

Регистрационный номер статьи: 0291

Разделы: [Геология](#)

Дата публикации: 23.12.2011 [http://www.elektron2000.com/gilat\\_vol\\_0291.html](http://www.elektron2000.com/gilat_vol_0291.html)

[Гилат Арье \(Лев\)](#), доктор наук, геолог, Израиль

[Вол Александр](#), доктор наук, химик, Израиль

## **Первичные водород и гелий – самый мощный источник энергии эволюции Земли, землетрясений и вулканических извержений**

Редактор представляет:

В предлагаемой статье авторы предлагают оригинальную гипотезу о мощном источнике энергии в недрах Земли – водороде и гелии. Эта гипотеза хорошо коррелирует с некоторыми теориями планетообразования. Достаточно убедительно обоснование гипотезы приводятся феноменологические данные и оценки.

На мой взгляд, статья заслуживает глубокого обсуждения широким кругом специалистов в плане предложений по её верификации, разработке физико–математических моделей, а также, хотя авторы и не рассматривают этого в прикладном плане, возможности практического использования водорода недр в энергетике.

Вячеслав Фоменко,  
редактор

Введение, Оценка адекватного источника энергии для объяснения внутренних процессов Земли

I. Объяснения причин катастрофических землетрясений в XIX-XX вв.

II. Причина землетрясения – взрывы

III. Извержения вулканов и озера кипящей лавы – другие проявления чудовищной энергии

IV. Неадекватность источника энергии, предлагаемого теорией мантийных плюмов

V. Новая концептуальная система гипотез: первичные водород и гелий – основной источник внутренней энергии Земли

V.1. Предлагаемые гипотезы

V.2. Формы дегазации, плюмы и их подпитка из мантии.

Выводы

Возможные пути исследований

Список литературы

## **Введение. Оценка адекватного источника энергии для объяснения внутренних процессов Земли**

Толчком к написанию этой статьи была прокатившаяся недавно серия разрушительных землетрясений, – в Чили, Новой Зеландии, Японии.

Интернет был заполнен фотографиями уничтоженных цунами прибрежных городков и статьями о радиоактивных выбросах из пострадавших блоков атомной электростанции. Вновь поднимался вопрос о причинах землетрясений и о провалившихся попытках их предсказания. Что говорила и что сегодня не может объяснить наука о землетрясениях? По нашему мнению, – она не может объяснить главного, – что является источником чудовищной по мощности энергии тектонических землетрясений и вулканических извержений.

Современные теории внутренних процессов Земли (теплого потока, образования горячих точек, тектоники плит, землетрясений и вулканических извержений) предлагают всего два стабильных источника энергии: распад радиоактивных элементов (U, Th и других) и выделение тепла при гравитационной деформации и дифференциации. Совершенно очевидно, что эти источники производят энергию, рассеянную в большом объеме. Парадоксально, но по современным оценкам, тепловой поток с поверхности континентов ( $65 \pm 1.6$  мВт/м<sup>2</sup>) меньше, чем с океанического дна ( $101 \pm 2.2$  мВт/м<sup>2</sup>), хотя радиоактивные элементы, выделяющие значительную часть тепловой энергии, сосредоточены, в “гранитном слое” континентов и отсутствуют в океанических впадинах (здесь и ниже, – недостающие ссылки см. в Gilat and Vol, 2005). Усредненный тепловой поток с поверхности Земли оценивается в  $4.43 \cdot 10^{13}$  Вт. По расходу энергии это самый мощный, хотя и не самый яркий из внутренних процессов; энергетические затраты Земли на более впечатляющие землетрясения и извержения вулканов на порядок ниже (около  $2-3 \cdot 10^{12}$  Вт). Большинство исследователей (например, Francis, 1993) считает, что все известные сегодня источники энергии Земли поставляют только около половины энергии наблюдаемого теплового потока, и что есть необходимость в дополнительном источнике энергии. Иногда обсуждается даже возможность сохранения остаточного тепла от первичного нагрева планеты в период аккреции и гравитационного формирования земного ядра (спустя более четырех миллиардов лет!). Согласно различным подсчетам внутренней энергии, поставляемой гравитационной дифференциацией в жидком внешнем ядре Земли, ее количество с трудом доходит до уровня, необходимого для генерации магнитного поля Земли. Но самым большим недостатком перечисленных выше источников энергии является полная невозможность концентрации их энергии. Искомая энергия должна быть практически неисчерпаемой, быстро концентрируемой, высвобождаться со скоростью взрыва, и быстро накапливаться в промежутках между сейсмическими толчками и вулканическими пароксизмами. Она должна быстро и с малыми потерями переноситься на очень большие расстояния, и обладать высокой плотностью.

По нашему мнению (Gilat and Vol, 2000, 2005), – это энергия дегазации первичного (“primordial”) водорода и гелия, основных элементов космоса, захваченных в период образования Земли и “упакованных” в её ядре и мантии в виде твердых растворов и химических соединений, устойчивых

только в условиях сверхвысоких температур и давлений. Реакции образования этих растворов и соединений, поглощающие огромную энергию, понижали температуру и уменьшали обратное испарение материала формирующейся планеты. После формирования планеты эти реакции сменились реакциями дегазации, при которых эта планетарного масштаба энергия выделяется, в основном, посредством насыщенных энергией мантийных плюмов. Мантийные плюмы проплавляют мантию Земли и поставляют энергию для подвижек континентов, образования гор, землетрясений и извержений вулканов. Насколько нам известно, подобная система гипотез прежде никем другим не предлагалась. Она не противоречит существующим гипотезам образования планет путём аккреции и дополняет их учетом термодинамически неизбежной реакции поглощения водорода и гелия, способствующей эффективному охлаждению образующейся планеты. Из-за связи предлагаемого в ней выделения энергии с дегазацией планеты она несколько перекликается с выдвинутой в конце 70-ых гг. В. Н. Лариным гипотезой “Гидридной Земли” (1993), и гипотезой И.Н. Яницкого (1979) о связи землетрясений с выбросами гелия; в то же время мы не касаемся проблем космогонии и космогонической гипотезы Холла-Ларина. Здесь нам кажется достаточным отметить, что гипотезы В.Н. Ларина и И.Н. Яницкого не затрагивают ни конкретных проблем энергетики Земли, ни роли в ней водорода и гелия, ни взрывной природы землетрясений и связанных с ними извержений вулканов, ни мантийных плюмов – переносчиков энергии. Возможное присутствие гидридов в земных недрах нами упоминается, но мы не отводим им сколько-нибудь значимую роль в земной энергетике. Мы используем модель землетрясения, предложенную А.С. Пономаревым (1990, глава 1.2.3), но вместо его “гипотетической жидкости” (см. ниже, Гл. II) предлагаем реальные генерирующие энергию реакции с участием водорода и гелия. Наша базисная статья, в которой приводятся и расчеты, и реакции (Gilat and Vol, 2005), и доклады на конференциях на эту тему (Vol and Gilat, 2000, и более поздние) не вызвали ни резонанса в научном сообществе, ни критических разборов, на которые мы надеялись. Мы предлагаем Вашему вниманию ее краткое изложение с анализом новых данных, сопровождаемое прилагаемым переводом нашей базисной статьи на русский язык.

