

## ДИСКУССИИ И ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 550.34

### ФИЗИКА ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2013 А.Г. Гликман

НТФ ГЕОФИЗПРОГНОЗ,  
Россия, 195027, Санкт-Петербург, Свердловская наб. 62-139,  
e-mail: agg@newgeophys.spb.ru, geophysprognos@rambler.ru.

Как только частота вибрации объекта на поверхности Земли приближается к собственной частоте, залегающей в том месте колебательной системы, начинается рост амплитуды вибрации, который может достичь колоссального уровня и вызвать разрушение вибрирующего объекта.

**Ключевые слова:** вибрация, собственная частота.

В 1977 году было обнаружено новое физическое явление, которое заключается в том, что земная толща, а в пределе, наша планета по акустическим параметрам представляет собой совокупность упругих колебательных систем.

Что это такое и как это было обнаружено. Так сложилось, что понятие колебательной системы разработано только в радиофизике. Как известно всем радистам со второго курса обучения, колебательная система – это объект, который на ударное воздействие реагирует гармоническим (синусоидальным) затухающим сигналом. Когда в 1870 году лорд Кельвин обнаружил, что сигнал, возникающий при импульсном воздействии на конденсатор, закороченный катушкой индуктивности, имеет вид затухающей синусоиды (рис.1), он сразу же заявил, что имеет место новая колебательная система.

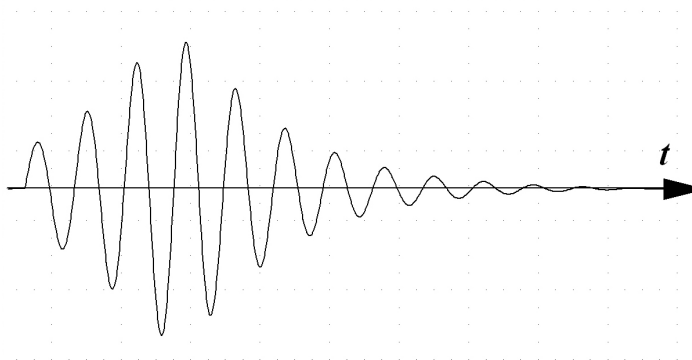


Рис. 1.

Как оказалось, в земной толще, в простейшем случае, упругой колебательной системой является плоскопараллельная породная структура. Толщина (мощность) этой структуры  $h$  связана с частотой  $f_0$  синусоиды, возникающей в результате ударного на нее воздействия, следующим соотношением:

$$f_0 = \frac{V_{ph}}{h}, \quad (1)$$

где,  $V_{ph}$  – фазовая скорость. Для горных пород  $V_{ph} = 2500$  м/с.

Физический смысл фазовой скорости заключается в следующем. Состояние собственных колебаний замкнутого объекта, каковым является плоскопараллельная структура – это режим стоячих волн. В этом режиме поле никуда не распространяется, и скорость его определяется не отношением  $V=l/t$ , а произведением  $V=f_0 \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны, а это, по определению, принятому в электродинамике, есть фазовая скорость [Гликман, 2013].

Каждое вновь обнаруженное природное явление или физический эффект в большей или меньшей степени изменяет картину мира. Но, как правило, на то, чтобы это понять, уходят многие годы.

Первоначально значение того, что земная толща представляет собой совокупность колебательных систем, не было осознано в полной мере, и это явление использовалось только для того, чтобы определять мощность породного слоя в кровле угольного пласта для оценки устойчивости кровли горных выработок. Идея этого направления состоит в том, что аппаратура, реализующая его, позволяет определять частотный спектр сейсмосигнала, возникающего в результате ударного воздействия на горные породы, залегающие в кровле подземной выработки. Определяя далее с помощью выражения (1) мощности породных слоев, залегающих в кровле, мы получаем возможность делать определенные выводы в отношении горнотехнической обстановки. Таким образом, зародилось спектрально-сейсморазведочное направление в геофизике.

На рис. 2 показан пример спектрально-временного преобразования и пересчета частоты  $f$  в глубину  $h$ .

