

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ IV. PROBLEMS AND OPINIONS



С.В. Бычков // S.V. Bychkov
sergueibychkov@gmail.com

горный инженер, Университет Британской Колумбии, Ванкувер, Канада
University of British Columbia, Vancouver, Canada

УДК 528.2+550.3+551.1

КОНДЕНСИРОВАННАЯ ПЛАЗМА КАК ГЕНЕРАТОР ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ?

CONDENSED PLASMA AS A GENERATOR OF EARTHQUAKES?

Теория Рейда, объясняющая происхождение землетрясений как выброс земной корой энергии упругих деформаций, не позволяет создать теорию глубокофокусных землетрясений. Можно уверенно сказать: если бы человечество не испытало на печальном опыте катастрофы, вызванные глубокофокусными землетрясениями, то учёные до сих пор бы утверждали, что такие события не могут иметь место в природе, так как ожидать на глубинах сотен километров упругие деформации блоков, плавающих в полурасплавленной и расплавленной магме, довольно сомнительное занятие. В представленной работе показана модель глубокофокусного землетрясения, которая представляет собой хорошо знакомый сантехникам классический гидроудар с последующим фазовым переходом и образованием плазмы. Известно, что там, где течёт жидкость (в нашем случае - магма) по различного рода трубам и магистралям (в нашем случае – это различного рода трещины в мантии, жерла вулканов, кимберлитовые трубки), во все времена случались, случаются и будут случаться гидравлические удары. Этот рутинный процесс в гидродинамике, изученный вдоль и поперёк, вызывает рождение в недрах земли плазму особого рода - тёплую плотную материю, которая, по нашему мнению, и является одним из генераторов подземных толчков.

Reid's theory, which explains the origin of earthquakes as the release of elastic deformation energy by the earth's crust, does not allow to create deep-focus earthquakes' theory. We can confidently say: - if humanity had not experienced the catastrophe caused by deep-focus earthquakes, scientists still would argue if such events can take place in nature, as to expect elastic deformation of blocks floating in semi-molten and molten magma is a pretty dubious occupation. In the present work, a model of a deep-focus earthquake is shown, which is a well-known to plumbers classic hydraulic shock with a subsequent phase transition and plasma formation. It is known that where fluid flows (in our case, magma) through various pipes and mains (in our case, these are various cracks in the mantle, volcanic vents, kimberlite pipes), there have always been, will and will happen, hydraulic shocks. This a routine process in hydrodynamics, studied along and across, causes the birth of a special kind of plasma in the bowels of the earth - warm dense matter, which in our opinion is one of the aftershocks' generators. This paper discusses the possibility of obtaining TPV due to the hydraulic shock energy.

Ключевые слова: ПЛАЗМА, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, ГОРНЫЙ УДАР, УДАРНАЯ ВОЛНА, ИМПУЛЬС, МАГМА
Key words: PLASMA, EARTHQUAKE, ROCK SHOCK, SHOCK WAVE, IMPULSE, MAGMA

Глубокофокусные землетрясения были открыты Г. Тернером в 1922 году [1], что стало сюрпризом для всех сейсмологов мира, ибо обычно глубина очагов землетрясений не превышает 70 км. Оказалось, что это не так, и в отдельных случаях очаги лежат гораздо глубже - до 700 км. и больше (Максимальная глубина гипоцентров глубокофокус-

ных землетрясений - 720 километров зарегистрирована на территории Индонезии в 1933, 1934 и 1943 годах). Этот факт создал большие трудности в объяснении природы и механизма землетрясений, ибо подземные толчки почти всегда связаны с геологическими нарушениями и движением горных блоков. Так как на очень большой глубине вещество должно находиться

