УДК 550.34

**К вопросу об излучении сейсмических колебаний при сдвиге по поверхности разлома**

***А.М. Будков1, Г.Г. Кочарян1, А.А. Иванов2***

*1* ИДГ РАН

*2* ИФЗ РАН

Приводятся некоторые результаты 2D численного моделирования процесса излучения колебаний при сдвиге по гетерогенной поверхности, содержащей участки с разным характером фрикционного взаимодействия. Показано, что высокочастотная часть спектра излучения определяется характеристиками пятен со свойствами скоростного разупрочнения – «asperities», на одном из которых всегда наблюдается старт разрыва. Низкочастотная часть спектра, а, следовательно, и такие параметры, как сейсмический момент и магнитуда на большом расстоянии, определяются характеристиками области разлома, вовлеченной в движение. Остановка разрыва происходит в области, обладающей свойством скоростного упрочнения, обусловленного либо локальным снижением уровня напряжений, нормальных к плоскости разлома, либо свойствами геоматериала, слагающего участок разлома.

**Введение**

В ранних моделях очага землетрясения явно или неявно предполагался в среднем равномерный сброс напряжений и равномерное выделение запасенной упругой энергии в окрестности всей поверхности разрыва. В самом деле, угловая частота спектра колебаний на больших расстояниях примерно соответствуют величине , где  – скорость распространения поперечных волн, а  – характерный размер разрыва. В тоже время, попытка описания спектра колебаний в ближней зоне землетрясения наталкивается на необходимость введения предположения о гетерогенности поверхности скольжения.

В 70-80-е годы прошлого века был предложен подход, согласно которому поверхность скольжения не однородна, а содержит особые участки. Терминология для описания гетерогенности плоскости разлома стала общеупотребимой и названия «неровности» (asperities) и «барьеры» (barriers) часто используются в литературе. Изначально предполагалось, что и «asperities» [Kanamori, Stewart, 1978], и «барьеры» [Aki et al., 1977] представляют собой некоторые «сильные пятна», которые, однако, играют разную роль в распространении разрыва землетрясения (рис. 1).

Asperities в первоначальной модели [Kanamori, Stewart, 1978] представляют собой «прочные, напряженные» пятна, окруженные областями, где напряжение частично сбрасывается в межсейсмический период форшоками и событиями медленного скольжения. В окрестности этих пятен величина косейсмического смещения максимальна, а коэффициент сейсмической эффективности близок к единице

. (1)

В выражении (1) , – сейсмический момент, *G* – модуль сдвига, *u* – вектор косейсмического смещения, *Sf* – площадь разрыва, *vp* – скорость смещения плиты под действием тектонических сил…..

**Постановка расчетов и полученные результаты**

Осуществлялось численное моделирование процесса сдвигового деформирования шероховатых контактов скальных поверхностей. Для проведения численных расчетов использовался двумерный программный комплекс [Архипов и др., 2003], разработанный на основе лагранжева численного метода «Тензор». Расчеты выполнены в плоской постановке (рис. 2, а–с) ….

**Выводы**

1. Стартуя на участке скоростного разупрочнения («asperity»), разрыв распространяется по напряженному тектоническому разлому до участка, обладающего свойствами скоростного упрочнения. Это может быть область либо с пониженными значениями эффективных напряжений нормальных к плоскости разлома, либо выполненная иным геоматериалом.

2. Величина реализованного в ходе динамической подвижки сейсмического момента *M0* определяется характерным размером области разлома, вовлеченной в движение, то есть расположением относительно точки старта разрыва участков скоростного упрочнения – барьеров, в то время как изменение скорости реализации момента во времени  зависит от количества и взаимного расположения участков скоростного разупрочнения («asperities»).

*Работы проводились при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00869) и в рамках государственного задания ИДГ РАН (проект № 0146-2014-0008).*

**Литература**

*Архипов В.Н., Борисов В.А., Будков А.М. и др*. (инициалы после фамилии, курсив) Механическое действие ядерного взрыва. М. : Физматлит, 2003. – 550 с.

*Анисимов С.В., Мареев Е.А.* Аэроэлектрические структуры в атмосфере // Доклады академии наук. 2000. Т. 371. № 1. С. 101–104. (интервал между страницами – короткое тире, без пробелов)

*Горбунова Э.М. и др*Реакция подземных вод на прохождение сейсмических волн от землетрясений на примере ГФО «Михнево» // Динамические процессы в геосферах. Вып. 7. ИДГ РАН. М. : ГЕОС. 2015. С. 60–67

*Иванов А.А., Сидоров В.В., Козлов Б.Б.* Реакция подземных вод на прохождение сейсмических волн от землетрясений на примере ГФО «Михнево». В сб. тр. «Триггерные эффекты в геосистемах»: материалы IV международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах», 1-4 июня 2017 г., Москва. М. : ГЕОС. С. 10–20.

*Dieterich, J.H.* Modeling of Rock Friction: 1. (1979) Experimental results and constitutive equations // J. Geophys. Res. V. 84. P. 2161–2168. (публикации в зарубежных изданиях размещаются после отечественных и также в алфавитном порядке)