

Локальная система прогнозирования землетрясений

(«Кипящая Земля»)

Аннотация

Abstract

Общепринятая версия о причинах возникновения очагов землетрясений в результате движения тектонических плит встречает большие трудности. Методы прогноза землетрясений на ее основе в настоящее время потерпели неудачу. Новая гипотеза [1,2] объясняет как причины землетрясений (на любой глубине), так и причины этих неудач. В этой статье дается более полная картина генезиса землетрясений. Гипотеза объясняет происхождение всех явлений – предвестников и спутников землетрясений.

The generally accepted version of the causes of earthquake as a result of the movement of tectonic plates, has big problems. Methods of earthquake prediction based on it have failed. A new hypothesis [1,2] explains the causes of earthquakes (at any depth) and the reasons for failed predictions. This article provides a more complete picture of the genesis of earthquakes. Hypothesis explains the origin of all phenomena - the precursors of earthquakes and their accompanying effects.

Идея о возникновении землетрясений вследствие взаимного перемещения тектонических плит господствовала в геофизике около столетия. В конце концов, на Международном симпозиуме в Лондоне в ноябре 1996 г. проф. Р.Геллер публично признал, что спустя 100 лет после начала изучения причин землетрясений ученые не в состоянии обеспечить минимально приемлемый краткосрочный прогноз (часы или хотя бы десятки минут). Тектоническая гипотеза оказалась исчерпанной, непродуктивной.

Тектоническая гипотеза оказалась также не в состоянии объяснить, в результате каких процессов происходят землетрясения «глубинные», с глубиной гипоцентров значительно большей, чем толщина литосферных плит.

Однако, по-видимому, существует еще одна причина землетрясений, причем землетрясений именно сильных и разрушительных [2].

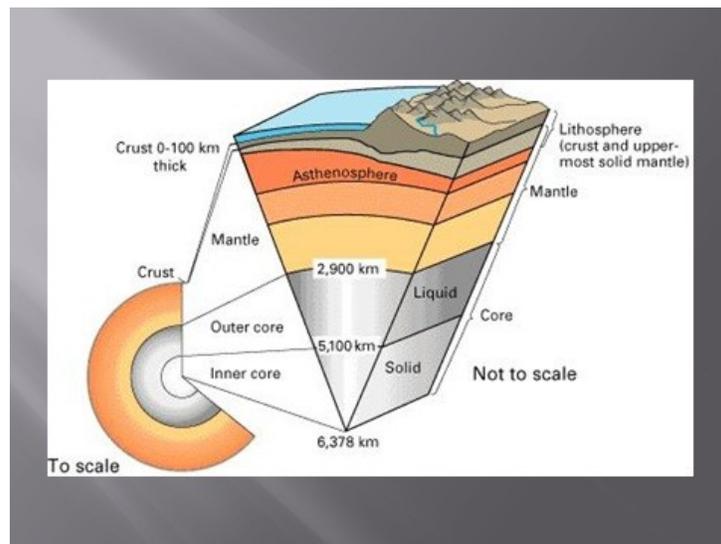


Рис.1

Как известно, Земной Шар имеет структуру, схематически показанную на рис.1. Упрощенная схема строения Земли показана на рис.2.

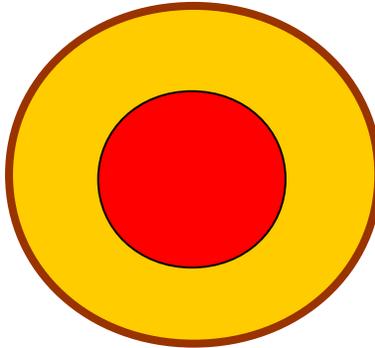


Рис.2

Таким образом, земной шар можно представить в виде очень большого сферического сосуда, заполненного в основном веществом астеносферы. Этот сосуд подогревается изнутри высокотемпературной печкой-ядром. Сосуд снаружи закрыт сферической «крышкой-литосферой».

Тот, кто варил манную кашу, знает, что время от времени со дна кастрюли поднимаются пузыри, которые лопаются на поверхности. Чем выше температура подогрева, тем чаще появляются такие пузыри. Если закрыть кастрюлю крышкой, то она даже начнет подпрыгивать при каждом появлении такого пузыря.

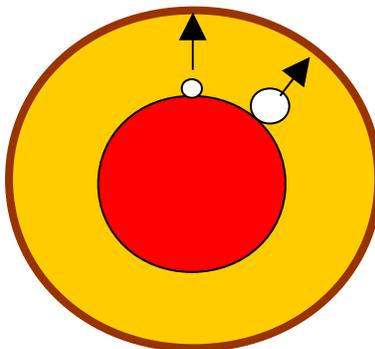


Рис.3

Подобные пузыри могут возникать вблизи поверхности ядра Земли. Такой пузырь постепенно увеличивается в объеме. В некоторый момент времени подъемная (архимедова) сила становится больше сил сцепления с ядром. Пузырь отрывается от ядра и начинает двигаться к поверхности (рис.3).

Это легко наблюдать в любой стеклянной колбе или стакане, наполненном прозрачным маслом и расположенном над нагревателем. (Хорошая иллюстрация этого явления - декоративная лампа "Lava", которую можно купить в магазине сувениров).

Скорость подъема пузыря к поверхности может быть не постоянна. Эта скорость в вязкой среде астеносферы может достигать (достигать) 10-20 километров в час. Таким образом, всю дистанцию от ядра до литосферы пузырь может пройти за время от 20-30 часов до нескольких суток, в зависимости от условий его образования.

Различные ситуации могут возникать при подходе пузыря к нижней границе литосферы. Во-первых, влияет толщина литосферы: чем она больше, тем меньше зависят события на поверхности литосферы от процессов на ее нижней границе. Во-вторых, влияют приливы солнечные и лунные. Местные условия в районе верхней точки подъема пузыря также имеют большое значение.

Пузырь создает заметное давление снизу на слои литосферы в верхней точке своего пути. Это давление зависит от его размера. Пузырь может иметь размеры до нескольких десятков километров и более. Небольшие пузыри вызывают небольшие напряжения к коре. Эти напряжения с течением времени могут накапливаться или рассасываться. Большие пузыри могут вызывать растрескивания коры и, соответственно, землетрясения. Пузырь как бы старается «взломать» кору изнутри. Вблизи границ тектонических плит это сделать легче всего. Вот почему эпицентры землетрясений обычно располагаются вдоль этих границ.

Замечено, что сильные землетрясения возникают чаще всего во время «солнечных» приливов. При этом место эпицентра находится в минимальном или максимальном удалении от Солнца (при суточном вращении Земли). Пузырь стремится поднять поверхность литосферы, и одновременно эта поверхность стремится удалиться от центра Земли. Притяжение Луны также активизирует эти процессы. Однако, по-видимому, влияние Луны и Солнца является лишь сопутствующим фактором. Главное воздействие оказывает сам пузырь. Возможно, что поэтому не удалось установить точного соответствия между положениями Земли, Луны и Солнца и максимальной вероятностью землетрясения. Эта вероятность реализуется только в случае прихода пузыря в район гипоцентра.

