

**С.В. Мишин**

(Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило;  
e-mail: mishin@neisri.ru

## **О МОДЕЛЯХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

*Анализируется тяготение планеты, формирующее строение земных недр и определяющее характер сейсмической активности. Сопоставляются разные модели землетрясений.*

*Ключевые слова: тяготение, землетрясение, упругость, разрушение, удар.*

**S.V. Mishin**

## **ON THE EARTHQUAKE' MODELS**

*The effect of planet's gravitation that forms the construction of Earth's subsoil and determines the character of seismic activity are analyzed. Known models of earthquake are compared.*

*Key words: gravitation, earthquake, elasticity, destruction, impact.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 7 ноября 2016 г.

Современные публикации по проблемам прогноза землетрясений обширны и разнообразны. Впрочем, характер моделей процесса землетрясения разными авторами описывается в сложившихся довольно узких пределах. В основах моделей – накопление и диссипация упругой энергии, трещинообразование, причём сам акт землетрясения ассоциируется с появлением магистрального разрыва. А.К. Певнев [1] ясно представляет формирование изгиба многокилометровой балки, которая, разогнувшись, обеспечит необходимый эффект. Процесс изгибания балки (накопление запасов необходимой энергии) может быть обнаружен геодезическими методами, которые отметят предвестники надвигающейся катастрофы. И.П. Добровольский [2] полагает, что некоторая неоднородность, накапливающая упругую энергию, формируется в несколько этапов, а магистральная трещина, где происходит превращение упругой энергии в кинетическую (сейсмические волны), есть очаг землетрясения. В отличие от А.К. Певнева, И.П. Добровольский подчёркивает, что очаг тектонического землетрясения – не источник энергии, как, например, взрыв, а только средоточие диссипации упругой энергии имеющейся неоднородности. Г.А. Соболев и А.В. Пономарев [3] исследуют экспериментально процессы разрушения образцов на основе модели лавинно-нарастающего трещинообразования (ЛНТ). Они скромно не настаивают на принципах "упругой отдачи", лишь в заключении пишут: "Описанные в книге исследования и анализ их результатов проведены с учётом обоснованной сейсмологами всего мира концепции о том, что землетрясение в пределах земной коры возникает в результате излучения упругих волн динамически распространяющимся разрывом (системой разрывов) сдвигового типа".

Эта обоснованная сейсмологами концепция неизменно включает формирование запасов упругой энергии – энергии процесса землетрясения, непременно участие трещины (разрыва, разлома) – излучателя упругой (кинетической) энергии, но совершенно игнорирует действие тяготения и даже плотности горных пород – процессы протекают в невесомой упругой среде.

Представляются неверными основные предпосылки общепринятой концепции. Во-первых, накопление упругой энергии в земных недрах проблематично. Известны элементы, накапливающие упругую энергию, – резинки и пружины, известны *механизмы*, действующие на принципах упругой отдачи, – лук, арбалет и рогатка, но, закопанные в грунт, они теряют качества аккумуляторов энергии [4]. Мощность процессов землетрясения не позволяет предполагать *механизм упругой отдачи*: тысячи килоджоулей энергии выделяются за секунды.

