

## НУЖНА ЛИ НОВАЯ ФИЗИКА ЗЕМЛИ?

Кузнецов В.В.

Представлен обзор современного состояния физики Земли. Показано, что общепринятая модель образования Земли и её внутреннего устройства - не может найти объяснение большому количеству данных, полученных в результате многолетних наблюдений различных параметров Земли. К ним можно отнести такие как, особенности геомагнитного поля, природу сейсмичности, вулканизма, причину дрейфа материков, причины изменений палеоклимата, физику атмосферного электрического поля и т. д. Кратко изложена альтернативная модель образования, эволюции и внутреннего устройства Земли.

### 1. Введение

Физика Земли (ФЗ) является неотъемлемой частью ФИЗИКИ среди других её разделов, 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 эта наука, в отличие от других разделов ФИЗИКИ, таких как, например, механика, электродинамика, гидродинамика и др., практически не имеет общих фундаментальных законов и закономерностей. Кроме, пожалуй, таких эмпирических зависимостей в сейсмологии, как законы Гуттенберга-Рихтера (ГР) и Омори - (рис. 1). Надо сказать, что закономерности связи числа событий  $N$  с их энергией  $E$ , аналогичные закону ГР, обнаружены не только для землетрясений, но для вулканов, солнечных вспышек, космических лучей, 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. Подобные зависимости называют также  $(1/f)$  фликкер шумом, который отличается от «белого» шума тем, что система «помнит» свою предысторию.

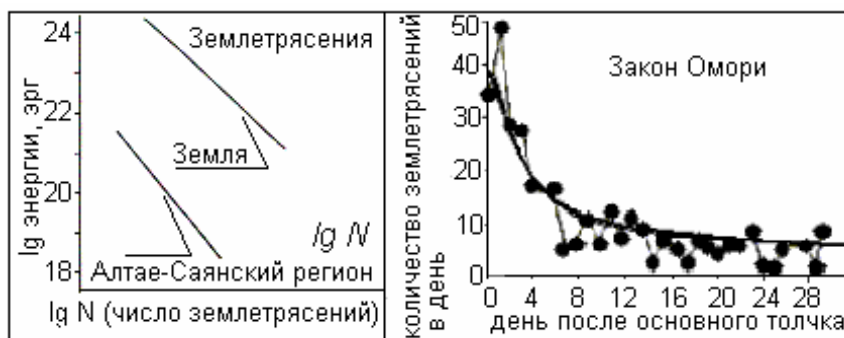


Рис. 1. Закон Гуттенберга-Рихтера, слева; закон Омори – справа.

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 [1]. 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, что: «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 нигде 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, общепринятая модель Земли - не дает.

Как очевидно, Земля – сложная и многофункциональная структура, обладающая многими и, на первый взгляд, не связанными между собой, 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, электрическое поле, климат и др., и покажем, что существующая в настоящее время ФЗ не способна найти объяснение им с общей позиции.

## **2. 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». Этих взглядов придерживались такие ученые как Декарт, Кант, Лаплас, Ломоносов и многие другие. Затем, в связи с успехами в сейсмологии и в некоторых других разделах ФИЗИКИ, точка зрения на внутреннее устройство Земли резко переменялась. Толчком к этому послужил тот факт, 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» Земли, 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 (планетозималей) 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 планетозималей из «материнского» пылевого облака [2].

Скорость роста массы планеты, по Шмидту, дается выражением:

$$dM/dt = \pi R_E^2 \rho v (\sim R_E^2 \sigma),$$

где  $\rho$  и  $\sigma$  - соответственно объемная и поверхностная плотности участвующего в аккреции вещества,  $v$  - средняя скорость падения планетозималей относительно растущей планеты,  $R_E$  её «текущий» радиус, который увеличивается с уменьшением величины  $v$ , согласно формуле, приведенной Рингвудом:

$$R_E^2 = R^2(1 + 2GM/Rv^2) = R(1 + v_e^2/v^2),$$

где  $R$  - геометрический радиус растущей планеты,  $v_e$  - скорость «ускользания» вещества с её поверхности (1-я космическая скорость).

По мнению Рингвуда [3] теория Шмидта приводит к заключению, что аккреция Земли (на 98 %) происходила на протяжении около  $10^8$  лет, и это значение широко используется в литературе. Однако согласно этой теории время аккреции Урана и Нептуна оказывается порядка  $10^{11}$  лет, т.е. значительно больше возраста Солнечной системы. Попытки обойти эти трудности, - неубедительны. Возникает сложность и с оценкой времени аккреции Марса, для которого оно составляет  $2.6 \times 10^9$  лет. Подсчет кратеров, хотя и не очень точный метод, указывает на гораздо более древнюю его поверхность. Если принять столь сравнительно молодой возраст завершения аккреции Марса, то приходится предполагать сильную бомбардировку Земли и Луны вплоть до  $2 \times 10^9$  лет тому назад. Однако изучение Луны показывает, что период частой бомбардировки закончился, по крайней мере, около  $3.9 \times 10^9$  лет тому назад.

Мак-Крей считал, что рождение планетной системы обязано образованию звезды - «... это самый естественный подход к проблеме. Очевидно, что природа создала галактики, звездные скопления, кратные системы, двойные и одиночные звезды, - одним словом, всё в единой, грандиозной последовательности процессов. Нам известно, что следующий класс объектов в этой последовательности - планеты. Лишь случайное распределение масс определяет, рождается звезда или же планета. Предел последовательности - тело минимальной массы, еще удерживаемой самогравитацией. Планеты существуют, и было бы странно, если бы природа прервала одну последовательность процессов на звездах и начала новую с единственной целью - образовать планеты» [4].

Ривс приходит к заключению, что «... при столкновении каменных тел со скоростями, типичными для движения по кеплеровским орбитам вокруг Солнца (10 км/с), их объединение маловероятно» [5]. Хартман подчеркивает, что «... пока не существует единой, общепринятой, современной теории образования планет, есть только много отдельных работ, обеспечивающих медленный прогресс в нужном направлении» [6]. Хартман приходит к выводу, что планеты - гиганты были образованы в результате крупномасштабного гравитационного коллапса, так как он убедительно объясняет системы их регулярных спутников, как миниатюрные «солнечные системы».

Зададимся вопросом: почему время образования Земли 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  $T = 300$  К (как сейчас). Это может происходить при выполнении единственного условия: вся гравитационная энергия Земли ( $2 \cdot 10^{39}$  эрг) идет на нагрев её вещества, а тепло излучается в космос. Такое излучение описывается формулой Стефана-Больцмана: ( $E = \sigma T^4 S t$ ), где -  $E$  энергия излучения,  $\sigma$  - 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 до температуры 300 К тела, потребуется именно 100 млн. лет. Не меньше и не больше.

Выясним, насколько правдоподобна оценка Шмидта. Совсем недавно, с помощью космических телескопов Хаббл и Спитцер обнаружено что, процесс образования планет у «молодых» звезд возрастом  $\sim 100$  тыс. лет уже закончился, а 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. Астроном Козырев по величине теплового потока оценил температуру вещества ядра Юпитера [7]. Оказалось, что эта температура не ниже 100 000 К. Через много лет после Козырева появились работы, в которых авторы стали допускать, что недра Юпитера, как и других планет гигантов, - горячие [8].

Второй «удар» механизму холодного образования планет был нанесен открытием «Коричневых карликов» – инфракрасных звезд, занимающих промежуточное положение между Юпитером и Солнцем [9-11]. 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 [12]. Авторы исследовали результаты просвечивания протозвездного пылевого диска одной из «молодых» звезд в созвездии Ориона, анализируя спектры пропускания галактического электромагнитного излучения (ГЭМИ) в широком диапазоне длин волн. Было определено, что возраст пылевого диска не превышает 100 тыс. лет. Согласно общепринятой модели образования планет, в таком диске должны находиться планетозимали, 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 [13].

Все эти результаты стимулировали в 2001 г. дискуссию на тему: “What is a Planet?” - на страницах журнала Science [14] и в Internet [15]. Дискуссия показала, что однозначно ответить на поставленный вопрос пока нет возможности. Дело в том, что холодная модель образования планет находится в противоречии с данными, касающимися проблемы формирования планет. Таким образом, анализ проблемы образования Земли позволяет ответить на вопрос, поставленный в заголовке, - положительно, т.е. эта проблема ещё далека от решения. То же самое относится и к проблеме формирования 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:

$$R = 0.4 + 0.3 \times 2^n,$$

где  $R$  - расстояние от Солнца до планеты в астрономических единицах,  $n$  - целые числа, причем, для Меркурия  $n = -\infty$ , для Венеры  $n = 0$ , для Земли  $n = 1$  и т.д. [16]

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.