если не в расплавленном, то, по крайней мере, в пластическом состоянии. Следовательно, глубокофокусное землетрясение не может быть вызвано упругими напряжениями. Причина его лежит либо в каких-то физико-химических изменениях свойств пород, связанных с изменением объёма масс, либо в приложении к пластической массе какого-то внезапного и очень большого усилия, на которое эта масса вынуждена реагировать как хрупкое тело. Это очевидно, но современная сейсмология продолжает ссылаться на мифические напряжения упругих деформаций, сдвигая выдвинутые гипотезы таких землетрясений большими температурными факторами и огромным давлением. Некоторые учёные объясняют глубокофокусные землетрясения механизмом обратной связи «деформация-температура», который может вызвать взрывообразное увеличение температуры и скорости скольжения элементов горного массива и привести к землетрясению [2]. Другие учёные предложили модель дегидратации горного массива. В этой модели скольжение горных блоков в зонах глубоких землетрясений приписывается влиянию захваченных флюидов, которые могут противодействовать силам сцепления в трещинах пород, что ослабляет горный участок и может привести к внезапному разрушению блока [3]. Хорошо известна модель учёных из Геологической службы США П. Бриджмэна и С. Керби. Их модель основана на предположении, что под действием сдвиговых напряжений может происходить фазовое изменение вещества в слое. Из-за резкого изменения кристаллической структуры прочность породы уменьшается, и в ней может произойти проскальзывание [4]. Как мы видим, общее направление всех исследований сводится к схеме, описанной группой исследователей [5]: «Внутри тела, по которому проходит фазовая граница, отделяющая друг от друга две полиморфные модификации образуется метастабильная фаза. Это превращение в стабильную модификацию может происходить скачкообразно в виде быстрых лавинообразных процессов. При этом необходимым условием возникновения скачкообразного режима твердотельного превращения является отсутствие быстрых изменений внешних условий и наличие обратной связи между скоростью превращения и концентрацией новой фазы. То есть, если образующаяся новая фаза путем локального изменения термодинамических условий и параметров превращения оказывает каталитическое воздействие на скорость реакции». Трудности обоснования такого рода моделей очевидны.

Они связаны с недостатком информации химического состава пород мантии, параметров реальных термодинамических условий, существующих на такой глубине, и полным отсутствием кинетики протекающих процессов. Ещё хотелось бы акцентировать внимание на том факте, что все учёные ссылаются на мифические скольжения и прочие перемещения блоков, вызванных фазовыми превращениями, хотя очевидно, что там, на большой глубине, нет «пустых комнат», куда бы можно было переместиться горной плитой. На основании современных данных, таких как: плотность, упругость, электропроводность, радиоактивность, температура и др. можно считать, что мантия имеет неоднородное строение и сложена породами с различными физическими свойствами, которые разнятся в зависимости от глубин и географического расположения в самых широких пределах. На основании изучения сейсмограмм мы можем предположить, что в верхней части мантии породы находятся в пластическом состоянии. С глубиной количество жидкой фазы (магмы) увеличивается, и она под давлением движется «ручейками и речками» среди пород мантии как по горизонтальным, так и по вертикальным каналам, образуя магматические купола и выходя на поверхность в зонах разломов в виде вулканов [6 видеофайл]. Просматривая это видео, можно легко представить грандиозный объём магмы, текущий по каналам внутри Земли, и скорость её потока! Современная теория предполагает движение тектонических плит по астеносфере, которая находится в частично размягченном или в жидком глубинном слое пониженной вязкости. Исследования сейсмических волн не показывают чётко выдержанных границ астеносферы в пространстве мантии. Для многих областей выявлены слои, расположенные как по вертикали, так и по горизонтали, которые могут хаотично прерываться или резко менять направление. Глубина залегания астеносферных слоев варьирует от 50 км до многих сотен, а нижняя граница мантии фактически является неопределенной. Исходя из этого можно заключить, что минеральный состав мантии меняется в зависимости от температуры и давления, и это особенно ярко выражено на так называемых глобальных сейсмических рубежах 410 и 670 км., где происходят значительные изменения в минеральном составе мантийных пород. Минеральные преобразования отмечаются также и на глубинах ~ 850, 1200, 1700, 2000 и 2200-2300 км, то есть в пределах нижней мантии. Это важное обстоятельство позволяет отказаться от представления об её однородной структуре.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В МАНТИИ ЗЕМЛИ