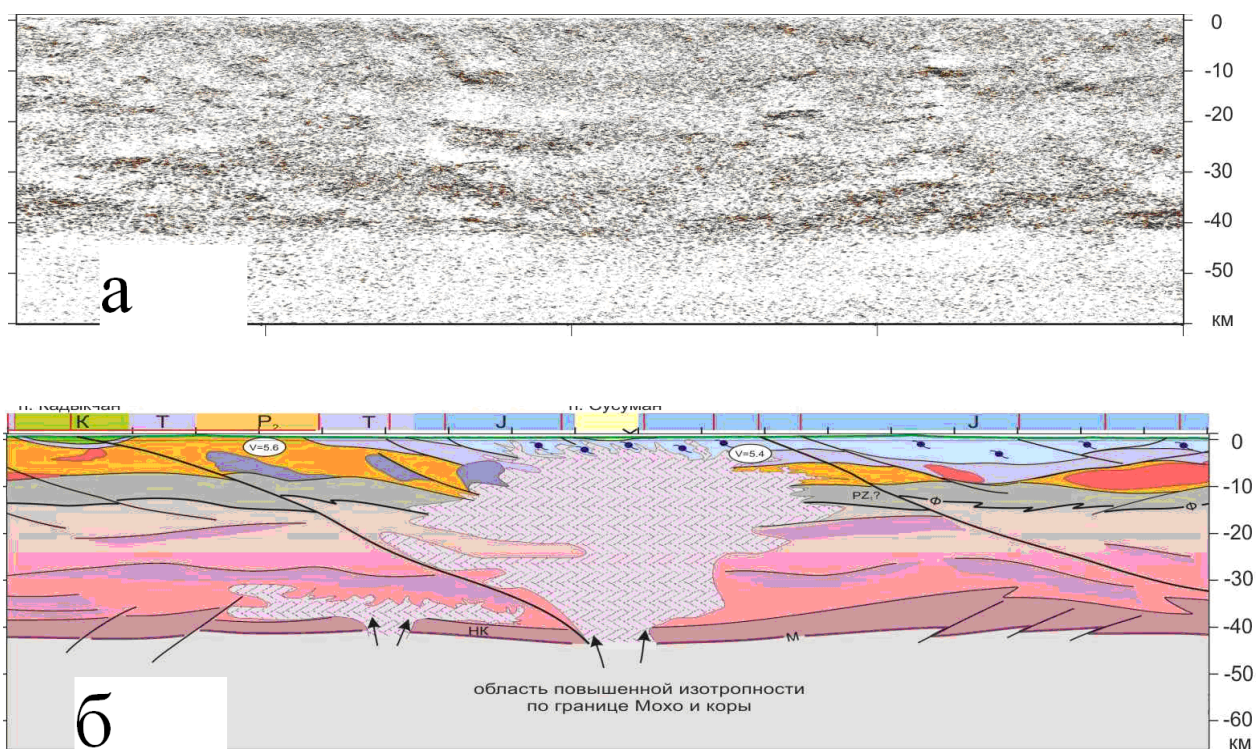
Трещина, разрыв и разлом – следы перемещения массы, появление таких элементов требует затраты энергии. Сейсмические и акустические сигналы сопровождают появление трещин, но не в моменты зарождения или распространения трещин (перемещения масс), а при торможении масс, сдвигающихся во время трещинообразования.

### Модель земной коры

Представим себе земную кору в виде "кучи" геологических тел, то есть действие тяготения планеты укладывает земные недра химически связанными геологическими телами разной формы, размеров и состава. Каждое тело опирается на другие тела и выдерживает вес лежащих выше объектов. Опорные площадки тел формируют каркас или скелет некоторого объема недр, который обеспечивает устойчивость конструкции. Средняя плотность этого объема обычно меньше плотности образцов пород, складывающих его, за счёт трещин и полостей, включенных в объём. На рис. 1 приведён сейсмический разрез МОВ-ОГТ, полученный при работах по глубинному сейсмическому зондированию профиля ЗДВ [5]. Рисунок иллюстрирует множество отражающих площадок, заполняющих недра участка. Отражающие площадки, по-видимому, связаны с границами геологических тел, с трещинами и полостями, имеющимися в земных недрах. Ступенчатости отражающих площадок с учётом других геофизических данных интерпретируются в виде границ, разделяющих структуры земной коры. Наиболее чётко выделяется обычно граница Мохоровичича – подошва земной коры.

