопродуктивность.

Одна из загадок эволюции Земли связана с образованием современных океанов. Данные по времени и скорости образования океанов основываются на использовании методов магнитной стратиграфии. Суть метода состоит в том, что современная океаническая кора формировалась за счет деятельности вулканических магматических процессов в так называемых срединно-океанических хребтах (СОХ). Раскаленная магма, – выливаясь из СОХ остывая, «запоминала» полярность существовавшего в это время геомагнитного поля, формируя, таким образом, – полосовые магнитные аномалии (как правило, направленные параллельно СОХ) на океаническом дне. Каждая магнитная аномалия образовалась в «свое» время и имеет свой порядковый номер в общей номенклатуре аномалий.

В течение «последних» примерно 200 млн. лет эволюции Земли на ней произошли гигантские по масштабу изменения, равных которым не было за весь предыдущий период её развития. Произошло образование современных океанов и разделение материков. Надо заметить, что это не означает, что до этого периода на Земле не было океанов. Конечно, нет, более того, в эволюции Земли были периоды, когда практически вся её поверхность была под водой. Однако в последнем случае резкое увеличение впадины океана не сопровождалось сколько-нибудь существенным снижением его уровня. Рудич приходит к выводу, что увеличение впадины океана компенсировалось поступлением в гидросферу Земли воды из глубоких уровней планеты. Он обращает внимание на то, что с позиций

мобилистских концепций невозможно объяснить крупное приращение объема Мирового океана, т.к. мобилистские гипотезы исключают возможность заметного изменения объема Мирового океана в течение последних 160 млн. лет.

Рисунок 2 показывает, как происходило расширение океанов. Здесь приведены данные только по Тихому океану. Аналогичный вид имеют данные по скорости расширения Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов. Различие только в цифрах. Приведенная на рис. 2 линия служит некоторым усреднением. Она совпадает с известной кривой (на вставке) зависимости глубины астеносферы h от возраста океанического дна t : $h \sim t^{1/2}$. Кстати, эта зависимость не получила объяснения в рамках современного мобилизма. На этом же рисунке показаны сроки, в которые началось разделение материков. Данные по расширению дна океанов и разделению материков получены с помощью методов, развитых в магнитной стратиграфии, заметим, – весьма объективных.

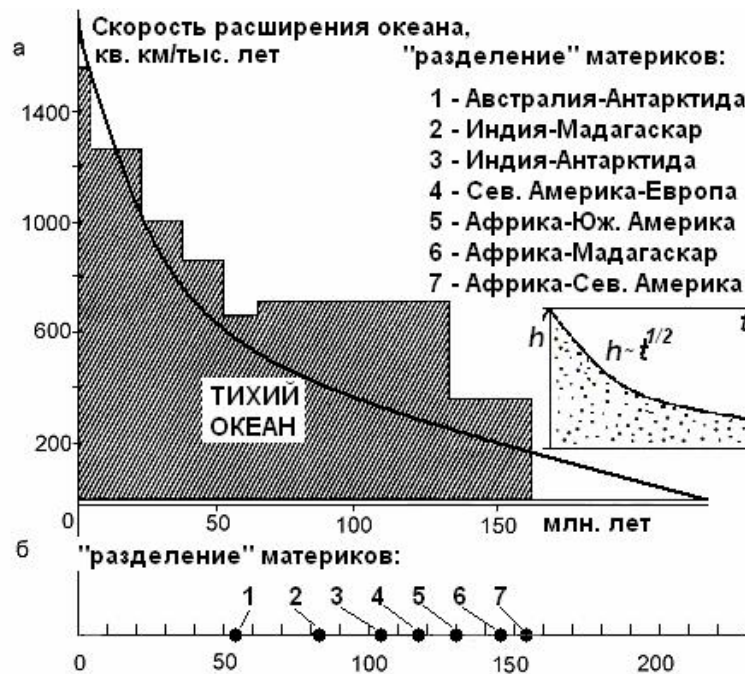


Рис. 2. Скорость расширения океанов (на примере Тихого океана) - а. Время разделения материков - б. На вставке – зависимость глубины астеносферы от времени образования океанического дна в районе СОХ.

Нельзя не отметить ещё один факт, касающийся эволюции Земли, на который обратил внимание ещё Ньютон. Джеффрис полагал Землю гидростатичной. При этом должно было бы выполняться правило: $1/H \gg 1/\epsilon$ [$H = (C - A)/C$], где C и $A = B$ - полярный и экваториальные моменты инерции Земли, $\epsilon = 5/4 \cdot \omega^2 a^3 / GM$ - сжатие Земли, ω - скорость её вращения, a - экваториальный, c - полярный радиусы Земли, величина, обратная сжатию: $1/\epsilon = a/(a - c)$. Условие гидростатичности современной Земли, вращающейся с периодом $T = 24$ часа, выполняется при: $1/\epsilon = 232$. Как известно, у Земли: $1/H = 305.5$, $1/\epsilon = 297.8$ и $1/H - 1/\epsilon = 7.8$, а наблюдаемая разность 6.75. Все это говорит о негидростатичности Земли. Длительность суток T для планеты, имеющей размер Земли и её среднюю плотность, должна быть равна: $T = 27.2$ часа, а не $T = 24$, как у Земли. Подчеркнем, что наблюдаемый период вращения T соответствует $1/\epsilon = 232$, причем отметим, что первым вычислил это ещё Ньютон. Для $T = 22$ часа, Эвернден подсчитал: $1/\epsilon = 200$. Он пришел к заключению, что если Земля замедляет свое вращение, то её сжатие не будет уменьшаться до тех пор, пока длина суток T не станет: $T \geq 27.2$ часа. Или, если Земля вращалась в прошлом быстрее, и её возможная жидкая конфигурация была более

сплюснутой, чем сейчас, но её реальное сжатие было бы таким же, как сейчас. Иначе, вывод, к которому приходит Эвернден: Земля никогда не имела сжатия $1/232$. Он формулирует следствия из этого вывода. Получается, что у Земли:

- Очень высокая прочность нижней мантии;
- Температура нижней мантии никогда не достигала значений, при которых возникает заметная текучесть под действием ротационных напряжений, т.о. исключается конвекция в нижней мантии;
- Высокая прочность мантии требует, чтобы земное ядро было связано с верхней мантией и корой только с помощью кондуктивного (неконвективного) теплового потока;
- Глубинные мантийные плюмы не могут существовать; и т.д. На лицо – ещё один парадокс, и тоже не решенный.

