

АЛМАЗЫ И АЛМАЗНЫЕ ТРУБКИ ВБЛИЗИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (В контексте модели горячей и расширяющейся Земли).

В.В.Кузнецов

Разрабатываемая автором модель горячей расширяющейся Земли (ГРЗ) и физика землетрясения, основанная на формировании в литосфере ударной волны, выхода её на поверхность и взаимодействие с возникшей волной разгрузки, - позволяют распространить сформировавшиеся у автора идеи применительно к проблеме образования алмазов и их выноса на поверхность Земли. Обсуждается следующее из модели ГРЗ изменение рТ-параметров вблизи поверхности Земли в процессе её эволюции. Предлагаются несколько физически реальных механизмов выноса алмазов на поверхность Земли путем формирования трубок взрыва – диатрем. Намечены пути решения проблемы.

Модель горячей расширяющейся Земли

Гравитационная энергия Земли:

$$E = 3/5 GM^2/R = 2.25 \times 10^{39} \text{ эрг}, \quad (1)$$

здесь: G - гравитационная постоянная, M - масса, а R - радиус Земли. Энергию такой величины необходимо затратить на то, чтобы «расташить» всю массу Земли по пылинкам так далеко друг от друга, чтобы они не смогли собраться вместе. Естественно, что именно столько выделится энергии, и пойдет на нагрев её вещества, если будет происходить обратный процесс – сжатие вещества Земли (самогравитация). Если энергию E поделить на приемлемую величину теплоемкости вещества Земли ($c_p = 0.3$ кал/г·град.) и её массу, то оказывается, что температура земного вещества может достичь очень большого значения, порядка 30 000 К. Как следует из книги Магницкого (1965), геофизики не знают, как можно воспользоваться этой оценкой. Температура в 30 000 К представляется им абсолютно нелепой (там же). Очевидно, что при такой температуре вся Земля должна быть, по меньшей мере, расплавленной, что противоречило бы ее внутреннему устройству. Действительно, толщина мантии Земли составляет почти 3 тысячи километров. Время существования Земли (t) “всего” 4.5 млрд. лет ($t = 1.5 \times 10^{17}$ с). За это время (если бы вся Земля была расплавленной) земное вещество может кристаллизироваться на глубину (δ) не превышающую 400 - 600 км. [$\delta \approx (\zeta t)^{1/2}$, где ζ - температуропроводность земного вещества ($\approx 10^{-2}$ см²/с)]. Этот довод практически “закрыл” все дальнейшие попытки разработки модели “горячей” Земли. Для геофизиков остался лишь один путь - развитие модели “холодной” Земли. В этом случае для “изготовления” Земли необходимо примерно 10^8 лет, именно для того, чтобы образующееся в этом процессе тепло успевало отводиться в космическое пространство радиационным способом, через излучение.

Вещество, имеющее температуру $T = 30\,000\text{К}$ (≈ 3 эВ) будет находиться в газообразном состоянии, точнее, в состоянии слабоионизованного газа - плазмы. Земное вещество может нагреться до такой температуры при сжатии в момент образования планеты за счет протекания диссипативного процесса самогравитации. Внутреннее (газокинетическое) давление вещества в процессе его сжатия, по мере увеличения его температуры, будет возрастать. Сжатие остановится в тот момент, когда газокинетическое давление станет равным давлению самогравитации (критерий Джинса). Воспользуемся этим критерием для оценки термодинамических параметров вещества Земли. Сделаем одно весьма существенное для нашей модели предположение. Будем считать, что в настоящее время земное вещество в "первородном" состоянии, близком к идеальному газу, находится во внутреннем ядре. Это очень важное предположение. Если это

действительно так, то все остальное в нашей модели является физически непротиворечивым следствием этого предположения...