Напряжённое состояние земных недр определяется главным образом весом геологических тел. Каждый кубометр горных пород весит около 3 тонн. На глубине 40 км весовое давление может превышать  $120 \text{ кт/м}^2$  (120 МПа), да и на глубине 10 км эта величина около  $30 \text{ кт/м}^2$  (30 МПа). Такие давления пока достигаются техническими средствами в редчайших случаях [6, 7]. Кроме того, предполагается, что температура среды на глубине подошвы земной коры достигает 700 °С. При таких температурах прочность горных пород падает, но в условиях гидростатического давления материалы обычно упрочняются.

Во всяком случае очевидно, что состояние пород, складывающихся геологические тела на глубинах, характерных для очагов землетрясений, весьма специфичны, их нельзя надёжно сравнивать с имеющимися техническими характеристиками, полученными в лаборатории.



**Рис. 1.** Интерпретация геофизических данных участка профиля ГСЗ 3ДВ (Иньяли-Дебинский синклиорий):  
*а* – разрез МОВ-ОГТ; *б* – схема строения земной коры этого участка

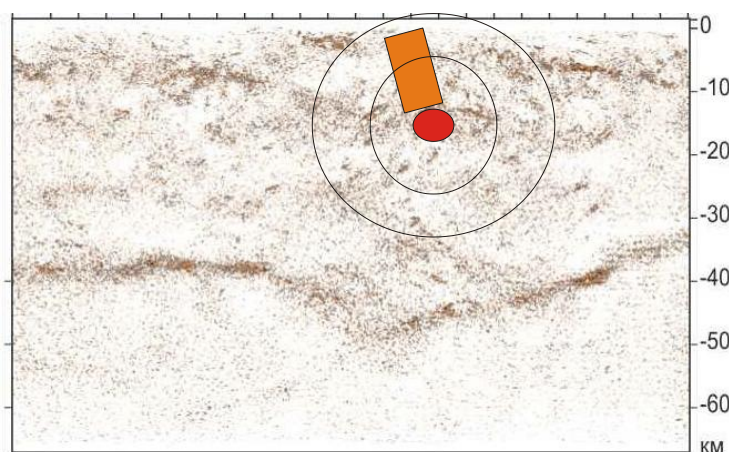
Можно предположить, что граница Мохоровичича, наиболее надёжно выделяемая на всех геофизических разрезах, соответствует практически полному разрушению геологических тел, формирующих недра. Земная кора "плавает" в стеклообразной или смолообразной массе, подкоровом субстрате. Вес каждого столба материалов, опирающихся на Мохо и складывающих этот столб, может отличаться от веса других столбов за счёт разной плотности материалов, а также за счёт полостей и трещин, разделяющих геологические тела. Эти различия в весе отдельных элементов среды определяют форму дневной поверхности участка – менее плотные структуры выделяются в виде возвышенностей на фоне долин, связанных с более плотными структурами.

Разлом, как и любая трещина, представляет собой след сместившейся массы. Как и трещина, свежий разлом представляет часть замкнутой поверхности, ограничивающей сместившуюся массу. Разумеется, генерировать сейсмическое излучение разлом не может, хотя наличие разломов и трещин ослабляет структуру среды, повышая вероятность перемещения горных масс по соседству с разломами.

Проведём мысленный эксперимент, следуя Х. Рамбергу [8], который моделировал тяготение с использованием центрифуги. Поместим в центрифугу тела разной плотности и формы и зададим достаточную скорость вращения. Центробежная сила, имитирующая тяготение, распределит массы подобно тяготению Земли. Внешний слой вещества окажется плотным, часть тел будет раздавлена, на внутренней поверхности, аналогичной дневной поверхности, будут "плавать" лёгкие компоненты. В "разрезе" возможны инверсии плотности, то есть существование тел меньшей плотности под более тяжёлыми структурами, но вероятность существования крупных инверсионных тел мала, то есть плотность материала с глубиной будет увеличиваться, что обычно и наблюдается в геофизических разрезах. В природе материал, по-видимому, распределяется подобным образом. Средняя плотность пород растёт с глубиной, менее плотные структуры "плавают" в субстрате, формируя особенности рельефа дневной поверхности.