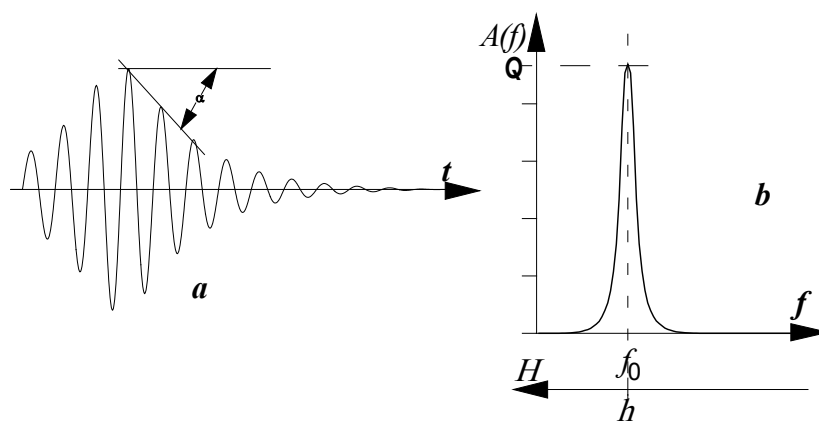


Рис. 2

Согласно спектрально-временным преобразованиям, временное изображение затухающей синусоиды *a* эквивалентно спектральному изображению *b* на рис.2. Угол  $\alpha$ , показывающий скорость затухания синусоиды, обратно пропорционален добротности этого сигнала  $Q$ . Добротность – очень важный параметр колебательных систем, и об этом будет сказано дальше. Согласно выражению (1),  $h$  и  $f$  обратно пропорциональны друг другу, и поэтому оси  $h$  и  $f$  направлены в разные стороны.

Подвижка в понимании значения свойства земной толщи как совокупности колебательных систем произошла в мае 1986 года, когда произошла авария на Чернобыльской АЭС.

Как оказалось, на ЧАЭС всё началось с того, что в машинном зале 4-го блока возникла вибрация, амплитуда которой выросла до немыслимых значений, и оборвалась тем, что турбина провалилась под землю. В этот момент сейсмологи отметили сейсмособытие, а через 30 с. взорвался реактор, что было отмечено как второе сейсмособытие. Эпицентр обоих толчков находился непосредственно под 4-м блоком ЧАЭС.

Не нужно было иметь семь пядей во лбу, чтобы догадаться, что это было ни чем иным, как резонансным разрушением. Как известно, чтобы возникло резонансное явление, необходимо иметь колебательную систему и динамическое (вибрационное) воздействие на нее. Источником вибрационного воздействия была вращающаяся турбина, а колебательная система залегала в земной толще под этой турбиной. То есть, в полном соответствии с тем физическим эффектом, который был обнаружен за 9 лет до этого. При этом, как только частота вибрации приближается к собственной частоте, залегающей в том месте колебательной системы, начинается рост амплитуды вибрации, который может достичь колоссального уровня и вызвать разрушение вибрирующего объекта.

Амплитуда вибрации на резонансе может увеличиться в  $Q$  раз, а  $Q$  колебательных систем, залегающих в земной толще, может иметь значение от единиц до тысяч.

Сейчас мне непонятно, почему я с самого начала, еще в 1977 году не подумал о том, что если мы живем на совокупности колебательных систем, то избежать резонансных явлений (и разрушений) невозможно.

Естественно, когда я высказал эту точку зрения, ко мне никто не прислушался, и я стал коллекционировать подобные истории. Оказалось, что точно по такому сценарию нередко разрушаются электростанции, насосные станции, железнодорожные пути.

То есть, те объекты, которые оказывают на опору динамическое (вибрационное) воздействие. Понятно, что в условиях тотальной секретности я добывал эти данные с большим трудом, от очевидцев, и публикации на эту тему были невозможны. Что было общим во всех этих рассказах, это колоссальная вибрация, которая предшествовала аварии.

Первая открытая (незасекреченная) авария такого типа – это авария на Саяно-Шушенской ГЭС, которая произошла в 2009-м году. Повышенная вибрация в машинном зале там наблюдалась (кстати, как и на ЧАЭС) больше, чем за год до аварии. Амплитуда вибрации росла всё больше, и, наконец, было принято решение остановить гидрогенератор. Совершенно деморализованные начальственными криками, люди совершили роковую ошибку. Они стали останавливать генератор медленно. При проходе через запрещенную скорость вращения начался быстрый рост амплитуды вибрации, и она увеличилась в 600 раз, что показал их же собственный самописец.