## **I. Объяснения причин катастрофических землетрясений в XIX-XX вв.**

Для краткости мы не будем приводить здесь объяснения древних философов, но мнения двух очень уважаемых до сих пор исследователей хотим процитировать: Первое, – Чарльза Дарвина (того самого, великого Дарвина), получившего образование геолога и автора многочисленных геологических исследований. Дарвин был свидетелем сильнейшего землетрясения 1835 г. в Чили, полностью разрушившего г. Концепцион и приподнявшего на добрый метр западную часть южно-американского материка; заодно, оно ухитрилось “разбудить” один подводный и два наземных вулкана. Дарвин записал в своем дневнике:

”Землетрясение и вулкан это части одного из величайших феноменов, повелевающих этим миром“. Вернувшись в Лондон он прочел 7-го марта 1838 г. на заседании Королевского Географического Общества лекцию, название которой говорит само за себя: Charles Darwin (Read March 7<sup>th</sup>, 1838). On the Connexion of certain Volcanic Phenomena in South America, and on the Formation of Mountain Chains and Volcanoes, as the Effect of the same Power by which Continents are elevated. Transactions of the Geological Society. 1842-46, Chapter XLII, p. 601-631. (“Об интимной связи некоего вулканического феномена в Южной Америке; образование горных хребтов и вулканов в результате воздействия той же самой энергии, которая воздымает континенты”). И второе, – “отца современной геологии”, и учителя Чарльза Дарвина, – Сэра Чарльза Лайеля: “Первопричина вулканов и землетрясений – она одна и та же, связанная с выделением тепла и химическими реакциями на разных глубинах внутренней области земного шара” (“The primary causes of the volcano and the earthquake are to a great extent the same, and connected with the development of heat and chemical action at various depths in the interior of the globe.”; p. 242, in: Sir Charles Lyell, Bart. M.A. F.R.S., 1875. Principles of Geology, Or the Modern Changes of the Earth and its Inhabitants, Considered as Illustrative of Geology, Twelfth Edition in two Volumes, London John Murrey, Albemarle Street (1875), Vol. I, 655 pp. Уровень развития физики и химии XIX в. не позволил тогда построить приемлемую теорию, и после сильнейшего землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско прижилась и превратилась в парадигму механистическая гипотеза Х.Ф. Рейда. Ее главным достоинством была простота и наглядность объяснения: плиты на противоположных сторонах разлома подвергаются давлению и накапливают напряжение, достигающее некоей критической величины, пока не наступает «срыв», при котором выделяется накопившаяся энергия упругой отдачи, частично в виде тепла, а частично в виде упругих волн, представляющих собой землетрясение.

С 1910 г., когда гипотеза Рейда была опубликована, тысячи геологов и геофизиков накопили огромное количество наблюдений за землетрясениями. Выяснилось, что около 80% землетрясений и извержений вулканов происходят близко к границам материковых и океанических плит Тихого океана (т.н. ”огненное кольцо”), на глубинах до 700 км. Ещё около 15 % приурочены к коридору, проходящему через южную Европу – северную Африку, Турцию, Кавказ, Гималаи, Китай. Оставшиеся 5 % рассеяны по рифтам, трансформенным разломам и ”горячим точкам” внутри плит (Рис. 1). Установлен ряд интересных закономерностей (см. в Гилат и Вол, 2005). Но все попытки предсказания землетрясений (Где? Какой мощности? Когда произойдет?) зашли в тупик; свидетельство – статья с названием “Землетрясения не могут быть предсказаны” (Geller et al., 1997). По нашему мнению, одной из причин невозможности предсказаний является непонимание природы и механизма естественного катастрофического землетрясения.

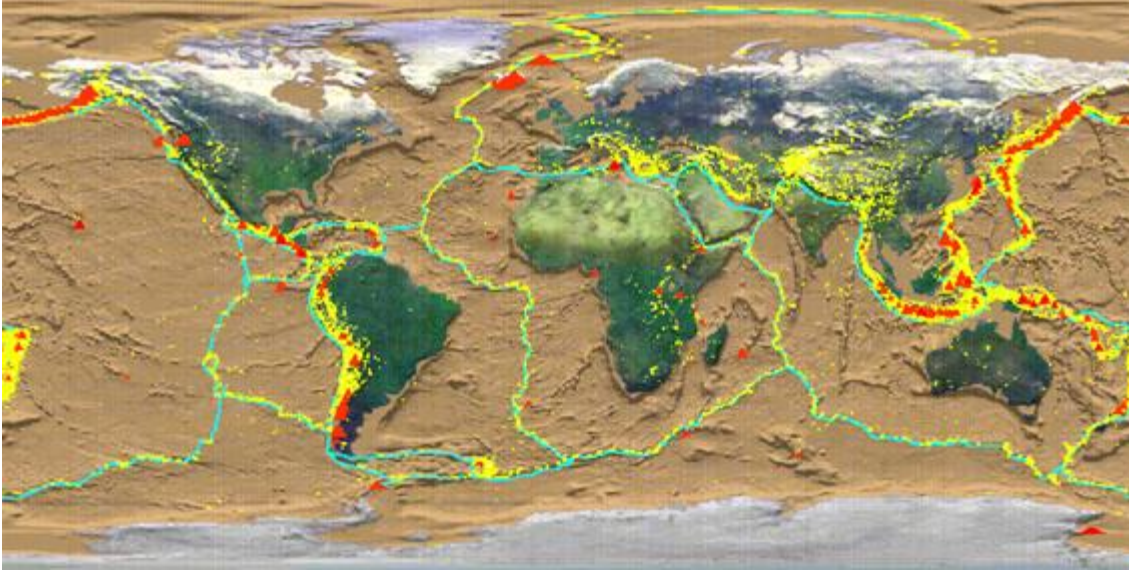


Рис. 1. Компьютерная карта границ плит (голубые линии), демонстрирующая хорошую корреляцию местоположений активных вулканов (красные треугольники) с эпицентрами землетрясений (желтые точки). Компоновка по информации из Интернета, сайты USGS, Smithsonian Institution и NOAA/NGDC.

На стене рабочей комнаты А. Гилата висит большая карта эпицентров землетрясений и активных вулканов земного шара (Simkin et al., 1994), очень похожая на карту, приведенную выше (Рис. 1). Настенная карта издана Геологической Службой США (USGS) и Смитсоновским Институтом, и снабжена пояснениями, отражающими основные теории довлеющей уже более ста лет парадигмы. Согласно одному из пояснений, “землетрясения магнитудой  $M=9$  и более вообще маловероятны, поскольку горные породы недостаточно крепки, чтобы накопить требуемые для них напряжения. Они скорее разрушатся при меньших напряжениях, произведя землетрясения меньшей силы” (пер. с англ. А. Г.). Тем не менее, по информации с сайта USGS видно, что даже за последнюю сотню лет Земля неоднократно содрогалась от “маловероятных землетрясений”: в 1952 г. (Камчатское,  $M=9.0$ ), в 1957 г. (острова Андреанова, Аляска,  $M=9.1$ ), в 1960 г. (Чили,  $M=9.5$ ), в 1964 г. (Пролив Принц Вильям, Аляска,  $M=9.2$ ), в 2004 г. (Чуть западнее острова Суматра, Индонезия,  $M=9.2$ ), и совсем недавно, 11 марта 2011 г. в Японии ( $M=9.0$ ).

Откуда же такое противоречие между фактами и объяснениями геологов USGS? Причина проста: современная парадигма не может объяснить накопление и сфокусированный выброс чудовищной энергии, выделяющейся при сильных землетрясениях. Так, при Чилийском землетрясении 1960 г. магнитудой 9.5, выделилась энергия равная энергии взрыва 2.67 гигатон (2670 мегатонн, или миллионов тонн) ТНТ (тринитротолуола, стандартной взрывчатки) (Wikipedia, Richter magnitude scale). Для сравнения: энергия самой крупной водородной бомбы, взорванной по приказу Хрущева на Новой Земле, была эквивалентна

взрыву 50 мегатонн ТНТ (по слухам, она получилась более мощной, чем планировалась, до 70 мегатонн). Никто не знает точных механических свойств литосферы, но мы выбрали крайний случай, взяв для расчетов вместо растрескавшегося в зоне разлома блока литосферы заведомо более прочный блок конструкционной стали размером 600 км. x 100 км. x 20 км. (примерный размер блока литосферы в котором генерировалось Аляскинское землетрясение 1964 г.). Результат подсчета максимального количества механической энергии, которая может быть накоплена в указанном выше блоке стали, получился на два порядка меньше, чем выделилось при землетрясении (Гилат и Вол, 2005). Природные материалы в зоне разлома гораздо менее прочны, чем конструкционная сталь, и, соответственно, механической энергии в них может накопиться гораздо меньше.