### Модель процесса землетрясения

Сейсмоприемники регистрируют удары при торможении перемещающихся масс. Обвалы горных пород, происходящие на дневной поверхности, непременно сопровождаются более или менее интенсивными пакетами сейсмического излучения. Напротив, далеко не каждое землетрясение (даже тектоническое) сопровождается обвалами или оползнями на дневной поверхности. Автор полагает, что землетрясение есть удар при торможении смещающейся массы горных пород после того, как разрушится опорная площадка, удерживавшая блок в покое (в поле тяготения Земли). Энергия процесса определяется простым соотношением  $E = Mg\Delta h$ , где  $M$  – масса сместившегося блока,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\Delta h$  – разность между первоначальным и конечным положением центра масс блока при перемещении. Потенциальная энергия  $E$  в процессе перемещения блока переходит в кинетическую, блок приобретает импульс  $P = \sqrt{E \cdot 2 \cdot M} = M \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$ . По мере торможения массы этот импульс отдаётся среде в виде пакета сейсмического излучения [9].



**Рис. 2.** Модель процесса землетрясения.  
Опорная площадка (красный кружок) разрушается, блок горных пород (оранжевый прямоугольник) перемещается, в результате удара генерируется сейсмическое излучение

Процесс разрушения опорной площадки, по-видимому, локализован в небольшой по размерам области. Объём смещающегося блока и соответствующая масса определяются размерами и связями неустойчиво расположенных масс горных пород. В качестве предвестников сильного землетрясения можно рассматривать появление слабых толчков и акустического излучения из области разрушающейся площадки, то есть на глубинах, соответствующих будущему очага. Хорошо известны процессы просадки построенных зданий, в глубоких шахтах отмечаются горные удары – это с нашей точки зрения процессы одного ряда.

Сейсмическая активность – дискретный процесс, сопровождающий преобразования блоковой структуры земных недр. Землетрясение – удар при перемещении блока горных пород в новое положение.

### **Сопоставление моделей землетрясения**

А.К. Певнев [1, с. 66-67] описывает модель достаточно подробно:

*"1. Ответственным за коровую сейсмичность является самый верхний, сейсмогенный слой земной коры мощностью 10-25 км, породы которого способны накапливать значительные упругие напряжения и хрупко разрушаться (порождать землетрясения) при достижении предела их прочности..."*

*4. При подготовке очага сильного корового землетрясения сейсмогенные деформации накапливаются по всей толще сейсмогенного "упругого" слоя земной коры: от земной поверхности до его подошвы (10-25 км)..."*

*6. Накапливаемый горными породами готовящегося очага землетрясения упругий сейсмогенный изгиб распределяется в этом очаге экспоненциально: он максимален в центральной части сейсмогенной зоны и быстро убывает в обе стороны от этой зоны к периферийным, боковым частям очага. В общем случае упругая деформационная кривая имеет в очаге вид двух отрезков, симметричных относительно центральной точки..."*

*8. Земная поверхность, являющаяся верхней границей готовящегося очага сильного корового землетрясения, также подвергается нарастающему во времени закономерному изгибу..."*

*9. Нарастающий во времени закономерный изгиб земной поверхности является единственным достоверным признаком, однозначно указывающим на то, что в исследуемой части сейсмогенной зоны идёт процесс накопления сейсмогенных деформаций".*

Отвергая возможность накопления упругой энергии, мы не можем согласиться с вышеприведёнными соображениями.

И.П. Добровольский [2, с. 22, 23, 27] приводит в своей книге обзор многих моделей известных сейсмологов, группируя их по механизмам консолидации и деструкции. "...В обычной схеме цикла тектонического землетрясения, которую мы и будем использовать в дальнейшем, выделяются 5 стадий:

0 – асейсмичное состояние;

1 – формирование неоднородности – долгосрочные предвестники;

2 – начало распада, интенсивное трещинообразование, форшоки, пластические подвижки, формирование положения магистрального разрыва – краткосрочные предвестники;

3 – очаг землетрясения, кульминация распада;

4 – афтершоки;

0 – асейсмичное состояние.