Как известно, причина этой аварии считается неизвестной. Но как можно не распознать в этом случае резонансное разрушение, я понять не могу. Но, с другой стороны, можно и понять. Если произнести слово «резонанс», то немедленно последует вопрос: «а где колебательная система, на которую воздействовал вибрирующий гидроагрегат?» И если сказать, что колебательная система залегает в земной толще, то это нанесет сильнейший удар по так называемой лучевой сейсморазведке. А этого допускать нельзя, потому что сейсморазведка считается самым мощным

геофизическим методом, и все инвестиции в геофизику идут в основном в сейсморазведку.

Как известно, основой сейсморазведки является утверждение, что упругий импульс, возникающий в результате ударного воздействия на земную толщу, распространяется в этой толще во всех направлениях, и при отражении его от залегающих там границ может быть получен эхо-сигнал. Но это возможно только в том случае, если никаких колебательных систем в земной толще нет. [Гликман, 2003].

На самом же деле, в результате ударного воздействия возникает не упругий импульс, а совокупность гармонических затухающих сигналов. Здесь видна аналогия со струнными инструментами. Ударив по клавише рояля, мы сам удар не услышим. Мы услышим затухающий звук соответствующей ноты. А ударив одновременно по нескольким клавишам, мы возбудим одновременно несколько гармонических затухающих сигналов. То есть, так же, как и при ударе по поверхности земной толщи.

Возникшие в результате удара собственные колебательные процессы породных слоев-резонаторов действительно распространяются в земной толще, но не во все стороны, а исключительно в горизонтальном направлении, вдоль породных слоев-резонаторов, не выходя за их пределы. То есть, если мы получаем эхо-сигнал при сейсморазведочных работах, то он приходит не снизу, в чем убеждены сейсморазведчики, а сбоку. Он возникает в результате отражения собственного колебательного процесса от границы этого слоя-резонатора.

Что самое удивительное, так это то, что сейсморазведчики знают об этом. Я услышал об этом во время моего доклада в ИнФизАн в 2005-м году [Гликман, 2006]. Когда я это рассказывал, то ожидал в высшей степени отрицательную реакцию. А вместо этого, они рассказали мне об экспериментах, доказывающих этот эффект окончательно и бесповоротно.

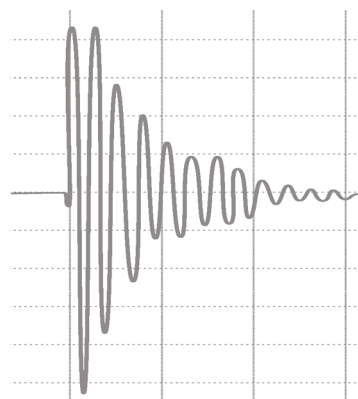


Рис. 3

На рис. 3 показан реальный сейсмосигнал, полученный в результате ударного воздействия на поверхность земной толщи. Это случай довольно редкий, когда возбуждается всего одна синусоида.

Мой рассказ будет неполным и не очень понятным, если я не расскажу о новом, неизвестном ранее, геологическом объекте, который можно выявлять с помощью метода спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП). Методика СПП состоит в том, что, делая измерения вдоль профиля с заданным шагом и спектрально преобразуя каждый сейсмосигнал, как это показано на рис. 2, получаем СПП-разрез. На рис. 4 показан один из таких разрезов.

Каждая вертикальная линия представляет собой спектральное изображение сейсмосигнала в конкретной точке профиля. Ось глубин ( $h$ ) пересчитана из частотной оси в соответствии с выражением (1). В ряде случаев СПП-разрез содержит объекты, имеющие воронкообразный (V-образный) вид. Именно так проявляется на СПП-разрезах зона тектонического нарушения (ЗТН). На этом СПП-разрезе прорисованы две зоны тектонических нарушения. Одна зона в виде воронкообразного объекта на участке 24-32 м, а вторая – на участке 6-11 м профиля в виде двух отдельных образующих воронкообразных объектов. Воронкообразный объект – это нарушение без сдвига, а одна образующая воронки – это нарушение со сдвигом.