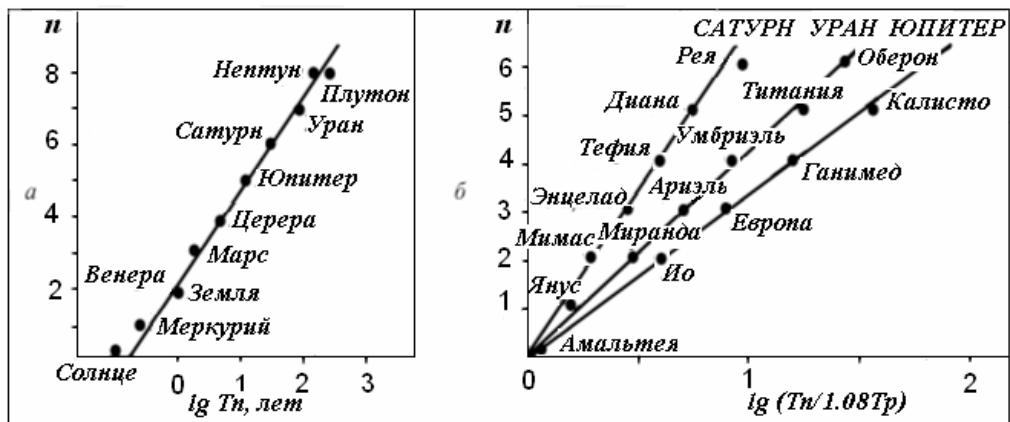


Рис. 2. Закон Тициуса-Бодде для Солнечной системы и систем Сатурна, Урана и Юпитера.

В качестве иллюстрации к сказанному, обратимся к рисунку 2, на котором приведены периоды обращений планет и регулярных спутников планет-гигантов [17]. Период обращения  $n$ -го тела:  $T_n \approx T_0 A^n$ , где  $T_0$  и  $A$  - произвольные постоянные, различные для каждой из подсистем. Гипотеза Шмидта, несмотря на то, что в ней неплохо совпадали рассчитанные расстояния от планет до Солнца (закон Тициуса-Бодде) с наблюдаемыми расстояниями, не объясняла целый ряд особенностей Солнечной системы. Среди них: совпадение направления вращения Солнца и планет, совпадение плоскостей орбит планет с плоскостью экватора Солнца, одинаковый характер распределения планет и спутников Юпитера, Сатурна и Урана по расстояниям, неясность механизма образования планет и спутников из роя холодных частиц (склеивания?) и т.д. По мнению астронома С.К. Всехсвятского, гипотеза Шмидта не могла предсказать ни одной ранее известной особенности Солнечной системы, что косвенно говорит о неубедительности её основных положений. Более того, эта гипотеза типично катастрофическая, а, следовательно, вероятность захвата звездой постороннего облака частиц ничтожно мала. Как известно в наше время (но не во времена Шмидта), очень многие звезды имеют планетные системы, что говорит скорее об определенном порядке при образовании подобных систем, но совсем не о катастрофизме. Исследования возможного механизма образования Солнечной системы, проведенные сравнительно недавно (позже Шмидта), теперь базируются в большей степени на гипотезе Канта-Лапласа, чем на катастрофических моделях.

Проблема образования планет не закрыта, регулярно появляются новые результаты по наблюдению планет в других звездных системах. Совсем недавно в созвездии Тельца были обнаружены две самые молодые планетные системы. Они окружают объекты (будущие звезды), которые пока и сами ещё не успели сформироваться [18]. Проводятся и численные эксперименты, в которых рассматриваются аналитические и численные модели описания протопланетного диска Солнца на начальной стадии его эволюции. Получены аналитические решения для протопланетного диска Солнца и решения для планетных газопылевых колец протопланетного диска. Выполнены численные расчеты стационарных состояний планетных колец протопланетного диска и эволюции протопланетного кольца, находящегося в нестационарном состоянии. Приведены результаты аналитических и численных расчетов, их анализ и сравнение, а также предложена модель образования планетной Солнечной системы [19].

### 3. Особенности эволюции Земли

3.1. 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 – охладилась. Плавное уменьшение  $T$  прерывалось резкими её колебаниями, связанными с оледенениями (см. рис. 3). 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.

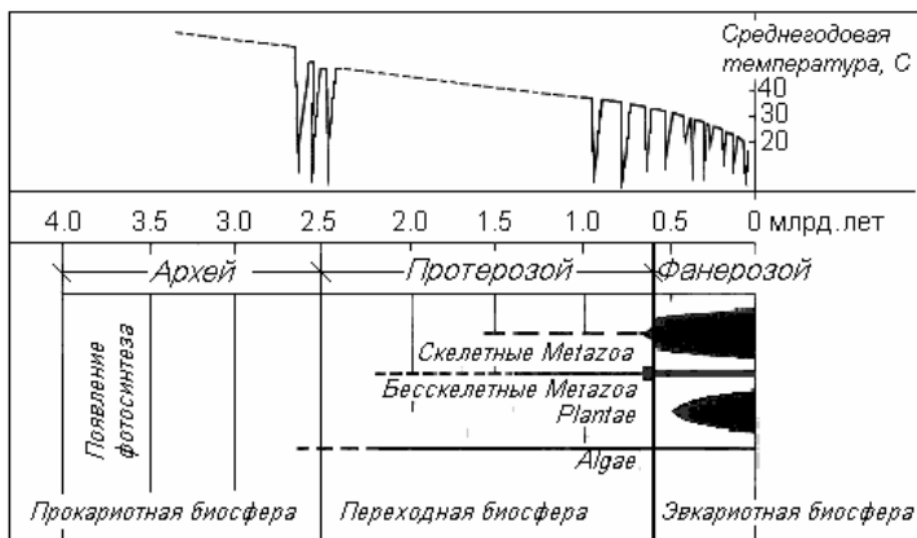


Рис. 3. Эволюция Земли. Верхняя панель – изменение температуры её поверхности, нижняя – биопродуктивность.

Эволюция Земли, по данным палеонтологии, имеет ещё более странный и не менее необъяснимый характер. Как следует из рис. 3, - 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.

3.2. 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, -

изливаясь из СОХ и 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. Зная номер полосовой магнитной аномалии можно определить возраст океанического дна в данной точке. Этот метод используется для изучения механизмов образования океанов.

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 [20]. 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.

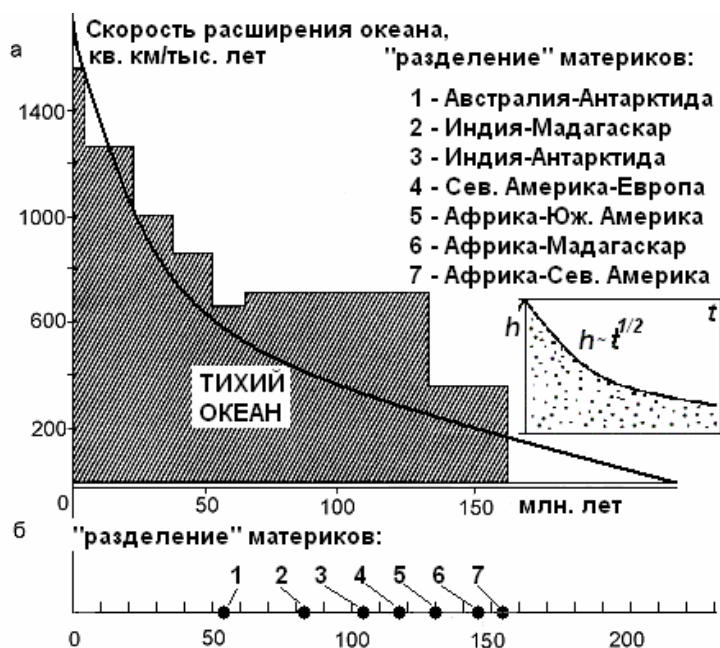


Рис. 4. Скорость расширения океанов (на примере Тихого океана) - а. Время разделения Пангеи на материки - б. На вставке – зависимость глубины астеносферы от времени образования океанического дна в районе СОХ.

Рисунок 4 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. Сплошная линия (на рис. 4) линия служит некоторым усреднением скорости. Она практически совпадает с кривой зависимости глубины астеносферы  $h$  от возраста океанического дна  $t$ :  $h \sim t^{1/2}$  (на вставке). Кстати, последняя зависимость не получила объяснения в рамках современного мобилизма. На этом же рисунке показаны даты (в млн. лет) начала разделение материков. Данные по расширению

дна океанов и разделению материков получены с помощью методов, развитых в магнитной стратиграфии, заметим, – весьма объективных [21, 22].

3.3. Надо сказать, что нет правдоподобной модели и ясного представления и о том, с какой скоростью Земля вращалась раньше, хотя принято считать, что она раньше вращалась значительно быстрее, чем сейчас. В доказательство этому, в физике Земли обычно ссылаются на данные по продолжительности года, суток, периода лунных приливов и т.п., полученные по анализу кольцевых наростов и подсчету темно- и светлоокрашенных серий слоев известковых скелетов на срезах ископаемых кораллов, моллюсков и раковин.

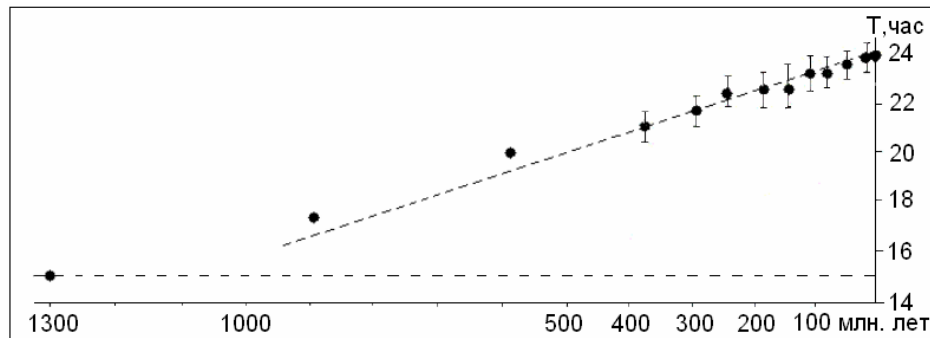


Рис. 5. Изменение скорости вращения Земли по нашей модели и данным по кораллам и строматолитам (ссылки в тексте).

