

О ГИПОТЕЗЕ УПРУГОЙ ОТДАЧИ В СЕЙСМОЛОГИИ

Современная ортодоксальная сейсмология основывается на представлениях "теории упругой отдачи". В настоящей статье утверждается, что эти представления неверны. Материал может быть полезен при решении проблем техносферной безопасности.

Ключевые слова: землетрясение, упругая отдача, разрыв, ньютоновские силы, импульс.

S.V. Mishin

ABOUT HYPOTHESIS OF ELASTIC RETURN IN SEISMOLOGY

The modern orthodox seismology is based on submissions of "the theory of elastic return". This article argues that these submissions are incorrect. Material can be useful for the solution of technosphere safety problems.

Key words: earthquake, elastic return, gap, the Newtonian forces, impulse.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 16 февраля 2016 г.

Гипотеза упругой отдачи

Гипотеза упругой отдачи была сформулирована в работе "Reid H.F. The California Earthquake of April 18 1906. Y.2. The Mechanics of the Earthquakes. The Carnegie Inst. – Washington. 1910." На основе материалов обследования эпицентральной области землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско, Г. Рейд высказал гипотезу "упругой отдачи", которой было суждено сыграть заметную роль в последующем развитии сейсмологии. Смысл этой гипотезы понятен из следующего рассуждения Рейда (цитируется по книге Б.В. Кострова "Механика очага тектонического землетрясения" [6]: *"Невозможно, чтобы горная порода разрушилась, не будучи предварительно подвергнута действию упругих напряжений, больших, чем она может выдержать; единственными мыслимыми способами быстрого приложения этих напряжений является взрыв или быстрое устранение или добавление материала под некоторой частью коры. Как взрыв, так и быстрое течение расплавленных пород связаны с вулканическими землетрясениями, которые здесь не рассматриваются; поскольку происходят землетрясения, не связанные с вулканической деятельностью, мы приходим к заключению, что кора во многих частях Земли медленно перемещается, и разности перемещений в соседних областях создают упругие деформации большие, чем порода может выдержать, затем возникает разрыв, и деформированные породы испытывают отдачу под действием их собственных упругих напряжений, пока эти деформации в значительной степени или почти полностью не будут сняты..."* [6, с. 29].

Гипотеза упругой отдачи была встречена сейсмологами прохладно, однако к середине XX века она стала преобладающей и стала именоваться теорией упругой отдачи. Важную роль в этом преображении сыграли работы Б.В. Кострова, который писал: "Представления Рейда об очаге тектонического землетрясения, сформулированные в его теории упругой отдачи, хотя и подвергались критике в частностях, никогда не отвергались целиком никем из сейсмологов" [6, с. 5].

"Упругая" модель очага землетрясения

Б.В. Костров дал чёткое *"формальное определение очага тектонического землетрясения"*:

"1. Очаг тектонического землетрясения представляет собой разрыв сплошности материала Земли по некоторой (плоской) площадке.

2. Разрыв возникает под действием (сдвиговых) упругих напряжений, накопленных в процессе тектонической деформации, и приводит к полному или частичному снятию этих напряжений на площадке разрыва.

3. Разрыв возникает сначала в малой области (точке), а затем распространяется от неё со скоростью, не превосходящей скорости продольных волн (принцип причинности).

4. Соответствующий очагу тектонического землетрясения разрыв является разрывом скольжения, то есть взаимное перемещение его берегов по нормали к площадке (отрыв) равно нулю.

5. Материал Земли вне поверхности разрыва остаётся линейно-упругим." [6, с. 33]

В 1980 г. опубликована в США и в 1983 г. переведена на русский язык двухтомная монография К. Аки и П. Ричардса "Количественная сейсмология"[1], которая содержит подробный математический анализ упругой модели очага землетрясения. Аки и Ричардс пишут совершенно определённо:

"Используемые в сейсмологии модели по существу являются математическими. Физические предпосылки их обычно весьма просты и содержат в основном уравнения движения, закон Гука и несколько других уравнений" [1, с. 526].