И наконец, обратим внимание уже не на парадокс, не нашедший объяснения в контексте физики холодной Земли, а на грубую ошибку, которая практически в течение 100 лет, начиная с работ Вегенера, заполонила не только книги по физике Земли, но и школьные учебники. Речь идет об этой ошибке, на которую указал Мезервей ещё в 1969 году. Суть идеи Мезервея состоит в том, что “соединение” материков в Гондвану, в которой Африка, Южная и Северная Америки, Австралия и Антарктида образуют единый праматерик, невозможно на земном шаре, имеющем радиус, равный современному. Мезервей обратил внимание на то, что материки, расположенные по берегам Тихого океана, не могли 200 млн. лет тому назад (по данным магнитной стратиграфии) находиться друг от друга на расстояниях, больших, чем в настоящее время (рис.3). Для того чтобы образовать Гондвану (рис. 3-слева), этим материкам пришлось бы двигаться вдоль по направлениям, показанным на рисунке 3-справа, увеличив примерно вдвое площадь поверхности Тихого океана, что противоречит палеореконструкциям. Как показано многими авторами, материки можно «уложить» один к другому практически без зазоров на шаре радиусом, точно равным радиусу внешнего ядра Земли. Для убедительного доказательства этого факта, доктор Фогель изготовил прозрачный глобус, внутри которого на шаре, эквивалентном шару внешнего ядра, располагались те же самые материки, что и на самом глобусе. Глобус Фогеля демонстрирует, как изменялось положение материков, от начального, в момент образования Земли - до современного.

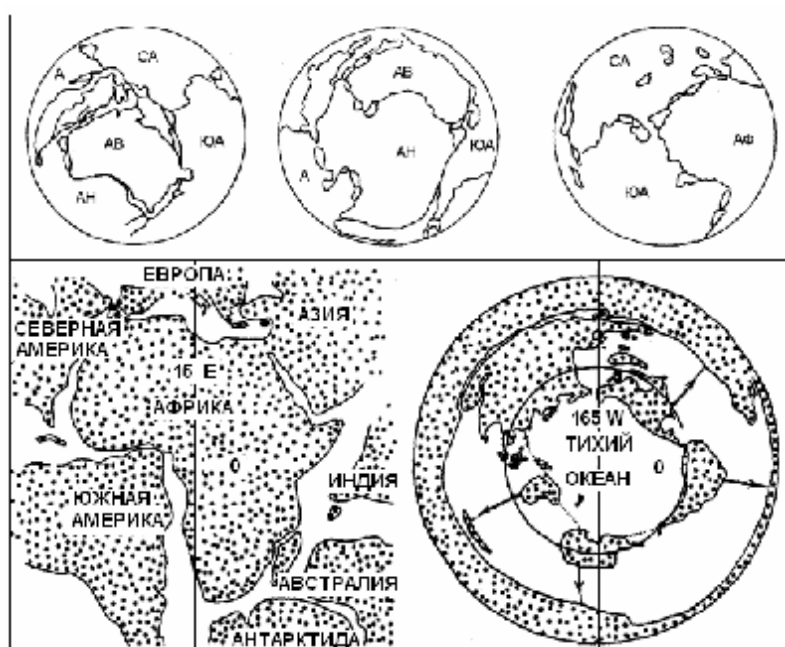


Рис. 3. Вверху – расположение материков на внешнем ядре. Внизу: слева – соединение материков в Гондвану; справа – интерпретация этого факта Мезервеем.

3. Распределение температуры по радиусу Земли, причина теплового потока

Как известно, Земля устроена совсем не так просто, как это кажется на первый взгляд. Общепринятый подход, при несколько более внимательном взгляде на проблему её внутреннего строения, позволяет усомниться в справедливости некоторых принятых в современной физике Земли установок.

Уравнения состояний веществ, т.е. связь температуры T с давлением p и объемом V , выглядят примерно так, как это показано на рис. 4. Конечно, величины T и p индивидуальны, но общий характер кривых остается примерно одинаковым. Увеличение температуры вещества от абсолютного нуля до т.н. тройной точки (ТТ) характеризуется некоторой кривой, которая разделяет фазы вещества: жидкого от твердого. В точке ТТ фиксируется наличие трех фаз: твердое вещество плавится и появляется жидкая фаза и испаряется с появлением газообразной фазы (для воды это 0°C). В ТТ кривая равновесия фаз раздваивается с образованием ещё одной кривой, разделяющей газообразную и жидкую фазы. В принципе, эта кривая продолжается вплоть до точки, характеризующей критическую температуру (КТ). Обычно используется только та часть кривой (1 на рис. 4), которая показывает разделение фаз «жидкое-твердое». При этом кривая температуры должна проходить таким образом, чтобы вещество внутреннего ядра оказалось в твердом состоянии, в то время как внешнее – в жидком. Рассмотрим кривую равновесия фаз подробнее...