Пузыри создают дополнительное давление на магматические слои, что может вызвать извержение лавы. Большой пузырь может вызвать пробуждение и взрыв вулкана. Землетрясение в данном случае ни следствие извержения, ни его причина – это сопутствующее явление.

Поверхность ядра по всей его окружности не изотермическая. Температура поверхности ядра различна в разных местах. Повышенная активность образования пузырей может быть связана с разной температурой в разных точках поверхности ядра. Более того, поверхность ядра не сферическая, как было выяснено недавно с помощью спутниковой геодезии. Все это объясняет неравномерное распределение активных сейсмических зон по поверхности Земли (рис.4).

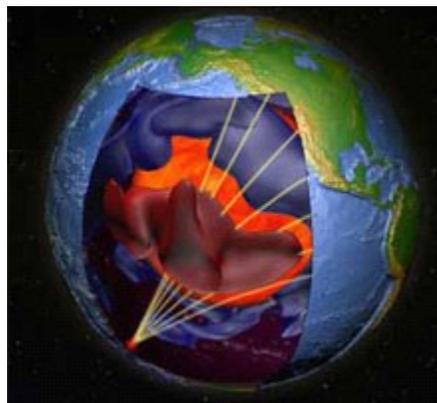


Рис.4. Ядро Земли

Это не значит, что взаимное перемещение тектонических плит вообще не влияет на происхождение землетрясений. Перемещение плит иногда также может быть причиной, но оно очень плохо предсказуемо. А пузырь можно заблаговременно обнаружить.

Основное возражение, выдвигаемое сегодня против гипотезы газо-жидкостных «пузырей» - это их скорость подъема к поверхности (около 15-20 км/час). Эта скорость представляется ученым слишком большой. Тем не менее, исследователи из ЮАР [3] имеют точку зрения, сходную с нашей.

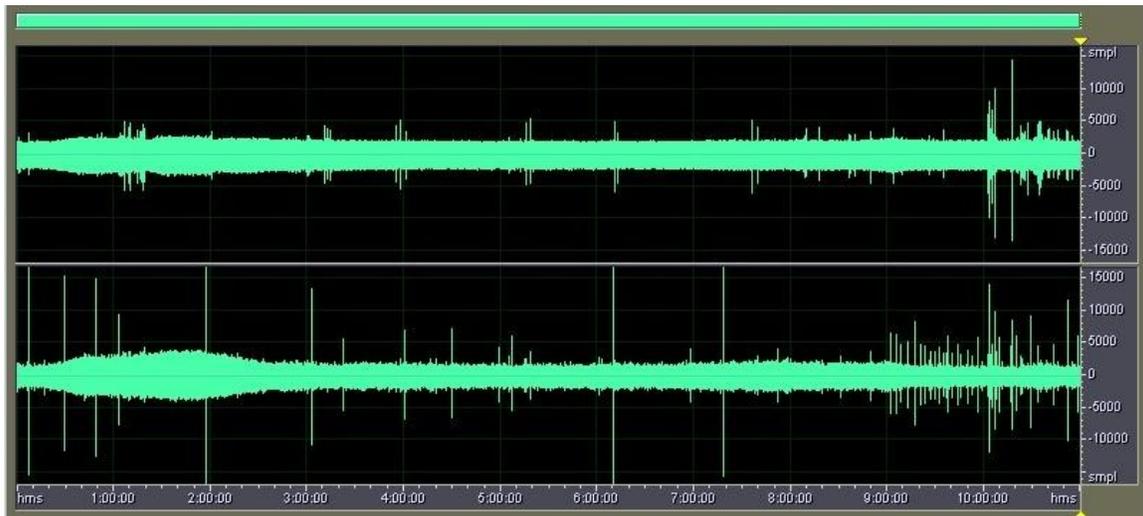
Изменение величины гравитации

Существует множество свидетельств изменения величины гравитации в районах землетрясений. Однако эти изменения, как правило, либо не зафиксированы в протоколах наблюдений, либо считаются следствием происходящих перемещений больших масс литосферы.

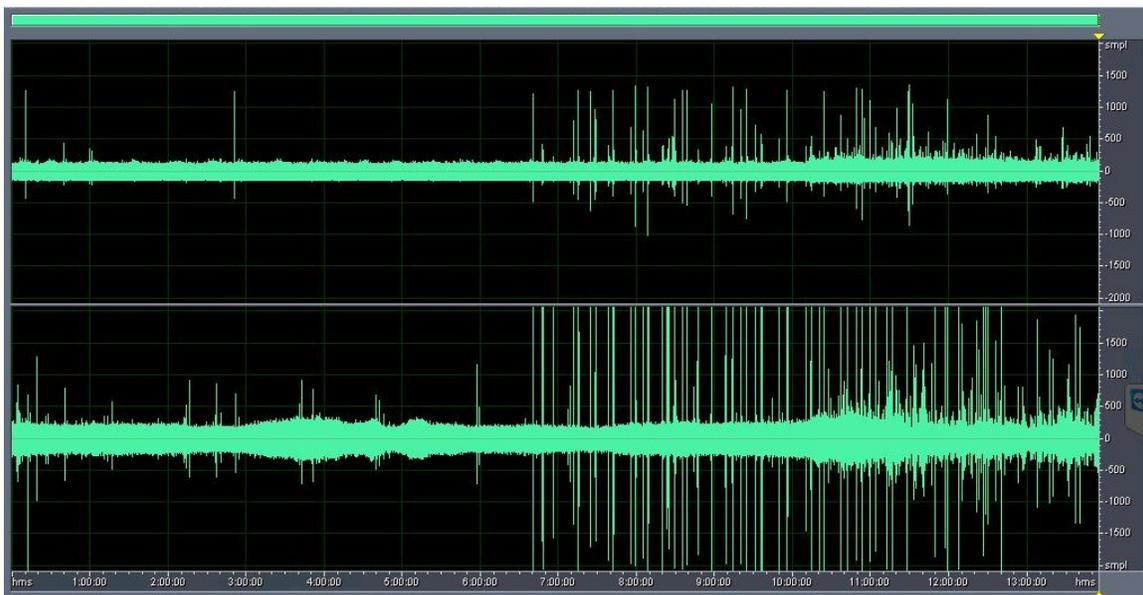
Диагностика «пузырей»

Акустические эффекты могут возникать в момент отрыва пузыря от «горячей точки», а также в течение всего времени его движения к верхним слоям астеносферы.

На рис.5 показана осциллограмма таких колебаний. Эти эффекты зарегистрированы приборами описанной ниже системы слежения за сейсмоситуацией в районе г.Хайфа (Израиль). Такие сигналы могут быть обнаружены за многие часы до землетрясения, которое впоследствии происходит на расстоянии в сотни километров от точки наблюдения. «Пузырь» выглядит на этих сейсмограммах в виде длинного «утолщения» (увеличения уровня шума). Осциллограммы датированы 8 и 9 апреля 2013 года.



a)



b)

Рис.5

Возникновение и движение пузыря может быть обнаружено с помощью современных чувствительных гравиметров. Возможно, что именно эти методы используются в приборах Халилова (Баку) и Мартынова (Россия). Эти исследователи применяют крутильные весы и гироскопические гравиметры. Такие приборы позволяют

определять изменения гравитации от объектов (пузырей) на расстоянии более 1000 км. Однако, эти приборы весьма дорогостоящие.