Уже в 2009 г. И.П. Добровольский формулирует упругую модель процесса тектонического землетрясения: *"Тектоническое землетрясение состоит в превращении части высвобожденной упругой потенциальной энергии в кинетическую энергию сейсмических волн. Упругая потенциальная энергия может накопиться лишь в напряжённой среде, обладающей упругими свойствами. Следовательно, тектоническое землетрясение может возникнуть только при наличии тектонических напряжений, которые, тем самым, играют ведущую роль в этом процессе, а динамически развивающийся разрыв разгружает среду. Отсюда следует, что очаг тектонического землетрясения является не источ-*

ником энергии, а источником сейсмических волн, инициатором превращения потенциальной энергии в другие виды энергии, причиной импульсной разгрузки среды. Это обстоятельство радикально отличает очаг тектонического землетрясения от взрыва, при котором почти вся энергия будущих сейсмических волн концентрируется в очаге" [4, с. 24].

"Энергия подготовки – это приращение ΔW упругой потенциальной энергии среды, вызванное появлением неоднородности" [4, с. 46].

Я полагаю, что рассматриваемая во множестве современных публикаций модель процесса землетрясения принципиально неверна. "Радикальное отличие" землетрясения от взрыва совершенно не отражается на сейсмограммах, регистрируемых в самых разных условиях. Рис. 1 демонстрирует сейсмограммы тектонического землетрясения (а), промышленного взрыва (б), а также удара (в) и взрыва (г), полученные в лабораторных условиях. Без дополнительной информации сейсмологи не могут различать по сейсмограммам удары, взрывы и землетрясения.

Современные сейсмологи различают также землетрясения тектонические, вулканические и обвальные. Предполагается, что эти землетрясения имеют разную природу. При тектоническом землетрясении происходит разрядка упругих напряжений, при обвалах – удар падающей массы горных пород, при взрывах сейсмические сигналы формируются давлением газов при химических превращениях взрывчатки (или ядерных процессах). Однако критерии различия сейсмограмм таких "разных" процессов весьма неопределённые, отличить сейсмограмму слабого тектонического землетрясения от сейсмограмм взрыва или обвала практически непросто. Вулканические землетрясения, как показано [5], мало отличаются от тектонических толчков.

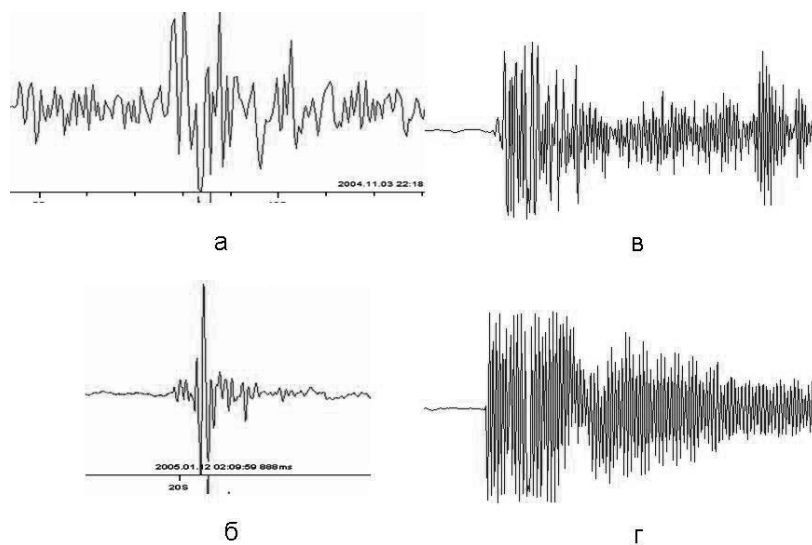


Рис. 1. Сейсмограммы сейсмических событий

В течение сотни лет сейсмологи кропотливо исследуют возможности превращения колоссальных запасов упругой энергии в катастрофические события. Но математика не может исправить неверную физику. В основе гипотезы лежит удивительное явление: огромное деформированное геологическое тело вдруг упруго восстанавливает свою форму. Принять всерьёз такое чудо могут люди либо наивные, либо весьма практичные. "Трудно искать чёрную кошку в темной комнате, особенно, когда её там нет". А колоссальных запасов **упругой энергии** в земных недрах нет. Упругая отдача создала множество замечательных работ, увенчанных нимбами докторских диссертаций. Инженеры и даже некоторые дети знают, что упругая энергия не применяется в технических устройствах значительной мощности.