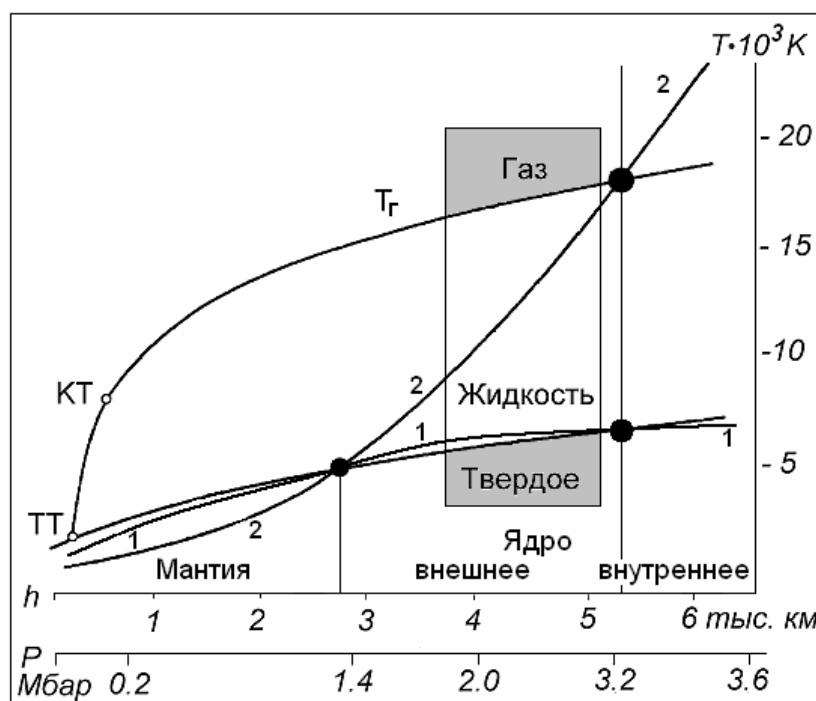


Рис. 4. Уравнение состояния вещества Земли: ТТ – тройная точка, КТ – критическая температура; верхняя кривая делит фазы «газ-жидкость», нижняя – «жидкость-твердое». Адиабаты: 1 - Пуассона, 2 – Гюгоню.

Может возникнуть неправильное впечатление, что при давлении и температуре, превышающих критические параметры, раздела фаз нет, и железо находится только в газообразном состоянии. В действительности это не так. Этот вопрос оригинально решен Зельдовичем и Райзером. Суть предположения состоит в том, что вещество, находящееся при pT параметрах, превышающих критические, рассматривается как смесь индивидуальных веществ. Эти вещества обладают различной теплоемкостью c_V : $c_V = 3 R_g$

и $c_v = 3/2 R_g$, где R_g - газовая постоянная. Как известно, теплоемкость $c_v = 3/2 R_g$ характеризует газ, а $c_v = 3 R_g$ - вещество в конденсированном состоянии. Если температура вещества $T > T_p$, то оно находится в газообразном состоянии, если меньше ($T < T_p$), то в конденсированном. К примеру, для железа нормальной плотности, $T_p \approx 20$ тыс. К. При увеличении давления p и сжатии вещества, растет и температура $T_p \sim p/r$ (r - плотность). Предельное значение величины $T_p \sim U/R_g$, что для железа оказывается порядка 70 тыс. К.

Кривая 1 - это кривая адиабаты Пуассона. Именно её обычно используют при описании хода температуры по глубине Земли. Напомним, что адиабата Пуассона, по определению, выведена для идеального газа и не может использоваться в других ситуациях, например, для описания температурного хода в Земле. Для описания изменения температуры от давления в диссипативных процессах, в твердых и жидких средах полагается использовать адиабату Гюгонио (кривая 2 на рис. 4). Кривая 2, при пересечении с кривой равновесия фаз, «отбивает» границы между мантией, внешним и внутренним ядром.

Обсуждая проблему распределения температуры по радиусу Земли, нельзя не коснуться ситуации с её внутренним тепловым потоком. Как известно, тепловой поток регистрируется по всей поверхности Земли, причем, плотность потока q , как от региона к региону, так и внутри региона - изменяется незначительно. Обычно вариации q не превышают двух-трех раз и это очень странно. Дело в том, что в модели холодной Земли внутреннего источника тепла, например, такого как ядро Земли, быть вроде, не должно. Принято считать, что причина теплового потока – это тепло от радиоактивности земной гранитной коры. Действительно, в гранитной континентальной коре такие радиоактивные элементы (РЭ) как уран, торий, кальций и другие – были обнаружены. Концентрация этих элементов известна, это позволяет оценить, можно ли на выделении ими сопутствующего радиации тепла, получить тепловой поток известной плотности. Оказалось, что для формирования теплового потока концентрации РЭ хватает, но тут возникла задача: таких элементов практически нет в базальтовой океанической коре. Самое неприятное состоит в том, что плотность теплового потока q , определенная в океанах, точно равна средней плотности потока на материках. Несмотря на более чем 50-летний «возраст» этой проблемы, она так же далека от решения как в те 60-е годы прошлого столетия, когда появились первые результаты по измерениям теплового потока в мировом океане. Очевидно, что в рамках модели холодной Земли решить проблему теплового потока, - нет никакой перспективы. Дело в том, что если учесть известные данные о том, что раньше на Земле тепловой поток был выше и проинтегрировать его по времени существования Земли, то оказывается, что полученная энергия очень близка по величине к полной гравитационной энергии Земли. Этот факт ещё раз свидетельствует, что Земля образовалась таким образом, что успела аккумулировать всю свою гравитационную энергию, а не «тратить» её на охлаждение в течение периода образования, равного 100 млн. лет, как это следует из гипотезы холодного происхождения.

К этому следует добавить, что тепловой поток на Луне примерно в 30 меньше, чем тепловой поток Земли. Заметим, что теплота фазового перехода (ФП) конденсации примерно в 30 раз больше, чем теплота ФП кристаллизации. И ещё: магнитное поле на Луне было, но исчезло примерно 3.8 млрд. лет тому назад. Ниже мы вернемся к этим вопросам, и тогда станет ясно, что замечания сделаны не случайно.