Вопрос возможности гидравлических ударов в магматических каналах мантии упирается в вопрос строения Земли и конкретно наличия в мантии необходимого количества подвижной магмы, способной с достаточной скоростью перемещаться по мантийным каналам. Согласно современным представлениям, подвижная магма присутствует в мантии в небольших количествах в магматических камерах вулканов на относительно небольших глубинах, следовательно, серьёзные гидроудары в мантии Земли невозможны. По мнению современных учёных, основной объём магмы в верхней и нижней частях мантии находится в виде твёрдого тела, и только малая часть мантии - астеносфера представляет собой сильновязкий расплав. При этом учёные ссылаются на данные сейсморазведки, а именно на непроходимость S волн сквозь жидкие среды. На этом факторе строится теория строения Земли и мантии, и этим фактом оперируют многие современные геофизики. Но существуют многочисленные факты, указывающие на то, что подвижная магма в мантии Земли может находиться в виде некоторого количества маленьких и больших бассейнов с её перетеканием из одного бассейна в другие, которые попросту невидимы для S волн. Это подтверждается таким существенным фактом, как наличие в земной коре Батолитов, объёмы которых могут достигать $1.8 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$. (Андский батолит). Рис.1

Очевидно, что если раньше природа могла образовывать огромные бассейны магмы, то почему она не может образовывать такие объёмы в мантии сегодня? Следовательно, запрет гидроудара, связанный со строением Земли, отсутствует.

Как мы уже отметили, огромное количество энергии, освобождающейся при глубокофокусных землетрясениях, а также резкий и внезапный характер ее выделения заставляют предположить, что первоисточник глубинных толчков никаким образом не может быть связан с механическими перемещениями пластических масс или горных блоков на глубине нескольких сотен километров с выделением энергии упругих деформаций. Отбрасывая различные экзотические гипотезы возникновения глубокофокусных землетрясений, типа резкого смещения ядра Земли с ударом по внутренней оболочке мантии, мы приходим к выводу, что единственно возможным источником образования глубокофокусного землетрясения является энергия фазового перехода вещества мантии. Нам только остается найти источник энергии, способный форсирова-

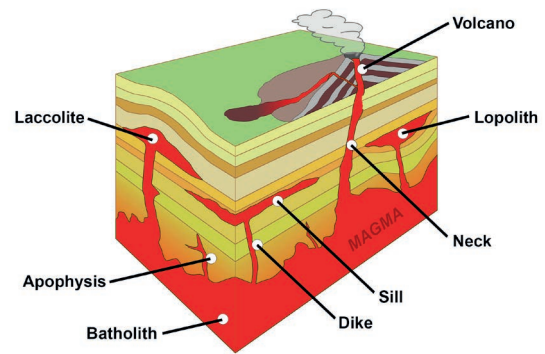


Рисунок 1. Диаграмма строения земной коры
Figure 1. The diagram of the structure of the Earth's crust

но вызвать фазовый переход вещества мантии. По нашему мнению таким источником энергии может быть гидравлический удар магмы, возникающий в момент внезапного перекрытия канала движения магмы сместившимся блоком пород мантии. Гидравлический удар — это скачок давления в какой-либо системе, заполненной жидкостью, вызванный быстрым изменением скорости потока. Гидроудар детально изучен современной наукой [7] [8] [9] [10], и нам остаётся только обратить внимание на некоторые моменты этого явления. Гидравлический удар проявляется только в жёстких трубопроводах, что вполне соответствует условиям движения магмы по каналам горного массива. В результате внезапного перекрытия канала сместившимся блоком пород поток магмы останавливается, и как по сценарию классического гидроудара его кинетическая энергия превращается в потенциальную энергию упругого сжатия магмы, а также потенциальную энергию упругого растяжения пород, образующих магистральный канал. Всё это приводит к тому, что давление в месте остановки магмы стремительно возрастёт: тем больше, чем выше скорость магмы и чем меньше её сжимаемость, а также чем выше жёсткость окружающих пород. Это повышение давления и является гидравлическим ударом внезапно остановленной магмы и первым этапом образования глубокофокусного землетрясения. В соответствии с расчетной формулой повышения давления во время гидравлического удара, полученного российским ученым Жуковским еще в 1898 году, энергия гидравлического удара будет зависеть от минерального состава магмы, плотности, состава окружающих пород, параметров движения магмы, его объема.

$$\Delta P = \rho \cdot \Delta v \cdot c \quad (1)$$

где ΔP - скачок давления; ρ - плотность жидкости; Δv - изменение скорости жидкости; c - скорость

распространения ударной волны.