Оценим величину T/μ из равенства: $nkT = \rho g R = 3.5 \cdot 10^{12}$ дин/см² (давление в центре Земли), где $n = \rho_G/\mu t$ - концентрация вещества, ρ_G - плотность вещества G-ядра, t - вес протона, k - постоянная Больцмана, ρ - средняя плотность Земли, g - сила тяжести, R - ее современный радиус, а получаемая величина $T/\mu \approx 1/3$. Эта оценка, на наш взгляд, более правдоподобна, чем первая. Принимая величину $T = 30\ 000$ К, получаем $\mu \approx 10$. Заметим, что в этом случае величина молекулярного (атомного) веса вещества Земли показывает, что в ее составе значительное место принадлежит водороду. В качестве примера представим, что внутреннее ядро Земли состоит из водорода и железа. К примеру, молекулярный вес μ "молекулы", составленной из атомов железа и водорода, будет равен примерно 10 при условии, если один атом железа будет "окружен" пятью атомами водорода и т.п.

Согласно нашей модели ГРЗ, температура $T = 30\ 000$ К (или близкая к ней) присуща только веществу внутреннего ядра. Большая часть (95%) вещества Земли (внешнее ядро и мантия) за время ее эволюции уже остыла (релаксировала). Это один из главных постулатов нашей модели. Другой, не менее важный, говорит о том, что вещество, нагретое до такой температуры, будет находиться в газообразном состоянии и может быть сжато до плотности, большей, чем у металла. Отсюда следует, что начальный размер Земли, в момент ее создания, был меньше современного ($R_o < R$). Оценки начального радиуса Земли R_o , проведенные различными способами, не слишком надежны, хотя все они показывают, что $R_o < R$ современного. Величина R_o , по различным оценкам, колеблется в диапазоне 3 - 4 тыс. километров. Наиболее интересное решение нашей задачи возникает в том случае, если принять R_o равным 3.5 тыс. км. В пользу него, приведем такое, весьма интересное наблюдение. Радиус внешнего ядра Земли равен 3.5 тыс. км. Площадь поверхности внешнего ядра с удивительной точностью равна суммарной площади материков. А сами материки с удивительной точностью "совмещаются" друг с другом на шаре с радиусом, равным радиусу внешнего ядра (см. рис. 1-d). Эти обстоятельства, по-видимому, можно истолковать в пользу того, что Земля имела первоначальный размер, равный размеру ее внешнего ядра, а материки занимали полностью всю её поверхность.

Поделив массу Земли на объем внешнего ядра, можно получить оценку начальной плотности вещества Земли (ρ_o), которая могла достигать 35 г/см³. Начальная температура вещества T_o оказывается примерно вдвое больше, чем оцененная нами величина T . Давление в центре Земли должно быть больше современного примерно в 15 раз. Молекулярный (атомный) вес, по всей видимости, был меньше современного: $\mu_o < 10$. В течение последующих 4.5 млрд. лет Земля, после образования, эволюционировала, при этом, естественно, изменялись значения величин ее основных параметров: радиус, температура в центре и на поверхности, плотность и химический состав вещества внутреннего ядра, величина теплового потока, гравитационное и магнитное поля и т.д.

Итак, после образования, ГРЗ - охладилась. На первом этапе остыла и кристаллизовалась ее внешняя оболочка - прообраз земной материковой, гранитной коры. Вещество протоЗемли, находящееся после образования в газообразном (плазменном) состоянии, конденсировалось, образуя вещество внешнего ядра, и затем кристаллизовалось, - образуя мантию. Таким образом, в эволюции планеты непосредственное участие принимали два экзотермических фазовых перехода: конденсация и кристаллизация. На самом раннем этапе эволюции Земли скорость охлаждения её вещества определял процесс кондуктивного теплопереноса, определяемого – температуропроводностью: $\zeta = \lambda/\rho c_p$, где ρ - плотность, а λ - коэффициент теплопроводности. Для обычных веществ величина $\zeta = 0.1 - 0.01$ (см²/с).