Таким образом, возникновение землетрясений может объясняться формированием высокотемпературных жидкостно-газовых пузырей высокого давления вблизи поверхности ядра. В дальнейшем эти пузыри поднимаются по направлению к литосфере. Весь процесс подъема пузыря к литосферному «потолку» занимает много часов. Процесс и его результат зависят от глубины образования пузыря, его размеров, характеристик астеносферы на его пути, и ситуации под литосферой и над пузырем в конце этого пути.

Особенности движения пузырей

Подъем пузырей к поверхности имеет некоторые особенности. Если бы Земля не вращалась, то пузырь (красный кружок на рис.6) поднимался бы по радиусу Земли от точки отрыва вблизи ядра до поверхности (пунктирная стрелка на рис.6). Но из-за вращения Земли наблюдатель на экваторе (точка «А») имеет линейную (окружную) скорость около 500 м/сек. Пузырь в точке отрыва от ядра имеет скорость в два раза меньшую, т.е. около 250 м/сек.

Когда пузырь движется к литосфере, он проходит через слои астеносферы, которые движутся с одинаковой угловой скоростью, но с разными линейными скоростями (синие стрелки на рис.6).

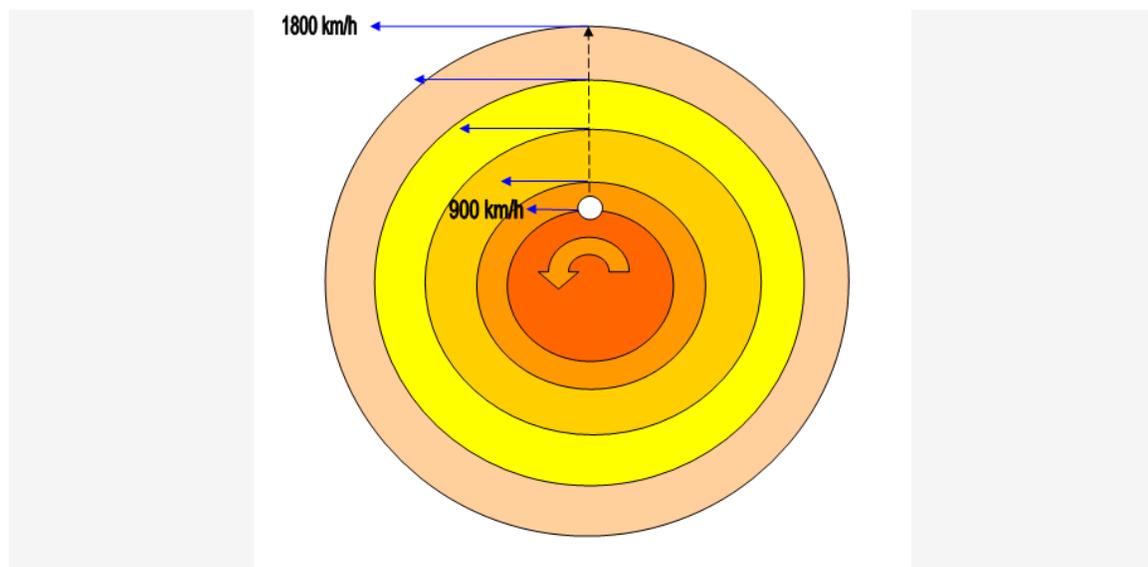


Рис.6

При пересечении слоев астеносферы пузырь ускоряется каждым следующим верхним слоем в тангенциальном направлении. В результате пузырь двигается по некоторой кривой линии.

Форма этой кривой линии зависит от размеров и плотности (массы) пузыря. Менее плотные и менее массивные пузыри ускоряются больше; более плотные и массивные пузыри ускоряются меньше. Если плотность пузыря больше некоторой величины, то траектория его движения подобна указанной на рис.7. Если плотность пузыря меньше некоторой величины, то траектория его движения подобна указанной на рис.8.

Предположим, что наблюдатель на поверхности может видеть движущийся пузырь. Тогда наблюдатель в точке «В» увидит движение пузыря «b» в восточном направлении, а наблюдатель в точке «С» увидит движение пузыря «с» - в западном направлении. Если пузыри образуются в разных местах (рис.9), то при наблюдении из точки «А» мы увидим движение разных пузырей в разных направлениях (рис.10).

