

Локальная система предупреждения о близком разрушительном землетрясении

Д-р А. Вильшанский

Технион, Израильская независимая Академия развития науки (ИНАРН), Научно-техническая Ассоциация «Экологический Императив»

Аннотация

В статье обосновывается возможность создания локальной системы предупреждения о будущем землетрясении на основе наблюдения за форшоками – акустическими колебаниями, опережающими собственно землетрясение.

Существует устоявшееся мнение о невозможности краткосрочного прогнозирования землетрясений. Базируется это мнение на одном простом соображении - еще никому не удавалось это сделать.

Однако есть подозрение, что эти неудачи связаны с неадекватностью самой постановки вопроса о предсказании землетрясений. Попытки такого предсказания в настоящее время базируются на использовании сети сейсмических станций, исходно предназначавшихся для чисто научных целей. По совокупности данных от этих станций (а потоки этих данных обычно достаточно велики) весьма трудно сделать достоверные предсказания о времени, месте и силе очередного землетрясения, если неясен механизм возникновения землетрясений (а он до сих пор неясен), особенно в тех случаях, когда станции наблюдения находятся достаточно далеко от предполагаемого эпицентра. Если же станция наблюдения находится непосредственно вблизи эпицентра возможного землетрясения, то ситуация представляется иной. В данной статье предлагается система, рассчитанная на получение предсказания о будущем землетрясении конкретно в районе расположения такой системы.

Такая система может быть размещена в каждом крупном городе или районе, и, поскольку она достаточно дешева, то любая обитаемая площадь может быть покрыта такими системами за короткое время короткое время. Впоследствии они даже могут быть соединены между собой каналами передачи информации. Этот подход кардинально отличается от существующего в настоящее время.

*

Независимо от причин и самого механизма возникновения землетрясений, известно, что обычно сильным землетрясениям предшествуют так называемые «форшоки», акустические низкочастотные колебания, которые можно уловить на большом расстоянии от гипоцентра (очага землетрясения). Они могут улавливаться датчиками, преобразующими эти колебания в электрические сигналы. Замечено также, что в целом ряде случаев форшоки могут опережать само землетрясение в его эпицентре на время от нескольких минут до нескольких часов.

Несмотря на утверждения, что форшоки не всегда предшествуют землетрясениям, некоторые авторы считают, что это мнение есть следствие того, что на эти сигналы не обращалось достаточного внимания. Мы полагаем, что даже если в каких-то случаях форшоки отсутствуют, и землетрясение происходит внезапно, то наличие системы, наблюдающей за

форшоками, все же предпочтительнее, чем ее отсутствие вообще.

Форшоки (сейсмические волны) отличаются друг от друга поляризацией и характером распространения в земной коре.

Первая причина землетрясений

Оболочка Земли примерно на 200 и более километров вглубь является двухслойной. Верхний слой оболочки Земли - литосфера - имеет толщину от 10 до 70 км. Это так называемая «твердая кора». Ниже нее начинается гораздо более толстый слой "астеносферы".

Литосфера не представляет собой сплошной массы. Она разделена (растрескалась?) на более или менее обширные участки, называемые тектоническими платформами. Эти платформы находятся в постоянном, хотя и очень медленном движении. Они как бы «плавают» на поверхности сравнительно вязкой массы нижележащего слоя – астеносферы.



Рис.1

Анализ глобального мониторинга показывает, что землетрясения магнитудой до 3-3,5 происходят преимущественно по границам тектонических плит на сравнительно небольших глубинах - 10-30 км. (Собственно, границы тектонических плит и проводятся на основании этих наблюдений). Считается, что при движении тектонических плит негладкие края соседних платформ зацепляются друг за друга; временами это сцепление срывается, что приводит к колебаниям поверхности платформ. Это **первая причина землетрясений**.

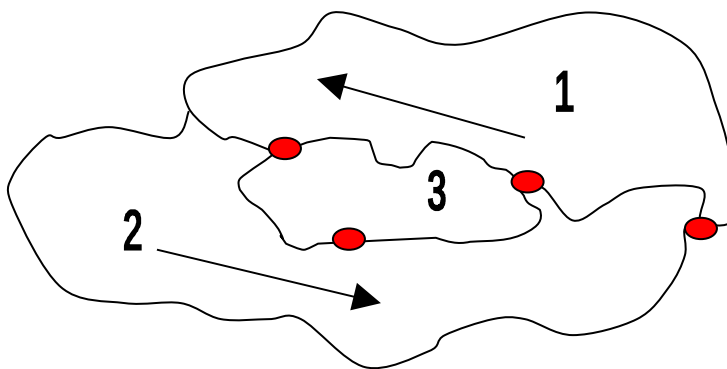


Рис.2

*При движении тектонических платформ 1 и 3
возникают напряжения сдвига на границах всех трех платформ*