Поначалу, увеличение толщины внешнего ядра (l) и наращивание мантии происходило очень медленно: $l \sim (\zeta t)^{1/2}$, t - время эволюции. Так продолжалось до тех пор, пока ее толщина l не стала достаточной для того, чтобы во внешнем ядре возникла конвекция ($l \geq l^*$) и “заработал” конвективный теплоперенос, более эффективный, чем кондуктивный. Известно, что конвекция в слое толщиной l между двумя плоскостями, поддерживаемыми при постоянном перепаде температуры ΔT , возникает при числе Релея $Ra > 1710$:

$$Ra = (g \beta l^3 \Delta T) / (\nu \zeta). \quad (3)$$

Подстановка характерных для вещества ядра Земли величин ускорения силы тяжести g , коэффициента объемного расширения β , кинематической вязкости ν , и коэффициента температуропроводности ζ , для $\Delta T = 10^4$ К, определяет величину $l^* \approx 300$ км.

В работе (Chandrasekhar, 1961) показано, что для больших чисел Релея (именно этот случай соответствует конвекции в ядре) произведение чисел Рейнольдса:

$Re = (v_k l) / \nu$ и Прандтля $Pr = \nu / \zeta$ пропорционально корню квадратному из числа Релея:

$$Re \times Pr \sim Ra^{1/2}. \quad (4)$$

В свою очередь, число Релея (3) $Ra \sim l^3$. Подставляя, получаем зависимость между характерным размером l , скоростью конвекции в мантии v_k ($v_k = l/t$) и характерным временем процесса t : $v_k l \sim l^{3/2}$, или: $l^2/t \sim l^{3/2}$. Заменяя l на ΔR , получаем зависимость: $\Delta R \sim t^2$, вместо $\Delta R \sim (t)^{1/2}$ в начале процесса эволюции Земли (см. вставку в левом верхнем углу рис. 1-а).

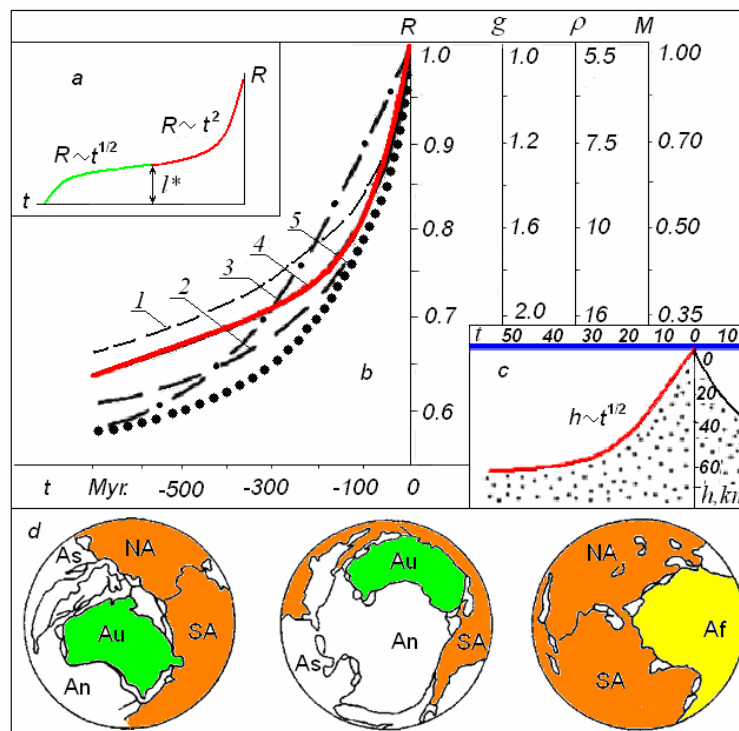


Рис. 1. Изменение радиуса Земли R от времени её эволюции t (Кузнецов, 2008). (а) - в течение всего периода эволюции t , за последние 500 млн. лет: - (б). Здесь $R(t)$, $g(t)$, $\rho(t)$: 1- по данным Кэри, 2 – Хильденберга, 3 – Оуэна. 4 – нашей модели. Увеличение массы океанов $M(t)$ – 5. Толщина литосферы h (км) от расстояния (t в млн. лет) до оси рифта - (с). Размещение материков на внешнем ядре Земли (d).

