

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ В УПРУГО-ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

Физической основой теории очага является представление о землетрясении как о разрушении определенного объема напряженного материала Земли. Это происходит в зонах активных разломов. Такое мнение общепризнано, хотя и имеются отличные друг от друга точки зрения на детали процесса.

Разработка теоретических основ прогноза землетрясений во многом зависит от наших знаний о механизме и стадиях разрушения больших объемов материала земной коры, результатом которых является формирование разломов или их активизация. Прямыми геологическими методами изучить подобное явление практически чрезвычайно трудно из-за громадной длительности развития крупных геологических разломов, оцениваемой в сотни и тысячи лет, а нередко и более (на два - четыре порядка).

Лабораторные эксперименты могут позволить в "ускоренном темпе" промоделировать образование крупного разлома и выделить те особенности его развития на отдельных временных этапах, которые связаны с перестройками внутренней структуры дизъюнктивной зоны, выделением упругой энергии и локализацией мест концентрации напряжений. На первой стадии исследований необходимо было: 1. определить ширину областей активного динамического влияния разломов, или другими словами, оценить объемы зоны подготовки очага землетрясения в зависимости от морфологогенетического типа моделируемых разломов (надвигов, срезов, сбросов, сдвигов), материала модели и ее линейных размеров, а также скорости нагружения; 2. выделить структурные стадии развития разлома; 3. изучить динамику поля напряжений и 4. установить закономерности акустической эмиссии, отражающей характер выделения упругой энергии на различных стадиях развития моделируемой магистральной трещины.

Принимая во внимание, что крупные разломы земной коры развиваются по законам деформирования упруго-вязкого тела Максвелла и исходя из требований условий подобия (Шерман, 1977, 1984), во всех экспериментах в качестве модельного материала использовалась бурая глина, вязкость которой варьировалась от 10^4 до 10^8 Па·с. В целом подобие с натурой и пересчет ряда параметров эксперимен-

та на природные структуры и реальную длительность процессов осуществлялись по критерию $\rho g L T / \eta = \text{const}^X$, практически совпадающему с критерием Рейнольдса.

Проведенные комплексы экспериментов позволили установить, что область подготовки магистрального разрыва, совпадающая с областью активного динамического влияния разломов, непостоянна и зависит от способа нагружения, толщины деформируемого слоя, вязкости материала и скорости деформирования (Шерман, Борняков, Буддо, 1983). Это означает, что в сейсмических областях с разным режимом геотектонического развития сейсмоактивные сбросы, надвиги, сдвиги и др. даже при прочих равных условиях будут иметь не одинаковые формы и объемы областей подготовки сейсмического события (рис. I.а). Эксперименты позволяют оценить примерные размеры и формы областей накопления напряжений. Предложены эмпирические уравнения, описывающие взаимосвязи упомянутых параметров.

Экспериментально установлены этапы развития магистральной трещины. При переходе от этапа к этапу изменяется внутренняя структура области, вовлеченной в деформацию в связи с направленным ее развитием от множества мелких трещин к единому магистральному разрыву. Происходит ранговая перестройка внутренней структуры области подготовки разрыва, в ходе которой увеличивается количество направлений разрывов в пределах системы и их длина. Анализ кривых "нагрузка-деформация" показывает, что их скачкообразные изменения согласуются с ранговыми перестройками внутренней структуры магистрального разрыва (рис. I.б). Кривая "нагрузка-деформация" в едином временном масштабе сопоставлена с аппроксимирующей кривой распределения плотности импульсов акустической эмиссии. Наблюдается соответствие распределения плотности импульсов со стадиями развития магистрального разрыва, отраженными характерными изменениями кривой нагрузки. Метод акустической эмиссии впервые применен при изучении деформации и разрушения упруго-вязкой (упруго-вязко-пластичной) среды.

Для изучения динамики полей сдвиговых деформаций и напряжений на свободной поверхности и непосредственно внутри моделей использована имеющаяся (Михайлова, 1971) и разработана специальная методика. Представленные в изолиниях диаграммы показывают, что по-

^X ρ - плотность материала; η - вязкость материала; L - линейные размеры; T - время; g - ускорение силы тяжести.