4. Железное ядро и проблема генерации геомагнитного поля

Идея железного ядра имеет очень давнюю историю. С момента открытия земного магнетизма и магнетизма железа, это сопоставление представлялось очевидным. Одним из первых научных трактатов на эту тему, была, по-видимому, книга В.Гильберта “Земля - большой магнит”, изданная в Англии в 1600. Учеными высказывалась вторая предпосылка в пользу идеи железного ядра: плотность внутренних слоев Земли (так же как и железа)

значительно превосходит плотность земной коры, которая, в свою очередь, существенно ниже средней плотности Земли. Третья предпосылка в пользу железного ядра состоит в следующем. Многие ученые, в том числе известный русский химик Д.И. Менделеев, на основании аналогии химического состава Земли и метеоритов, пришли к выводу о том, что ядро Земли, так же как и метеориты, состоит из никелистого железа. Впоследствии это предположение было развито в научную гипотезу, ставшую господствующей с начала XX века и до наших дней. По поводу связи химического состава ядра Земли и метеоритов, имеет смысл привести слова Б. Гутенберга: “Преобладающее мнение, что главным элементом в ядре является железо, иногда основывается на его обилии в метеоритах. Однако здесь надо опасаться порочного круга: 1) метеориты, которые первоначально были частями планеты, часто содержат железо, и поэтому можно думать, что оно является главной компонентой Земли; 2) поскольку средний состав всех известных нам метеоритов приблизительно соответствует составу Земли (включая железное ядро), то можно считать, что они прежде являлись частями планеты”. В наше время данных по внутреннему устройству Земли вполне достаточно для того, чтобы однозначно ответить на такой вопрос: может ли быть ядро Земли – железным? Рассмотрим эти аргументы ...

Обратим внимание на особенности распределения скоростей сейсмических волн по глубине Земли (рис. 5). Скорости продольных (P) и сдвиговых волн (S) четко «отбивают» границы: ядро - мантия и внутреннее ядро - внешнее ядро. Отсутствие S-волн во внешнем ядре показывает, что оно жидкое. Наблюдается несколько интересных особенностей распределения скоростей волн по толще Земли: Скорости P и S волн резко уменьшаются на границе ядро-мантия, а на границе внутреннего ядра наблюдается «провал» скорости P-волн, характерный для поведения скоростей в области фазового перехода. Ещё одна особенность заключается в том, что в области внутреннего ядра не наблюдается возрастания скоростей волн как продольных, так и сдвиговых. Главной особенностью рис. 5 можно считать, что экспериментально измеренные скорости в монокристалле железа (штриховые линии) сильно отличаются от величин скоростей в ядре Земли.

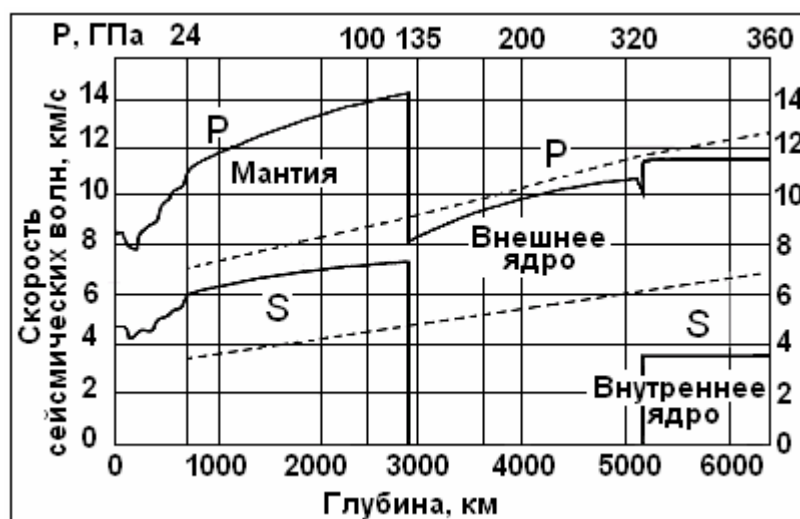


Рис. 5. Распределение скоростей сейсмических волн по радиусу Земли. Штриховые линии – распределение скоростей упругих волн в железе от внешнего давления на монокристалл железа. Глубина соответствует литостатическому давлению.

Знание скоростей сейсмических P и S волн позволяет оценить очень важный и исключительно индивидуальный параметр, характеризующий упругие свойства твердого тела: коэффициент Пуассона. - σ . (Абсолютная величина отношения поперечного укорочения к продольному удлинению при простом растяжении прямого стержня в пределах применимости закона Гука.). Величина σ вещества внутреннего ядра Земли известна: коэффициент равен 0.45. Это предельно большой коэффициент для твердого

тела. Когда $\sigma = 0.5$, это уже не твердое тело, а жидкость. Коэффициент $\sigma = 0.45$ имеет, например, резина. У более твердых тел коэффициент Пуассона значительно меньше, например, у алмаза $\sigma = 0.11$, у железа $\sigma = 0.18$, причем введение в железо некоторых добавок, например, никеля, может привести к изменению величины σ , но не до такой же степени, как $\sigma = 0.45$. Попытки объяснить увеличение коэффициента Пуассона с ростом давления оказались беспочвенными. Как видно их рис. 5, скорости P и S волн в железе увеличиваются одновременно с ростом давления таким образом, что σ остается постоянным и равным 0.18. Приведенные аргументы позволяют сделать очень важный для физики Земли вывод: «ядро Земли – не железное».

Может сложиться впечатление, что такой принципиально важный вывод базируется не на таком уж важном и убедительном аргументе. Попытаюсь убедить читателя, что это не скоропалительный вывод. Начну с предположения о том, что ядро действительно железное. Внутреннее твердое, а внешнее – жидкое. Далее, рассмотрим, насколько это предположение, не подвергающееся, кстати, сомнению, соответствует известным данным о таких параметрах ядра как, например, вязкость и некоторых временных параметрах геомагнитного поля, таких как инверсии, экскурсы, джерки и пр.