На рис. 5 приведены данные измерений длительности суток, полученные по кораллам [23 - 28]. На рисунке изображена зависимость изменения длительности периода  $T$  обращения Земли вокруг оси от времени эволюции. Предпоследняя точка для 900 млн. лет опубликована в журнале *Astronomy* [29].

В 2003 г. в средствах массовой информации, в частности, в сети Интернет и агентства Синьхуа [30], появилась новая информация о палеовращении Земли. Согласно этой информации (не получившей пока подтверждения в научных публикациях) китайские ученые из Тяньцзиньского института геологии и минеральных ресурсов Zhu Shixing и др., на основе анализа напластований строматолитов, обнаруженных в древних пластах горы Яньшань, показали, что 1.3 млрд. лет тому назад Земля вращалась значительно быстрее, чем сейчас. По оценке авторов, длина суток ранней Земли равнялась 15 часам. Почему Земля вращалась раньше быстрее – не ясно. В рамках модели холодной Земли ответа на такой вопрос не находится.

3.4. Обратим внимание на ещё один факт, касающийся эволюции Земли, который в своё время привлек внимание Ньютона. Джеффрис полагал Землю гидростатичной [31]. При этом должно было бы выполняться правило:  $1/H \approx 1/\varepsilon$  [ $H = (C - A)/C$ ], где  $C$  и  $A = B$  - полярный и экваториальные моменты инерции Земли,  $\varepsilon = 5/4 \times \omega^2 a^3 / GM$  - сжатие Земли,  $\omega$  - скорость её вращения,  $a$  - экваториальный,  $c$  - полярный радиусы Земли, величина, обратная сжатию:  $1/\varepsilon = a/(a - c)$ . Условие гидростатичности современной Земли, вращающейся с периодом  $T = 24$  часа, выполняется при:  $1/\varepsilon = 232$ . Как известно, у Земли:  $1/H = 305.5$ ,  $1/\varepsilon = 297.8$  и  $1/H - 1/\varepsilon = 7.8$ , а наблюдаемая разность 6.75. Все это говорит о негидростатичности Земли. Длительность суток  $T$  планеты, имеющей размер Земли и ее среднюю плотность, должна быть равна:  $T = 27.2$  часа, а не  $T = 24$ , как у Земли. Наблюдаемый период вращения  $T$  соответствует  $1/\varepsilon = 232$ , и, надо сказать, первым вычислил величину  $1/\varepsilon$  ещё Ньютон. Для  $T = 22$  часа, Эвернден подсчитал:  $1/\varepsilon = 200$ . 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 [32]: 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 теплового потока;
  - Глубинные мантийные плюмы не могут существовать; и т.д.
- На лицо – ещё один парадокс в эволюции Земли, - и тоже не решенный.

3.5. Менялось ли гравитационное поле Земли в процессе её эволюции? Ответить однозначно на этот вопрос нельзя и в наше время. Прошло четверть века с момента написания профессором университета в Рединге (Англия) А.Д. Стюартом обзора “Palaeogravity” на эту тему [33]. Некоторые вопросы, затронутые им, были уточнены за прошедшие с той поры 30 лет, получены новые экспериментальные данные. Однако нельзя сказать, что в выяснении этого вопроса имеется прогресс. Надо заметить, что тематика исследований, связанных с поведением гравитационного поля Земли в прошлом, не была эти годы особенно популярной. Новых работ появилось довольно мало и, несмотря на определенные успехи в области изучения стабильности во времени гравитационной постоянной и массы Земли, появляются статьи и книги, в которых авторами игнорируются экспериментально полученные данные по стабильности этих параметров.

Стюартом были рассмотрены основные идеи, касающиеся физических моделей, в которых оказывается возможным изменение со временем величины силы тяжести на поверхности Земли. Здесь добавлены известные автору немногочисленные работы, в которых предпринималась попытка оценки величины  $g$  в прошлом [34 – 37]. Основные результаты экспериментов по оценке степени стабильности массы и гравитационной постоянной заимствованы из статей [38 – 40]. На рис. 6 показано, насколько различаются модели изменения силы тяжести в прошлом. Это может говорить только о том, что понимания этой достаточно важной в ФЗ проблемы – ещё нет.

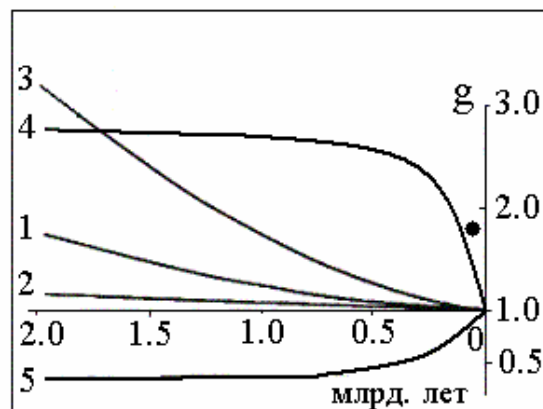


Рис. 6. Изменение силы тяжести во времени по различным моделям: 1 - Дике [41], 2 - термического расширения, 3 - Каппа [42], 4 - Кузнецова [43], 5 - Веселова [44]. Точка - [34].

3.6. 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 ошибке, на которую указал Мезервей ещё в 1969 году. Суть идеи Мезервея [45] 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. 7). Для того чтобы образовать Гондвану (рис. 7-слева), этим материкам пришлось бы двигаться вдоль по направлениям, показанным на рисунке 7-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 [46]. Глобус Фогеля демонстрирует, как изменялось положение материков, от начального, в момент образования Земли - до современного.

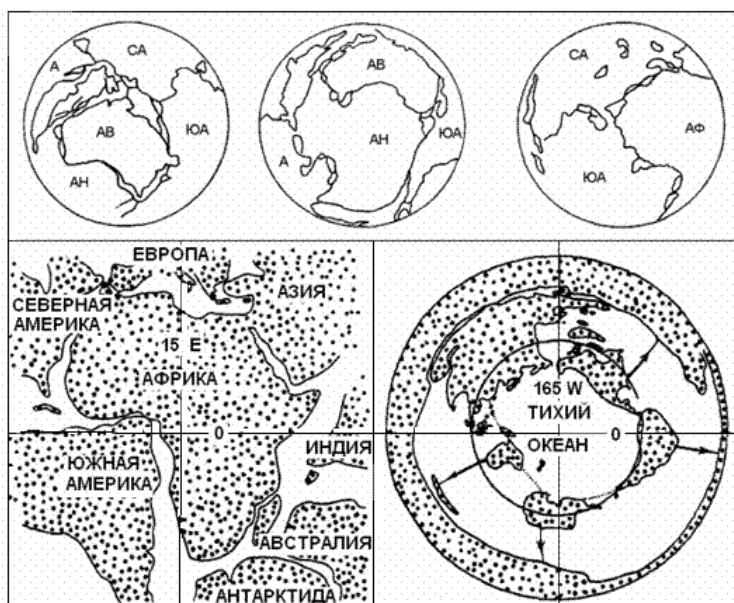


Рис.7. Вверху – расположение материков на внешнем ядре [47]. Внизу: слева – соединение материков в Гондвану; справа – интерпретация этого факта Мезервеем [45].

Все, не нашедшие правдоподобного объяснения проблемы, отраженные в этом разделе, показывают, что в настоящее время модели эволюции Земли, отражающей весь накопленный материал, - пока нет. Эта ситуация, в частности, тормозит развитие биологической эволюции, которая должна строиться в контексте эволюции Земли.

#### 4. Распределение температуры по радиусу Земли, причина теплового потока

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.

Уравнение состояния конденсированного вещества, т.е. связь температуры  $T$  с давлением  $p$  и объемом  $V$ , выглядит примерно так, как это показано на рис. 8. 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, которая испаряется с появлением газообразной фазы (для воды это  $0^\circ \text{C}$ ). 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. 8), 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...

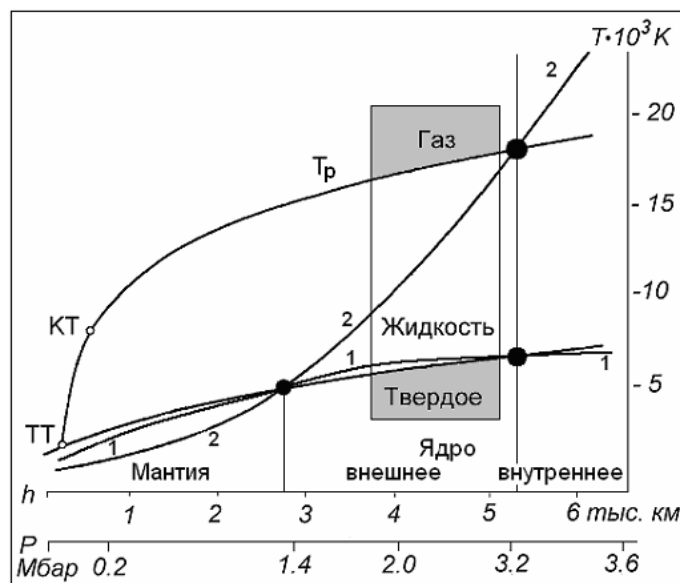


Рис. 8. Уравнение состояния вещества Земли: ТТ – тройная точка, КТ – критическая температура; верхняя кривая делит фазы «газ-жидкость», нижняя – «жидкость-твердое». Адиабаты: 1 - Пуассона, 2 – Гюгионо.