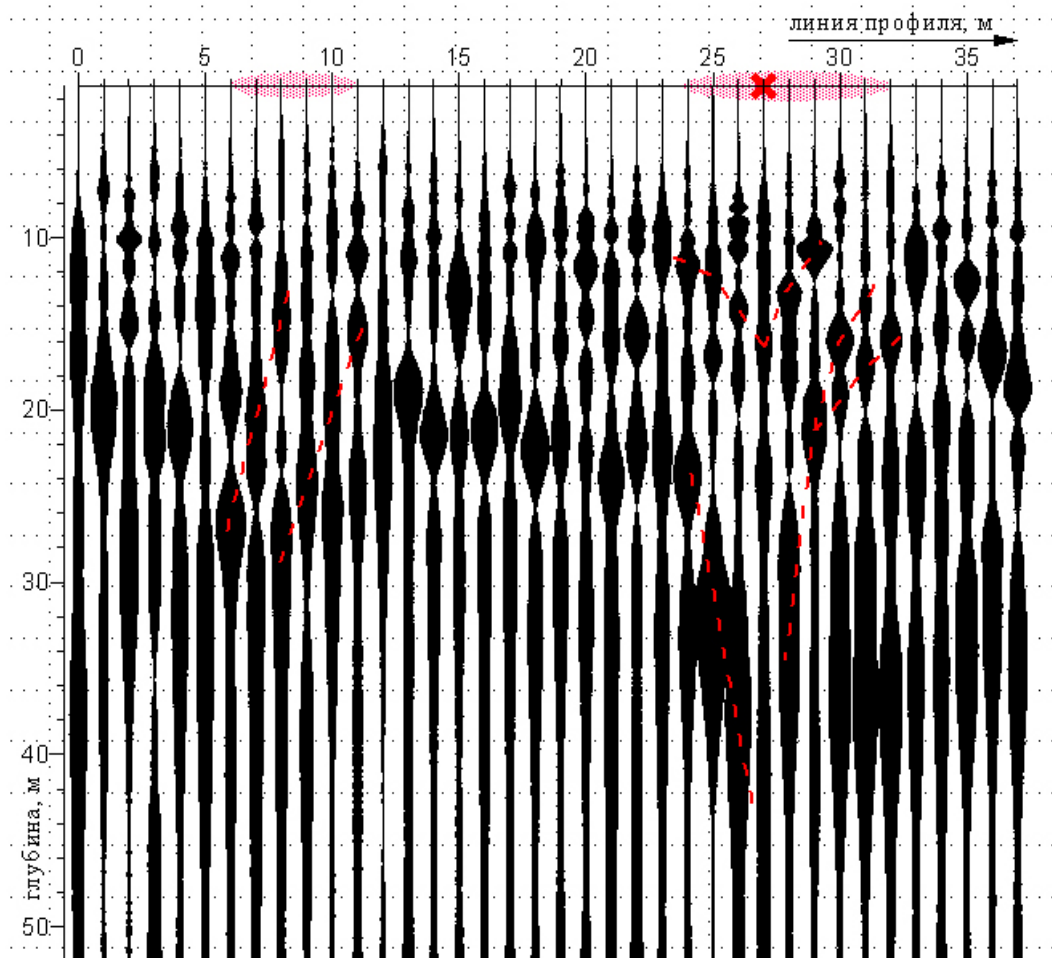


Рис. 4

О том, что это именно тектоника, было понятно по лавинообразному увеличению радона в этих зонах. Поначалу геологи воспротивились этому заявлению. И действительно, литературы по тектонике существует больше, чем достаточно, и во всех учебниках утверждается, что все геофизические методы позволяют выявлять тектонику. И поэтому, считали они, метод ССП является лишним и ненужным.

Очень странная точка зрения. Ведь известно, что различными методами невозможно получить одну и ту же информацию. И даже если действительно все геофизические методы выявляют ЗТН, то новый метод позволит изучать этот объект с какой-то другой стороны, и, следовательно, лишним он не будет. Кроме того, с помощью ССП было обнаружено несколько неизвестных ранее свойств зон тектонических нарушений, и тогда стало понятно, что если бы еще какой-то метод выявлял эти зоны, то свойства эти [Гликман, 2004] были бы обнаружены раньше.