Упругая энергия не аддитивна, то есть энергии упругих тел не складываются, как складывается вес положенных друг на друга предметов. Закон Гука справедлив для небольших тел, при действии небольших нагрузок на короткое время.

В земных недрах огромные массивы подвергаются многотонным весовым нагрузкам в течение тысяч лет. Очевидная для нас узость взглядов современных сейсмологов связана с недостаточностью, а в ряде случаев и с ошибочностью основных физических предпосылок, положенных в основу математического анализа.

Эту же мысль выражал известный сейсмогеолог Г.П. Горшков в своей последней монографии. Он отмечал *"отсутствие законченной теории физических процессов, связанных с возникновением землетрясений, я бы сказал больше: наличие широко распространённой, но необоснованной гипотезы, лежащей в основе многих современных исследований в области сейсмологии, тормозит работу, уводит её в сторону ложных путей и не приводит, и не может привести к положительным результатам"* [3, с. 63].

Гипотеза упругой отдачи постулирует накопление (а не релаксацию) упругих напряжений и разрядку этих упругих напряжений с невероятной мощностью, характерной для процессов землетрясения.

Ещё одно удивительное обстоятельство характеризует современные модели очага. Описывая механический процесс, теоретики совершенно игнорируют понятия массы и импульса (например, на 880 страницах двухтомника Аки и Ричардса [1] термин "количество движения" встречается 1 раз – ядро функции Грина, оказывается, имеет размерность количества движения). "Фундаментальная характеристика" очага землетрясения – сейсмический момент – измеряет, собственно говоря, сопротивление площадки A перемещению невесомого предмета на расстояние U . Понятие кинетической энергии, которую должны приобретать смещающиеся массы, вообще не анализируется. Зато разрыв связей в среде, который безусловно потребляет энергию землетрясения, оказывается основной количественной характеристикой излучения в такого рода моделях. Поэтому описание процесса землетрясения делится на две несвязанные части – сначала анализируется процесс смещения невесомого элемента, а затем произвольно задаётся значение смещения, которое анализируется на основе волнового уравнения.

Б.В. Костров вполне определённо пишет: *"Динамическое описание разрыва, вытекающее из механики разрушения, приводит к граничной задаче динамической теории упругости, неразрешимой в общем виде, и поэтому не позволяет изучить связь сейсмического излучения с процессом вспарывания разрыва с той общностью, которая необходима для постановки обратной задачи – извлечения информации об очаге из сейсмических наблюдений. Кинематическое описание, то есть задание вектора смещения на разрыве как функции точки и времени, в этом отношении гораздо удобнее, так как при таком описании удаётся построить самое общее решение задачи об излучении"* [6, с. 89]. Говоря определённое, можно сказать, что кинематическое описание процесса, игнорирующее законы динамики, позволяет свести концы с концами при использовании физически несостоятельной моделью упругой отдачи. При этом даже качественное совпадение результатов анализа с наблюдениями умиляет авторов кропотливых исследований. Интенсивность сейсмического события оценивается значениями магнитуды, которая представляется формальной характеристикой, не имеющей прямой связи с динамическими величинами физического процесса. Действие сейсмического излучения оценивается баллами макросейсмической шкалы, причём не ясно, отчего баллы приводят к движению массивных тел и к их разрушениям.

Другие модели процесса землетрясения

Землетрясения происходят в непрозрачной жёсткой среде, отчего процессы в очагах не наблюдаются непосредственно. Анализ таких процессов проводится умозрительно. Гипотеза упругой отдачи – не единственное объяснение процессов, происходящих в очагах землетрясений. Имеются оригинальная гипотеза А.А. Воробьёва о подземной молнии [2] и наша ударная модель, восходящая к Е. Зюссу и Б.Б. Голицыну [7-9].

Наши работы [8, 9] основываются на предположении о том, что упругими напряжениями в земных недрах можно пренебречь при рассмотрении масштабных сейсмических событий из-за того, что релаксация упругих напряжений вероятнее, чем их накопление, что мощности известных устройств, использующих упругую отдачу (лук, рогатка), невелики и не могут быть значительно увеличены. Здесь рассматриваются четыре взаимосвязанных процесса, определяющих известные сейсмические эффекты – сейсмическое излучение, сотрясение материальных систем, землетрясение и сейсмическая активность.