Вызываемые этой причиной землетрясения обычно не превышают 3-3,5 баллов и не

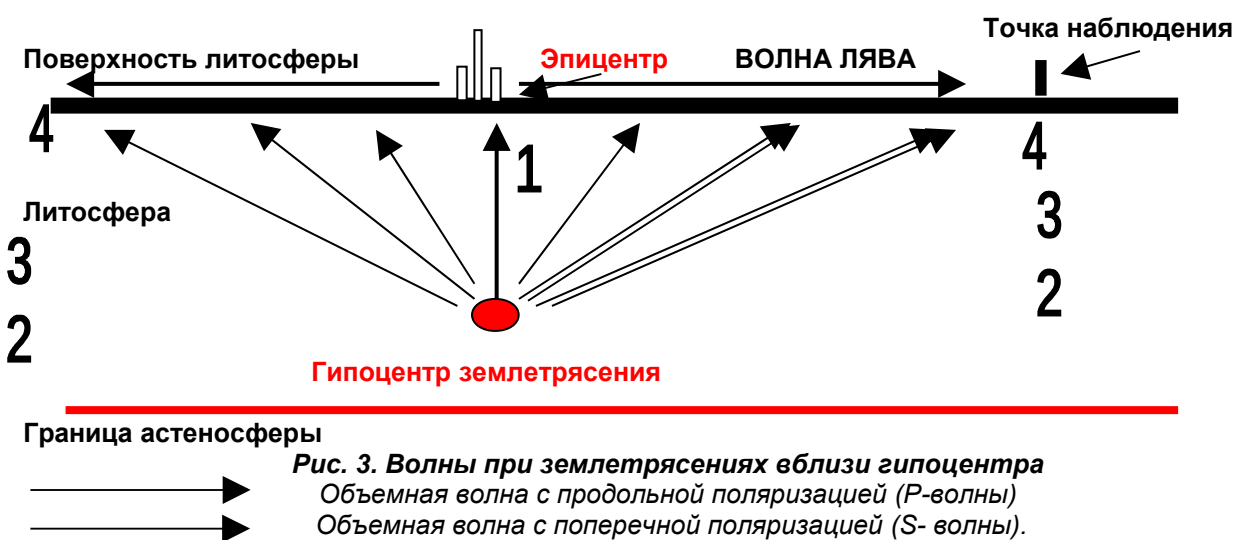
являются разрушительными. В домах немного качаются люстры и звенит посуда.

Вторая причина землетрясений

Тектонические платформы, как сказано выше, могут при своем движении надвигаться друг на друга (субдукция), что приводит к возникновению механических напряжений в породах. Землетрясения силой от 3,5 до 8 баллов происходят как по границам плит, так и на большом удалении от них. Причиной возникновения землетрясений второго типа (значительно большей магнитуды, чем описанные выше) многие авторы считают разломы различного вида в литосфере.

*

В местах возникновения очагов землетрясений возникают колебания в породах литосферы. В результате от гипоцентра землетрясения во все стороны распространяются так называемые «объемные волны», которые имеют разную форму (поляризацию) и разную скорость распространения. (При прохождении разных слоев литосферы они могут изменять направление.)



Однако, сами по себе эти колебания не слишком опасны, так как их частота достаточно велика, и сооружения просто не успевают следовать за этими колебаниями (если они, конечно, не слишком велики по амплитуде). Поэтому эти волны чаще всего являются предвестниками будущих землетрясений. Наиболее опасны как сами удары, исходящие от гипоцентра по направлению к эпицентру (поверхности), так и возникающие **после этого** так называемые «волны Лява», распространяющиеся уже от эпицентра во все стороны в поверхностных слоях литосферы («поверхностные волны»). Они имеют сравнительно небольшую скорость, но, в отличие от S-волн колебания в них происходят только в плоскости поверхностного слоя (в горизонтальной плоскости). Длина волны этих волн может достигать нескольких десятков метров. Они являются наиболее опасными для наземных сооружений.

Скорости распространения объемных волн

P-волны – волны с продольной поляризацией, направление колебаний в них совпадает с направлением движения волны.