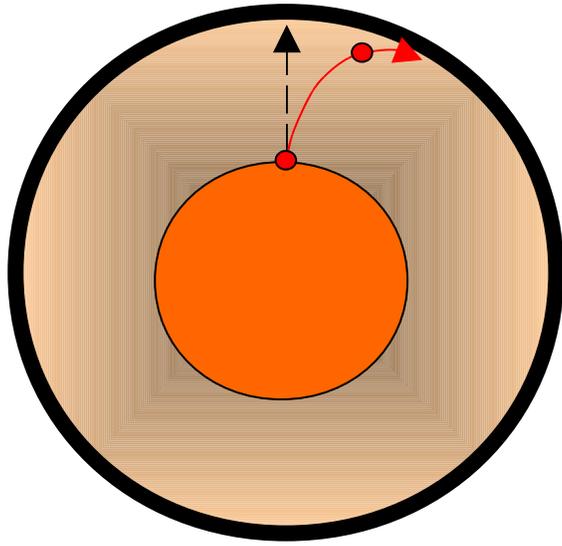


Рис.7

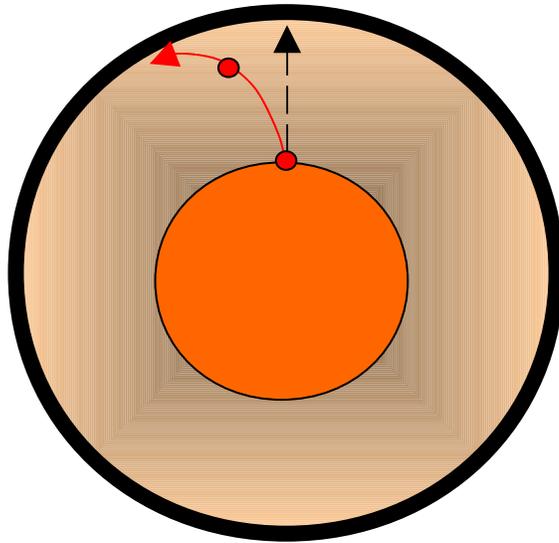


Рис.8

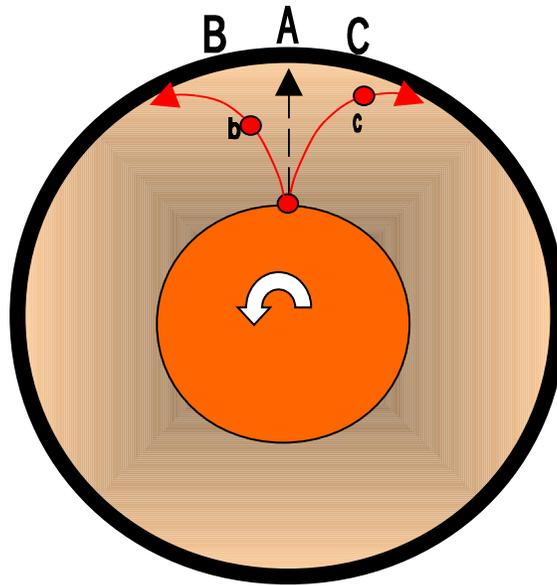


Рис.9

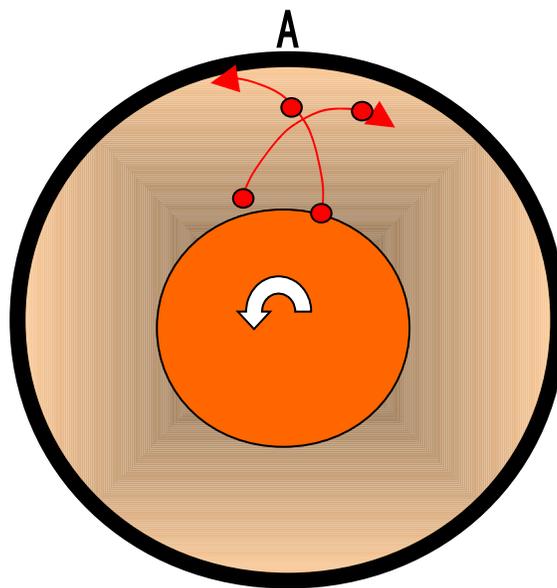


Рис.10

Изменение формы пузыря

Астеносфера в разных местах негетогенна. Она имеет разную плотность и температуру. Разные части большого пузыря находятся в слоях, которые движутся с разной линейной скоростью. Поэтому пузырь растягивается и приобретает форму сардельки (рис.11). Чем больше исходный пузырь, тем более вероятно его разделение на части. В дальнейшем эти части двигаются приблизительно по одной траектории, и немного отстают друг от друга. Когда пузырь достигает конечной точки своей траектории, его разные части могут создавать второй или даже третий толчки.

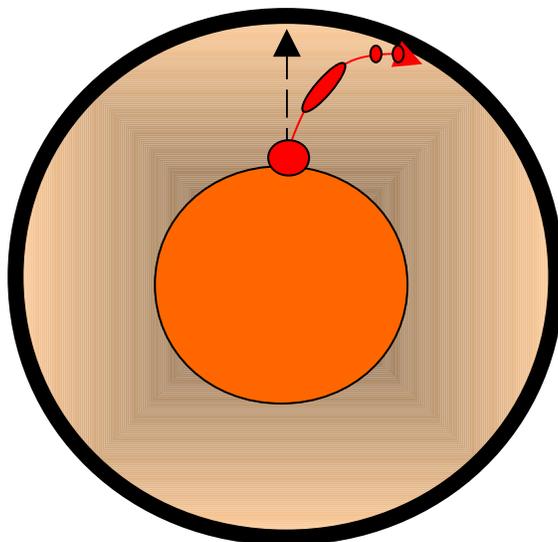


Рис.11

В конце своего пути скорость головной части «сардельки» уменьшается почти до нуля. В то же время задняя часть продолжает двигаться по направлению к передней части.

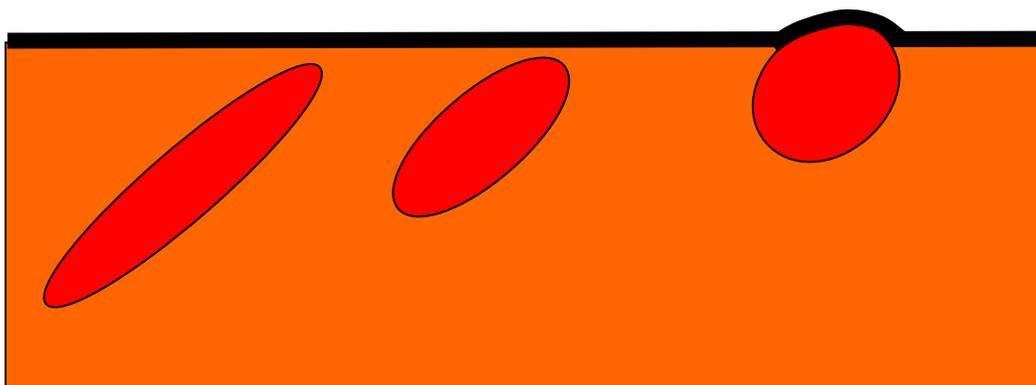


Рис.12

Пузырь стремится приобрести прежнюю форму и размеры, так как теперь он целиком находится в слое, который движется с одной скоростью. Давление пузыря на вышележащие слои литосферы увеличивается. В результате могут возникнуть трещины и землетрясение.

Возможны и более сложные траектории движения пузырей, но на данном этапе ограничимся пока сказанным выше.

Предвестники землетрясений

Форшоки

Форшоки являются одним из важнейших предвестников землетрясений. Однако известно, что в одних случаях сила и частота форшоков нарастают по мере приближения землетрясения, а в других случаях форшоки постепенно уменьшаются перед внезапным землетрясением (рис.13).

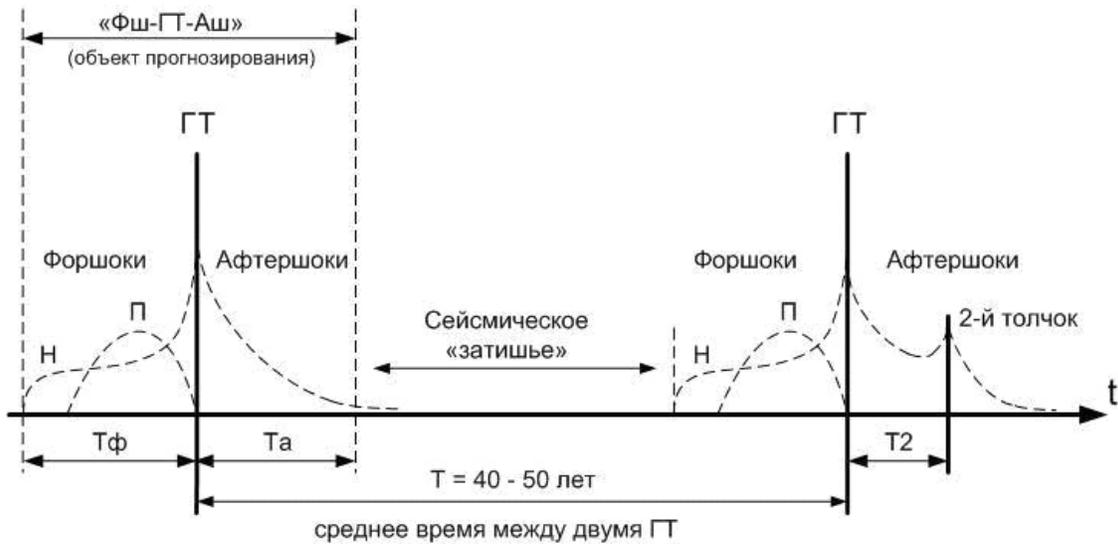


Рис.13

Это явление обычно объясняется накоплением напряжений в коре и затем внезапным ее разрушением. Наша гипотеза объясняет это явление иначе.