В свою очередь скорость распространения ударной волны определяется по формуле:

$$c = 1/\sqrt{(\rho \cdot \beta + 2 \cdot \rho \cdot r / (\delta \cdot E))} \quad (2)$$

где c - скорость ударной волны; $\sqrt{\quad}$ - операция с квадратным корнем; ρ - удельная плотность жидкости; β - сжимаемость жидкости; r - внутренний радиус трубы; δ - толщина стенки трубы; E - модуль упругости материала трубы (модуль Юнга).

ОБРАЗОВАНИЕ ТЁПЛОГО ПЛОТНОГО ВЕЩЕСТВА

В лабораториях российского Сарова и в американском Лос-Аламосе проводятся опыты по получению ТПВ с показателями давлений в экспериментах в десятки тысяч атмосфер при быстром нагревании образца мощным лазером или магнитным полем. Один из наиболее эффективных способов получения ТПВ в лабораториях заключается в использовании ударной волны мощностью на уровне Тераватт [11]. Этот способ получения ТПВ эффективно использует природа в виде гидроудара в мантии Земли, который служит источником энергии для скачкообразного фазового перехода с последующим взрывообразным выделением энергии землетрясения, связанным с образованием плотной плазмы или так называемого тёплого плотного вещества. Как известно ТПВ, это такое агрегатное состояние вещества, которое по своим параметрам находится между твёрдым телом и идеальной плазмой. Оно слишком плотное, чтобы быть описанным как плазма, и слишком горячее, чтобы относиться к физике твёрдого тела. Может образовываться из разных веществ — от водорода до металлов. Современное состояние теоретической и практической базы позволили получить ТПВ в лабораторных условиях многих стран. Давая определение ТПВ, физики говорят: «Это состояние материи достаточно плотное, чтобы не быть плазмой, и слишком горячее, чтобы описываться методами физики конденсированного состояния». ТПВ намного плотнее, чем плазма — от 0,01 до 100 г/см³. и гораздо холоднее, чем высокотемпературная плазма. В некоторых случаях оно может иметь удельный вес в два раза больше, чем твёрдое вещество, из которого оно получено. Но и твёрдым телом его тоже назвать нельзя — атомы вещества имеют слишком большие скорости. Существование ТПВ возможно только при больших давлениях и высоких температурах, когда кулоновские силы сопоставимы с силами теплового движения.

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ГЛУБОКОФОКУСНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Исходя из физико-химических условий

существования материи мантии в недрах Земли, представляем вам модель образования глубокофокусного землетрясения. Гидроудар при изначальном огромном давлении и высоком температурном фоне на глубине нескольких сотен километров, где вещества уже находятся и приобретают экстремальные и экзотические свойства и претерпевают необычные трансформации (графит - алмаз), ставит окружающие породы мантии в крайне неравновесные условия. Энергия ударной волны гидроудара вызовет мгновенный разогрев и так уже довольно горячего вещества мантии в районе события на сотни и тысячи градусов, а следовательно, мгновенное увеличение объёма окружающих пород. Плюс ко всему во время гидроудара вследствие малой сжимаемости магмы и высокой жёсткости окружающих пород, скачок давления будет воздействовать практически на весь объём, участвующий в процессе, то есть заберёт всю кинетическую энергию, которой обладал поток магмы, а эти объёмы могут быть довольно значительны. Мгновенное повышение давления возможно на тысячи атмосфер. Таким образом резким скачком давления будут соответствовать и гигантские ускорения и торможения частичек вещества при прохождении через них возникшего фронта ударной волны. Результатом этого процесса, по аналогии лабораторных экспериментов в Лос-Аламосе и других лабораториях мира, станет появление ТПВ, что вызовет мгновенное увеличение его объёма [12]. Говоря о свойстве ТПВ мгновенно увеличивать свой объём, мы имеем в виду фемтосекунды. Уровень давлений и температур ТПВ таков, что, если его чем-нибудь не удерживать (например, мощным магнитным полем), оно, мгновенно расширяясь, постарается буквально разлететься (взорваться) и остыть, превращаясь в вещество с другим диапазоном параметров. Фемтосекундная скорость приложения нагрузки создаст чудовищные напряжения в материале и тем самым включит новые механизмы деформации с образованием обвального разрушения горного массива по типу цепной реакции, ибо при столь быстрых воздействиях сопротивление разрушению твердых тел становится сравнимым с предельной теоретической прочностью, определяемой непосредственно потенциалом межатомных взаимодействий. Все перечисленные выше факторы приведут к фазовому переходу вещества мантии, образованию энергии глубокофокусного землетрясения и запустят в горном массиве хорошо изученный процесс упругого удара, который в виде механического импульса распространится в массиве