S-волны могут иметь как вертикальную поляризацию, так и горизонтальную. Обе они перпендикулярны направлению распространения волны. Волны с вертикальной поляризацией затухают с расстоянием гораздо быстрее остальных, и на расстояниях более 100-200 км от эпицентра почти не наблюдаются. S-волны с горизонтальной поляризацией распространяются на многие тысячи километров.

P- и S- волны заметно различаются по скорости распространения – волны с поперечной поляризацией распространяются примерно в 1,7 раза медленнее, чем с продольной. Если вы в точке наблюдения можете идентифицировать и те и другие волны каким-либо способом, то вы можете очень приблизительно определить расстояние до эпицентра по величине относительного запаздывания.

Если гипоцентр расположен на глубине 30 - 50 км, то на расстоянии уже нескольких сотен километров от эпицентра объемная волна подходит к поверхности под очень небольшим углом. Поэтому для наблюдателя, находящегося на удалении 100-200 км от эпицентра, все наблюдаемые им волны похожи на поверхностные. (Напрямую через Земной шар проходят лишь объемные волны от очень сильных землетрясений.) Однако под «поверхностной волной» все же понимаются другие волны - «волны Лява», отличающиеся от S-волн заметно меньшей частотой и потому – заметно меньшим затуханием при распространении на большие расстояния.

Наблюдая волны, возникшие по причине №1 в точке, расположенной на некотором расстоянии от очага (гипоцентра), мы можем видеть, что в этом случае интервал времени между приходом волны и моментом возникновения землетрясения в над-очаговой точке, довольно мал. Все явления происходят вблизи поверхности литосферы как простое следствие взаимных перемещений-зацеплений краев тектонических плит. У таких землетрясений форшоки чаще всего отсутствуют или просто совпадают с самим землетрясением. Следует сказать, что при этом, как следствие самого механизма №1, волны с вертикальной составляющей довольно малы по амплитуде.

Если же землетрясение происходит по причине №2 (см.выше), то вначале происходит растрескивание средних или нижних слоев литосферы, что приводит к возникновению форшоков. И только спустя некоторое время происходит масштабное разрушение вещества литосферы – землетрясение. Из материалов работ [1,2] следует, что интервал времени между форшоком и разрушением пород может зависеть от скорости относительного движения контактирующих плит. Однако количество факторов, влияющих на это время, достаточно велико, и их трудно учесть при оперативном контроле. Это время может лежать в интервале от нескольких минут до суток.

Многие исследователи связывают возникновение землетрясений с влиянием Луны и Солнца на движение тектонических плит и на возникающие в них напряжения. Модель явления состоит в том, что при относительно небольших углах к горизонту светила оказывают растягивающее и сдвигающее действие на тектонические плиты. При возникающих огромных напряжениях (приливные силы) в плитах возникают разного рода трещины, что сопровождается акустическими колебаниями (форшоками). С этой точки зрения форшок отличается от собственно землетрясения только силой (размерами трещины), и потому некоторые авторы считают, что его появление вовсе не предшествует возникновению еще большего разлома. Более того, возникновение относительно небольших трещин уменьшает напряжения в породах, одновременно уменьшая вероятность более мощного землетрясения.

Поэтому определить, когда сейсмоколебания представляют собой форшоки, за которыми может последовать землетрясение, а когда это – «холостой выстрел», является сложной задачей для обычных сейсмонаблюдений.

Если же ставится ограниченная задача – определить степень опасности в конкретной небольшой зоне, то она представляется решаемой. По сути, нам необходимо оценить, находимся ли мы в зоне, близкой к будущему эпицентру. А в этой зоне вертикальная составляющая как форшоков, так и самого землетрясения может быть очень велика или по меньшей мере заметна, в то время как форшоки от более дальних очагов вертикальной составляющей обычно не имеют.

Поскольку форшоки по причине №1 совпадают с самим землетрясением (которое к счастью по этой причине и не имеет разрушающей силы), то их идентификация нас мало интересует. Форшоки же, возникающие по причине №2, могут быть сигналами от очагов с потенциально опасной силой, и они часто опережают само землетрясение. Но на них следует обращать особое внимание только в том случае, если форшоки содержат заметную вертикальную составляющую. Это означает, что наблюдатель находится вблизи гипоцентра.