Таким образом, по нашей модели получается, что в течение примерно 3.5 - 4 млрд. лет толщина внешнего ядра и, соответственно, толщина мантии увеличилась от нуля до (примерно) 300 км (l^*), а за последние 0.5 - 1 млрд. лет - более чем на 2.5 тыс. км. Наша модель ГРЗ оказывается адекватной модели расширяющейся Земли, которую разрабатывали в свое время С. Кэри (Carey, 1976); Хильденберг (Hilgenberg, 1933); Оуэн (Owen, 1992) и др. Рисунок 1-b демонстрирует зависимость земного радиуса от времени эволюции, согласно моделям этих авторов и, для сравнения, нашу модель, в которой $\Delta R \sim t^2$. Так как радиус Земли однозначно связан с силой тяжести и средней плотностью, на рисунке показано изменение этих параметров. Согласно модели, увеличение радиуса Земли происходит за счет роста толщины мантии, поэтому на рисунке показано как происходило увеличение массы мантии, а так как количество воды в океанах жестко связано с массой мантии, то этот график характеризует и скорость «наполнения» океанов. Здесь же, для сравнения, приведен ориентировочный ход увеличения воды в акватории Мирового океана по наблюдательным данным.

Надо заметить, что практически все разработчики модели расширяющейся Земли стремились «уложить» континенты один к другому таким образом, чтобы не оставалось «зазора» между ними (рис. 1-d). Наибольшего успеха в этом деле достиг немецкий инженер из Потсдама К. Вогель, создавший прозрачный глобус, на внешней поверхности которого были расположены материки, а внутри размещался еще один шар, меньшего диаметра, на котором материки занимали положения, примерно так же, как это изображено на рис. 1-d. Профессором Британского музея натуральной истории Х.Оуэном был создан атлас, в котором представлено расположение материков в различные эпохи и т.п.

Сравним полученную зависимость $\Delta R \sim t^2$ (или $R \sim t^2$, где R - радиус Земли) с хорошо известным в тектонике плит характером глубины астеносферы в зоне спрединга как функции расстояния от центра срединно-океанического хребта, оцененного в годах: $h \sim t^{1/2}$, (h – глубина астеносферы, а t – время, отсчитанное назад от современного) (рис. 1-с). Эти функции являются однозначно обратными и симметричными относительно: $\Delta R \sim t_R$, или $h \sim t_h$ (что одно и то же). Действительно, $\Delta R = -h$, а $t_R = -t_h$. Используя наши оценки, полученные для зависимости ($\Delta R \sim t^2$), и подставив h в км, а t в млн. лет, получим ориентировочно: $h \approx 100 \times t^{1/2}$, для $t < 500$ млн. лет. Таким образом, известная зависимость, показывающая изменение толщины астеносферной зоны от времени эволюции, является (в нашей модели) ни чем иным, как скоростью расширения Земли.

Алмазы на поверхности Земли

Алмаз - наиболее изученный минерал. Согласно (Харькив и др. 1997), каждый год публикуется более 1000 статей и монографий, посвященных алмазу. Не раскрывая широко эту очень интересную тему, мы попытаемся ответить на вопрос, могли ли образоваться алмазы на поверхности Земли, или они возникли на очень большой глубине и затем были «вынесены» на дневную поверхность. Геологи считают, что алмазы сформировались в условиях их термодинамического равновесия, хотя известны алмазы ударного (импактного) происхождения. Считается, что средний возраст алмазов 3.2-3.5 млрд. лет, в то время как возраст пород кимберлитовых трубок «всего лишь» 90 - 170 млн. лет. Имеются данные, что возраст некоторых алмазов сравним с возрастом нашей планеты (Озима, 1990). Месторождения алмазов сосредоточены в пределах древних структур Земли, консолидация которых завершилась 2.5 млрд. лет тому назад. Преобладающее большинство специалистов считают, что алмаз доставлен на поверхность Земли примерно с глубины 140-280 км. Поэтому, считается, что мантийный алмаз важен как источник информации о событиях, происходящих на ранних этапах формирования Земли, во-первых, и как источник информации о верхней мантии, во-вторых.