со скоростью сейсмической волны. На фронте волны будет действовать ньютоновская сила изменения импульса, давление которой будет пропорционально производной плотности импульса по времени и которая при выходе на поверхность вызовет сейсмические разрушения. Количество движения будет распространяться в среде в виде продольной волны P , а момент количества движения в виде поперечной волны S . Существует довольно много сведений, что при сильных одиночных гидравлических ударах или при высокочастотном рое слабых ударов имеют место необычные явления, не сводимые к традиционной механике и приводящие к выделению дополнительной энергии. Особенно часто отмечают видимое глазом свечение и аномальный нагрев зоны очага гидроудара.

КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ГЛУБОКОФОКУСНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Для ответа на вопросы, хватит ли энергии гидроудара для образования ТПВ и хватит ли энергии ТПВ для мощного землетрясения, будем придерживаться схемы образования и существования ТПВ Nevada Seismological Lab на (рисунок 2).

Для начала определим энергию гидроудара. Как мы видим из формулы Жуковского, она будет зависеть от удельной плотности магмы, её скорости и объёма. На сегодняшний день известно три вида излившейся магмы: базальтовая, карбонатная и кремневая. Базальтовая лава - это основной тип лавы, извергаемый из мантии. Она наполовину состоит из диоксида кремния, а наполовину - из оксидов алюминия, железа, магния и других металлов. Эта лава очень подвижна и способна течь со скоростью 2 м/с. Имеет высокую температуру (1200—1300 °С). Карбонатная лава наполовину состоит из

карбонатов натрия и калия. Это самая холодная и жидкая лава, она растекается подобно воде. Температура карбонатной лавы всего 510—600 °С. Кремневая лава обычно очень вязкая. Средняя скорость потока такой лавы — несколько метров в день, а температура — 800—900 °С. Она содержит 53-62 % диоксида кремния. Если его содержание достигает 65 %, то лава становится очень вязкой и медленной. Указанные скорости и температуры, измеренные при извержении вулканов на поверхности земли, естественно, имеют другие, более высокие параметры на большой глубине. Выделяемая при гидроударе в мантии Земли энергия будет напрямую зависеть от глубины произошедшего события, ибо гидроудар на небольшой глубине (вулканическое землетрясение) позволит горному массиву у подошвы вулкана “дышать” (вспучивать массив). Это приведёт к ослаблению сопротивления стенок каналов, по которым движется магма, а согласно формуле Жуковского, податливость стенок природного “трубопровода” значительно снижает силу гидроудара в месте остановки жидкости. Это доказано многочисленными мелкофокусными вулканическими землетрясениями, которые очень редко превышают силу в $M_1,6$. Если же каналы движения магмы наполнены газами и по мере её продвижения к поверхности они не успевают рассеяться, то это способно предотвратить или существенно снизить гидроудар. В этом случае газы играют роль амортизатора, так как по мере продвижения магмы нарастает сжатие газов, и оно оказывает сопротивление движению магмы по каналу в мантии, постепенно замедляя её скорость. Следует понимать, что эти факторы лишь растягивают процесс гидроудара во времени, хотя общая энергия гидравлического удара остаётся прежней. Однако за