Прежде чем коснуться проблемы генерации геомагнитного поля, замечу, что во многих учебниках по геомагнетизму указывается, что А.Эйнштейн считал эту проблему среди пяти других важнейших проблем физики. По всей видимости, есть основание считать, что эта проблема ещё не решена. К такому выводу можно прийти, если учесть, что современные представления о природе геомагнетизма, базирующиеся на магнитном динамо, не способны найти объяснение перечисленным выше данным. Согласно модели динамо, вязкость расплавленного железа должна быть примерно такой, как у воды, а электропроводность, такой как у железа. Вязкость вещества жидкого железа, оцененная по астрономическим данным, - на порядки выше, чем принимаемые значения в модели динамо. И ещё, если бы электропроводность вещества внешнего ядра была такой как у железа, то нарушение порядка магнитогидродинамических процессов в ядре приведет к распаду поля в течение 10^5 лет. С учетом электропроводности и местоположения источника генерации, различные авторы называют минимальное время переполюсовки (инверсии) поля от 5000 до 1000 лет. Реально, наблюдаемое время вековых вариаций геомагнитного поля значительно (на три порядка) меньше, что противоречит общепринятой схеме генерации. Более того, сам факт смены полярности поля не следует из модели генерации. Здесь можно добавить, что магнитное поле существует у многих планет, не имеющих железного ядра, или существовало ранее, например, у Луны и Марса.

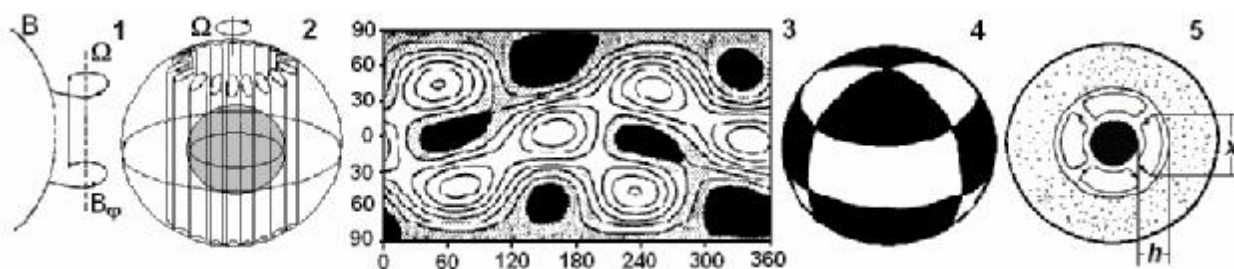


Рис. 6. Схема закручивания магнитных силовых линий при дифференциальном вращении вещества внешнего ядра (W - эффект) - 1). Схема действия a - эффекта: восстановление общего меридионального поля из петель, образованных тороидальными силовыми линиями (2). Распределение плотности вещества во внешнем ядре полученное по анализу собственных колебаний ядра (3). Трехмерная реализация распределения плотности вещества (4). Схема конвекции внутреннего ядра: черный круг – внутреннее ядро, кольцо с точками – мантия (5).

Не менее важный аспект проблемы геомагнитного поля, - это источник энергии для генерации поля. Многолетний и безуспешный поиск источника, в качестве которого рассматривались, например, такие идеи как конвекция за счет нагретого (?) внутреннего ядра, энергия радиоактивности, химические процессы на границе ядра и т.п., по меньшей мере, не убедительны, - так и не дал результата. Отсутствие источника энергии, необходимой для генерации геомагнитного поля, ставит под сомнение не только модель динамо, но и холодную модель Земли в целом.

5. Климат, глобальное потепление, грянет ли глобальное похолодание?

В течение последних 400 тыс. лет на Земле произошли четыре глобальных похолодания с периодичностью, примерно, в 100 тыс. лет. Последнее похолодание (ледниковый период) сменилось резким потеплением около 12 тыс. лет тому назад, что привело к быстрому таянию льда и увеличению уровня океана на 50 - 100 м. Это событие, возможно, было отражено в истории как «Библейский Великий Потоп», Оно совпадает по времени с экскурсом Гетеборг. Резкое и сильное потепление, случившееся, примерно 115 – 130 тыс. лет тому назад, так же совпадает по времени с экскурсом Блейк. Двум другим резким потеплениям, произошедшим в течение последних 400 тыс. лет, так же предшествовали экскурсы Ямайка и Бива II (рис. 7, верхняя панель). Общность этих событий такова, что после резкого потепления всегда наступало похолодание. Кроме обсуждаемых нами четырех интенсивных потеплений, можно отметить и другие, не такие резкие и сильные. Но и они, как правило, совпадают по времени с экскурсами геомагнитного поля Лашамп, Моно Лайк, и др.