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 [48]. 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  $T_p \sim p/\rho$  ( $\rho$  - 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. 8). 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 минералов 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, практически равна (и даже чуть больше) 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. Считается общепринятым, что раньше на Земле тепловой поток был выше в несколько раз. Если принять, что увеличение было в 10 раз и проинтегрировать такой поток 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 ещё одну загадку: оказывается, 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: Луна имела магнитное поле, но оно исчезло примерно 3.8 млрд. лет тому назад. Ниже мы вернемся к этим вопросам, и тогда станет ясно, что замечания сделаны не случайно. Пока же, мы можем утверждать, что проблема распределения температуры по радиусу Земли, а так же проблема теплового потока Земли – решения пока не имеют.

## **5. Железное ядро и проблемы 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. Кроме этой, учеными высказывалась ещё одна предпосылка в пользу идеи железного ядра: плотность вещества ядра Земли значительно превосходит плотность земной коры, которая, в свою очередь, существенно ниже средней плотности Земли. Третья предпосылка в пользу железного ядра состояла в том, что ядро Земли, так же как и метеориты, состоит из никелистого железа. К такому выводу, на основании аналогии химического состава Земли и метеоритов, пришли некоторые ученые, в том числе и химик Д. И. Менделеев. Впоследствии это предположение было развито в научную гипотезу, ставшую господствующей с начала XX

века и до наших дней. По поводу возможной связи химического состава ядра Земли и метеоритов, имеет смысл привести слова Б. Гуттенберга: “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” [49]. В наше время данных по внутреннему устройству Земли вполне достаточно для того, чтобы однозначно ответить на такой вопрос: может ли ядро Земли быть железным? Рассмотрим эти аргументы ...

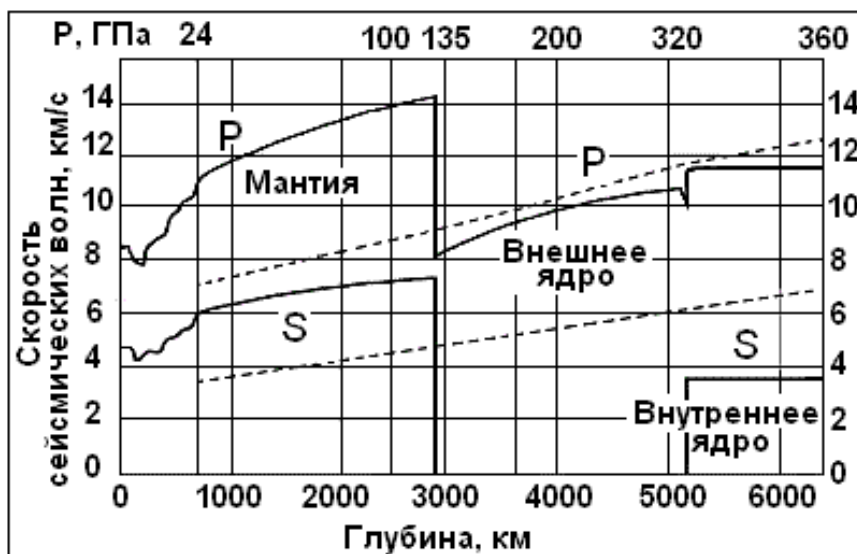


Рис. 9. Распределение скоростей сейсмических волн по радиусу Земли. Штриховые линии – распределение скоростей упругих волн в железе от внешнего давления на монокристалл железа [50]. Глубина соответствует литостатическому давлению.

Обратим внимание на особенности распределения скоростей сейсмических волн по глубине Земли (рис. 9). 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 звука в области фазового перехода. Ещё одна особенность заключается в том, что в области внутреннего ядра, при росте давления от 320 до 360 ГПа, возрастания скоростей волн как продольных, так и сдвиговых - не наблюдается. Главной особенностью рис. 9 можно считать, что экспериментально измеренные скорости упругих волн в монокристалле железа (штриховые линии) [50] сильно отличаются от величин скоростей в ядре Земли.

Знание скоростей сейсмических P и S волн позволяет оценить очень важный и исключительно индивидуальный параметр, характеризующий упругие свойства твердого тела: коэффициент Пуассона -  $\sigma$ . Это абсолютная величина отношения поперечного укорочения к продольному удлинению при простом растяжении прямого стержня в применимости закона Гука:

$$\sigma = 1/2 (3K - 2\mu) / (3K + \mu) = (V_p^2 - 2 V_s^2) / 2 (V_p^2 + V_s^2).$$

Величина  $\sigma$  вещества внутреннего ядра Земли известна: коэффициент Пуассона равен 0.45 (рис. 10). 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  $\sigma = 0.28$ , причем введение в железо некоторых добавок, например, никеля, может привести к изменению величины  $\sigma$ , но не до такой же степени, как  $\sigma = 0.45$ . Попытки объяснить увеличение коэффициента Пуассона с ростом давления оказались беспочвенными. Как видно из рис. 9, скорости Р и S волн в железе увеличиваются одновременно с ростом давления таким образом, что  $\sigma$  остается постоянным и равным 0.28. Приведенные аргументы позволяют сделать очень важный для физики Земли вывод: «ядро Земли – не железное».

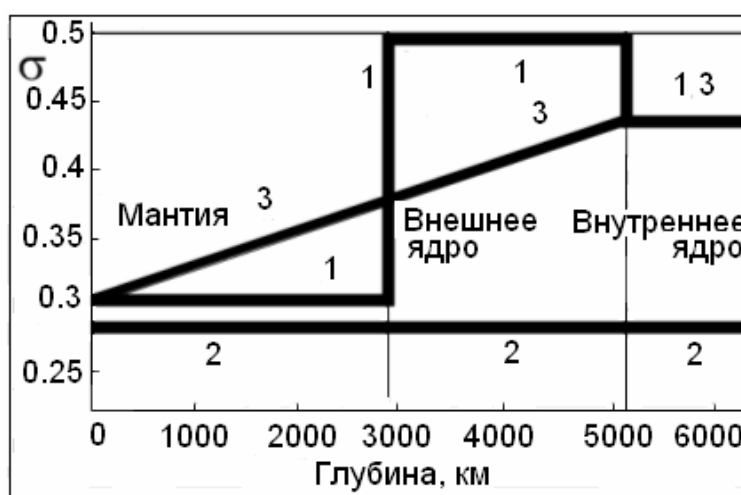


Рис. 10. Коэффициент Пуассона  $\sigma$ : 1 - Земли, 2 - железа [50], 3 - железа по данным [51, 52].

Может сложиться впечатление, что такой принципиально важный вывод о том, что ядро не может быть железным, базируется не на очень убедительном аргументе. В подтверждение этого вывода, приведем дополнительные аргументы, для чего рассмотрим известные данные о вязкости вещества ядра, а также некоторые переменные во времени параметры геомагнитного поля, такие как инверсии, экскурсы, джерки и, связанную с этими явлениями, - величину электропроводности внешнего ядра.

Прежде чем коснуться проблемы генерации геомагнитного поля, заметим, как указывается во многих учебниках по геомагнетизму, что А.Эйнштейн считал эту проблему наиболее важной среди пяти других наиважнейших проблем физики. Есть основание считать, что эта проблема ещё не решена. К такому выводу можно прийти, если учесть, что современные представления о природе геомагнетизма, базирующиеся на идее магнитного 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 временные вариации магнитогидродинамических процессов в ядре не должны быть меньше чем  $10^5$  лет. С учетом величины электропроводности и местоположения источника генерации, различные авторы называют минимальное время переполюсовки (инверсии) поля порядка 5000 лет. Реально, наблюдаемое время вековых вариаций геомагнитного поля значительно (на два порядка) меньше, что противоречит общепринятой схеме генерации. Дело в том, что при принятой в модели генерации

геомагнитного поля электропроводность жидкого железа внешнего ядра ограничивает длительность быстрых процессов, происходящих в ядре величиной в 100 тыс. лет [53]. Более того, сам факт смены полярности поля не следует из модели динамо. Здесь можно добавить, что магнитное поле существует у многих планет, не имеющих железного ядра, или существовало ранее, например, у Луны и Марса.

Можно ли найти данные, подтверждающие общепринятую модель конвекции вещества внешнего ядра, показанную на рис. 11-1 и 11-2, или, как и в других случаях, рассмотренных нами выше, модель противоречит наблюдениям? Наиболее представительная информация о распределении плотности в ядре получена при интерпретации спектральных мод собственных колебаний Земли, т.н. *splitting-функций*. На рис. 11-3 показана *splitting-функция* моды  $11S_4$  и возможность её реализации во внешнем ядре в виде конвекции с образованием 12 конвективных ячеек Рэлея-Бенара (рис. 11-4 и 11-5) [54].