Замечено при этом, что чем больше задержка во времени между первыми группами форшоков и землетрясением, тем больше сила самого землетрясения. В рамках гипотезы упругого разрушения это объясняется следующим образом. Если порода, в которой возникают разрушающие напряжения, не слишком прочная (известняки, например), то эти напряжения приводят к постоянно возникающим трещинам, что периодически «сбрасывает» нагрузку на пласты. Трещины возникают одна за другой, вызывая соответствующие форшоки. Это так называемые «рои» мелких землетрясений.

У более прочных пород (граниты) напряжения могут накапливаться большее время, но и разломы в таких породах гораздо больше и вызываемые ими землетрясения заметно сильнее. Но эти породы в любом случае не монолитны. В них есть менее прочные участки и более прочные. Поэтому при возникновении напряжений вначале также возникают разломы в менее прочных участках, что вызывает форшоки и «рои землетрясений». Замечено, что в определенные моменты времени возникает кратковременное «затишье» - отсутствие форшоков – перед самим землетрясением. Это объясняется исчерпанием количества менее прочных слоев, и увеличением напряжения в более прочных породах. Однако, нет никакой уверенности, что в данное время внешние напряжения увеличатся до предела прочности этих пород. В этом случае землетрясение может и не произойти. Это создает большие проблемы при обычном сейсмометрическом методе предсказания землетрясений.

Наличие же вертикальной составляющей в форишоках при наблюдении непосредственно из защищаемой зоны свидетельствует о близости ее к возможному очагу землетрясения. И хотя, как в вышеуказанном случае, землетрясения на этот раз может и не произойти, но существует высокая вероятность его возникновения в ближайшее время. В этом случае следует внимательно следить за уровнем форишоков, и, если он возрастает, это в конце концов может привести к землетрясению в защищаемой зоне.

Реакции животных

Хотя величина колебаний поверхности во время форишоков очень мала, чтобы человек ее почувствовал, однако она уже достаточно велика, чтобы ее почувствовали пресмыкающиеся. Возможно, что если животное находится в точке, до которой доходят только поверхностные волны с продольной и поперечной поляризацией, оно интуитивно понимает, что гипоцентр землетрясения находится на сравнительно большом расстоянии. Но если при этом в волне присутствует еще и вертикальная составляющая, то это уже сигнал для животного о том, что оно находится в сравнительно небольшом пространственном угле над зоной гипоцентра, и будущие разрушения могут быть велики. Животное выбирается на поверхность, чтобы его не завалило смещающейся породой.

Но большинство именно таких землетрясений имеет характерное и достаточно большое время запаздывания между первыми импульсами с вертикальной составляющей (ощущаемыми животными на поверхности) и самим землетрясением. Это определенно установлено большим количеством наблюдений над поведением разных животных [3,4]

Локальная система предупреждения

Из изложенного прямо следует возможность создания локальных систем предупреждения. Достаточно поставить в каждом углу квадрата 10x10 км группу из трех датчиков, каждый из которых реагирует на тот или иной вид поляризации, и объединить их показания на центральном компьютере, который с помощью простой программы мгновенно определяет относительную величину колебаний разной поляризации.

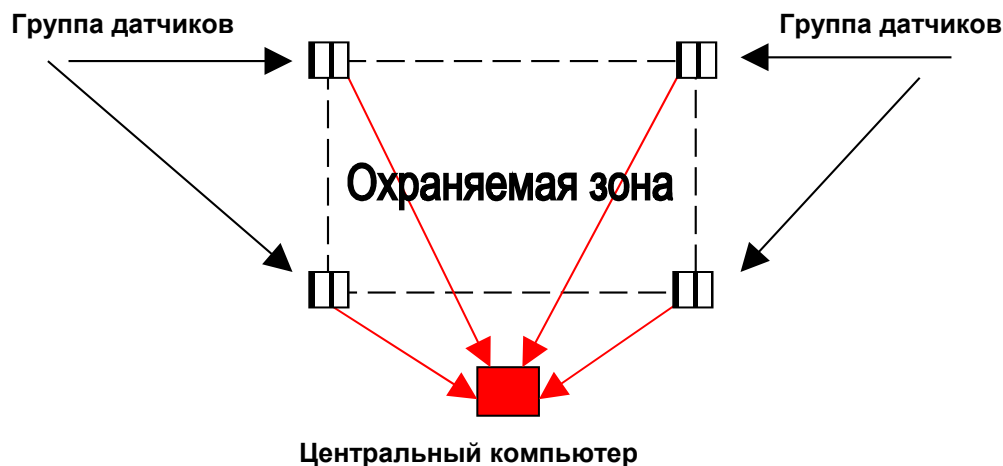


Рис.4. Структура системы (план)

По разности времени прихода волн с продольной и поперечной поляризацией определяется дальность до эпицентра будущего землетрясения, и, в совокупности с абсолютной величиной сигнала от датчиков – вероятность заметных колебаний поверхности при возникновении самого землетрясения.