Пузырь раздвигает слои астеносферы на своем пути. Астеносфера на большой глубине сравнительно мягкая, и поэтому возникают только фрикционные акустические шумы. По мере приближения пузыря к поверхности температура астеносферы уменьшается, а сопротивление и прочность слоев увеличиваются. Слои раздвигаются импульсно, с характерным «треском». Это и есть так называемые «форшоки» (пред-удары).

Но вблизи конечной точки (точки гипоцентра землетрясения) движение головной части пузыря постепенно замедляется, и форшоки могут полностью исчезнуть (форшоки типа «П» на рис.14).

В других случаях форшоки могут и не исчезнуть, а нарастать (форшоки типа «Н»). Можно предполагать, что форшоки типа «Н» могут относиться к пузырям сравнительно шаровидной формы, а форшоки типа «П» - к пузырям эллиптической формы («сосиска»).



Рис.14

В этом случае («П») задняя часть пузыря постепенно приближается к конечной точке, размеры пузыря увеличиваются, давление на литосферу увеличивается и в некоторый момент может произойти разрушение вышележащего участка литосферы. Эта картина соответствует уменьшению силы форшоков в течение времени, пока задняя часть «сардельки» догонит переднюю часть (рис.12).

Если форма пузыря сохраняется сравнительно сферической, то пузырь продолжает раздвигать окружающие слои до самого конца своего пути. В этом случае форшоки могут нарастать непрерывно до момента землетрясения (форшоки типа «Н»)

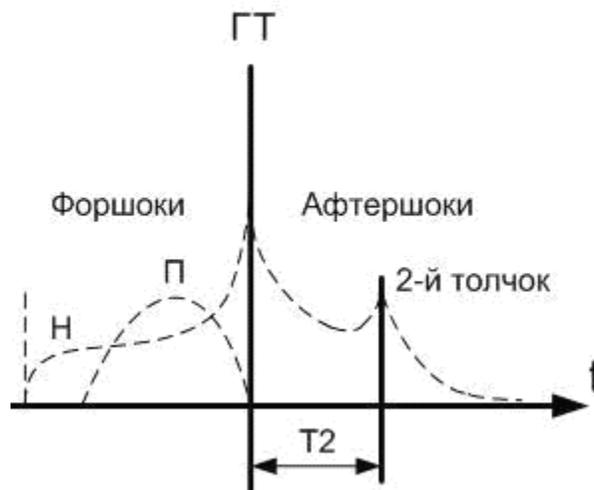


Рис.15

Характерно, что в случае возникновения второго толчка картина отличается от случая единственного удара. Второй пузырь движется «в кильватере» первого по уже проторенному пути, и сильных форшоков не вызывает (не производит). Афтершоки, которые возникают после взламывания литосферы, намного сильнее всех прочих колебаний.

Выделение газов

Пузыри состоят из парожидкостной смеси. Поэтому выделение газов через трещины в литосфере вполне естественно. Удивительным было до последнего времени то, что выделяется именно радон – газ радиоактивный. Но так как пузыри выносят к поверхности вещество из области ядра планеты, то этот факт становится объяснимым.

Процесс накопления напряжений под литосферой может происходить в течение длительного времени. Не каждый поднимающийся к литосфере пузырь вызывает землетрясение. Небольшие пузыри могут накапливаться в точке гипоцентра. И в течение этого же времени будет выделяться радон. Именно поэтому радон считается долгосрочным предвестником возможного будущего землетрясения. Оно произойдет, если местные условия в гипоцентре позволят накопиться большому количеству пузырей.

Акустические шумы

По нашему мнению, некоторые акустические шумы могут вызываться пузырями, которые движутся в астеносфере. Акустический шум при этом возникает вследствие обтекания пузыря веществом астеносферы.

Случайные данные о таких акустических шумах можно найти в сообщениях отдельных исследователей. Характерный сигнал такого рода показан на рис.5. Автор сообщения указывает, что длительность такого сигнала обычно пропорциональна магнитуде будущего землетрясения. Но это утверждение требует специальной проверки.

Если пузырь имеет форму «сардельки», то можно предположить, что чем больше длина «сардельки», тем большее время она проходит под наблюдателем. Соответственно, магнитуда будущего землетрясения зависит от общего объема пузыря-«сардельки».

Кроме того, на осциллограмме можно видеть слабые короткие импульсы в начале и в конце сигнала. Они выделены в отдельных окнах на рис.5. Частота этих импульсов в начале сигнала больше, а в конце сигнала – меньше. Эти импульсы можно интерпретировать как явление Доплера. По ним можно определить скорость приближения и удаления пузыря. Однако, эти сигналы можно выделить только на уровне шумов, что вызывает сомнения в их интерпретации.

Уровень воды в скважинах.

Уровень воды в скважинах (колодцах) зависит от давления пузыря снизу на водоносные слои. Вследствие этого уровень воды может повышаться. Если же перед самым землетрясением возникают трещины в коре, то вода может уходить через них на глубину, и уровень воды в колодцах может понижаться.

Повышение температуры почвы

Пузыри имеют значительно более высокую температуру, чем нижняя граница литосферы. Перед землетрясениями было замечено повышение температуры почвы на несколько градусов.

Изменения магнитного и электрического поля.

Движение пузыря сквозь астеносферу даже на большой глубине способно вызвать электрические явления в атмосфере и в ионосфере. Разные авторы подтверждают возникновение сильных и своеобразных электрических воздействий и явлений в зонах эпицентров землетрясений.

Изменение величины гравитации.

Измерение величины и колебаний гравитационного потенциала является наиболее надежным способом диагностики движения пузырей. Диагностика пузырей на расстоянии сотен километров требует специальной точной аппаратуры [Халилов]. Если же пузырь приближается к точке наблюдения на меньшее расстояние, то он

может быть обнаружен даже сравнительно грубыми гравитационными датчиками. Эти датчики не должны реагировать на обычные сейсмические шумы («микросейсм»).

Изменение наклона поверхности литосферы.

Пузырь, проходящий под наблюдателем на небольшой глубине, вызывает изменение наклона поверхности литосферы по отношению к вертикали. При этом бывает трудно отличить изменение наклона к вертикали от изменения направления силы тяжести. Но в любом случае изменение наклона поверхности указывает на приближение пузыря к точке наблюдения.

Цунами

Цунами, очевидно, связаны с очень сильными землетрясениями только в Средиземном море и в Атлантическом океане, где они крайне редки. Цунами довольно часты в Тихом океане, но именно там они вовсе не однозначно связаны с землетрясениями в океане. То есть бывают землетрясения без цунами, и бывают цунами без сильных землетрясений.