Теория накопления напряжений в земной коре не дает убедительного объяснения глубокофокусным землетрясениям, потому что на глубине более 20 км, из-за увеличивающейся с глубиной температуры, горные породы становятся пластичными, и никаких напряжений накапливать не могут.

## **II. Причина землетрясения – взрывы**

Выброс энергии недавнего землетрясения в Чили, магнитудой "всего" 8.8, прекрасно иллюстрируется визуализацией NOAA (Рис. 2). Уже при первом взгляде на визуализацию катаклизма (Рис. 2) ясно, что она иллюстрирует не "разрядку при срыве накопившихся механических напряжений", а взрывы. При разрядке механических напряжений сдвигом вся энергия ушла бы на производство сейсмических волн и на развитие трещин вдоль разлома. Выброс гигантского по своей протяженности и ширине языка энергии, не меняющегося по интенсивности на первых тысячах километров своего пути, говорит об объемном взрыве, причем о взрыве не единичном, при котором поток энергии уменьшается пропорционально квадрату расстояния, а распределенном множественном взрыве, при котором топливо или взрывчатое вещество выделяются и детонируют последовательно вдоль питающих коллекторов или трещин, способствуя их распространению. Никакой другой сценарий не может объяснить генерацию волны цунами длиной в сотни километров. Только распределенный объемный взрыв может создать такую волну, вытеснив порядка половины ее объёма. Такой взрыв и имел место вдоль Чилийского глубоководного желоба на отрезке длиной около полутора тысяч километров (Рис. 2).

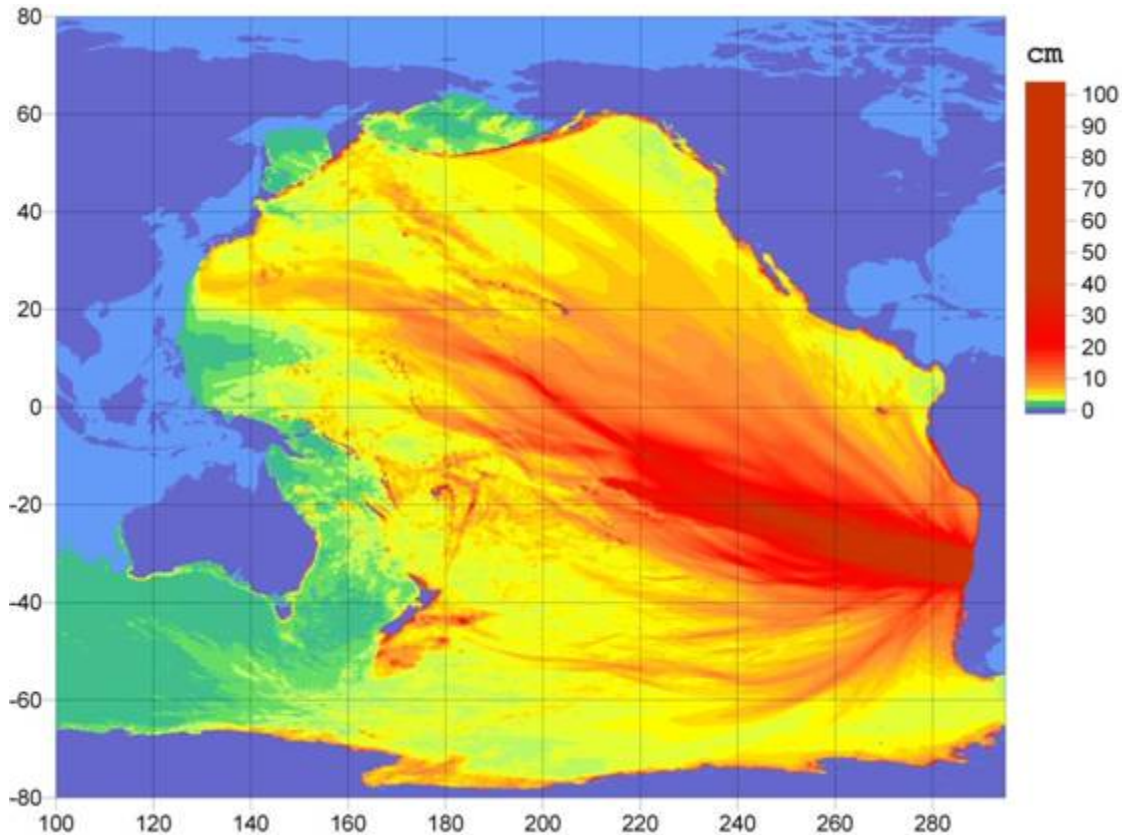


Рис. 2. Гигантские языки энергии, выброшенной Чилийским землетрясением 27.02.2010 г., магнитудой 8.8, протянувшиеся через весь Тихий Океан, практически перпендикулярно Чилийской границе плит, причем практически без потери интенсивности на дистанции в три-четыре тысячи километров (The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) visualization).

О том, что причиной землетрясения являются взрывы, говорят и почти полное сходство сейсмических “подписей” землетрясения и подземного ядерного взрыва, а также повторяемость сильных землетрясений через короткие промежутки времени, когда напряженность в породах еще не должна была бы накопиться после первичного толчка, и ряд других признаков (см. Гилат и Вол, 2005). Есть и еще одно, новое доказательство: как выяснилось при современных исследованиях зон землетрясения, породы в очаге пульверизируются до частиц нано-метровых размеров (Wilson et al., 2005). Необходимым условием пульверизации (распыла) с формированием микрочастиц является подвод очень большого количества тепловой и механической энергии, достаточной для расплавления и распыления породы. Температура плавления самой тугоплавкой составляющей породы равна

примерно  $1450-15000^{\circ}\text{C}$ . Для возможности распыла она должна находиться в жидком состоянии, что облегчается возможностью образования относительно легкоплавких эвтектик (а в случае образования эвтектики,