Как известно, для алмаза, где бы он ни был образован, - на Земле или лаборатории, необходимо создание определенных pT условий. Давление p должно быть не менее 40 кбар, а температура T , около 1000 °С. На Земле такие условия существуют в мантии на глубине примерно 100 км, что, как принято считать, однозначно определяет место их “производства”. Затем, каким-то способом алмазы “транспортируются” на поверхность Земли (по стрелке на рис. 2), где их обнаруживают в т.н. трубках взрыва - диатремах (Милашев, 1984). Такие трубки напоминают жерла вулканов, что и определило способ их транспортировки - в лаве вулкана. Всё было бы хорошо, но в этой привычной для всех схеме есть небольшой, но неприятный дефект. Дело в том, что при такой транспортировке алмазы из области pT -условий устойчивого их существования в мантии обязаны перейти в такую область, где они существовать не могут и где углерод существует только в состоянии графита (см., например, Озима, 1990; Кузнецов, 1992).

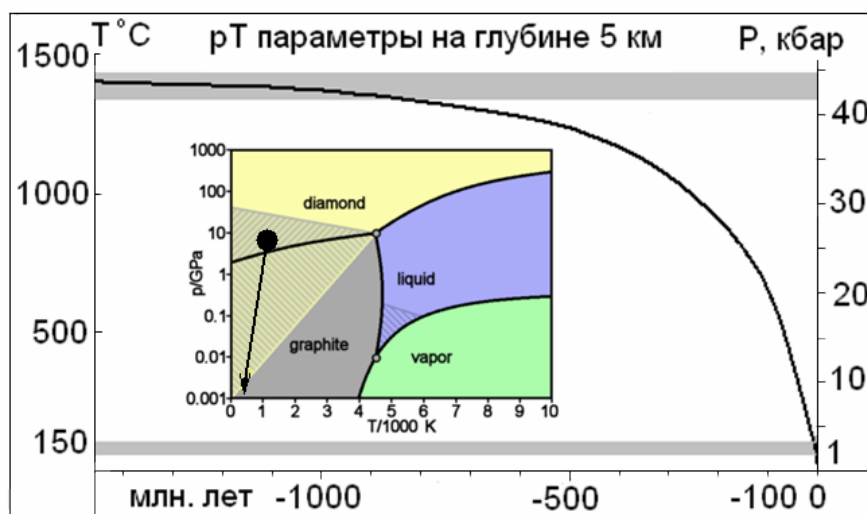


Рис. 2. Эволюция pT параметров Земли на глубине 5 км. Вверху - выделена зона оптимальных для образования алмазов параметров. На вставке фазовая диаграмма углерода. Точка – pT параметры на глубине 5 км от земной поверхности. Стрелка показывает «путь» транспортировки алмазов из мантии к поверхности Земли.

Алмазы стабильны на глубине ниже 150 км, а на более высоких горизонтах они становятся неравновесными и переходят в графит, причем, этот переход происходит очень быстро при высоких температурах внутри Земли. Следовательно, если алмазы, образовавшиеся в недрах Земли, будут вследствие мантийной конвекции перенесены на глубину менее 100 км, они разрушатся и превратятся в графит (Озима, 1990).

В pT условиях земной поверхности алмазы устойчивы. Заметим, что буквально все алмазы на Земле образовались раньше одного миллиарда лет назад, т.е. на самой “ранней” стадии эволюции Земли. Однако заметим, что Соболевым и Шацким было показано, что алмазы образовались в породах земной коры (Sobolev, Shatsky, 1990). Напомним, что согласно модели ГРЗ, 1 млрд. лет назад pT условия, необходимые для образования алмаза, существовали практически на её поверхности, точнее, на самых малых глубинах земной коры. Продемонстрируем справедливость этого утверждения.