Bubble-гипотеза объясняет эти факты. Океанская кора (особенно – тихоокеанская) имеет сравнительно небольшую толщину – местами даже до 8 км. Поэтому поднявшийся к литосфере пузырь находится весьма близко к океану, и может оказывать на ближайшую область воды сильное гравитационное воздействие. Если пузырь имеет плотность меньше плотности астеносферы, гравитационный потенциал в этой зоне уменьшается, и вода «собирается» в область нахождения пузыря. Возникает эффект «корыта», аналогичный приливу, только меньшего масштаба. При этом возникает известное явление отката воды от берегов перед возникновением цунами.

Упрощенная картина показана на рис.16 (a,b,c).

Рис.16a – пузырь отсутствует, уровень моря нормальный.

Рис.16b – пузырь приблизился к нижней поверхности литосферы. Вода отходит от берега.

Рис.16c – пузырь отразился от литосферы и ушел в глубину астеносферы. Водяной горб возвратился к берегу.

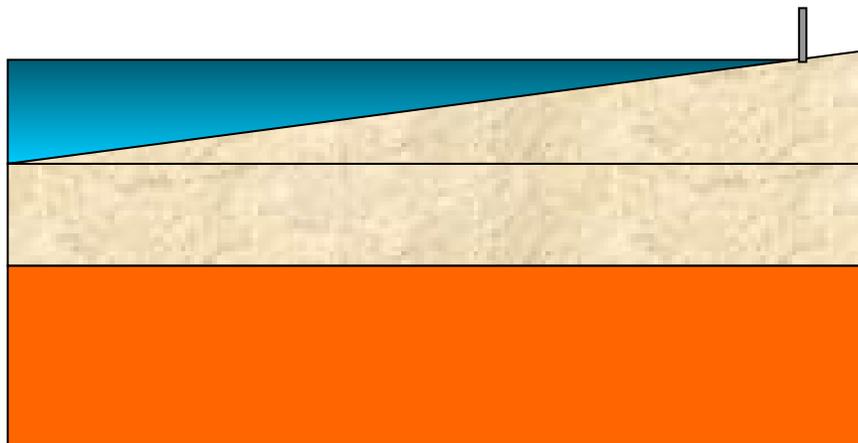
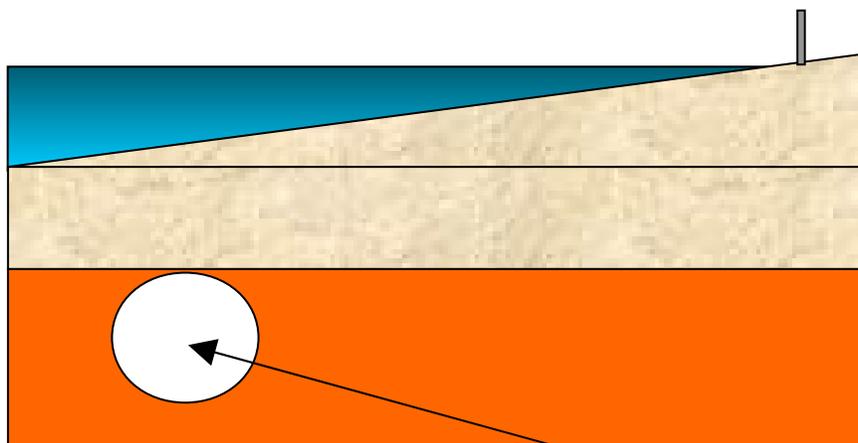


Рис.16a



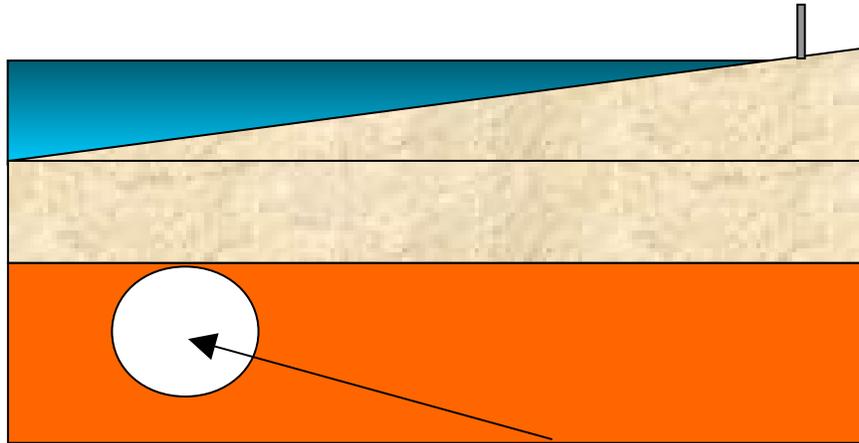


Рис.16b

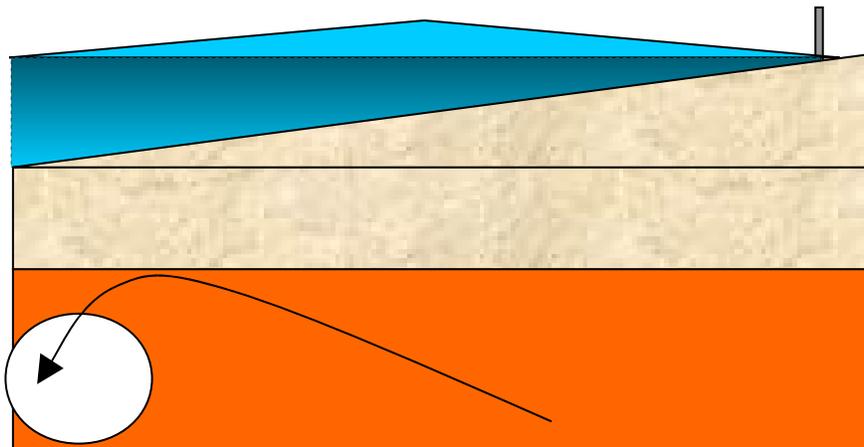


Рис.16с

Океанская кора значительно тоньше и пластичнее, чем материковые литосферные плиты. Именно поэтому цунами во внутренних морях, расположенных на тектонических плитах, имеют совершенно иную природу. Это не эффект «корыта», а обычная сильная волна, возникающая при взрывах вулканов или очень сильных землетрясениях. Эта волна не имеет характерных признаков цунами (откат воды с последующим ее возвращением к берегу).

Из-за того, что океанская кора значительно тоньше и пластичнее, землетрясения в океанах происходят реже, чем на границах тектонических плит. Однако разломы все же могут возникать, и тогда цунами может сопутствовать землетрясению.

Небольшие пузыри вызывают аналогичные явления в меньшем масштабе – водяные линзы в океанах, наблюдаемые с космических кораблей, внезапные местные выбросы огромных масс воды, наблюдавшиеся с кораблей в океане, и даже, возможно, загадочные катастрофы.

Механизм землетрясения

Считается, что короткое время собственно землетрясения (максимум несколько десятков секунд и менее) объясняется процессом растрескивания литосферы. Однако, даже слабые землетрясения весьма кратковременны, хотя никакого растрескивания коры не происходит. Более того, гипоцентры землетрясений достаточно часто возникают на значительной глубине. Эта глубина существенно превышает толщину литосферы. Имеются попытки объяснить это явление с помощью взрывных механизмов, но они достаточно гипотетичны.