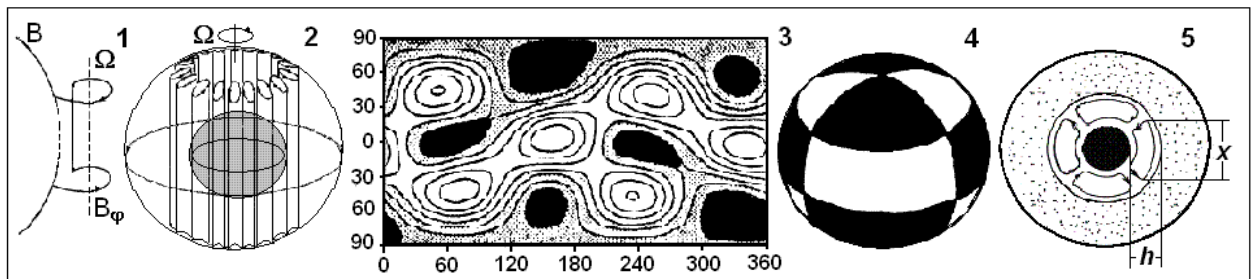


Рис. 11. Схемы конвекции во внешнем ядре Земли: 1. - Закручивание магнитной силовой линии ( $B$ ) при дифференциальном вращении вещества внешнего ядра ( $\Omega$  - эффект). 2. - Схема действия  $\alpha$  - эффекта: генерация меридионального поля с помощью петель, образованных тороидальными силовыми линиями. 3. - Распределение плотности вещества во внешнем ядре, полученное по анализу спектра собственных колебаний ядра. 4. - Трехмерная реализация распределения плотности вещества внешнего ядра. 5. - Схема конвекции: черный круг – внутреннее ядро, кольцо с точками – мантия.

Приведем ещё несколько примеров из геомагнетизма, не получивших объяснения в рамках принятой модели динамо. Одной из удивительных особенностей геомагнитного поля, это стабильность поведения поля, в частности, его момента  $M$ . В качестве иллюстрации сказанному, приведем рис. 12, на котором показано, что момент линейно убывает всего на 20 % в течение 400 лет. Тот факт, что можно проследить такую зависимость, говорит о высокой стабильности поля. В геомагнитном динамо механизма стабилизации поля не предусмотрено, более того, такая проблема вообще не обсуждается.

В рамках модели динамо не находят, как отмечалось выше, логического объяснения ни инверсии, ни экскурсы, ни дрейф магнитных полюсов, несмотря на то, что эти явления, несомненно, несут интересную и важную информацию о процессах, происходящих в ядре Земли. Приверженцы идеи динамо категорически отвергают факт дрейфа магнитных полюсов. Например, Campbell ставит под сомнение целесообразность самой идеи регистрации дрейфа магнитных полюсов. В качестве аргумента он приводит математическую модель описания геомагнитного поля в виде диполя, смещенного относительно центра Земли. По мнению автора, в такой ситуации вертикальность вектора поля и равенство нулю горизонтальной компоненты, ничего не означает, а является лишь следствием смещения оси генерации поля относительно оси вращения Земли [55].

Вместе с тем, в течение последних ста лет северный и южный магнитные полюса движутся навстречу друг другу вдоль траекторий дрейфа геомагнитных полюсов в момент инверсий геомагнитного поля [56, 57]. Анализ рис. 12 и 13 может говорить, например, о

том, что в настоящее время началась инверсия (или экскурс) геомагнитного поля. В этом случае Землю ожидает уменьшение модуля поля и, связанное с этим, - разрушение радиационных поясов и повышение радиационного фона, что может обернуться экологической катастрофой.

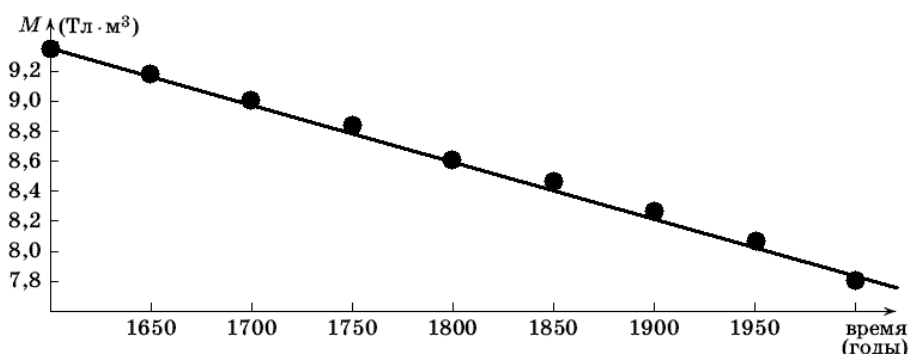


Рис. 12. Уменьшение дипольного магнитного момента геомагнитного поля.



Рис. 13. Вертикальные полосы показывают трассы дрейфа геомагнитных полюсов в моменты инверсий [56, 57]. Стрелки показывают направления современного дрейфа магнитных полюсов.

Инверсии и экскурсы в геомагнетизме хорошо изучены, информация о них широко используется в магнитной стратификации, геодинамике и формировании месторождений полезных ископаемых. Эта сторона проблемы связана с замеченной корреляцией «суперхрон-суперплюм» [58]. Анализ данных по частоте инверсий и экскурсов показывает, что палеомагнитная шкала самоподобна [59]. В этой работе показано, что на масштабах времени порядка 1 млн. лет множество инверсий геомагнитного поля можно рассматривать как поток независимых событий, аналогичный пуассоновскому процессу. На больших масштабах ситуация меняется и поток событий не является полностью случайным, а проявляет самоподобие. Такая характеристика свидетельствует о том, что последовательность инверсий [60], оставаясь хаотической, не является полностью случайной (так называемый слабый хаос). В [61] предложена модель, связывающая фрактальные свойства и масштабную инвариантность инверсий магнитного поля с изменением режима конвекции в ядре Земли. Позже аналогичные исследования проведены с экскурсами геомагнитного поля, которые можно представить в виде фрактальной структуры (рис. 14). Все это говорит об определенной специфике поведения ядра Земли как открытой самоорганизующейся структуры типа фазового перехода.



Полученные данные скорее противоречат механизму магнитного динамо, чем его поддерживают.

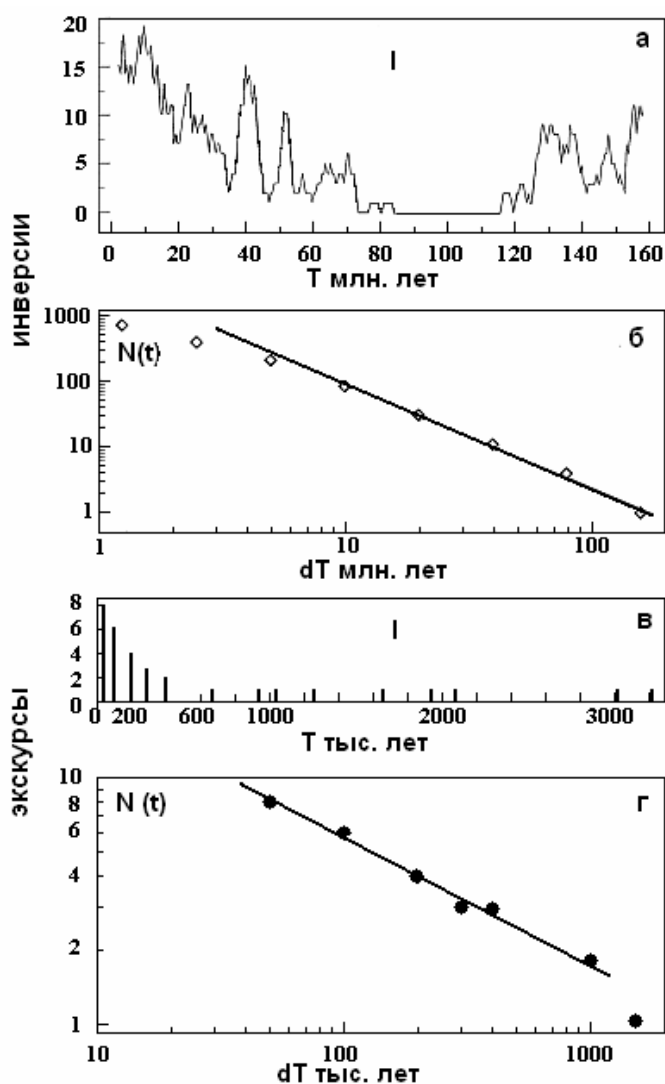


Рис. 14. Распределение количества инверсий  $I$ , произошедших в течение трех млн. лет, за  $T = 160$  млн. лет эволюции геомагнитного поля [60] - (а); б - оценка величины клеточной фрактальной размерности ( $D = \lg N(t) / \lg dT$ ) [61]; Распределение количества экскурсов  $I$  за 3 млн. лет (в) и оценка их фрактальной размерности (г).

Наиболее 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, нутация внутреннего 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.

### 6. Климат, глобальное потепление, грядет ли глобальное похолодание?

В течение последних 700 тыс. лет на Земле произошли семь глобальных похолоданий и потеплений 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. Общность этих событий состоит в том, что после резкого потепления всегда наступало

похолодание и наоборот. Кроме выявленных семи интенсивных потеплений-похолоданий, можно отметить и другие, не такие резкие и сильные.