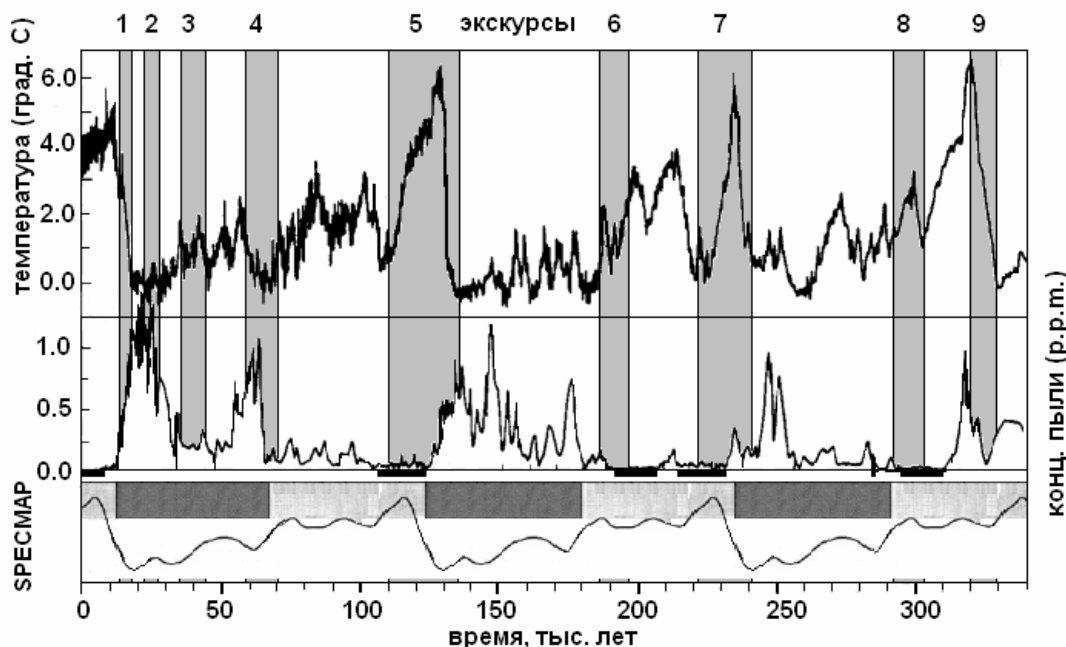


Рис. 7. Изменение температуры поверхности Земли (верхняя панель) и относительной концентрации пыли во льду (вторая панель). Третья панель - СПЕСМАР- океаническая изотопная кислородная кривая. Вертикальные полосы – понижение геомагнитного поля в периоды экскурсов (слева направо): Gothenburg (1); Mono Lake (2); Laschamp (3); Kargopolovo (Event Gaotai, 4); Blake (5); Biwa – I (6); Jamaica (7); Biwa – II (9). Понижение поля 300 тыс. лет (8) с экскурсом не идентифицировано.

При анализе кернов льда, полученных при бурении ледника Антарктиды в районе станции Восток, было обнаружено, что резкое уменьшение концентрации пылевых частиц во льду совпадало по времени и с потеплениями, и с экскурсами. Принято считать, что пыль, вмороженная в лед, это осевший стратосферный аэрозоль (СА), образующихся в результате взрывных извержений вулканов. На рис. 7 (вторая панель) черными полосками

под кривой временного изменения содержания пыли в слоях льда выделены периоды времени, предшествующие началу появления пыли, что, по-видимому, связано с началом активного вулканизма. Продолжительность выделенных интервалов времени составляет около 10 тыс. лет. Как видно из рисунка 7 (вторая панель), в течение последних, примерно 10 тыс. лет, в стратосфере Земли пыли практически нет, тогда как, в течение предшествующих 60 тыс. лет, концентрация пыли во льду достигала одного и более р.р.м. (10^{-6}).

На третьей панели рис. 7, для сравнения, приведена океаническая изотопная кислородная кривая SPECMAP. Эта кривая неплохо описывает ход температуры в течение 135 тыс. лет, но совершенно не соответствует третьему и т.д. 100 тыс. летнему циклу. Кривая SPECMAP, по смыслу, должна была продемонстрировать справедливость астрономической гипотезы климата Миланковича, хотя, как следует из рис. 7, очевидно её несоответствие данным по температуре поверхности Земли. Теория Миланковича разработана для чистой атмосферы. По-видимому, она оказывается недействующей в периоды, когда в стратосфере присутствовала пыль.

6. Атмосферное электрическое поле, связь с климатом, источник поля.

В атмосфере Земли существует электрическое поле, причем полярность поля такова, что Земля практически всегда отрицательна, т.е. земная поверхность несет на себе довольно значительный отрицательный заряд. Верхние слои атмосферы (электросфера, ионосфера) заряжены относительно Земли положительно. Принято считать, что причиной атмосферного электрического поля (АЭП) являются грозы. В 20-х годах прошлого века была обнаружена так называемая унитарная вариация поля - синхронные изменения напряженности поля величины E , - в целом по Земле. Вильсон высказал предположение, что унитарная вариация E вызвана грозами, которые приводят к зарядению Земли и высоких слоев атмосферы зарядами разных знаков. Эти идеи были развиты Уипплом и Скрейзом, которые установили, что суточный ход поля подобен суточному ходу площади поверхности материков Земли, занятой грозами. Так возникло представление о том, что электричество ясных дней связано с грозовой деятельностью облаков, т.е. с тем фактором, который в исследованиях поля «хорошей погоды», - исключался как аномальный.

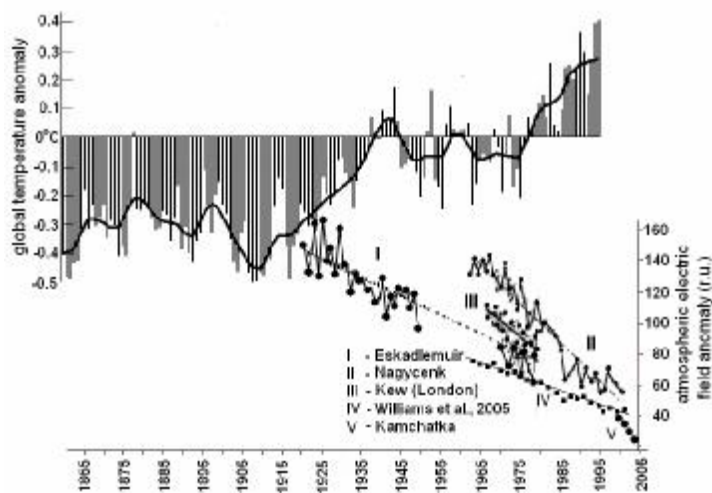


Рис. 8. Изменения температуры поверхности Земли (верхняя панель) и АЭП, измеренного в 5 обсерваториях.