Скажем больше. После нескольких лет изучения этого предмета стало ясно, что ССП является на сегодняшний день единственным аппаратным методом выявления и изучения зон тектонических нарушений. А это значит, что всё, что было написано в литературе о тектонике – не более чем умозрительные модели. Да, в шахтных условиях, на разрезах и обнажениях тектоника видна, но всяческие описания движения тектонических плит и т. п. – есть всего лишь вымысел. И всяческие тектонические модели происхождения землетрясений столь же недостоверны.

Размеры ЗТН могут быть самыми различными. Из тех, что встречались нам, это составляет от единиц метров, и до километра. Возможно, могут быть и большие размеры, но прежде чем это утверждать, надо их еще обнаружить. И концентрация ЗТН также может быть очень различной. Может оказаться несколько таких зон на площади буквально в  $100 \text{ м}^2$ , а может быть так, что и на гектаре удастся найти всего одну зону.

Первое обнаруженное свойство зон тектонических нарушений заключается в том, что любое инженерное сооружение (ИС), оказавшееся в ЗТН, неизбежно разрушается. Причем это относится как к ИС, возведенным на поверхности Земли, так и в глубине (разного рода подземные выработки). Признак надвигающего разрушения – возникновение субвертикальных трещин в стенах дома. Как оказалось, причина разрушения – наличие планетарной пульсации, которая имеет место в ЗТН.

Планетарная пульсация давно известна геодезистам. Дело в том, что по современному уровню космической геодезической техники, возможно определение собственного местонахождения с точностью до 1 мм. Но есть такие места, где установить репер с точностью, более высокой, чем несколько см, невозможно. Причина этого заключается в том, что амплитуда планетарной пульсации может достигать 10 см. Однако увидеть ее без специальной аппаратуры невозможно, так как период этой пульсации – минуты. Таким образом, фундамент дома, оказавшийся частично в ЗТН, испытывает знакопеременные изгибные деформации, что приводит к образованию вертикальных трещин в стенах и, в конечном итоге, к разрушению дома.

Планетарная пульсация проявляется только в ЗТН, и разрушает не только ИС, но и горные породы, находящиеся в ЗТН. Поэтому породы в ЗТН находятся в весьма нарушенном состоянии. Геологи знают, что есть некие зоны, при попадании в которые скважиной буровой инструмент не только не испытывает противодействия со стороны пород, но даже и проваливается, в том числе, и на очень значительных глубинах. Разрушенный в ЗТН грунт имеет пониженную несущую способность, а отсюда и «пизанские башни», и постоянно проваливающиеся крылечки и незалечиваемые выемки в дорожном покрытии.

Далее, как оказалось, колебательные системы, залегающие в пределах ЗТН, имеют такие свойства (в частности, добротность  $Q$  [Гликман, 2010]), что резонансные разрушительные явления происходят именно в этих зонах. Если вне ЗТН добротность колебательных систем, залегающих в земной тоще, составляет единицы, то в ЗТН она может достигать нескольких сотен.

При больших значениях  $Q$  резонансные разрушения происходят очень бурно, взрывоподобно. Либо сооружение проваливается в грунт (что чаще всего), либо вибрирующее устройство срывается со ступоров, либо его подбрасывает (в горных выработках такой сценарий развивается чаще всего), либо горная выработка резко обрушивается и горные породы заваливают всё и всех, находящихся там. Называют такие события горными ударами. Думаю, что их следует называть техногенными землетрясениями, и вот почему.

Практически на всех семинарах, посвященных проблемам землетрясений, можно услышать, что всем землетрясениям предшествует некая очень низкочастотная вибрация, рост амплитуды которой обрывается сейсмособытием. Получается, что и природные землетрясения тоже имеют резонансную природу?! Ну, вообще-то, это естественно. Если объект – колебательная система, то и всё, что с ним происходит, должно быть обусловлено этим. Но что, же тогда является источником вибрации в

случае природного землетрясения? В случае техногенного землетрясения источником вибрации являются различные механизмы. Как удалось выяснить, в случае природного землетрясения источником вибрации является планетарная пульсация.