Наиболее объективные данные палеоклиматических изменений основываются на анализе кернов льда, полученных при бурении ледников Антарктиды [62, 63] и Гренландии [64, 65]. Изменения температуры оценивались по изотопному анализу кислорода и дейтерия. Кроме этого, анализ прозрачности льда показал, что на Антарктиде (в районе станции Восток) и в Гренландии, были обнаружены резкие изменения концентрации пылевых частиц во льду. Уменьшение концентрации пыли ( $D$ ) совпадало по времени и с потеплениями и, наоборот. Некоторые авторы считают, что пыль, замороженная в лед, это осевший стратосферный аэрозоль (СА), образующихся в результате взрывных извержений вулканов. Другие полагают, что образовавшаяся пыль, это результат похолодания, иссушение почвы и пылевые бури. Надо сказать, что поведение параметров  $T$  и  $D$  во времени одинаково для Антарктиды и Гренландии. В таком случае считается, что пыль, попавшая на Антарктиду, - образовалась в Патагонии, а в Гренландию – в Сахаре или в Сибири [66]. Не вдаваясь в суть спора, используем, как нам кажется, более правдоподобную - первую идею.

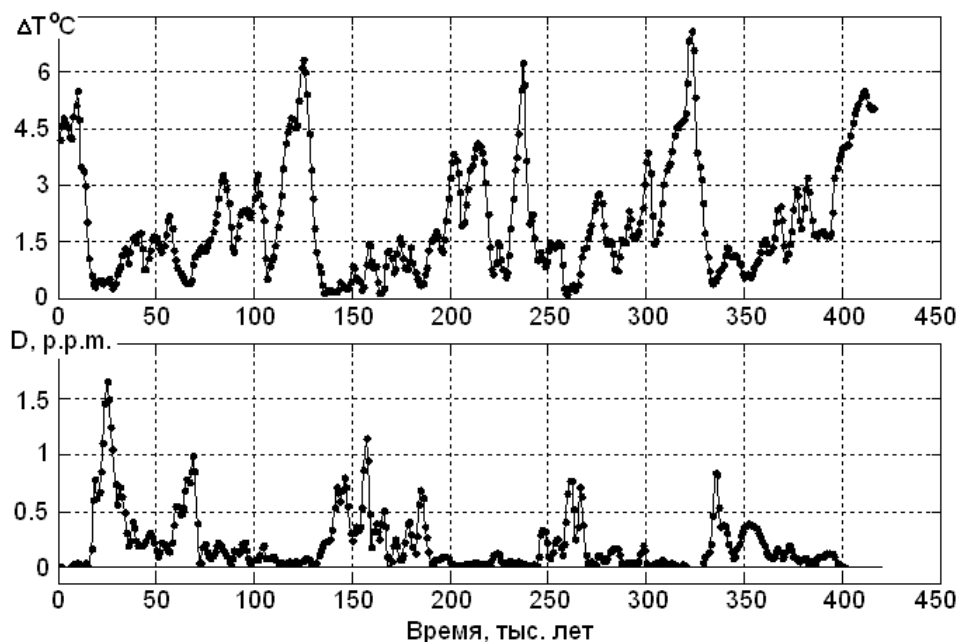


Рис. 15. Изменение температуры поверхности Земли ( $\Delta T$  - верхняя панель) и относительной концентрации пыли во льду ( $D$  - вторая панель) [62, 63].

Будем считать, что появление пыли связано с началом активного вулканизма. Рис. 15 показывает, что пыль в стратосфере удерживается десятки тысяч лет. Пыль от современных вулканов способна удержаться в стратосфере – годы. Это несоответствие легко устраняется, если предположить, что десятки и сотни тыс. лет тому назад на Земле извергались супервулканы, например, такие как Тоба (70 тыс. лет тому назад), которые вызывали на Земле т.н. «вулканические зимы» [67]. Как видно из рисунка 15 (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 p.p.m. ( $10^{-6}$ ).

Сравнивая кривую  $\Delta T$  с океанической изотопной кислородной кривой SPECMAP [68], можно видеть, что эта кривая неплохо описывает ход температуры в течение первых 135 тыс. лет, но совершенно не соответствует третьему и т.д. 100 тыс. летнему циклу. Кривая SPECMAP, по смыслу, должна продемонстрировать справедливость

астрономической гипотезы климата Миланковича, хотя легко убедиться в её несоответствии данным по температуре поверхности Земли. Заметим, что теория Миланковича разработана в предположении чистой атмосферы, поэтому она оказывается недействующей в периоды, когда в стратосфере присутствовала пыль.

Всё сказанное иллюстрирует современное положение с пониманием физики климата. Очевидно, что, не имея правдоподобной модели климата, нельзя с уверенностью ответить на вопрос, который широко обсуждается в самые последние годы: Что же происходит в настоящее время на Земле: нагревается она или остывает? По данным американских спутников “Tropical Rainfall Measuring Mission” и “Earth Observing System Terra” [69] предназначенных для изучения баланса поглощаемой и излучаемой Землей энергии, показано, что за период 1985-2000 гг. тепловое излучение Земли возросло более чем на  $5 \text{ Вт/м}^2$ , в то время как количество отраженной энергии солнечной радиации упало на  $2 \text{ Вт/м}^2$ . (Поток солнечной энергии, падающий на Землю составляет  $1360 \text{ Вт/м}^2$ ). Эти данные показывают, что Земля скорее охлаждается, чем нагревается. Авторы полагают, что причина дисбаланса потоков тепла состоит в усилении циркуляции в тропической атмосфере, и приходят к выводу о том, что с полной уверенностью обозначить механизм климатических перемен ещё невозможно.

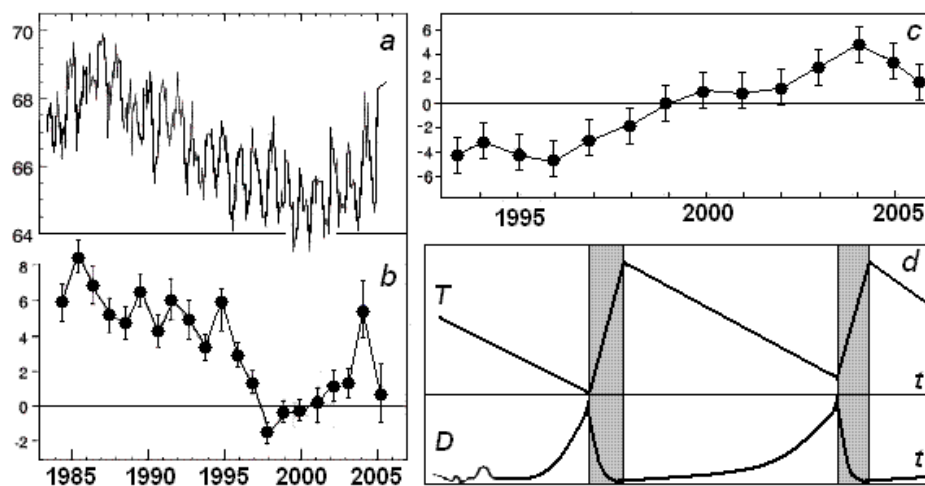


Рис. 16. Вариации концентрации стратосферного аэрозоля % (a), альбедо Земли (b) [70], аномалии теплосодержания океана [71] (c), температуры  $T$  и концентрации пыли  $D$  (d).

Этот вывод был подкреплён исследованиями, проведенными в течение последних пяти лет (рис. 16-а, b). Выяснилось, что Земля все интенсивнее отражает солнечные лучи. Аналогичным образом ведет себя и теплосодержание океана, в то время как температура Земли продолжает увеличиваться. Каким образом происходит непрерывное потепление, если количество солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, сокращается?

В [71] рассматривается отрицательный тренд коротковолнового отраженного солнечного излучения как климатический сигнал, показывающий, что Земля не находится в тепловом равновесии с окружающим пространством. Когда будет исчерпана аккумулирующая способность Мирового океана (рис. 16-с), может начаться резкое изменение климата, например, - увеличение скорости потепления. По нашему мнению, из неустойчивого положения климата на Земле возможны два выхода. О первом говорит автор [71], однако, анализ палеоданных по температуре и концентрации стратосферной пыли, позволяет рассматривать и другой ход развития событий.

Обратимся к данным по палеоклимату (рис. 15). Оказывается, что ситуация подобная современной происходила и ранее. Конечно, точно определить величину

альбедо Земли примерно 100 тыс. лет тому назад невозможно. Однако если допустить, что альбедо может быть связано с концентрацией пыли в стратосфере, то окажется, что в конце периода потепления, концентрация пыли, после достижения нулевого значения, уже начинает возрастать, хотя температура ещё продолжает увеличиваться, как бы «не замечая» возрастания пыли, иначе, переводя на современную ситуацию, «не замечая» возрастания «альбедо». Связь альбедо с концентрацией стратосферного аэрозоля подтверждает рис. 16-а и 16-б, а связь температуры и концентрации пыли - рис. 16-d. По всей видимости, обсуждаемое явление связано с тем, что Земля в такой ситуации нагревается не столько солнечным излучением, которое уменьшается, сколько переносом тепла к твердой Земле от океана. Рис. 16-d показывает, что концентрация пыли  $D$  уже достигла минимума и стала увеличиваться (альбедо возрастает), в то время как температура  $T$  ещё продолжает расти. Не происходит ли подобная ситуация в настоящее время? Если это так, то Земля стоит на пороге начала резкого похолодания.

### 7. 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  $Ez$  - в целом по Земле. Вильсон высказал предположение, что унитарная вариация  $Ez$  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.