Общепринятая грозовая модель АЭП – ошибочна. В подтверждение этого вывода приведем несколько доводов. Наиболее убедительный аргумент состоит в том, что приближение грозы к месту измерения АЭП понижает величину АЭП. В этом мы убеждались неоднократно сами. Грозы, как известно, повторяют 11-летний солнечный цикл, причем в годы солнечной активности возрастает количество и интенсивность гроз.

Этой особенности не наблюдается в вековом ходе АЭП (см. рис. 8). Принято считать, что унитарная вариация в АЭП обязана суточному изменению интенсивности гроз: Считается, что максимальное количество гроз в Бразилии и Африке приходится на время, когда в Лондоне 19 часов. Многолетние ежедневные наблюдения за интенсивностью гроз, выставленных на сайте в Интернете, убедили меня в том, что это ошибочная идея. Обнаружение в АЭП эффекта Форбуш понижения, характерного для галактических космических лучей (ГКЛ), говорит, скорее всего, в пользу того, что именно ГКЛ, а совсем не грозы, играют значимую роль в формировании источника АЭП.

7. О некоторых других, не решенных проблемах физики Земли.

Среди других проблем физики Земли, не решенных к настоящему времени, но не менее важных, чем названные, следует обозначить, например, такие как: физика землетрясения, физика вулкана, физика образования месторождений полезных ископаемых и др. Вопросы биологической эволюции, казалось бы, не входят в область интересов физики Земли. Однако биологическая эволюция жестко «привязана» к эволюции Земли. В таком случае эти проблемы следует рассматривать в физике Земли. Речь, в частности, может идти о проблеме отсутствия промежуточных видов, как это должно следовать из теории Дарвина. Решить эту задачу, по-видимому, можно лишь в том случае, если в эволюции Земли будут выявлены некоторые события, которые могут быть причиной резких изменений хода биологической эволюции. В качестве таких событий могут быть, например, периоды резкого увеличения радиационного фона на Земле в периоды смен полярности геомагнитного поля, когда с его «исчезновением» пропадает природная защита от проникающего космического ионизирующего излучения.

Одна из важных для человечества проблем – землетрясение. Как правило, оно происходит неожиданно и даже люди, проживающие в сейсмически опасных регионах, оказываются не готовыми к таким катастрофам. Наука занимается в большей степени прогнозом землетрясений и лишь попутно, - их физикой. За последние 100 лет уровень понимания физики землетрясения не слишком продвинулся, если сравнивать его с идеей Рейда «упругой отдачи». Суть предложения Рейда состоит в том, что в момент землетрясения подвижка среды происходит по старым разломам. Эта идея была высказана им после разрушительного землетрясения Сан-Франциско в 1906 г. Большинство ученых, занимающихся физикой землетрясения, полагают, что образующиеся в момент землетрясения на поверхности земли трещины и разрывы, непосредственно «выходят на поверхность» из области очага, т.е. с глубины достигающей в некоторых случаях 700 км. Принято считать, что причина возникновения землетрясений – сброс упругой энергии, возникшей на краях плит при субдукции одной плиты под другую. Моделей землетрясений довольно много. Одна из популярных идей состоит в следующем. Вдоль плоскости основного сейсмогенного разрыва имеются "гладкие" участки и участки с "зацепами", которые препятствуют смещению. Срыв "зацепа"- процесс мгновенный, необратимый и именно он приводит к возникновению короткопериодических сильных колебаний. Молодые сейсмогенные разломы обладают большим количеством "зацепов" и потому представляют собой более значительную сейсмическую опасность, чем древние разломы, в которых "зацепы" срезаны и преобладают гладкие участки. Большинство землетрясений происходит в зонах т.н. субдукции, хотя примерно 20 % землетрясений происходят вдали от краев плит. Объяснения этих эффектов, как, впрочем, и физики землетрясения - пока нет.

Аналогичная ситуация наблюдается и в случае физики образования вулканов. Особенно она важна для понимания природы супервулканов, существование которых на Земле оказывало огромное влияние на климат, формируя на Земле т.н. «вулканические зимы», приводящие к глобальному похолоданию. Понимание физики этого явления очень важно для человечества. Только после понимания физики явления можно будет иметь представление о том, может ли на Земле произойти извержение супервулкана, когда и где.

Известно, что такие извержения на Земле имели место. Такое извержение в настоящее время происходит на спутнике Юпитера – Ио. Надо сказать, что вообще проблеме супервулканов, суперземлетрясений и суперураганов не уделяется достаточного внимания. Известно лишь, что все эти катастрофические явления, вполне возможно, имеют ограничение по энергии. Считается, что ограничение связано с размером Земли. Однако наличие происходящего в настоящее время извержения супервулкана на Ио, возможно, опровергает это мнение.

Обычно физика Земли не касается вопросов, связанных с выяснением причин и механизмов образования месторождений полезных ископаемых. Эта проблема находится исключительно в ведении геологов. Современная модель образования Земли предполагает, что Земля возникла в результате медленного слипания пылевых частиц. В такой ситуации остается предположить совершенно невероятную ситуацию, что в определенный момент времени образования планеты, - на конечной её стадии, в определенное место Земли одновременно «упали» пылинки одного сорта, образовав, таким образом, - месторождение полезных ископаемых. Или ещё менее вероятная ситуация – на Землю, в районе современной Чукотки упал метеорит огромных размеров, целиком состоящий, например, из золота. Или ещё пример, алмазы, как известно, образовались очень давно, примерно млрд. лет и более тому назад, а «выброшены» они к поверхности Земли в трубках взрыва сравнительно недавно. Почему алмазы образовались так давно, и в чем состоит физика образования таких «трубок» - совершенно не ясно. Объяснений всех этих явлений с точки зрения современной физики – нет.

Ну и, наконец, вопрос, который мы затрагивали в самом начале: почему Земля, другие планеты и ряд спутников – круглые, в то время как малые спутники этим свойством не обладают. Без правдоподобного ответа на этот вопрос, - современную ФЗ вряд ли можно считать наукой.