Очаг тектонического землетрясения – поверхность динамически развивающегося разрыва в недрах Земли.

Очевидно, что при распаде неоднородности происходит растрата упругой потенциальной энергии среды. Эта энергия тратится на собственно разрушение, форшоки, афтершоки, пластические подвижки, магистральный разрыв, энергию сейсмических колебаний, диссипацию при трении и т.д."

Г.А. Соболев и А.В. Пономарев [3, с.116-117] описывают интересные эксперименты по разрушению твёрдых образцов, основываясь на широко распространённой модели лавинно-неустойчивого трещинообразования.

"Основу модели составляют два явления: взаимодействие полей напряжений трещин и локализация процесса трещинообразования. Считается, что оба эти явления неизбежно происходят перед разрушением любого материала и горной породы, в частности, при условии длительного действия медленно меняющихся по величине нагрузок. Учение о длительной прочности исходит из того факта, что число и размер трещин (дефектов) постоянно действующих докритических (меньших временного сопротивления материала) напряжений. После достижения некоторой критической плотности трещин материал переходит в стадию быстрого макроразрушения... В процессе лавинного трещинообразования постепенно формируется относительно небольшое число длинных разрывов, слияние которых и приводит к макроразрушению горной породы (землетрясению)". Автор полагает, что результаты экспериментов, подробно описанные в [3] полезны при анализе разрушения опорных площадок, составляющих нашу модель.

В.Г. Кособоков [10, с. 25] отказался от физических моделей землетрясения, пытаясь отыскать закономерности в потоке сведений о землетрясениях планеты.

"Фундаментальное соотношение Гутенберга-Рихтера является одним из наиболее бесспорных и общепризнанных фактов, свидетельствующих о самоподобии и самоорганизации землетрясений. Начиная с работ академика М.А. Садовского, растёт понимание фрактальной природы землетрясений и общих законов иерархической самоорганизации сейсмичности".

## Заключение

Земные недра жёстки и непрозрачны, поэтому трудно определить справедливость той или другой модели процесса, происходящего на больших глубинах. Автор полагает, однако, что упругость, как аккумулятор энергии, не может стать причиной процесса, протекающего с огромной мощностью. Энергию таких процессов следует искать в тяготении Земли. Не может быть причиной землетрясения и магистральная трещина, так как трещинообразование потребляет энергию внешних источников.

## Литература

1. **Певнев А.К.** Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС, 2003. 152 с.
2. **Добровольский И.П.** Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 240 с.
3. **Соболев Г.А., Пономарев А.В.** Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
4. **Мишин С.В.** О физике сейсмических процессов. Эксперименты и модели. Lambert Academic Publishing, 2013, 196 с.
5. **Сальников А.С., Старосельцев В.С., Соболев П.Н. и др.** Отчёт о результатах работ по объекту "Создание опорного геолого-геофизического профиля 3 ДВ (Северо-Восточный участок)" Росгеолфонд ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу, 2014.
6. **Бриджмен П.** Исследования больших пластических деформаций и разрыва. М.: ИИЛ, 1955, 444 с.
7. **Дмитриев А.П., Кузьяев Л.С., Протасов Ю.И., Ямщиков В.С.** Физические свойства горных пород при высоких температурах. М.: Недра, 1969, 160 с.
8. **Рамберг Х.** Сила тяжести и деформации в земной коре. М.: Недра, 1985, 399 с.
9. **Мишин С.В.** Модель обвального землетрясения // Технологии техносферной безопасности. Вып. 6 (52). 2013. С. 178-185. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
10. **Кособоков В.Г.** Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы // Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. Часть 1. Вычислительная сейсмология. Вып. 36. Часть 1. М.: ГЕОС, 2005. 178 с.