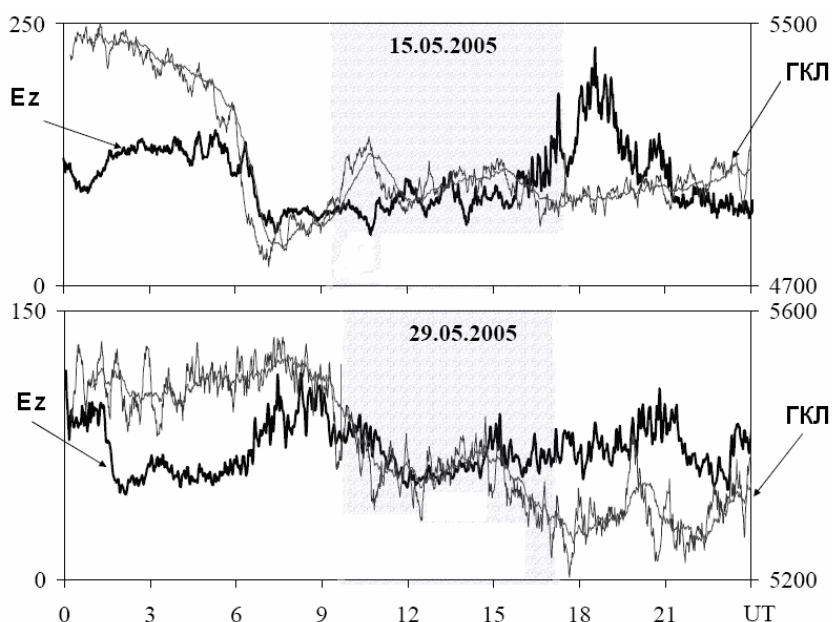


Рис. 17. Форбуш понижение в галактических космических лучах (ГКЛ) – (обсерватория Магадан) и в АЭП ( $Ez$ ) – (обсерватория Паратунка, Камчатка).

Легко показать ошибочность общепринятой грозовой модели АЭП. Наиболее убедительный аргумент состоит в том, что приближение грозы к месту измерения АЭП понижает величину АЭП. В этом мы убеждались неоднократно сами, например,

приближение циклона к пункту измерения величины АЭП (Камчатка, Паратунка) уменьшало  $Ez$  практически почти до нуля. При этом измерялось расстояние до циклона, что позволило оценить его электрический заряд (примерно 50 000 кулон) [72].

Один из принципиальных вопросов в физике АЭП заключается в том, какая роль в модели атмосферного электричества отводится галактическим космическим лучам (ГКЛ). В общепринятой модели ГКЛ участвуют в ионизации атмосферы, обеспечивая ей необходимую электропроводность. В такой ситуации Форбуш понижение должно было бы приводить к увеличению  $Ez$ . Впервые результаты реальных измерений Форбуш понижения в АЭП были представлены в [73], где величина  $Ez$  понижалась во время Форбуш эффекта в ГКЛ. Аналогичные результаты на представительной выборке порядка 30 событий были получены в обсерватории Паратунка [74]. Попутно был замечен ещё один момент. Оказалось, что во всех наблюдениях АЭП восстанавливалось быстрее, чем ГКЛ. Возможно, недостаток электрического заряда компенсировался электронами из внутреннего радиационного пояса в момент сильной Dst-вариации, сопутствующей магнитной буре.

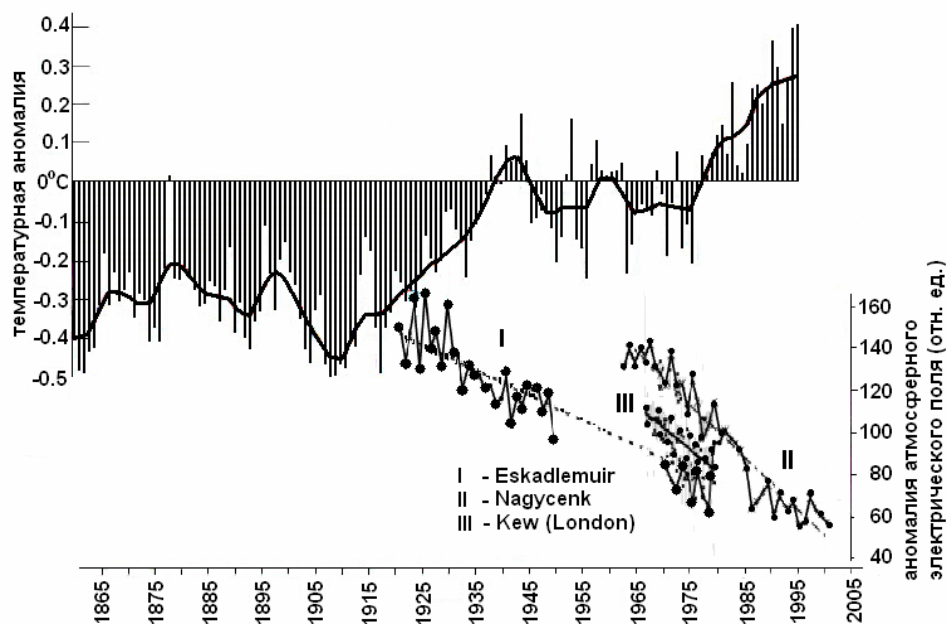


Рис. 18. Изменения температуры поверхности Земли (верхняя панель) и АЭП, измеренного в 3 обсерваториях [75].

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. 18). На этом рис. приведены тренды векового хода АЭП для трех обсерваторий. Проверка этой зависимости в других обсерваториях (в том числе и на Паратунке) дали аналогичные результаты. Для сравнения, на этом же рисунке приведен температурный ход Земли, который находится в противофазе с ходом АЭП. Как известно, количество гроз увеличивается синхронно с ростом температуры. Этот факт, как и многие другие, противоречит грозовой модели АЭП.

Считается, что унитарная вариация присуща только АЭП и является её своеобразным «паспортом»: поле  $Ez$  возрастает в целом по Земле (в любой точке поверхности) в то время, когда часы в Лондоне показывают 19 часов.

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 (UT). Накопленные за много лет данные по интенсивности и местоположению гроз, выставленные на сайте в Интернете [http://flash.ess.washington.edu/TOGA\\_network\\_global\\_maps.htm](http://flash.ess.washington.edu/TOGA_network_global_maps.htm), убеждают в том, что эта идея – ошибочна. И в Африке, и Европе, а так же в Америке и Азии, - не наблюдается реально такого распределения гроз, как это показано на рис. 19. Это означает, что кривая Карнеги в АЭП имеет какую-то другую причину, а совсем не грозы.

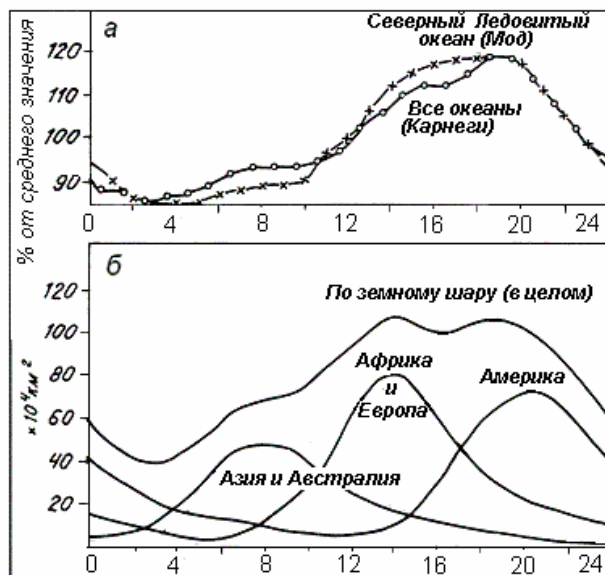


Рис. 19. Унитарная вариация АЭП (кривая Карнеги) - а. Распределение гроз - б.

Для того чтобы убедиться в сказанном, были проведены исследования, имеющие цель ответить на вопрос: не существует ли унитарной вариации в других земных оболочках. Действительно, UT-вариация (кривая Карнеги) была обнаружена в ионосфере [76, 77] и мезосфере [78]. Этот факт ещё раз доказывает, что грозы не являются источником атмосферного электрического поля, хотя, конечно, оказывают на него определенное влияние.

## 8. 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, эпизоды резкого увеличения радиационного фона на Земле во время 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, собственно, 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 (рис. 20). 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.

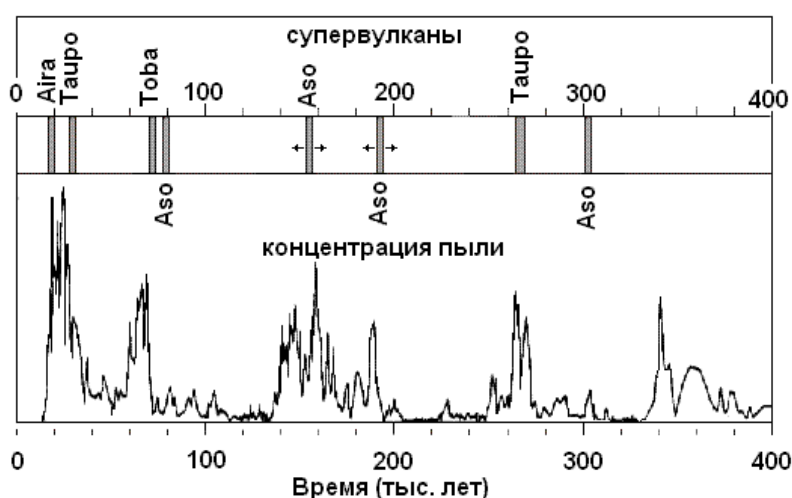


Рис. 20. Извержения супервулканов и концентрация пыли в кернах льда Антарктиды и Гренландии.