например, Ca – Si – Mg – около 6000° С). Собственно распыл требует подвода механической энергии, достаточной для компенсации работы образования громадной поверхности наночастиц порядка 100-300 квадратных метров на грамм распыленной породы. Энергия, затрачиваемая только на образование наночастиц, растет с уменьшением их размера и с увеличением поверхности, например, от 8.0 кДж/моль (180 нм) до 8.3 кДж/моль для цеолитов (Navrotsky, 2003). Такой подвод энергии возможен при выделении большого объема газа (взрыв) или при наличии мощного источника ультразвука – прорыв большого объема газовых пузырей сквозь жидкость как при кавитации. Необходимы также очень высокие перепады давлений газов. Механическая разрядка (срыв по разлому) таких условий создать не может, экзотермальная реакция со взрывом – может вполне. Современная парадигма затрудняется с объяснением многочисленных геофизических и геохимических аномалий, предваряющих и сопутствующих землетрясениям, и их источников энергии. Среди аномалий: 1) мощные выбросы газов перед и во время землетрясений; 2) аномально высокое инфракрасное излучение, т.е. выделение тепла, предваряющее также мелко-фокусные землетрясения; 3) предваряющие землетрясения радио- и акустические- шумы; 4) рассеянное свечение и шаровые молнии; 5) уменьшение глубины (“всплывание”) гипоцентров афтершоковых землетрясений; 6) вполне замеряемые “вспухания” земли, предваряющие землетрясения; 7) связанные с землетрясениями циклы напряжений и изменения режимов подземных вод (ссылки см. в Гилат и Вол, 2005). Частичное объяснение указанным аномалиям можно найти в Термо-Газо-Динамической (ТГД) модели развития очага землетрясения, разработанной А.С.Пономаревым (1990). Согласно этой модели, накопленная упругая энергия приводит к детонирующим процессам в гипоцентре, работающем по принципу “парового котла”, заполняемого гипотетическим “флюидом”, выделяющимся из магмы при сверхкритических РТ. Этот “флюид” взрывается в закрытом объеме, разрушая породы в гипоцентре; при этом наблюдается линейная зависимость между выделяемой землетрясением энергией и объемом гипоцентра. Фактически, модель очага землетрясения А.С.Пономарева напоминает вулканическую камеру. Однако ТГД модель А.С.Пономарева не поясняет природы гипотетического “флюида”. Ю.Ф.Копничев и И.Н.Соколова (2010) обнаружили кольцевые структуры слабой сейсмичности, образующиеся перед сильными землетрясениями; изучение короткопериодных поперечных волн в районах этих кольцевых структур привело их к выводу, что мантийные “флюиды”, которые поднимаются в земную кору и концентрируются там, имеют прямое отношение к подготовке сильного землетрясения. И.Л.Гуфельд (2007) интерпретирует “флюиды” как смесь водорода и гелия, вызывающую в процессе подготовки землетрясения разрушение структуры горных пород. И.Н.Соколова (2010) собрала данные, показывающие регулярное уменьшение содержания мантийного изотопа гелия (параметр  $R=3\text{He}/4\text{He}$ ) в подземных водах по мере увеличения расстояния от эпицентров сильных землетрясений и крупных разломных зон.



Землетрясения предваряют и сопровождают вулканические извержения, но далеко не каждое землетрясение кульминирует извержением вулкана. Гипоцентры так называемых “вулканических” землетрясений происходят на глубинах 0-3 км, внутри вулканической камеры или на ее границах, где ни накопления упругих напряжений, ни срывов пород по разломам быть не может. McNutt (1994) собрал данные, которые эмпирически коррелируют амплитуды вулканического тремора и взрывную активность вулкана: они совпадают. По нашему личному опыту и опыту других наблюдателей: вулканическое извержение звучит как серия взрывов; земля трясется как при землетрясении; наблюдаемое вблизи, оно очень похоже на серию взрывов ТНТ; твердый материал и жидкий выбрасываются как в эпицентрах взрывов; запахи химикалий бьют в нос, как во время артобстрела. Так, может быть, “вулканические” землетрясения – это повторяющиеся химические взрывы?

### **III. Извержения вулканов и озера кипящей лавы – другие проявления чудовищной энергии**

Есть ли в природе другие примеры таких концентрированных выбросов энергии? Да, есть. Самым трагическим, по-видимому, по количеству жертв цунами в истории человечества (около 300, 000 погибших) завершилось землетрясение 26-го декабря 2004 г., магнитудой 9.1, зародившееся в глубоководном желобе Сунда в Индийском океане, чуть западнее северного побережья острова Суматра. Но у этого же желоба, на островах этой же островной дуги, находятся вулканы Тамбора и Кракатау, прославившиеся самыми сильными взрывами последних столетий. Чудовищный взрыв вулкана Кракатау произошел 27 августа 1883 г., после трех месяцев слабой взрывной активности; он выбросил  $18 \text{ км}^3$  пород и был услышан на расстоянии 4653 км, на острове Родригез. Специальное исследование этого взрыва показало, что начальные скорости части обломков превышали 8 км/сек; эти обломки навсегда покинули земное пространство. Взрывы при вулканических извержениях до сих пор объясняются вулканологами гигантскими выбросами принесенной магмой и скопившегося в вулканической камере пара. Такого рода взрывы должны были бы быть сильнейшими в начале извержения, при разрушении “крыши” камеры. Между тем, гигантский взрыв вулкана Тамбора в 1815 г., с кинетической энергией в  $10^{20}$  Дж, эквивалентный взрыву 24 миллиардов тон ТНТ, развивший давления в десятки гига-паскалей (невероятные для парового взрыва), произошел спустя 7 месяцев после начала вулканической активности общей продолжительностью в 15 месяцев. Дополнительные примеры и ссылки на источники приведены в нашей статье (2005).

Более спокойным примером являются озера кипящей лавы. Замеренная Тазиевым и его коллегами в 1972 г. тепловая радиация кипящего озера лавы Ньерагонго (Заир) равнялась по мощности 12.200 МВт, т.е. сегодняшней суммарной мощности всех электростанций Израиля.

Считается, что энергия на подогрев озёр жидкой лавы поставляется самой лавой (магмой), циркулирующей по трещинам между жерлом вулкана и раскалённой мантией. Но во всех описаниях Тазиевым (1980) этого озера фигурируют мощные струи горящих вулканических газов, плавящих лаву.... Вскоре после замеров, в 1977 г., кратер вулкана Ньерагонго был разрушен землетрясением, опорожнился и стал доступен для исследователей; Тазиев не нашел на его дне ни признаков поднимающейся кипящей лавы, ни лавоподводящих каналов; ни даже обычных дымящих фумарол (Тазиев, 1987, стр. 97).

И еще один пример, из книги статей директора института вулканологии ДВО РАН С.А.Федотова (2006), описывающего эруптивную колонну Северного прорыва Толбачинского трещинного извержения 6.7.1975-10.12.1976 г: "Основанием колонны служила "свеча" раскаленной пироклаستيку высотой 0.5-2.5 км. Струя газов и пирокластик была турбулентной, окруженной кольцевыми вихрями и расширялась кверху, образуя узкий конус, угол которого около 150. Верх "свечи" скрывался в черных клубящихся облаках остывшего пепла, которые обволакивали струю через секунды после выброса ее из кратера. Еще выше поднималась, разрастаясь, клубящаяся туча извержения, верх которой достигал высоты 12 км над кратером.... (стр. 230). При таких условиях тепловая мощность эруптивной колонны Северного прорыва, в котором в течении 72 дней было равномерно выброшено примерно 0,68 км<sup>3</sup> мелкой пирокластик, равнялась  $3,52 \cdot 10^{10}$  кал/с =  $1,47 \cdot 10^5$  МВт = 147,000 МВт. (Для сравнения напомним, что мощность всех электростанций СССР в 1976 г. равнялась 228,000 МВт.) (там же, стр. 231).