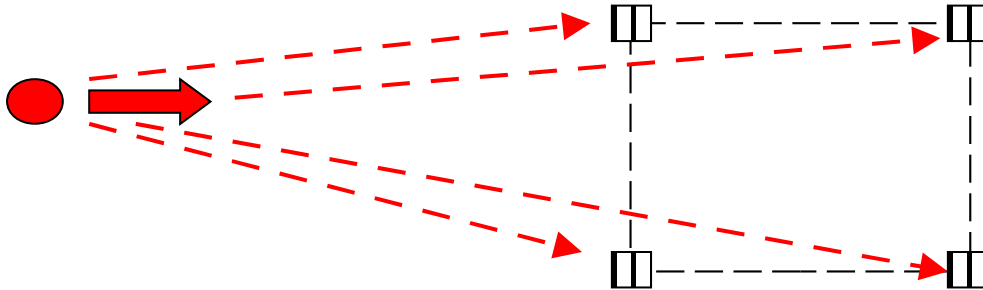
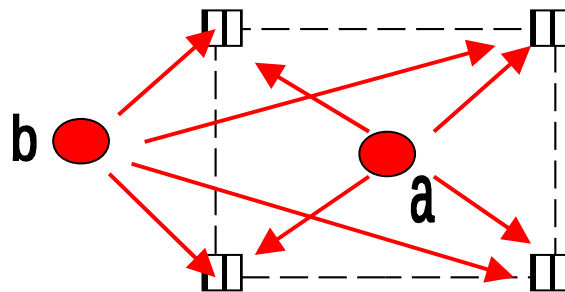


Рис.5

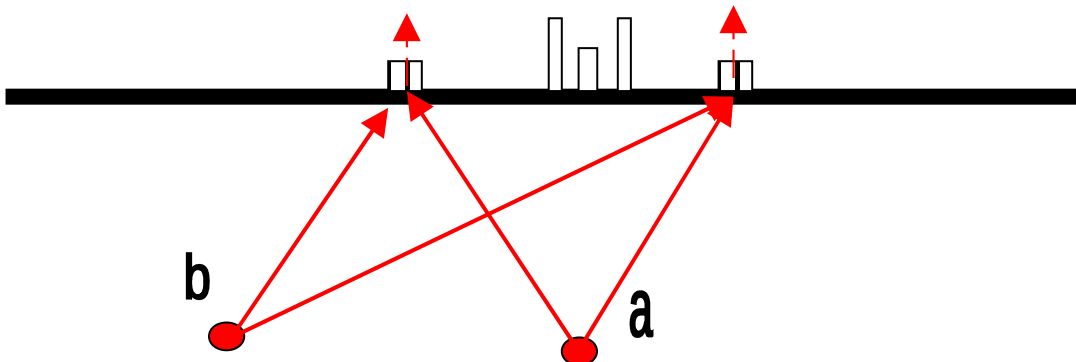
Эпицентр далеко от города.

Колебания с поперечной и продольной поляризацией приходят к разным датчикам с разным запаздыванием

По наличию сигналов от датчиков вертикальной поляризации определяется возможность возникновения разрушительного землетрясения в наблюдаемой зоне, ибо появление сигналов от этих датчиков свидетельствует о расположении будущего эпицентра вблизи зоны наблюдения.



План



Разрез по вертикали

Рис.6. Гипоцентр непосредственно под городом а) или вблизи него б)
Датчики чувствуют наличие вертикальной составляющей.

Таким образом эта система реагирует на сигналы сенсоров почти аналогично тому, как это делают пресмыкающиеся, чувствительные к колебаниям почвы.

Система непрерывно оценивает все приходящие к ней сигналы, имеющие уровень выше определенного, и непрерывно выдает сообщения о сейсмической опасности той или иной комбинации пришедших сигналов. Понятно, что аварийный сигнал система выдаст только в момент возникновения вероятности разрушительного землетрясения (больше заранее заданной балльности) Этот сигнал будет появляться крайне редко (в среднем, скажем, один раз за может быть 10-30 лет в районе Израиля). И не дай нам бог услышать когда-нибудь этот сигнал. Но выходные данные системы о малых землетрясениях легко сравнить с данными, поступающими от обычной сейсмической глобальной сети. Поэтому о ее работоспособности можно судить непрерывно.