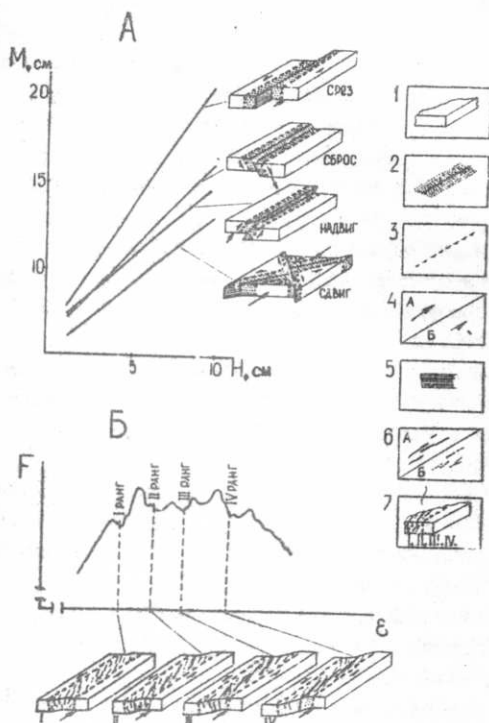


Рис.1. а) Изменение ширины M области подготовки магистрального разрыва в зависимости от толщины деформируемого слоя H при различных способах нагружения. б) Скачкообразные изменения кривой "нагрузка F - деформация ϵ ", соответствующие ранговым перестройкам трещиноватости в области подготовки магистрального разрыва при деформации среза. Условные обозначения: I - модель; 2 - магистральный разрыв и область его подготовки; 3 - границы области подготовки магистрального разрыва; 4 - направления действия нагрузки (А) и перемещения крыла разрыва (Б); 5 - плоскость сместителя магистрального разрыва; 6 - трещины, развивающиеся (А) и закончившие развитие (Б); 7 - фрагменты процесса развития области подготовки магистрального разрыва, соответствующие моментам развития трещин I, II, III и IV рангов.

ля деформаций и напряжений на свободной поверхности и внутри моделей имеют сложную дифференцированную структуру (Борняков, 1981; Буддо, Бабичев, 1984). Установлена неравномерность и асимметрия распределения касательных напряжений в сечении вкрест простирающегося зарождающегося магистрального разрыва. По эмпирическим данным получены формулы распределения скоростей деформаций и касательных напряжений в материале модели для начальной пликвативной стадии формирования среза.

По изменению структуры поля скоростей сдвига обнаружены явления миграции поля максимальных касательных напряжений из крыла в крыло образующегося разлома и из его приосевой части к поверхности. Миграция имеет колебательный характер, а ее характеристики изменяются в соответствии со стадиями развития магистрального разрыва и скоростями деформирования модели. Выдвинуто предположение о наличии подобных процессов в земной коре при формировании зон крупных сейсмоактивных разломов. Миграция максимумов поля напряжений выражается в "маятниковом эффекте" сейсмических событий, сопряженных с единым глубинным разломом.

Комплексный анализ проведенных экспериментальных работ позволяет сделать следующие выводы.

1. Сейсмический процесс и акт землетрясения, отражающие зарождение, развитие и распад некоторой деструктивной области в земной коре, можно изучать на лабораторных моделях, используя упруго-вязкие и упруго-вязко-пластичные среды. Моделирование на подобных материалах позволит ввести в сейсмический эксперимент факторы времени, нелинейные законы распределения напряжений в области подготовки магистральной трещины и глубже понять причины дискретного излучения упругой энергии при равномерном нагружении. Это существенно дополнит известные данные о моделировании очагов землетрясений на упругих средах (Шамина, 1981).

2. Области подготовки магистральной трещины различны и зависят от ее морфологогенетической характеристики, толщины модели и скорости ее деформирования. Зоны сейсмической опасности крупных разломов будут не одинаковы у сдвигов, надвигов и сбросов и, дополнительно, во многом будут определяться существующим геодинамическим режимом региона.

3. Сбор информации по прогностическим предвестникам землетрясений необходимо производить в пределах областей динамического влияния крупных сейсмоактивных разломов.

Литература

Борняков С.А. Тектонофизический анализ процесса формирования трансформной зоны в упруго-вязкой модели. - В кн.: Проблемы разломной тектоники. Новосибирск: Наука, 1981, с.26-44.

Буддо В.Ю., Бабичев А.А. Динамика полей деформаций и напряжений внутри зоны среза (результаты моделирования). Докл. АН СССР, 1984 (в печати).

Михайлова А.В. Методика количественной оценки перемещений и напряжений в пластических непрозрачных моделях. - В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., Наука, 1971, с.38-48.

Соболев Г.А. Предвестники землетрясения и условия лабораторного эксперимента. Изв.АН СССР, Физ.Земли, 1980, № 12, с.30-43.

Шамина О.Г. Модельные исследования физики очага землетрясения. М., Наука, 1981, 192 с.

Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск, Наука, 1977, 102 с.

Шерман С.И. Эксперимент в геотектонике и теория подобия. Геология и геофизика, № 3, 1984.

Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск, Наука, 1983, 112 с.

Е.В. ПИННЕКЕР

Институт земной коры СО АН СССР

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

За последние 10-15 лет в практике прогноза землетрясений стали широко использоваться показатели режима подземных вод. По своей природе они разделяются на гидрогеохимические (изменения ионно-солевого, микрокомпонентного, газового и изотопного состава подземных вод), гидрогеодинамические (вариации дебита, уровня или напора) и гидрогеотермические (колебания температур). Воздействие сейсмического события на режим подземных вод сейчас не вызывает сомнения, хотя механизм образования очага землетрясения и его роль в формировании гидрогеохимических, гид-