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 Земли – 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 физику Земли 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 корреляцию, они противоречат друг другу.

## **9. Заключение: 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/см<sup>3</sup> 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 (плазма), содержащий большое количество водорода. Плотная «астрофизическая» плазма [79] сжата самогравитацией до плотности, более высокой, чем у конденсированного тела. В таком состоянии плазма обладает свойствами кристалла, аналогично пылевой кристаллической плазме [80, 81]. При остывании горячего пара (перегретой жидкости) сформировались оболочки: внутреннее ядро, содержащее вещество в исходном состоянии, внешнее ядро – жидкий конденсат и мантия, которая представляет собой кристаллическое состояние этого конденсата. Однако ещё раньше на Земле сформировалась гранитная кора, через которую происходило охлаждение 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  $\approx 300$  км, 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 силы гравитации оказываются больше, чем силы расширения. 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 планеты 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 и откуда. Эта проблема, решения которой не видно в рамках модели холодной Земли, в нашей модели решается очень просто. Вообще проблема воды на планете 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 вымирения, отсутствие промежуточных видов и др., должны определяться 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. Модель горячей Земли не получила широкой известности и, тем более, признания. Основные идеи отражены в статьях и монографиях автора на сайте: <http://www.vvkuz.ru/> и в последней монографии [82].

## Список литературы

1. Lei X et al // *Phys. Earth* **40** 617 (1992)
2. Шмидт О Ю *Четыре лекции о происхождении Земли* (М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949)
3. Рингвуд А Е *Происхождение Земли и Луны* (М.: Недра, 1982)
4. Мак-Крей У Х *Происхождение Солнечной системы. Обзор концепций и теорий* (В сб. Происхождение Солнечной системы) (М.: Мир, 1976)
5. Ривс Г *Представление моделей* (В сб. Происхождение Солнечной системы) (М.: Мир, 1976)
6. Хартман У К *На пути к современной теории образования планет* (В сб. Протозвезды и планеты Ч 1-2) (М.: Мир, 1982)
7. Козырев Н А // *Астрономический журнал* **54** 372 (1977)
8. Boss A P // *Earth Planet Sci. Lett.* **202** 513 (2002)
9. Allard F // *Nature* **378** 441 (1995)
10. Nelson L A // *Nature* **377** 102 (1995)
11. Rebolo R et al // *Nature* **377** 129 (1995)
12. Throop H B et al // *Science* **292** 1686 (2001)
13. Savage D, Clavin W *Astronomers discover planet building is Big Mess*  
<http://www.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2004-17/release.shtml> (2004)
14. McCaughrean et al // *Science* **291** 1487 (2001)
15. Lissauer J // *Science Online* [www.sciencemag.org/cgi/content/full](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full) (2001)
16. Ньетто М М *Закон Тициуса-Бодде* (М.: Мир, 1976)
17. Дермот С Ф *Закон Бодде и преобладание приблизительной соразмерности среди пар орбитальных периодов в Солнечной системе* (В сб. Происхождение Солнечной системы) (М.: Мир, 1976)
18. Espaillat C et al // *Astrophys. J. Lett* **670** L135–L138 (2007)
19. Забродин А В и др *Некоторые модели описания протопланетного диска Солнца на начальной стадии его эволюции* (Препринт М.: ИПМ № 70, 2006)  
[http://www.keldysh.ru/papers/2006/rep70/rep2006\\_70.html](http://www.keldysh.ru/papers/2006/rep70/rep2006_70.html)
20. Рудич Е М *Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы* (М.: Недра, 1984)
21. Courtillot V, Besse J // *Science* **237** 1140 (1987)
22. Steiner J // *Geology* **5** 313 (1977)
23. Wells J W // *Nature* **197** 948 (1963)
24. Berry W.B.N., Barker R.M. *Growth increments in fossil and modern bivalves. Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation* (Ed. S.K.Rosenberg. London. John Wiley and Sons, 1975)
25. Pannella G // *Astrophys. Space Sci* **16** 212 (1972)
26. Сакс В Н // *Природа* (№12) 19 (1947)
27. Sonett C P et al // *Science* **273** 100 (1996)
28. Zahnle K, Walker J C // *Precambrian Res* **37** 95 (1987)
29. Longer days ahead. *Astronomy* **24** (№10) 28 (1996)
30. Xinhuanet. Algae fossil betrays time secret of 1.3 billion years ago. (Xinhua News Agency, 2003) <http://www.china.org.cn/english/scitech/69268.htm>
31. Джеффрис Г *Земля, её происхождение, история и строение* (М.: ИЛ, 1960)
32. Эвернден Дж Ф // *Изв. РАН Физика Земли* (№ 2) 85 (1997)
33. Stewart A D *Palaeogravity in Palaeogeophysics* (Ed. by Rankorn, S.K.) (Academic Press, London, 1970)
34. Stewart A D // *Nature* **235** 322 (1972)
35. Смирнов Л С, Любина Ю Н // *ДАН СССР* **187** (№ 4) 874 (1969)
36. Кренделев Ф П // *Геология и геофизика* (№ 9) 154 (1977)
37. Кузнецов В В // *Геология и геофизика* **37** (№ 10) 98 (1996)
38. Flandren T C // *Month. Notic. Roy. Astron. Soc* **170** (№ 2) 333 (1975)
39. Миллюков В К // *Природа* (№ 6) 96 (1978)

40. Shapiro I I et al // *Phys. Rev. Lett.* **36** (№ 11) 555 (1976)
41. Dicke R H // *Rev. Mod. Phys.* **34** (№1) 110 (1962)
42. Kapp R O *Towards a unified Cosmology* (Hutchinson London, 1960)
43. Кузнецов ВВ *Физика Земли и Солнечной системы* (Новосибирск: ИГиГ, 1990)
44. Веселов К Е // *Советская геология* (N5) 70 (1976)
45. Meservey R // *Science* **166** 609 (1969)
46. Vogel K *Global models of the expanding Earth* (In: Barone M, Selleri F Ed.: *Frontiers of Fundamental Physics*) (Plenum Press: New York, 1994)
47. Горай М *Эволюция расширяющейся Земли* (М.: Недра, 1984)
48. Зельдович Я Б, Райзер Ю П *Физика ударных волн и высоко температурных гидродинамических явлений* (М.: Наука, 1966)
49. Гуттенберг Б *Физика земных недр* (М.: ИЛ, 1963)
50. Мао Н et al // *Nature* **396** 741 (1998)
51. Steine-Neumann G et al // *Nature* **413** 57 (2001)
52. Brown J M, McQueen RG // *J. Geophys. Res.* **91** 7485 (1986)
53. Паркинсон У *Введение в геомагнетизм* (М.: Мир, 1986)
54. Кузнецов В В // *УФН* **167** (№9) 1001 (1997)
55. Campbell W H // *EOS Trans AGU* **84** 42 (2003)
56. Constable C // *Nature* **361** 305 (1993)
57. Kuznetsov V V // *Phys. Earth Plan. Inter* **115** 173 (1999)
58. Fuller M, Weeks R // *Nature* **356** 16 (1992)
59. Иванов С С // *Геомагнетизм и Аэронавигация* **33** 181 (1993)
60. Харланд У Б и др *Шкала геологического времени* (М.: Мир, 1985)
61. Кузнецов В В // *Геомагнетизм и Аэронавигация* **38** 166 (1998)
62. Petit J R et al // *Nature* **399** 429 (1999)
63. Vimeux F et al // *Earth Plan. Sci. Lett* **203** 829 (2002)
64. Jouzel J // *Science* **317** 793 (2007)
65. EPICA // *Nature* **444** 195 (2006)
66. Fischer H // *Earth Plan. Sci. Lett* **260** 340 (2007)
67. Rampino M R et al // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci* **16** 73 (1988)
68. Linsley B K // *Nature* **380** 234 (1996)
69. Chen J et al // *Science* **295** 838 (2002)
70. Palle E et al // *EOS Trans AGU* **87** 37 (2006)
71. Головкин В.А. *Современный энергетический дисбаланс Земли: доказательства существования и возможные последствия* (Конференция ИКИ Москва, 2006)
72. Кузнецов В В и др // *ДАН* **412** (№ 1) 147 (2007)
73. März F // *J. Atm. Terr. Physics* **59** (N 9) 975 (1997)
74. Чернева Н В, Кузнецов В В *Форбуш-понижения и эффекты терминатора в атмосферном электричестве Камчатки* (Астрофизика и физика околоземного космического пространства: Тр. 8-ой конференции молодых ученых Иркутск, 2005)
75. März F, Harrison R G // *Ann. Geophys* **21** 2193 (2003)
76. Kuznetsov V V et al // *Earth Planets Space* **50** 57 (1998)
77. Кузнецов В В и др // *Геомагнетизм и Аэронавигация* **38** (№ 2) 107 (1998)
78. Zadorozhny A M, Tyutin A A // *Adv. Space Res* **20** 2177 (1997)
79. Van Horn H M // *Science* **252** 384 (1991)
80. Thomas H et al // *Phys. Res. Lett* **73** 652 (1994)
81. Melzer A et al // *Phys. Lett. A* **191** 301 (1994)
82. Кузнецов В В *Введение в физику горячей Земли* (Петропавловск-Камчатский: КГУ им Беринга, 2008)