#### **IV. Неадекватность источника энергии, предлагаемого теорией мантийных плюмов**

В выводах ряда исследований последних лет сильные землетрясения и геодинамика высоко-сейсмичных регионов связываются уже больше не с подвижками по конкретным разломам, а с мантийными плюмами (Нусипов и др., 2005). Замедление движения Африканского континента и ускорение движения Индийской плиты, влияющие на столкновение Индии с Азией и, соответственно, на зарождение зон с высокой сейсмической и вулканической активностью, объясняются изменением активности мантийного плюма Реюнион (Cande and Stegman, 2011). Вместе с тем, существующие до сих пор объяснения образования и развития плюмов и проплавления ими мантии мощностью в 3,000 км без источников дополнительной энергии, за счет предполагаемой разницы температур в 300 – 400 градусов между жидким ядром и мантией (5) выглядят так же нереально, как "вечный двигатель": большая разница между удельной теплоёмкостью магмы (0.3 кал/градус) и теплоёмкостью ее плавления (120 – 160 кал/градус при атмосферном давлении) требует для плавления магмы такое же количество энергии, как и ее подогрев на 400° С. Но даже если

допустить возможность такого процесса, то из-за его "геологической длительности" следовало бы предположить, например, в термодинамической системе зоны субдукции, установление локального термодинамического равновесия, из которого эта система самостоятельно выйти не может (принцип общего начала термодинамики). Остается совершенно непонятным, – из какого источника появляются там вдруг планетарного масштаба выбросы чудовищной энергии землетрясений и извержений вулканов. Попытки привлечь к объяснению наблюдаемого в зонах субдукции мощного теплового потока вторжение в мантию холодных плит океанической коры противоречит второму началу термодинамики: "нельзя передать тепло от менее нагретых тел к более нагретым". Остаётся признать, что у имеющихся сегодня теорий эндогенных процессов Земли не хватает квази-стабильного источника внутренней энергии, которая: (а) практически неисчерпаема; (б) быстро концентрируется; (в) обладает очень высокой плотностью; (г) высвобождается с очень высокой скоростью, соответствующей взрыву, и быстро накапливается в промежутках между сейсмическими толчками и вулканическими пароксизмами; (д) быстро и с малыми потерями переносится на очень большие расстояния; (е) ее поток хорошо коррелируется с эманацией легкого гелия ( $^3\text{He}$ ).

## **V. Новая концептуальная система гипотез: первичные водород и гелий – основной источник внутренней энергии Земли**

### **V.1. Предлагаемые гипотезы**

Предлагаемая концепция включает следующие основные гипотезы:

1. Процессы дегазации планеты – “освобождение” первичных водорода и гелия – являются одним из основных источников энергии внутренних процессов Земли.
2. Транспорт водорода и гелия из твердых и/или жидких растворов и соединений в ядре и нижней мантии включает последовательность взаимно индуцированных фазовых, химических и термохимических реакций, приводящих к образованию большого числа реакционно-способных соединений и веществ, обеспечивающих транспорт и освобождение больших количеств латентной (скрытой) химической энергии.
3. Описанные выше процессы транспорта веществ и энергии обладают способностями к самофокусировке, обусловленными изменением кинетики процессов и вязкости веществ в ходе фазовых превращений и на фронтах ударных волн. Самофокусировка приводит к снижению суммарной свободной энергии системы, она широко известна в физике и электрохимии.
4. Авторами впервые предпринята попытка количественно оценить уровень

запасенной (в виде соединений и растворов гелия и водорода) энергии, и мощность дегазации – как источника энергии (используя четкую корреляцию выделяющегося мантийного изотопа гелия ( $^3\text{He}$ ) с восходящими потоками глубинного тепла). Эта мощность составляет примерно половину мощности теплового потока, выделяемого с поверхности Земли, и в пять раз превышает суммарную мощность землетрясений и вулканических извержений.

5. Описанные в пункте 3 процессы приводят к образованию газо-жидких диапиров, или мантийных плюмов, проплавливающих мантию (флюсовая плавка) и образующих в ней приграничную (плюм-мантия) зону трещиноватости; через эти трещины в плюмах собираются из мантии и концентрируются несовместимые элементы (O, S, C, N, Cl, металлы и т.д.) и образуются гидриды и ряд соединений, неустойчивых при низких РТ условиях (He-H, He-O, He-C, He-N, He-металлы, и другие соединения).

6. Причиной тектонических землетрясений являются взрывы неустойчивых при малых давлениях химических соединений гелия с водородом и с другими элементами; извержение вулкана рассматривается как землетрясение, гипоцентр которого выходит на земную поверхность. Как показали многочисленные замеры исследователей из разных стран (напр., М. Озима и Ф. Подосек, 1987, и многочисленные более поздние статьи), концентрированные потоки тепловой энергии Земли сопровождаются выделением мантийного водорода и гелия, что указывает на высокое содержание этих газов в глубинах Земли. Зафиксированная многочисленными геохимиками в последние десятилетия чёткая корреляция выделяющегося мантийного изотопа гелия ( $^3\text{He}$ ), с восходящими потоками глубинного тепла [здесь и далее, ссылки на источники см. Гилат и Вол (2005)] свидетельствует об участии гелия в экзотермальных (выделяющих тепло) процессах. Твёрдые растворы H и He, а также соединения He с H, O, Si и металлами были обнаружены в лабораторных экспериментах при сверхвысоких температурах и давлениях. Возможность существования соединений He-S, He-Cl, He-C, He-N и др. может быть предположена, исходя из их структур и состава природных газов, богатых гелием, поэтому весьма вероятно, что такие “экзотические” для атмосферных условий соединения весьма обычны в ядре и мантии Земли.

## **V.2. Формы дегазации, плюмы и их подпитка из мантии.**

В период образования (аккреции) Земли (4.5 – 4.2 млрд. лет т.н.), первичные водород и гелий, основные элементы космоса, были захвачены и складированы в земном ядре и мантии в виде твёрдых и жидких растворов и химических соединений, устойчивых только в условиях сверхвысоких температур и давлений (РТ). Эндотермические (поглощающие тепло) реакции образования этих растворов и соединений обеспечили эффективное охлаждение планеты, уменьшили вторичное

испарение вещества планеты, а их конечные продукты обладают большей компактностью, чем исходные. После формирования планеты начали преобладать экзотермальные процессы дегазации водорода и гелия, сопровождаемые выделением энергии, затраченной на их складирование в ядре и мантии Земли (удельная энергия, см. Табл.).

Авторами были предложены (2000) и более детально разработаны (2005) стадия за стадией (для различных РТ-условий, Рис. 3): эманация H и He из твердого ядра; их всплывание в виде самоорганизующихся конвективных потоков в жидком ядре; флюсовая плавка твердой мантии и образование газо-магмовых (“пиромагма”) восходящих потоков (плюмов), которые по мере проплавления через твердую мантию образуют в приграничной ее зоне системы трещин, через которые собираются и концентрируются редкие и рассеянные элементы, образуя He-H, He-O, He-S, He-Si, He-N, He-C, He-Cl, He-F, He-металлы и др. реакционно-активные соединения. Об этих системах трещин хочется написать подробнее...

Глубина (км)	Давление (ГПа)	Температура (К)	Удельная энергия (Дж/моль)	
			Гелий	Водород
0	0	300	12480	8652
10	0.3	500	20800	14420
100	3.4	1800	74880	51912
500	18	2000	83200	57680
1000	40	2500	104000	72100
2000	88	3500	145600	100940
3000	160	5500	228800	158620
4000	238	5800	241280	167272
5000	321	6000	249600	173040
6000	358	6200	257920	178808

Таблица: удельная энергия водорода и гелия в глубинах Земли (Гилат и Вол, 2005).

Один из авторов (А. В.) не раз наблюдал, как подобно застежке-молнии открываются удивительные геометрически – совершенные трещины на вершинах волн, возникающих на поверхности тонкого темно-серого свежего льда при прохождении ледокола, чтобы затем сомкнуться практически без следа (Рис. 4). Если лед был чуть толще, смыкающиеся трещины выдавливали наверх и оставляли на своей поверхности замечательно красивые строчки правильных п-образных выступов перетертого снега, льда и соли. Сетка этих застёжек-молний раскрывалась при прохождении следующего судна каравана, и снова смыкалась, увеличив высоту и четкость тех же строчек-выступов. Распространялись эти динамические трещины на сотни метров. Природа обеспечивает многообразие явлений относительно небольшим набором механизмов; образование динамических

трещин происходит при деформации любой многофазной среды, оно должно происходить и в породах мантии. Породы мантии находятся под высоким давлением и способны выделять расплавы и растворы. Трещины в них принципиально непохожи на обычные механические трещины. По сути дела, это ориентированные по отношению к периодическим волнам напряжений и деформаций границы фаз, декорированные пузырьками газа, жидкости или расплавов, и их комбинациям. В условиях объемного сжатия и достаточно высоких температур при деформациях, скорость которых превышает критическую (например, при химических взрывах), образуются динамические, или обратимые трещины. Эти трещины представляют собой расширения и слияния полостей и пор, заполненных расплавами, растворами и газами, которые открываются в момент деформации и вновь смыкаются, как только снижается уровень динамических напряжений. Чем больше скорости деформации, тем дальше распространяются трещины. Обеднение материала, прилегающего к плюму, газами и другими реакционно-способными соединениями снижает абсорбцию ударных волн вследствие уменьшения их расщепления на границах фаз и фазовых превращений. Такое изменение тоже должно приводить к увеличению длины динамических трещин, вызываемых спорадическими и периодическими (например, приливно-отливными) процессами, и к соответствующему увеличению объема мантии, участвующей в питании плюма.