Согласно нашей модели, pT параметры на поверхности Земли и в её коре на раннем этапе её эволюции значительно отличались от – современных (Кузнецов, 2008). Это связано в основном с тем, что толщина мантии возросла примерно в 10 раз, а температура и давление в центре Земли практически не изменились. Там же показано, что резкое изменение термодинамических характеристик Земли началось примерно 160-200 млн. лет назад, т.е. этот период совпадает с периодом образования трубок взрыва. Наша

модель недостаточно точна для того, чтобы однозначно определить глубину земной коры, на которой величины давлений и температур соответствовали условиям, необходимым для синтеза алмазов. Так же сложно определить период времени эволюции Земли, когда эти параметры были именно такими, какие нужны для синтеза. Базируясь на нашей модели, по-видимому, можно утверждать, что на глубине порядка 5-10 км в земной коре примерно 1 млрд. лет тому назад, pT условия вполне могли соответствовать тем, которые необходимы для синтеза алмазов (рис. 2). Как следует из модели ГРЗ, примерно 160-200 млн. лет назад началось довольно резкое охлаждение её оболочек, как внутренних, так и внешних. Земля располагает несколькими способами "«сброса»" энергии: расширение её радиуса путем наращивания мантии, генерация теплового потока и геомагнитного поля, землетрясения, горные удары, вулканизм, плюмы и т.п. Если ни один из этих способов по той или иной причине Земле «не подходил», ей следовало «изобрести» ещё один.

Вполне возможно, что образование трубок взрыва - диатрем, это как раз и есть такой способ, которым Земля «воспользовалась» на одном из этапов своей эволюции. Суть его, в рамках нашей модели, заключается в быстром, взрывном освобождении энергии среды. Такой взрыв должен отличаться от классического химического или ядерного взрыва, когда имеется взрывчатое вещество (ВВ), а порода дробится и выносится с помощью газов, выделяющихся при детонации ВВ. В нашей ситуации более вероятен случай объемной детонации, наиболее близкий известный аналог которой, например, детонация газообразных ВВ или пыли, хотя возможны и другие модели. Сделаем необходимые оценки.

Стандартная трубка взрыва согласно данным, приведенным в (Милашев, 1984), представляет собой конус. Радиус основания конуса ~ 300 м, глубина ~ 2 км, радиус «острия» конуса ~ 20 м. Объем типовой диатремы $\approx 2.5 \cdot 10^7$ м³, а энергия, необходимая для дробления горной породы и выноса её из объема трубки, должна быть не менее $2.5 \cdot 10^{14}$ Дж. Плотность энергии оказывается порядка 10^7 Дж/м³, или 10^8 эрг/см³. Если допустить, что разуплотнение вещества в процессе его адиабатического охлаждения порядка самого объема, то «сбрасываемое» в этом процессе давление оказывается порядка 0.1 - 1 кбар. По оценке Милашева (1984), для создания типовой трубки взрыва необходимо примерно $2.5 \cdot 10^{14}$ Дж или, в тротиловом (TNT) эквиваленте, 10^{11} г TNT. По нашим оценкам, эффективность перегретого вещества диатремы примерно в 4 раза меньше. Примем, что она хуже в 10 раз. Тогда масса ВВ должна быть порядка 10^{12} г, а масса самой трубки равна $5 \cdot 10^{13}$ г, что в 50 раз больше, чем масса ВВ. Можно сделать вывод, что идея образования объемного взрыва вещества диатремы, выброса материала на поверхность Земли и охлаждение части вещества её недр вполне правдоподобна. По-видимому, имеет смысл учитывать и этот диссипативный механизм, так же как, дрейф материков, землетрясения, вулканизм, образование плюмов и т.п. Заканчивая этот раздел, на вопрос о том, могли ли образоваться алмазы на поверхности Земли, мы, по-видимому, можем ответить утвердительно.

Модели образования диатрем

Приведем экспериментальные данные, полученные при сжатии льда между наковальнями с открытыми границами. Согласно этим данным (Фатеев, 2003), в таком эксперименте, в области высоких давлений ($P \sim 0.1 - 10$ ГПа) между двумя наковальнями происходит высокоскоростной выброс льда, находящегося в мелкодисперсном состоянии. Схема эксперимента изображена на рис. 3. Подобные взрывные неустойчивости возникают при переходе упругой энергии сильно сжатого тела в механическую работу со сверхбыстрой объемной разгрузкой системы после достижения в ней некоторых критических pT параметров. Для каждого материала существует свой характерный порог давления и температуры, при которых он испытывает такой вид неустойчивости, получивший название эффект Бриджмена.