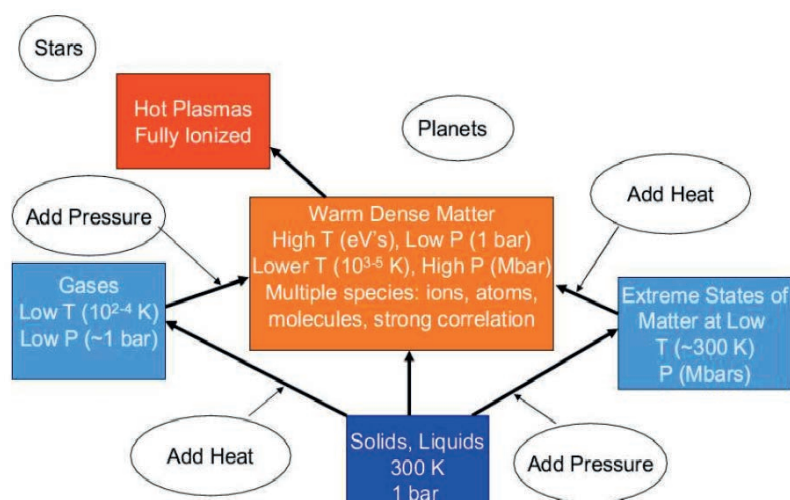


Рисунок 2. Условия образования ТПВ по Nevada Seismological Lab
Figure 2. TPV formation conditions according to the Nevada Seismological Lab

счёт увеличения времени процесса снижается его мощность, а значит, и максимальное давление, и максимальное усилие, воздействующее на стенки окружающих пород канала или жерла вулкана. С увеличением сечения потока магмы сила гидроудара значительно возрастает, причём для одного и того же давления этот рост круче линейной зависимости. Дело в том, что энергия гидроудара определяется его длительностью, зависящей от длины и жёсткости пород канала, а также мощностью удара, которая прямо зависит от скачка давления и линейно зависит от скорости потока в момент остановки. Поэтому при той же скорости потока магмы скачок давления будет тем же, но длительность гидроудара, а значит, и его общая энергия возрастут в соответствии с увеличением длины канала. При увеличении сечения канала масса и, следовательно, кинетическая энергия при той же скорости возрастают пропорционально объёму, т.е. кубу их изменения, а потери на трение магмы о стенки жерла возрастают пропорционально площади соприкосновения, то есть квадрату изменения размеров. Следовательно, удельные потери энергии на трение на единицу массы магмы уменьшаются, и при том же внутреннем давлении скорость потока возрастает и увеличивается скачок давления в момент остановки магмы. В результате при одном и том же внутреннем давлении мы получаем сильный гидроудар в канале большого сечения и слабый в маленьком. Современная наука не в силах дать параметры магмы на глубине глубокофокусного землетрясения, но мы можем опытным путём установить её минимальные параметры. Известно, что алмазы образуются в магме. Для производства искусственных алмазов используется несколько технологий. Основная технология на сегодня – high pressure high temperature — HPHT. Второй метод — chemical vapor deposition — CVD, когда над подложкой создается плазма из атомов углерода, из которой атомы постепенно конденсируются на поверхность, образуя алмаз. Третий метод использует формирование наноразмерных алмазов при помощи ударной волны от взрывчатки [13]. Опытным путём установлено, что минимальная температура образования алмаза составляет около 1400 °С, а давление 50 тысяч атмосфер, то есть мы можем уверенно утверждать, что гидроудар происходит в среде с этими минимальными параметрами, которые в действительности могут быть значительно выше. Будем считать магму несжимаемой со средней плотностью 3.0 т/м³. Второй “скользящий” параметр, который присутствует в формуле

Жуковского, – скорость потока магмы. Известно, что базальтовая лава при излиянии имеет скорость около 2.0 м/с., но её истинное значение на глубине 720 км предсказать невозможно. Возможно 2.0 м/с, а возможно и 10.0 м/с., а возможно и выше. Учитывая температуру и давление, примем скорость магмы 5.0 м/с. При абсолютно жестких стенках трубопровода скорость распространения ударной волны C_v равна скорости распространения звука в магме, следовательно, $C_v = 5760$ м/с. Подставив данные в формулу (1) получим мгновенный скачок давления:

$$\Delta P = \rho \cdot \Delta v \cdot c = 3000 \cdot 5.0 \cdot 5760 = 90 \text{ МПа}$$

где ρ – удельная плотность базальтовой магмы кг/м³, Δv – м/с скорость магмы в момент остановки, C_v равна скорости распространения звука в магме.

Рассчитаем энергию потока магмы:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

где m – масса потока магмы = $V \cdot \rho$ – объём потока магмы, v – скорость потока магмы.