«Bulb-гипотеза» дает следующее объяснение этим эффектам.

Парожидкостный пузырь, приходящий из астеносферы к литосфере, может остаться у поверхности литосферы, а может и «отразиться» обратно в глубину астеносферы (Рис.17)

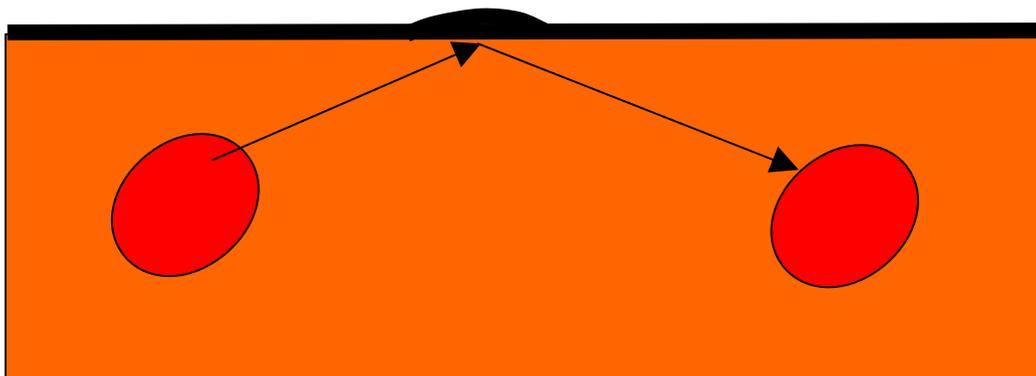


Рис.17

Пузырь имеет определенную упругость. Возникает ударный процесс, длительность которого примерно равна наблюдаемой длительности землетрясения. Предварительная оценка скорости и параметров пузыря показывает возможность такого процесса.

Это объясняет кратковременность процесса образования цунами. Цунами не может возникнуть при медленном рассасывании пузыря под дном океана. Вода должна на сравнительно короткое время (1-2 часа) отойти от берега и снова вернуться. Это возможно только при коротком времени нахождения достаточно большого пузыря под нижней поверхностью литосферы. Тогда легко объясняются и кратковременные выбросы воды в океане, которые не связаны с заметными землетрясениями. Такие явления могут вызывать пузыри сравнительно небольших размеров.

Глубокофокусные землетрясения

Гипоцентры землетрясений могут возникать на большой глубине (ниже нижней границы литосферы - 50-700 км и более). Эти причины пока не вполне ясны. «Bubble-гипотеза» позволяет наметить путь к решению этой проблемы.

Как установлено, астеносфера имеет слоистое строение. Отдельные ее части могут являться непреодолимыми препятствиями для поднимающихся пузырей. Таким препятствием может быть «Зона Вадати-Бениофа». По мнению ученых, она представляет собой наклонную часть тектонической плиты, которая уходит в мантию (рис.18).

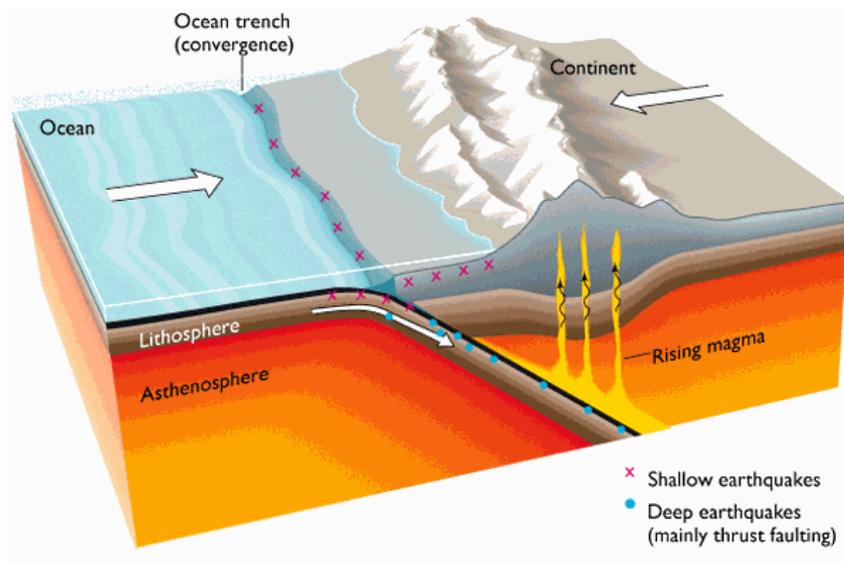


Рис.18

Большие пузыри, которые подходят к наклонной плите, могут взламывать препятствие для их движения.

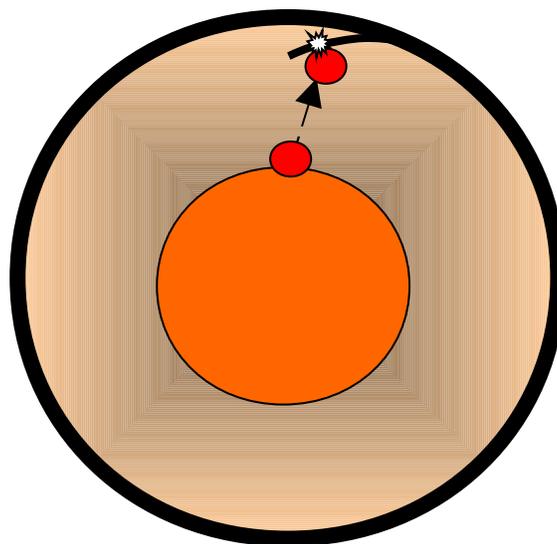


Рис.19

Возникает гипоцентр на большой глубине. Статистика (мониторинг) показывает относительно небольшой процент таких землетрясений по сравнению с возникающими на глубине от 5 до 10-15 км. Это легко объяснимо, так как небольшие пузыри не могут оказать сильного давления на погруженную плиту. Кроме того, в ней значительно труднее вызвать разрушения, так как астеносфера окружает наклонную плиту со всех сторон. Только крупные пузыри могут создать заметные толчки. Поэтому магнитуды таких землетрясений обычно достаточно велики. Но эти толчки практически не опасны для людей на поверхности литосферы из-за большой глубины залегания гипоцентров.

Гипоцентры землетрясений отмечаются вплоть до практически нулевой глубины. Это легко объясняется растрескиванием земной коры в ее верхних слоях из-за давления снизу, аналогично тому, как ломается деревянная доска.