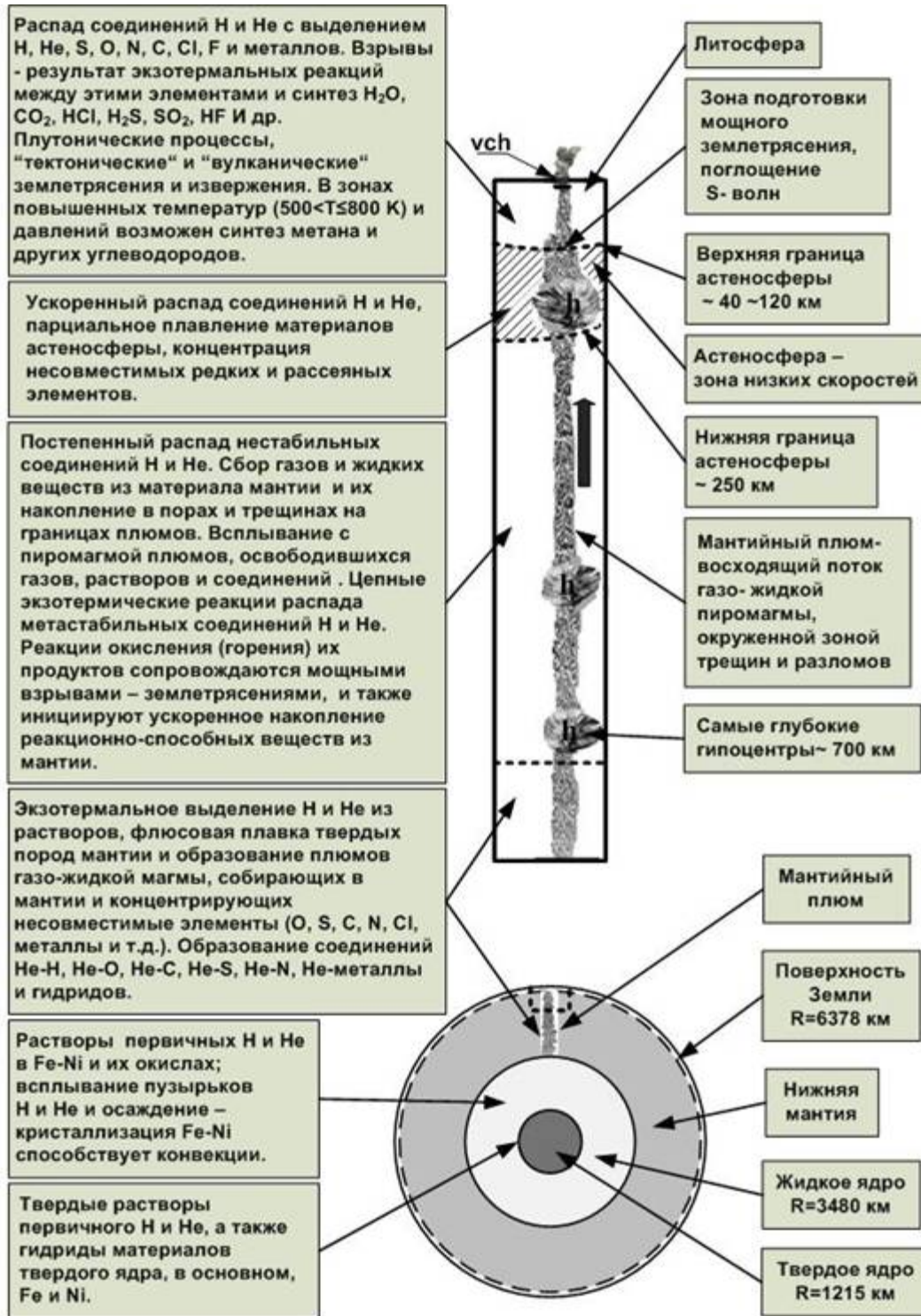


Рисунок 3. Дегазация водорода и гелия из земных глубин, предлагаемые формы и превращения фаз.

h – Гипоцентр землетрясения; vch – Вулканическая камера;

Вулканическое извержение рассматривается здесь как особый вид землетрясения, при котором поднимающиеся гипоцентры (афтершоков) достигают земной поверхности



Рис. 4. Арктический океан; растрескивание свежего серого льда при прохождении судна на прямоугольные полигоны; зарастание трещин, выступы перетертого снега, льда и соли ([www.photolib.noaa.gov/brs.coind2.htm](http://www.photolib.noaa.gov/brs.coind2.htm)).

Динамические трещины должны работать как очень эффективные объемные насосы, подавая в ядро плюма новые порции реакционно-активных соединений газов и энергии. Совокупность процессов – сбора и накопления реакционно-активных соединений, полной или частичной реализации запасенной в них в определенных РТ условиях энергии и инициированной возникающими при этом ударными или упругими волнами ускоренной накачки плюма новыми порциями реагентов из окружающей среды с помощью динамических трещин – должна являться одним из основных механизмов самофокусировки плюма. Эта совокупность принципиально нелинейных процессов приводит к землетрясениям и вулканическим извержениям.



Практически неисчерпаемым по мощности источником энергии землетрясений является мгновенный, взрывоподобный распад указанных выше соединений H и He, который вызван сбросом давления в концентрической зоне очагов слабых землетрясений (обнаруженных Ю. Копничевым и И. Соколовой по поглощениям S-волн, напр., 2010), подготавливающих мощные катаклизмы. По-видимому, одним из главных триггеров тектонических подвижек, т.е. увеличения и спада давлений по разломам, являются лунные приливы-отливы. Хорошая корреляция между ними и земными катаклизмами отмечалась целым рядом исследователей в многочисленных публикациях. Повторяющиеся сбросы давлений и взрывы в поднимающихся к поверхности Земли гипоцентрах землетрясений вызывают: (а) дробление пород и образование взрывных полостей; (б) быстрое выделение энергии вследствие распада соединений гелия и водорода, (в) высвобождение элементарных H, O, C, S, Cl, F, металлов и т.д., (г) выделение энергии вследствие серии экзотермальных, взрывоподобных реакций синтеза с образованием H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, HF и др. соединений. Вулканические извержения генерируются поднимающейся пироматмой, которая разрушает и плавит породы литосферы под давлением продолжающихся ритмичных взрывных реакций (“вулканических землетрясений”). Энергия, выделяющаяся указанными выше для гипоцентров землетрясений реакциями, плавят вмещающие породы и генерируют вулканические извержения. Измерения и расчеты (см. Гилат и Вол, 2005) приводят к выводу, что примерно половина теплового потока, выделяемого с поверхности Земли, генерируется вышеприведенными реакциями с участием водорода и гелия. Эта энергия впятеро превышает суммарную энергию землетрясений и вулканических извержений.