1. **Сейсмическое излучение** представляет собой распространение в материальной среде механического импульса. В источнике излучения происходит переход потенциальной энергии (гравитационной, химической, электромагнитной, упругой) в кинетическую энергию движущихся масс. Массы приобретают импульс и передают его в пространстве по законам удара.

2. **Сотрясения материальных систем** представляют собой механическое движение связанных масс, которое определяется действием ньютоновских сил, связанных с изменением импульса, принесённого сейсмическим излучением; цунами – сотрясение жидкой среды.

3. **Землетрясение** – это природный источник сейсмического излучения, действующий при перемещении блока горных пород. Неуравновешенный гидростатически блок в период подготовки толчка взаимодействует составляющей своего веса с прочностью контактовой зоны, в результате чего породы на контакте разрушаются и блок приходит в движение, приобретая кинетическую энергию и, следовательно, механический импульс. При ударе, вызванном торможением движения, блок отдаёт среде приобретённый импульс.

4. **Сейсмическая активность** участка земных недр определяется характером преобразования рельефа участка – перемещением массивных блоков в процессе выравнивания поля веса – наиболее значимого силового поля, действующего на горные породы, складывающего земные недра. Процесс сейсмической активности (сейсмичность), представляет собой дискретное излучение порций сейсмической радиации (механического импульса), сопровождающее акты перемещения элементов рельефа горных стран.

Наглядной моделью сейсмического события может служить дробление камня с использованием молотка и зубила. Что разбивает камень? Молоток вообще не касается камня в процессе разбивания, зубило контактирует с камнем в узкой зоне, а осколки отлетают от камня далеко от зоны контакта с зубилом. Немного логики и становится ясно, что камень разрушался сейсмическим излучением, сформированным при ударе молотка об обушок зубила и распространившимся вдоль зубила как вдоль проводника сейсмического излучения. В результате удара молотка обушок зубила приобрёл механический импульс (количество движения); этот импульс распространился со скоростью сейсмических волн вдоль металла и был передан камню в зоне его контакта с зубилом. Изменение количества движения, по определению, есть ньютоновская сила и действует эта сила на поверхности волнового фронта, на границе, разделяющей в данный момент частицы камня, ещё не приобретшие импульс от частиц, уже обладающих импульсом. Действие ньютоновских сил приводит к разрыву сплошности камня, а избыток импульса определяет движение массивных обломков.

Простые эксперименты позволяют установить, что сейсмические сигналы от ударов равной энергии неодинаковы – амплитуды сигналов пропорциональны значениям ударяющих масс. При ударах, отдающих среде равные количества движения (поступательный импульс), интенсивности сейсмических сигналов одинаковы в пределах погрешности измерений.

Таким образом, сейсмическое событие можно характеризовать интенсивностью сейсмического излучения – значением переданного в среду импульса, а также распределением в пространстве и во времени ньютоновских сил – производных импульса по времени.

Землетрясение – это удар при торможении сместившегося в поле силы тяжести блока горных пород. Если **масса** блока M упадёт с **высоты** h , то блок приобретёт кинетическую **энергию**, равную потенциальной $E = M g h$. При этом масса M приобретёт импульс

$$P = M \sqrt{2g h} \text{ (так как } E = P^2/2M = M g h \text{).}$$

Импульс – важнейшая характеристика сейсмического события, поэтому характеризовать очаг землетрясения следует именно в единицах импульса (кгм/с). Величины "магнитуды" и/или "энергетического класса" должны иметь размерность импульса. Магнитуда $M2$ соответствует импульсу 10^9 кгм/с , а $M5 \approx 10^{13} \text{ кгм/с}$.