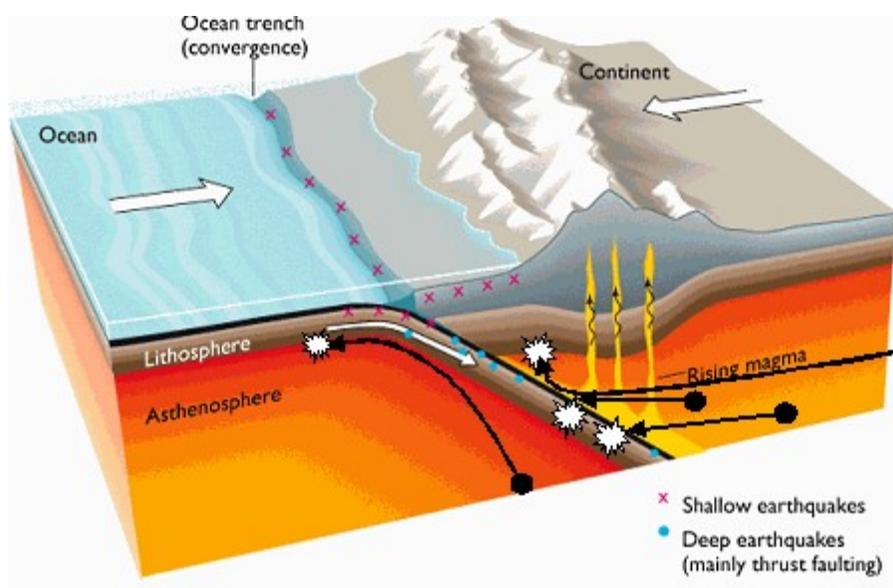


Рис.20

Пузыри, которые приходят с правой стороны рис.20, могут концентрироваться в ограниченной области. Наклонная плита представляет собой «экран» для таких пузырей, и пузыри не могут преодолеть этот барьер. Пузыри попадают в ловушку. Поэтому в этой области пузыри создают повышенное давление в астеносфере и могут быть причиной вулканизма. Пузыри, приходящие под наклонную литосферную плиту (левая часть рис.20), распределяются по значительно большей поверхности. Поэтому там не возникает ни сильных землетрясений, ни вулканизма.

Изложенная гипотеза требует большой исследовательской работы для ее подтверждения.

Локальная система прогнозирования землетрясения

Мы думаем, что глобальная система прогноза землетрясений может быть создана только усилиями государственных организаций. Поэтому мы поставили перед собой задачу прогнозирования сильного землетрясения в очень ограниченном районе (20x20 км); в масштабе одного большого города. Эта задача может быть решена в максимально короткие сроки и минимальными средствами.

Аппаратура

Пузыри могут быть обнаружены с помощью следующего комплекта аппаратуры:

- Сейсмо-гравиметр (сейсмометр+гравиметр);
- Акустические датчики сверхнизкочастотного диапазона (ниже 0,5 Гц);
- Измеритель изменения наклона земной поверхности (инклинометр)

Для повышения надежности прогноза могут быть добавлены:

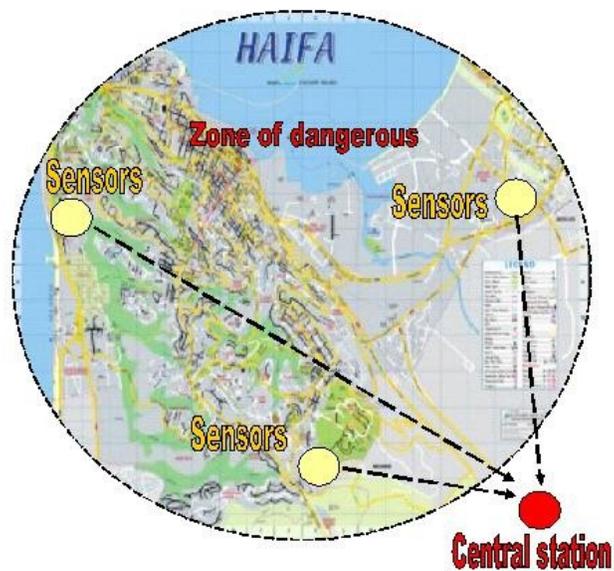
- Измеритель электростатического поля;
- Измеритель магнитного поля (магнитометр);
- Датчик выделения радона из почвы
- Измеритель изменений уровня грунтовых вод в скважинах.

Система предупреждения

Собственно система предупреждения населения о землетрясении мало отличается от системы предупреждения о пусках ракет с территории противника. Понятно, что при запуске ракеты она вовсе не обязательно упадет вам на голову. Тем не менее, никто не сетует по поводу ложной тревоги. Аналогично, в случае предупреждения о возможном землетрясении заранее известно, что оно может и не произойти. Система и метод предупреждают не о самом землетрясении, а о ВОЗМОЖНОСТИ этого события, и его вероятности. Эта вероятность уточняется Системой по мере приближения момента землетрясения за много часов до его возможного возникновения.

Аппаратурный комплекс для прогнозирования локальных землетрясений (Хайфа, Израиль)

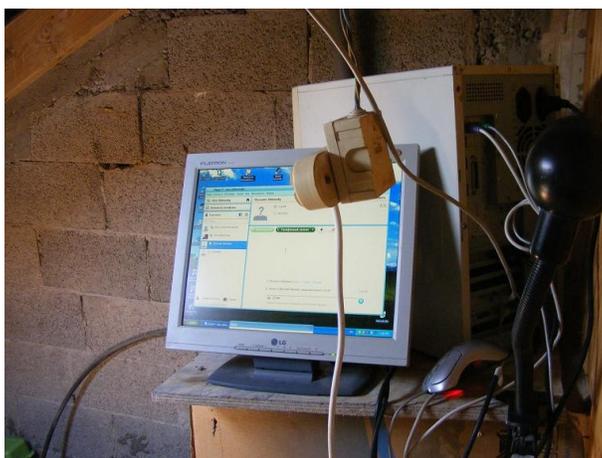
(изготовлен автором)



Расположение периферийных станций в районе г.Хайфа



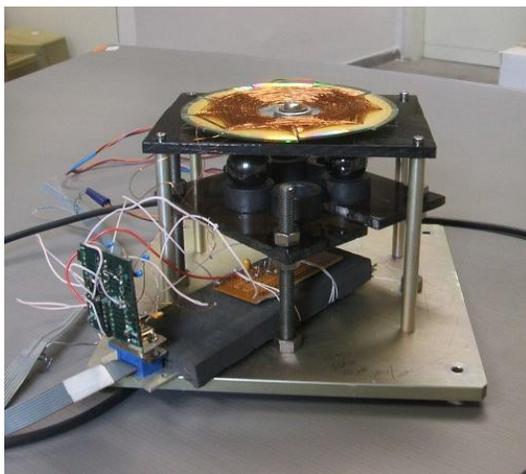
Центральная станция



**Одна из трех периферийных станций,
на расстоянии 50 км от центральной станции.**



Датчик периферийной станции



Датчик гравиметра



Планируемое распределение отдельных локальных систем по Израилю.

Литература.

- [1] А.Вильшанский. О причинах землетрясений (часть первая) (на русском языке)
<http://ecoimper.net/articles/stat1h.pdf>
- [2] А.Вильшанский. О причинах землетрясений (часть вторая) (на русском языке)
<http://ecoimper.net/articles/stat2h.pdf>
- [3] James K. Russell, Lucy A. Porritt, Yan Lavallée & Donald B. Dingwell
 Kimberlite ascent by assimilation-fuelled buoyancy
<http://www.nature.com/nature/journal/v481/n7381/full/nature10740.html>
 и др.

Работа зарегистрирована в Copyright Office Библиотеки Конгресса США под номером # 1-825295231