## **Выводы**

**Мы полагаем, что вышеописанная консервация энергии аккреции Земли путем эндотермического образования твердых растворов и соединений водорода и гелия, и ее высвобождение через посредство сопровождающих дегазацию экзотермальных реакций являются главным источником энергии внутренних процессов Земли.**

Мы уверены в том, что лежащий в ее основе механизм, самый мощный из имеющихся в природе механизмов для складирования энергии, не мог остаться неиспользованным. Энергия дегазации в отличие от энергии, выделяемой традиционно дискуссирруемыми источниками, способна генерировать конвекцию в жидком ядре Земли и расплавлять мантию; она поднимается с мантийными плюмами и легко переносима по главным разломам, быстро концентрируется и высвобождается с очень высокими

скоростями, производя все известные нам геофизические и геохимические аномалии, связанные с землетрясениями. Предлагаемая здесь цепь реакций поставляет насыщенные энергией мантийные газы в литосферу. Эти газы плавят материал астеносферы и верхней мантии, взрывами и плавкой образуют проходы для магмы в магматические камеры, пробиваются через хрупкие породы и поставляют энергию вулканическим извержениям со всеми их проявлениями. Мы рассматриваем “тектоническое” землетрясение как взрыв, который часто сопровождается подвижками по разлому или “вздутиями” в верхних пластах земной коры. Вулканическое извержение рассматривается как особый тип землетрясений, при которых гипоцентр выходит на земную поверхность, а “вулканические” землетрясения не сопровождают, а генерируют извержение.

Предлагаемая концептуальная система гипотез подтверждается следующими неопровержимыми фактами: 1) продолжающейся миллиарды лет дегазацией водорода и гелия; 2) очень высокой энергоемкостью соединений водорода и гелия, некоторые из которых уже изучены в лабораториях при сверхвысоких РТ-условиях, похожих на условия земных недр; 3) хорошей корреляцией между интенсивностью глубинных тепловых потоков и сопутствующим им выделением мантийного гелия. Предлагаемая система гипотез не противоречит базисным законам физической химии и геофизики - тектонику плит и тектонику зон высокой флюидной проводимости. Одновременно они дают ключ для объяснения синтеза неорганических углеводородов и газгидратов (в основном, метана, запасы которых под дном океанов практически неистощимы), образующихся параллельно с интрузивными и эффузивными процессами при взаимных реакциях элементарных продуктов распада соединений водорода и гелия.

Высвобождение (законсервированной в соединениях водорода и гелия) первичной энергии аккреции посредством серии экзотермальных (в основном) реакций и фазовых превращений является наиболее быстрым и эффективным из всех процессов переноса энергии. Предлагаемая система гипотез может объяснить весь имеющийся фактический материал о землетрясениях и извержениях вулканов, чего существующая уже около 100 лет парадигма объяснить не в состоянии. Она может помочь найти решения для практически всех нерешенных проблем, связанных с нехваткой подходящего источника энергии для основных эндогенных процессов Земли, включая континентальный дрейф и “горячие точки”.

### **Возможные пути исследований**

Мы предполагаем, что чудовищная энергия мощного землетрясения должна быть каким-то образом сконцентрирована в определенной точке, в какой-то форме, в какой-то среде, и каким-то образом детонирована. Возникает главный вопрос, каким образом эта планетных масштабов

концентрация энергии проявляет себя до чудовищного взрыва? Вторжением миллионов тонн “мантийных флюидов” в земную кору и вызванным им поглощением S-волн (Копничев и Соколова, 2010)? Геомагнитными аномалиями? Гравитационными? Еще каким-то образом? Мы надеемся, что предлагаемая здесь концепция поможет и в поисках кратковременных предвестников землетрясений. А сейчас давайте вернемся к прекрасной визуализации гигантской переброски энергии через Тихий океан (Рис. 1). Обратите внимание на отраженные красные всплески энергии у берегов Калифорнии, Аляски, Камчатки, Японии и Новой Зеландии. Выделяющиеся на этой визуализации отраженные всплески энергии на границах между океанической и континентальной корой ослабляют породы по глубоководным желобам – гигантским трещинам, окаймляющим Тихий Океан. Землетрясения в Новой Зеландии и в Японии, случились всего годом позже Чилийского землетрясения 2010 г. Совпадение? Возможно. Но такой же сгусток четырех сверхмощных землетрясений ( $M=9$  и более) наблюдался в 1952-1964 гг. Хорошо бы было именно сейчас провести наблюдения за поглощением поперечных волн вдоль берегов Аляски и Калифорнии, – не проявятся ли там кольцевые структуры типа описанных Копничевым и Соколовой (2010), предвещающие новое мощное землетрясение? Наша базисная статья (2005) предлагает возможные пути дальнейших исследований и проверки этой гипотезы. Например: сейсмограмма землетрясения, записанная в микросекундной, а не секундной шкале, даст прямой ответ – является ли землетрясение одним кумулятивным взрывом или серией взрывов. При сегодняшнем уровне техники получение такой записи – не проблема. Вследствие универсальности физико-химических законов и доминантности водорода и гелия в космосе, описанные здесь процессы должны быть тоже универсальными, работающими на любой планете солнечной системы и где угодно. К примеру, водородно-гелиевая дегазация может объяснить асимметричность вулканических процессов и сейсмической активности на Луне: и те, и другие развивались там только на обращенной к Земле стороне, достигая максимума в максимумы–минимумы лунных приливов-отливов (Taylor, 1975). На противоположной, дальней стороне луны отсутствуют и сейсмическая активность, и лавовые бассейны (“моря”), и вулканы, и прямолинейные обрывы по разломам (Рис. 5). По-видимому, только потому, что Луна, в отличие от Земли, всегда повёрнута к нам одной и той же стороной, и только по ней проходят вызванные притяжением Земли лунные приливы-отливы, вызывающие “лунотрясения”, а три-четыре миллиарда лет тому назад – и извержения лунных вулканов. Прекращение лунного вулканизма, и сравнительно низкая энергичность “лунотрясений” [ $2 \times 10^{13}$  эрг/год по сравнению с  $10^{24}$ – $10^{25}$  эрг/год для энергичности землетрясений (Taylor, 1975)] могут быть объяснены малой мощностью дегазации водорода-гелия на Луне; там и первоначальные их запасы были меньше, и дегазация происходила на несколько порядков быстрее, чем на Земле.