Планетарная пульсация – принципиально нестационарный процесс. Она всё время изменяется как по амплитуде, так и по частоте, и когда ее частота приближается к собственной частоте, залегающей в данном месте (в данной ЗТН) колебательной системы, начинается рост амплитуды, который обрывается сейсмолочком. Будет повторный толчок или нет, зависит от характера изменения частоты планетарной пульсации. Если она после первого толчка какое-то время остается неизменной, то амплитуда пульсации опять начнет расти, и опять достигнет того же значения, что и первый раз, и повторный толчок будет той же силы. Если частота уйдет достаточно далеко и/или амплитуда пульсации уменьшится, то повторный толчок если и будет, то значительно слабее, чем первый.

Отсюда следует, что давно возникшая гипотеза о том, что животные чувствуют приближение землетрясения по возникновению низкочастотной вибрации, оказывается верной. И если сейсмоопасные зоны обеспечить датчиками сверхнизкочастотной вибрации, то, надо полагать, проблема оперативного прогноза землетрясений будет решена.

Сейсмологам известна зависимость, показанная на рис.5.

$A$  – амплитуда низкочастотной вибрации, и рост ее начинается примерно за трое суток до толчка.

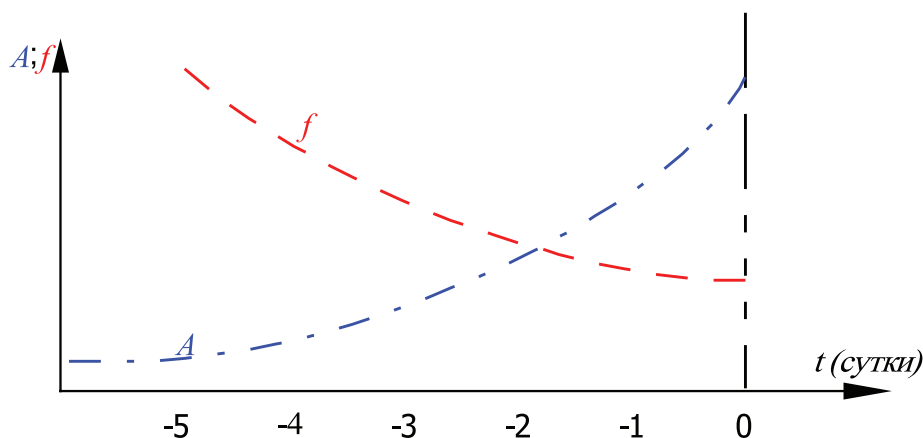


Рис. 5

Много лет сейсмологи ищут причину того, что перед толчком частота вибрации  $f$  изменяется. Но все сразу станет ясно, если подойти с другой стороны. Это с приближением частоты планетарной пульсации к собственной частоте залегающей в земной толще колебательной системы увеличивается амплитуда вибрации.

Подтверждением изложенного здесь подхода может оказаться следующий момент. Если планетарная пульсация проявляется только в ЗТН, то значит, разрушительное действие землетрясения распространяется только на эти зоны. И действительно, при любом, сколько угодно сильном землетрясении среди полной разрухи встречаются отдельные здания, в стенах которых полностью отсутствуют какие-либо трещины.

В 2007 году был обследован храм Ваграмаберд в Гюмри. Обойдя ССП-профилем по контуру, мы увидели, что ЗТН находится лишь на очень малом участке профиля.

И при осмотре стен, увидели, что только в пределах этого участка в стенах храма имеются трещины. Эти трещины возникли при землетрясении 1988-го года. И вообще, Гюмри представляет собой интереснейший полигон для изучения этого явления. До сих пор можно видеть, что половина дома разрушена, а половина – даже без трещин в стенах, и там живут люди.

Вывод здесь очень простой. В сейсмоопасных районах следует выбирать участки для строительства, на которых отсутствуют ЗТН.

Если сравнивать между собой потери от техногенных и природных землетрясений, то наибольшие потрясения исходят именно от землетрясений техногенных. Эпицентры природных землетрясений зачастую приходятся на пустынные места, на океаны, тогда как техногенные землетрясения всегда бьют по болевым точкам – электростанциям, насосным станциям...

За последние пятьдесят лет в десять раз увеличилось как энергообеспечение Земли, так и потери от техногенных катастроф. Всё правильно, самые тяжелые последствия возникают от аварий на электростанциях. То есть, техногенные катастрофы – это конкретный тормоз развития нашей цивилизации. В большинстве же своем, техногенные катастрофы есть следствие техногенных землетрясений.