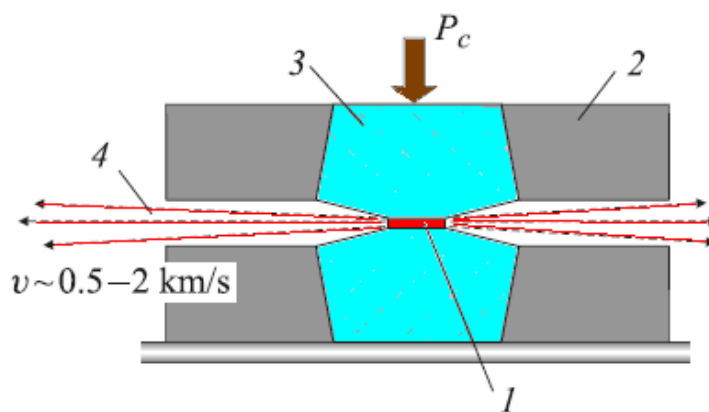


Рис. 3. Схема системы сжатия образца льда (1) между двумя наковальнями Бриджмена (2) со сверхтвёрдыми вставками (3), необходимыми для получения взрывного эффекта с высокоскоростным выбросом (4) части материала льда за пределы системы (Фатеев, 203).

Проявление подобного эффекта в природе обнаружено при раздавливании монолитных образцов льда на Байкале (Ружич и др. 2009). В этой работе исследовалась суточная вариация микросейсмичности (акустической эмиссии) льда. Авторы зарегистрировали мощные сейсмические импульсы, которые происходили в дневное время в момент максимальной температуры воздуха. Импульсы сопровождалась динамическими деструктивными процессами, названные авторами ледовыми ударами. В работе оценена магнитуда ледового удара $M = 0.3 - 0.8$ ($E = 10^4 - 10^5$ Дж). Длительность цуга колебаний, составляющих удар, равна примерно 0.3 – 0.5 секунд. В момент удара авторы наблюдали над поверхностью льда - облачка ледовой пыли.

При развитии даек в земной коре образуются трещины, которые создают дополнительные возмущения в горной породе. Благодаря концентрации напряжений в углах трещин в образце могут появиться напряжения в 600 раз большие, чем среднее по образцу. Эти напряжения существенно снижают прочность твердой фазы и, следовательно, облегчают процесс диспергирования (Большая Энциклопедия Нефти и Газа). В конечном счёте, эти явления ведут к проявлению эффекта Бриджмена в земной коре и возникновению диатремы (рис. 4-а).

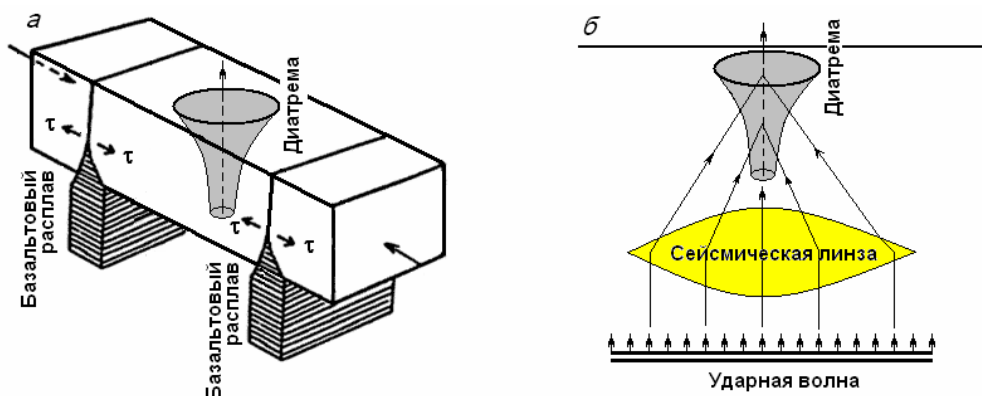


Рис. 4. Дайки (базальтовый расплав) приводят к возникновению горизонтального напряжения, что является причиной выброса вещества согласно эффекта Бриджмена (т.е. образования диатремы) – а; Фокусировка ударной волны сейсмической линзой приводит к образованию выброса вещества при выходе УВ на поверхность, т.е. тоже диатремы - б.