Нужно иметь в виду, что поскольку система рассчитана на реальные землетрясения в радиусе до 100-200 километров от зоны наблюдения, то датчики этой системы имеют гораздо меньшую чувствительность (а следовательно и сложность и стоимость), чем датчики для стандартных сейсмологических наблюдений, в задачу которых входит прием очень слабых сигналов с гораздо больших расстояний. Сейсмометрия решает совсем другую задачу. Кроме того, более грубые датчики дают сигналы гораздо реже обычных сейсмологических, и потому задача различения даваемых ими сигналов становится гораздо более простой.

Литература

[1] Лобковский Л.И.. Всеразрушающая волна.

http://wsyachina.narod.ru/earth_sciences/tsunami_1.html

[2]Каррыев Б.С. Вот пришло землетрясение. Научно-популярная книга о землетрясениях и связанных с ними явлениях природы. SIBIS, 2009. 410 с. с ил.

<https://sites.google.com/site/2009earthquake/home>

[3] Г.Разумов. Животные-предсказатели

<http://www.chayka.org/article.php?id=2414>

[4] Мариковский П. И. Животные предсказывают землетрясение. - Изд. Кайнар, Алма - Ата, 1984.2....

Статья поступила в редакцию сайта

«Экологический императив»

10 декабря 2010 г.

Примечания:

1. Типы сейсмических волн

Сейсмические волны делятся на *волны сжатия* и *волны сдвига*.

- Волны сжатия, или продольные сейсмические волны, вызывают колебания частиц пород, сквозь которые они проходят, вдоль направления распространения волны, обуславливая чередование участков сжатия и разрежения в породах. Скорость распространения волн сжатия в 1,7 раза больше скорости волн сдвига, поэтому их первыми регистрируют сейсмические станции. Волны сжатия также называют *первичными* (P-волны). Скорость P-волны равна скорости звука в соответствующей горной породе. При частотах P-волн, больших 15 Гц, эти волны могут быть восприняты на слух как подземный гул и грохот.
- Волны сдвига, или поперечные сейсмические волны, заставляют частицы пород колебаться перпендикулярно направлению распространения волны. Волны сдвига также называют *вторичными* (S-волны).

Поперечная волна (S-волна) является волной сдвига. Колебания передаются от точки к точке перпендикулярно направлению распространения волны. Скорость поперечных волн определяется только плотностью (ρ) и модулем сдвига (μ). Скорость поперечных волн равна нулю в жидких и газообразных средах, где $\mu=0$. Поперечные волны распространяются медленнее продольных, их скорость составляет 70% от скорости продольных волн. На сейсмических записях они появляются как вторая группа сейсмических волн. По разнице времен прихода P- и S-волн можно определить, на каком расстоянии от регистрирующей станции находится эпицентр землетрясения. Поперечные волны распространяются только в твёрдых средах. Скорость распространения поперечных волн, например, в граните около - 3.0 км/с.

Поверхностные волны распространяются вблизи земной поверхности. В них заключается большая часть волновой энергии. Считается, что именно они причиняют наибольшие разрушения. Различают два типа поверхностных волн: волны Лява (L-волны) и волны Рэлея (R-волны):

- волны Лява имеют большую скорость, чем волны Рэлея; движение частиц происходит в горизонтальном направлении поперёк направлению движения луча, и **в этих волнах нет вертикальной составляющей**;

- волна Рэлея движется медленнее волны Лява (её скорость около 90% от скорости L-волны), движение частиц в этих волнах происходит по эллиптической орбите в вертикальной плоскости вдоль направления распространения волны.

Собственно, предлагаемая система как раз и решает эту задачу - по сигналам датчиков, реагирующих на S- и P- волны определить дальность до эпицентра будущего землетрясения и возможную силу подземного удара в эпицентре, а стало быть и возможную силу волн Лява, которые могут прийти через некоторое время от эпицентра до охраняемой зоны.

2. Техничко-экономические предложения по созданию системы даны на этом сайте:

Система предупреждения о близком разрушительном землетрясении для крупных населенных пунктов («Защитный пояс») www.ecoimper.net/informazia/predl_1.pdf

Д-р Александр Вильшанский

**Хайфа, 32688, Натив-Хен 47/17
Nativ-Hen 47/17, Haifa, 32688, Israel**

**Tel. 077-200-19-21
0526-044-816**