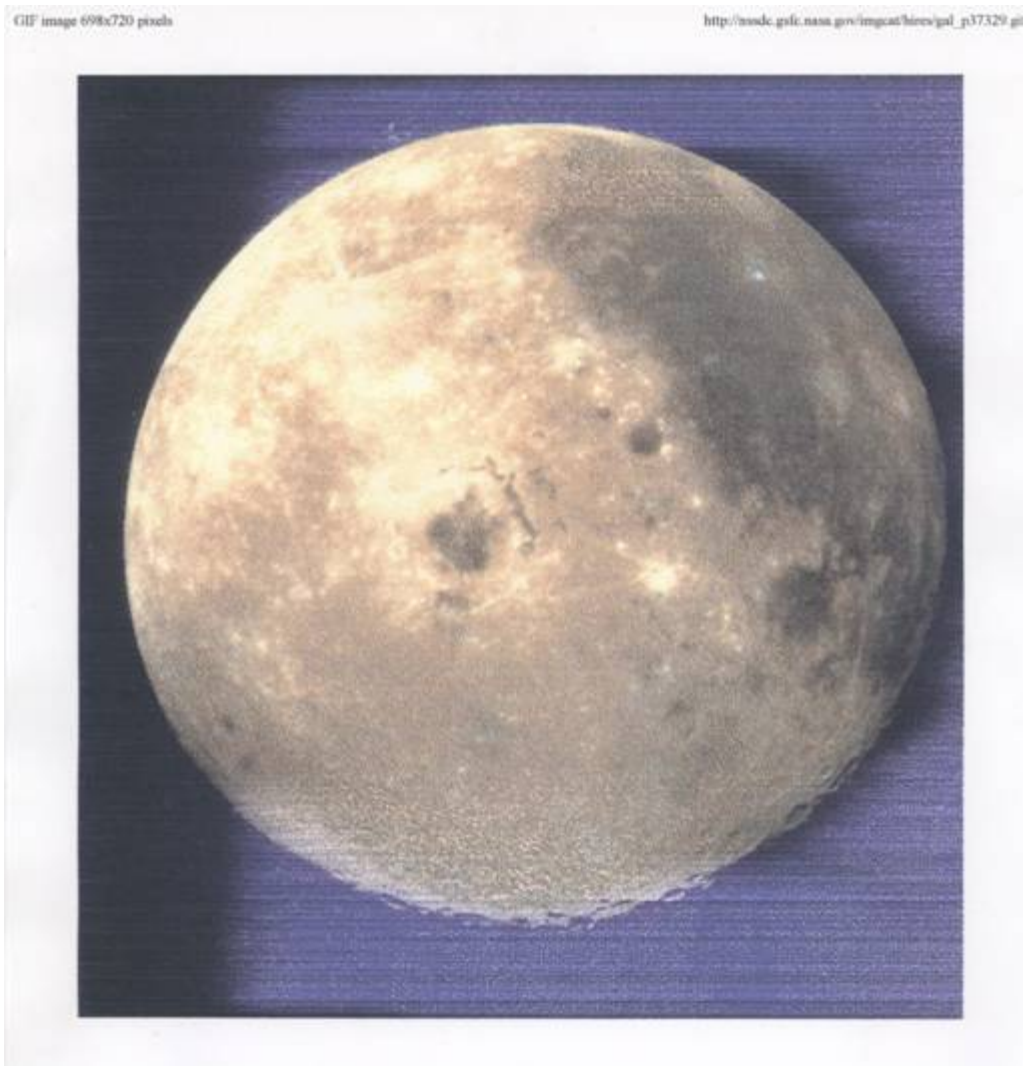


Рис. 5 Луна, взгляд из космоса. Обратите внимание на темные пятна лавового “океана” (Oceanus Procellarum) и “морей” под ним на “близкой”, обращенной к Земле стороне луны (справа сверху), и их отсутствие слева, на ее “дальней” стороне (NASA, Galileo, p-37329 color composite of the Moon from 560,000 km).

Изложенное здесь исследование было начато нами примерно 15 лет тому назад, с более скромной целью: попытаться понять физикохимию и источник энергии землетрясений. Проблема сконцентрировалась на дегазации Земли (роль гелия и водорода) и на взрывных процессах. Постепенно пришло понимание того, что мощнейший источник физико-химической энергии дегазации водорода-гелия – универсален, и влияет на все эндогенные процессы Земли, помогая нам заполнить многочисленные пробелы в теориях, связанных с геодинамикой и эволюцией

Земли. Появилась потребность в обсуждении и дискуссии. В январе 2000 г. А. Гилат доложил о результатах работы на семинаре Геологической Службы Израиля (GSI). Слушали с интересом, но дискуссия не развернулась. Тот же результат был с докладами на четырех конференциях, начиная с 2000г.; тезисы были опубликованы. Наша развернутая базисная статья была напечатана и выставлена в Интернет Холонским журналом *Journal of Science and Engineering*. Теоретически – появилась аудитория, но откликов и широкой дискуссии нет. Наша цель, – популяризировать гипотезу, вызвать ее широкое обсуждение и постановку проверочных экспериментов. Мы будем рады критическим замечаниям и обсуждению. Заранее – спасибо.

В разработке гипотезы нам очень помогли советы и рекомендации Э. Мазора (Институт Вайцмана, Реховот, Израиль), И. Гуфельда (Института Физики Земли, Москва, Россия), А. Городницкого (Институт Океанологии им. Ширшова, Москва, Россия), Е. Левнера (Холонский Академический Технологический Институт, Холон, Израиль), К. Мура (Геолого-Геохимическое Моделирование и Разведка, Блумингтон, США), Дж. М. Херндона (Трансдейн Корп., Сан-Диего, США), Т. Литтла (Университет им. Королевы Виктории, Веллингтон, Новая Зеландия), С. Ротоло (Палермский Университет, Сицилия), и мы им очень благодарны. Наша самая светлая память о так неожиданно и скоропостижно ушедших Ученых с большой буквы Марке Перельмане (Иерусалим) и Борисе Хесине (Беер-Шева), так вовремя поддержавших нас и нашу гипотезу.

### **Список литературы**

- Гилат, А. и Вол, А. 2005. Первичные водород и гелий: упущенный основной источник энергии внутренних процессов Земли. Авторский перевод с английского статьи Gilat, A., and Vol, A., (2005).
- Гуфельд, И.Л., 2007. Сейсмический процесс, физический и химический аспекты. Королёв, М.О.: ЦНИИМаш, 160 стр.
- Соколова И.Н., 2010. Пространственно-временные вариации в полях поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии Центральной и Южной Азии. Автореферат диссертации, Алма-Ата.
- Тазиев, Г., 1980. Запах серы. Москва, Мысль, 222 стр.
- Тазиев, Г., 1987. На вулканах Суфриер, Эребус, Этна. Москва, Мир, 263 стр.
- Федотов, С.А., 2006. Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. Москва, Наука, 455 стр.

- Яницкий, И.Н., 1979. Гелиевая съёмка. М. Недра, 96 стр.  
Cande, S.C., and Stegman, D.R., 2011. Indian and African plate motions driven by the push force of the Reunion plume head. *Nature* **475**, pp. 47-52.
- Geller, R.J., Jackson, D.D., Kagan, Y.Y. and Mulargia, F., 1997. Earthquakes cannot be predicted. *Science*, Vol. 275, no. 5306, p. 1616.
- Gilat, A. and Vol, A., 2005. Primordial hydrogen-helium degassing, an overlooked major energy source for internal terrestrial processes. *HAIT Journal of Science and Engineering B*, Vol. 2, Issues 1-2, pp. 125-167.  
( <http://magniel.com/jse/B/vol0201B/p126.html>.)
- Larin, V. N., 1993. *Hydridic Earth: the new geology of our primordially hydrogen-rich planet*. Polar Publishing, Calgary, Alberta, Canada. 228 pp.
- McNutt, S. R., 1994. Volcanic tremor amplitude correlated with Volcanic Explosivity Index and its potential use in determining ash hazards to aviation. *Acta Volcanologica* 5, p. 193-196.
- Navrotsky, A., 2003. Energetics of nanoparticle oxides: interplay between surface energy and polymorphism. *Geochem. Trans.*, 4(6), pp. 34-37 The Royal Soc. of Chemistry and the Div. of Geochem. Am. Chem. Soc.
- Reid, H. P., 1910. *The California earthquake of April 18, 1906; the mechanics of the earthquake*. Washington (D. C.): Carnegie Institute., 1910.  
Taylor, S. R., 1975. *Lunar Science: A Post-Apollo View*. Pergamon Press Inc., 372 p.
- Vol, A. and Gilat, A., 2000 Decomposition of helium and hydrogen compounds fuelling volcanic eruptions and earthquake. *Abstr. of the First Stephan Mueller Conf. of the European Geophys. Soc. (EGS)*, the Dead Sea, p. 56
- Wilson, B., Dewers, T., Reches, Z. and Brune, J., 2005. Particle size and energetics of gouge from earthquake rupture zones. *Nature*, Vol. 434, pp. 749-752.

Исходная статья прислана 12 июня 2011 г.  
для обсуждения на семинаре.