Возможен и другой вариант образования диатремы. Это возникновение плоской ударной волны (УВ), которая при выходе на земную поверхность приводит к землетрясению (Кузнецов, 2009), точнее, к сильным движениям грунта. В нашем случае, если УВ сталкивается с сейсмической (акустической) линзой, то возможна фокусировка УВ, что может привести к выбросу вещества – образованию диатремы (рис. 4-б). Наиболее близкий технический аналог такого явления – кумулятивная струя или выброс вещества из области контакта при сварке взрывом (Кузнецов, 1985).

Направление исследований

1. Сопоставить карту месторождений алмазов с известным возрастом с картой материков, занимающих положение на земном шаре соответствующее их возрасту и возрасту диатрем. Предполагается, что должна наблюдаться корреляция между возрастом алмазов и расположением материков и между возрастом диатрем.
2. Сопоставить наличие зон внедрения (даек, интрузий) в окрестности диатремы, а также наличие сейсмических линз под диатремами.
3. Провести лабораторное моделирование диатремы на прессах высокого давления как моделирование эффекта Бриджмена в горных породах с целью выяснения физики этого явления (рис. 3, 4-а).
4. Выяснить образуется ли при моделировании эффекта Бриджмена ударная волна и играет ли она решающую роль при образовании диатрем (рис. 4-б). Сопоставить явление возникновения диатрем с сильными движениями при землетрясениях. Сопоставить результаты лабораторных экспериментов с данными по Сасовскому взрыву и другим аналогичным взрывам. Провести моделирование на горной породе, создав ударную волну с помощью ударника и направив её на акустическую линзу. Подобный эксперимент можно провести, например, во взрывной камере ИГиЛ СО РАН.
5. В записке я не затрагивал проблемы образования т.н. импактных алмазов, т.е. тех, которые возникают при высокоскоростном ударе метеорита о Землю. С точки зрения физики образования алмазов задача прозрачна, а проблемы, возникающие при образовании кратеров, мне достаточно хорошо знакомы (Кузнецов, 1982, 1985).

С этими и другими моими работами можно познакомиться на сайте: <http://www.vvkuz.ru/>
e-mail: ikir@academ.org т. 3303468

Литература

- Кузнецов В.В. Образование кратеров при высокоскоростном ударе// ПМТФ. 1982. №4.
Кузнецов В.В. Эффекты фазовых переходов при воздействии на вещество энергии высокой плотности. (На примере соударения металлов) монография ИГиГ. 1985.
Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли.2008. монография Петропавловск-Камчатский. КГУ им. Беринга.
Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения I Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность.// Физ. мезомеханика. 2009. Т.12. № 6. С. 87-96.
Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра. 1965. 379 с.
Милашев В.А. Трубки взрыва. Л.: Недра. 1984. 268 с.
Озима М. Глобальная эволюция Земли. М.: Мир. 1990. 164 с.
Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н. и др. Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал // Геол. и геофиз. 2009. Т. 50. № 3. С. 289-299.
Фатеев Е.Г. Влияние сверхнизкочастотного электрического поля на порог взрывной неустойчивости льда // ЖТФ. 2003. Т. 73. № 4. С. 43-48.
Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Зуев В.М. История алмаза. М.: Недра. 1997. 600 с.

Carey S.W. The expanding Earth. Amsterdam: Elsevier, 1976, 488 p.

- Chandrasekhar S. Hydrodynamics and hydromagnetic stability. Oxford: Clarendon Press. 1961. 654 p.
- Hilgenberg O. Vom wachsenden Erdball. B. 1933, 56 p.
- Owen H.G. The Earth is expanding and we don't know why // New Scientist, 1984, P. 27-29.
- Sobolev N.V., Shatsky V.C. Diamond inclusion in garnets from metamorphic rocks: a new environment for diamond formation. Nature. 1990. V. 343. P. 742-746.
- Vogel K. Recent crystal movements in the light of Earth expansion theory. 6th International Symposium "Geodesy and Physics of the Earth". Potsdam. 1989. P. 284-289.