При определении массы потока магмы мы должны определиться с её объёмом. При определении параметров будем исходить из опыта разработок кимберлитовых трубок, диаметр жерл которых нередко составляет 1000 и более метров. Примем диаметр и длину потока магмы 500 метров.

$$m = 3.14 \cdot 2502 \text{ м}^2 \cdot 500 \text{ м} \cdot 3000 \text{ кг/м}^3 = 294524310000 \text{ кг.}$$

$$E_k = 294524310000 \cdot 5^2 / 2 = 3681553875000 \text{ Дж.}$$

Время прохождения гидроудара составит: 500 м./ 5760 м/с = 0.087 сек.

$$\text{Выделенная мощность: } 3681553875000 / 0.087 = 42316711206896.55 = 42.3 \text{ тероватт}$$

Тритиловый эквивалент выделившейся энергии будет равен :

$$1 \text{ килограмм ТНТ} = 4,184 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3681553875000 / 4184000 = 880 \text{ 000 кг. ТНТ.}$$

Согласно The Nevada Seismological Laboratory [14], (таблица 1) сейсмическая энергия, выделяемая при подземном ядерном взрыве мощностью в 1 мегатонну (1 мегатонна тритилового эквивалента = $4,184 \cdot 10^{15}$ Дж), эквивалентна землетрясению с M_i 6. Согласно нашим расчётам, уровень выделенной энергии потоком магмы при гидроударе может составить гигантскую величину и вызвать форшок M_i 3.5-4.0 (!), что соответствует взрыву тактического ядерного заряда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возникает вопрос, достаточно ли выделенной мощности гидравлического удара в

Таблица 1 - Статистика The Nevada Seismological Laboratory
Table 1 - The Nevada Seismological Laboratory Statistics

Richter Magnitude	TNT for Seismic Energy Yield	Example (approximate)
-1.5	6 ounces	Breaking a rock on a lab table
1.0	30 pounds	Large Blast at a Construction Site
1.5	320 pounds	
2.0	1 ton	Large Quarry or Mine Blast
2.5	4.6 tons	
3.0	29 tons	
3.5	73 tons	
4.0	1,000 tons	Small Nuclear Weapon
4.5	5,100 tons	Average Tomado (total energy)
5.0	32,000 tons	
5.5	80,000 tons	Little Skull Mtn., NV Quake, 1992
6.0	1 million tons	Double Spring Flat, NV Quake, 1994
6.5	5 million tons	Northridge, CA Quake, 1994
7.0	32 million tons	Hyogo-Ken Nanbu, Japan Quake, 1995
7.5	160 million tons	Landers, CA Quake, 1992
8.0	1 billion tons	San Francisco, CA Quake, 1906
8.5	5 billion tons	Anchorage, AK Quake, 1964
9.0	32 billion tons	Chilean Quake, 1960
10.0	1 trillion tons	(San-Andreas type fault circling Earth)
12.0	160 trillion tons	(Fault Earth in half through center, OR Earth's daily receipt of solar energy)

магме равной уровня Тераватт для образования ТПВ в мантии Земли? Судя по полученным данным в лабораториях мира – энергии гидроудара в мантии Земли вполне достаточно, чтобы вызвать фазовый переход пород, образовать ТПВ и получить ударную волну, достаточную для сильного землетрясения.

Необходимо также учесть, что породы мантии уже имеют изначально высокое давление и температуру. Также следует учесть,

что мощность гидроудара может составить более значительную величину, чем мы показали.

В настоящий момент возникли и развиваются новые гипотезы механизмов возникновения подземных толчков, одной из которых является гипотеза образования глубокофокусного землетрясения при гидроударе в мантии Земли с выделением энергии фазового перехода и образованием ТПВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Turner H. H. On the arrival of earthquake waves at the antipodes, and the measurement of the focal depth of an earthquake // MNRAS Geophys. Suppl. 1922. Vol. 1. P. 1–13.
2. Griggs D. T, Baker D. W. The origin of deep-focus earthquakes // In Properties of Matter under Unusual Conditions (Eds. H. Mark and S. Fernbach). Wiley Interscience. New York, 1969. P. 23–42.
3. Raleigh C. B., Patterson M. S. Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implications // J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70. P. 3965–3985.
4. Kirby S. H., Durham W. B., Stein L. A. Mantle phase changes and deep earthquake faulting in subducting lithosphere // Science. 1991. Vol. 252. P. 216–225.
5. Kalinin V.A., Rodkin M.V., Tomashevskaya I.S. Geodynamic effects of physicochemical transformations in a solid medium. Moscow.: Science, 1989. 157 p.
6. <https://www.youtube.com/watch?v=4W5QNL-bPps>
7. Brazhkin V.V. et al. "Where is the region of supercritical fluid in the phase diagram?" UFN 182 (11) 1137-1156 (2012) <https://ufn.ru/ru/articles/2012/11/a/>
8. Shu, Jian-Jun (2003). "Modelling vaporous cavitation on fluid transients". International Journal of Pressure Vessels and Piping. 80 (3): 187–195. doi:10.1016/S0308-0161(03)00025-5.
9. Joukowsky, N. (1898), "Über den hydraulischen Stoss in Wasserleitungsröhren" [On the hydraulic hammer in water supply pipes], Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg (1900), series 8 (in German), 9 (5): 1–71
10. Frizell, J. P. (1898), "Pressures resulting from changes of velocity of water in pipes", Transactions of the American Society of Civil Engineers, 39: 1–18, archived from the original on 2017-03-28/
11. Fortov V. "Intense shock waves and extreme states of matter" Phys. Usp. 50 333–353 (2007) <http://www.mathnet.ru/>