Подобных примеров когда современная физика Земли не находит правдоподобного объяснения известным наблюдаемым фактам можно привести довольно много. Объяснения, конечно, существуют, но если учесть различные аспекты фактов и их корреляция, они противоречат друг другу.

8. Есть ли альтернатива?

Альтернатива есть. Согласно модели горячей Земли, разрабатываемой автором, наша планета образовалась одновременно с другими планетами и спутниками солнечной системы в едином процессе рождения звезды – Солнца. Начальный радиус Земли составлял 3.5 тыс. км, что точно равно радиусу внешнего ядра, начальная температура вещества достигала 30 000 К, начальная плотность – 35 г/см³ и т.д. Земля адиабатически охлаждалась и, охлаждаясь – расширялась. Модель горячей Земли оказывается адекватной модели расширяющейся Земли, которую разрабатывали в свое время Кэри; Хильденберг; Оуэн и др. Суть нашей модели состоит в том, что вещество Земли представляло собой горячий плотный пар, содержащий большое количество водорода. Остывая, на Земле сформировалась гранитная земная кора, через которую происходило охлаждение её вещества путем теплопередачи за счет теплопроводности. На границе внутреннего ядра происходит фазовый переход «конденсация-испарение», а на границе внешнего ядра - «кристаллизация-плавление». В результате функционирования второго перехода кристаллизовалась мантия, причем на первом этапе эволюции, продолжавшимся в течение первых 4 млрд. лет эволюции, толщина мантии увеличилась от нуля до ≈ 300 км (l^*), а в течение последних 0.5 млрд. лет – почти на 3 тыс. км. Фазовые переходы конденсация и кристаллизация происходят с выделением тепла, что обеспечивает Земле существование теплового потока и наличие источника энергии для генерации геомагнитного поля и геодинамики. Кроме этого, функционирование обоих переходов обеспечивает прерывистый характер эволюции. Дело в том, что выделение тепла при протекании фазовых переходов приводит к местному повышению температуры. Этот эффект

прерывает действие фазовых переходов и вместо конденсации наступает цикл испарения, а вместо кристаллизации – плавление. После цикла расширения Земли, следует цикл её сжатия. Эта особенность определяет пульсирующий характер эволюции Земли. Итак, расширение Земли определяется тем обстоятельством, что силы растяжения, возникающие при разуплотнении сжатого газообразного вещества, и переходе его в нормальное, конденсированное состояние, превалируют над силами гравитации – силами сжатия. После окончания цикла расширения, наступает цикл сжатия, когда гравитация оказывается «сильнее», чем расширение. Есть все основания говорить о том, что наша модель описывает расширяющуюся, пульсирующую Землю. Подобная гипотеза неоднократно высказывалась и обсуждалась известными геологами. Естественно, геологами не обсуждалась физика подобной модели эволюции Земли.

Таким образом, Земля, как и любая планета и спутник, эволюционирует до тех пор, пока не релаксирует все вещество, находящееся в момент образования в состоянии перегретого и переуплотненного пара (во внутреннем ядре). Это первая стадия эволюции. После этого этапа эволюция будет продолжаться до тех пор, пока все вещество, находящееся в жидком состоянии (во внешнем ядре) не кристаллизуется (второй этап эволюции). Согласно модели, при завершении первого этапа на планете исчезнет магнитное поле, и уменьшится (примерно в 30 раз) тепловой поток. Эти этапы прошли Луна и Марс. Магнитное поле на Луне исчезло 3.8 млрд. лет тому назад, а современный тепловой поток действительно примерно в 30 раз меньше теплового потока Земли.

Приведем пару примеров, о которых уже шла речь выше, иллюстрирующих решение актуальных проблем в контексте нашей модели.

В популярной литературе широко обсуждается вопрос: есть ли вода на Луне и Марсе, и если есть, то сколько. Эта проблема, решения которой не видно в рамках модели холодной Земли, решается элементарно в нашей модели. Вообще проблема воды шире, чем эти частные вопросы. С общепринятых позиций физики Земли совершенно неясно как ответить на такие вопросы: Почему на ранних этапах Мировой Океан был более пресным, чем сейчас? Почему при явном увеличении объемов воды на Земле в ходе её эволюции, береговая линия сохранялась на прежнем уровне? Откуда взялась эта вода, и т.д. На все эти вопросы модель горячей Земли дает вполне вразумительные ответы.

Другой пример из биологии. Некоторые ученые биологи считают, что особенности эволюции жизни на Земле, например, такие как «кембрийский взрыв», глобальные вымирания, отсутствие промежуточных видов и др., определяются особенностями эволюции Земли как планеты. Как известно, в геологии, да и в физике Земли господствует принцип актуализма: «всегда было как сейчас». Следовательно, никаких особенностей в эволюции Земли быть и не могло. Как в такой ситуации разобраться в весьма непростых вопросах биологической эволюции, - непонятно.

В заключение отметим, что, оставаясь в рамках нашей модели, удастся решить практически все из перечисленных нами в этой работе проблем и тех проблем, о которых здесь не упоминалось. Конечно, подчас уровень решений носит феноменологический характер, но, тем не менее, в каждом случае просматривается более глубокое решение как в плане привлечения фундаментальной физики и математики, так и вычислительных методов и компьютерного моделирования.

С моделью горячей Земли можно познакомиться по монографиям и статьям автора, которые представлены на сайте. Все ссылки, используемые в этой работе, приведены в монографии «Физика Земли: обоснование и разработка модели "горячей" Земли», принятой в печать издательством М.: Наука, 2007.

Автор: Кузнецов Владимир Валерьевич, профессор по физике Земли, г.н.с. ИКИР ДВО РАН. ikir@academ.org <http://www.ikir.kamchatka.ru/vvk/>
Новосибирск, 630090, ул. Мальцева д. 1, кв. 18. т. 383 3303468