Сформированный в процессе удара блока пакет сейсмического излучения (механического импульса) распространяется в окружающей среде в виде сферического слоя со скоростью сейсмических волн. Значение импульса остаётся постоянным, а поверхность сферического слоя непрерывно увеличивается, отчего плотность импульса на поверхности фронта излучения непрерывно падает. **Плотность импульса** на единицу площади фронта на расстоянии R от места удара (очага землетрясения) можно оценить значением:

$$G = P/4\pi R^2 (\text{кгм/с/м}^2).$$

При передаче импульса от одних частиц среды другим действуют ньютоновские силы $F = dP/dt$, поэтому фронт излучения создаёт **давление** на окружающую среду:

$$N = dG/dt (\text{Н/м}^2).$$

Именно давление волнового фронта создаёт известные сейсмические эффекты – движение массивных тел, разрушение строений и пр. Величина давления зависит от плотности импульса на поверхности фронта излучения и от длины волны излучения (времени нарастания импульса в процессе удара). В очаге продолжительность удара можно оценить временем распространения продольной волны в теле блока:

$$\Delta t = L/v_p,$$

где L – длина блока;

v_p – скорость продольных волн.

В процессе распространения импульса в неоднородной среде, возможно, волновой пакет изменяется, становится сложнее, поэтому при оценках величины сейсмического давления N мы считаем возможным использовать время нарастания амплитуды первого вступления на сейсмограмме (четверть первого периода колебаний) в качестве средней **продолжительности действия** фронта τ . Тогда средняя величина **давления** фронта на окружающую среду на расстоянии R от очага составит:

$$f = G/\tau.$$

Давление фронта волны определяет балл сотрясения.

Эти простые соотношения ньютоновской механики позволяют грубо оценивать основные параметры процесса землетрясения. Почти такие же соотношения могут применяться для оценки параметров сейсмического действия взрывов. Удар при торможении блока массой $3 \times 10^{12} \text{ кг}$ (1 км^3 пород), сместившегося на 1 м , вызовет землетрясение магнитуды 5, а Спитакское землетрясение 1988 года можно интерпретировать как смещение блока объёмом 40 км^3

на 1 м по высоте. При взрывах потенциальная химическая энергия переходит в кинетическую энергию массы продуктов ВВ и формирование пакета сейсмического излучения, сейсмическое излучение от взрыва идентично излучению при ударах.

Фронт сейсмического излучения создаёт давление на среду за счёт изменения импульса (ньютоновская сила). Давление 10^4 Н/м^2 соответствует 4-5 баллам макросейсмической шкалы MSK-64, а давление 10^6 Н/м^2 – 8-9 баллам.

Анализ сейсмической активности Магаданской области за 40 лет показал, что землетрясения региона происходят, главным образом, в виде роев или серий [7]. Определенная зона территории активизируется на период 1-3 года, следующая активизация отмечается на другом, часто значительно удалённом участке. Мы интерпретируем этот факт, как связь сейсмичности с горными сооружениями, которые трансформируются в поле тяготения.

Заключение

Запасы упругой энергии, которые постулируются современными сейсмологами, никогда не измерялись, оттого оценки этих запасов, как правило, остаются неопределёнными. Напряжённое состояние материала земных недр определяется, в основном, весом вышележащих пород. Сейсмическая активность приурочена к зонам максимальных градиентов потенциальной энергии тяготения – землетрясения Тихоокеанского кольца приурочены к склонам впадин глубиной до 10 км и к склонам Анд, воздымающихся на 10 км над океанским дном.

Литература

1. **Аки К., Ричардс П.** Количественная сейсмология. М.: Мир, 1983. 880 с.
2. **Воробьев А.А.** Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. Томск: ТГУ, 1974. часть 1, 272 с.; часть 2, 228 с.
3. **Горшков Г.П.** Региональная сеймотектоника территории юга СССР. Альпийский пояс. М.: Наука, 1984. 272 с.
4. **Добровольский И.П.** Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 240 с.
5. **Зобин В.М.** Динамика очага вулканических землетрясений. М.: Наука, 1979. 92 с.
6. **Костров Б.В.** Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 172 с.
7. **Мишин С.В.** О природе сейсмической активности // Евразийский союз учёных (ЕСУ). № 4 (Часть 6). 2014. С. 39-42.
8. **Мишин С.В., Шарафутдинов В.М.** Параметры процесса землетрясения // Вестник СВКНИИ ДВО РАН. № 1. 2007. С. 64-70.
9. **Мишин С.В.** О физике сейсмических процессов // LAP Lambert Academic Publishing. 2013. 196 с. <http://www.lap-publishing.com>.