Техногенные землетрясения, по сути, являются лабораторной моделью природных землетрясений. Я однажды случайно наблюдал процесс развития упругого резонансного процесса. Это было при демонстрации работы 30-тонного излучателя «вибросейс», в поселке Быстровка, на полигоне Института Геофизики Новосибирского Академгородка. При плавном увеличении частоты его вибрации, при приближении частоты к 10Гц, излучатель, установленный на железобетонной станине, начал подпрыгивать. Высота его «подпрыгивания» стала увеличиваться, и его быстро обесточили.

Как мне пояснили, этот излучатель имеет такое свойство, что после его включения и приближении к какой-то частоте, он начинает прыгать, и если его не обесточить, то он спрыгнет со станины, что и было, когда это случилось первый раз. После этого его назвали кузнечиком. К сожалению, моё объяснение, что это не является свойством излучателя, а происходит потому, что в точке его установки в земной толще находится колебательная система, частота которой оказалась равной той частоте, на которой прыгает излучатель, воспринято не было.

К сожалению, когда речь заходит о колебательных системах, залегающих в земной толще, сейсморазведчики информацию не воспринимают. А вместе с тем, было бы очень здорово с помощью такого вот излучателя исследовать параметры возрастания амплитуды колебаний при различных факторах. Это дало бы возможность создать методику точного прогнозирования момента и силы сейсмолчка.

Пересмотр свойств нашей планеты за время развития нашей цивилизации происходил несколько раз. Сначала Земля из плоской превращалась (в нашем сознании) в круглую, затем она стала вращаться вокруг Солнца вместо того, чтобы быть центром мироздания. Каждый раз эти изменения нашего сознания происходили в течение веков, и сопровождалась многими драматическими историями, хотя никаких реальных изменений для землян это не несло.

Переход к Земле как совокупности колебательных систем, с позиций физики, аналогичен переходу от эры постоянного тока к эре электродинамики. Открытие колебательного контура оказалось спусковым механизмом для столь стремительного взлета уровня нашей цивилизации. Какие последствия вызовет переход нашего



сознания от статических взаимодействий с грунтом к динамическим, сказать нельзя, но то, что прекратятся техногенные землетрясения, и будет создана надежная система прогноза природных землетрясений – это точно.

### Литература

1. Гликман А.Г. О некоторых разновидностях упругих колебательных систем. <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/uprugie-kolebatelnye-sistemy/>, НТФ «ГЕОФИЗПРОГНОЗ», Санкт-Петербург, 2013.
2. Гликман А.Г. Сейсморазведка – это очень просто. <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/seismic.shtml>, «Жизнь и Безопасность», Санкт-Петербург, 2003 г.
3. Гликман А.Г. О структуре поля упругих колебаний при сейсмоизмерениях. // Геофизика XXI столетия: 2005 год. Сборник трудов Седьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского (3-5 марта 2005 г., Москва). – Москва.: Научный мир. – 2006. – 496 с., с.348-354.
4. Гликман А.Г. Свойства зон тектонических нарушений (ЗТН). <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/tectonic/index.shtml>, «Жизнь и Безопасность», Санкт-Петербург, 2004 г.
5. Гликман А.Г. Колебательные системы вокруг нас. [http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/oscillatory\\_systems/](http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/oscillatory_systems/), НТФ «ГЕОФИЗПРОГНОЗ», Санкт-Петербург, 2010.

## PHYSICS OF TECHNOGENIC AND NATURAL EARTHQUAKES

© 2013 A. G. Glickman

GEOFIZPROGNOZ, 62-139, Sverdlovskaya NAB. Russia, 195027, St. Petersburg,  
e-mail: [agg@newgeophys.spb.ru](mailto:agg@newgeophys.spb.ru), [geophysprognos@rambler.ru](mailto:geophysprognos@rambler.ru).

Once the frequency of vibration on the surface of the Earth is approaching a natural frequency in the ground vibrational system starts growing vibration amplitudes that can reach enormous levels and cause the destruction of a vibrating object.

**Keywords:** vibration, natural frequency.