- php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ufn&paperid=451&option_lang=eng
12. Wark J, Gregori G, Crowley B. Warm dense matter. Oxford Centre High Energy Density Science. <https://www2.physics.ox.ac.uk/research/oxford-centre-for-high-energy-density-science/research-themes/warm-dense-matter>
 13. Mamontov D. The birthplace of diamonds. Popular mechanics. 2016. № 5. p. 60 <http://www.popmech.ru/technologies/237923-kak-vyrashchivayut-krupneyshie-v-mire-almaz-sdelano-v-rossii/>
 14. Nevada Seismological Lab. What is Richter Magnitude? <http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html>

REFERENCES

1. Turner H. H. On the arrival of earthquake waves at the antipodes, and the measurement of the focal depth of an earthquake // MNRAS Geophys. Suppl. 1922. Vol. 1. P. 1–13.
2. Griggs D. T, Baker D. W. The origin of deep-focus earthquakes // In Properties of Matter under Unusual Conditions (Eds. H. Mark and S. Fernbach). Wiley Interscience. New York, 1969. P. 23–42.
3. Raleigh C. B., Patterson M. S. Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implications // J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70. P. 3965–3985.
4. Kirby S. H., Durham W. B., Stein L. A. Mantle phase changes and deep earthquake faulting in subducting lithosphere // Science. 1991. Vol. 252. P. 216–225.
5. Kalinin V.A. Rodkin M.V., Tomashevskaya I.S. Geodynamic effects of physicochemical transformations in a solid medium. Moscow.: Science, 1989. 157 p.
6. <https://www.youtube.com/watch?v=4W5QNL-bPps>
7. Brazhkin V.V. et al. "Where is the region of supercritical fluid in the phase diagram?" UFN 182 (11) 1137-1156 (2012) <https://ufn.ru/ru/articles/2012/11/a/>
8. Shu, Jian-Jun (2003). "Modelling vaporous cavitation on fluid transients". International Journal of Pressure Vessels and Piping. 80 (3): 187–195. doi:10.1016/S0308-0161(03)00025-5.
9. Joukowsky, N. (1898), "Über den hydraulischen Stoss in Wasserleitungsröhren" [On the hydraulic hammer in water supply pipes], Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg (1900), series 8 (in German), 9 (5): 1–71
10. Frizell, J. P. (1898), "Pressures resulting from changes of velocity of water in pipes", Transactions of the American Society of Civil Engineers, 39: 1–18, archived from the original on 2017-03-28/
11. Fortov V. "Intense shock waves and extreme states of matter" Phys. Usp. 50 333–353 (2007) http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ufn&paperid=451&option_lang=eng
12. Wark J, Gregori G, Crowley B. Warm dense matter. Oxford Centre High Energy Density Science. <https://www2.physics.ox.ac.uk/research/oxford-centre-for-high-energy-density-science/research-themes/warm-dense-matter>
13. Mamontov D. The birthplace of diamonds. Popular mechanics. 2016. № 5. p. 60 <http://www.popmech.ru/technologies/237923-kak-vyrashchivayut-krupneyshie-v-mire-almaz-sdelano-v-rossii/>
14. Nevada Seismological Lab. What is Richter Magnitude? <http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html>