

## ДЕФОРМАЦИЯ ИЗГИБА И ТРЕНИЕ – ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

*Уткин В.И., Юрков А.К.* – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** Показано, что единственно возможным процессом накопления упругой энергии для трещиновато-пористой среды является деформация изгиба, при котором в деформируемой среде возникают зоны сжатия и растяжения. Такие зоны надежно выделяются по данным радонового мониторинга. Неустойчивое межблочное трение определяет в основном многообразие ситуаций, возникающих при подготовке и реализации тектонических землетрясений. Комбинация мониторинга радона и сейсмических исследований позволяют более надежно исследовать процесс подготовки тектонического землетрясения.

*Деформация, изгиб, трение, массив, подготовка землетрясения.*

## DEFORMATION OF THE BEND AND FRICTION – THE BASIC PROCESSES BY PREPARATION OF TECTONIC EARTHQUAKE

*Outkin V.I., Jurkov A.K.* – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

**Abstract.** It is shown that the only possible process of elastic energy accumulation for the cracking-porous environment is bending deformation, which causes zones of compression and stretch to appear in deformed environment. This zones can be is reliably allocated according to radon monitoring. Unstable interlock friction basically defines variety of situations arising at preparation and realization of tectonic earthquakes. The combination of radon monitoring and micro seismic researches is more reliable indicator of tectonic earthquake preparation.

Многолетние исследования геофизических предвестников тектонических землетрясений с целью обеспечения среднесрочного (месяцы) и краткосрочного (сутки) прогноза тектонического события в настоящее время практически не обеспечивают надежное решение основной задачи прогноза: определение координат, времени и энергии ожидаемого события. Широкий спектр геофизических предвестников (сейсмические, гидродинамические, деформационные, геохимические, термические, гравитационные, электромагнитные), а так же спутниковые технологии дистанционного зондирования (например, аномальное повышение температуры поверхности в эпицентральной области Измитского землетрясения – 17 августа 1999 г.), не позволяют определить точное время, место и энергию события. Основная проблема состоит в том, что в различных сейсмоактивных регионах данные предвестники работают различно. Это обычно связывают со сложностью организации очага землетрясения, условий его зарождения и развития (Завьялов, 2006). На основе этого

заклучения делается вывод, что прогноз землетрясений, как и прогноз погоды, по своей природе имеет вероятностный характер (Соболев, 1993; Соболев, Пономарев, 2003). На основе этого заключения разрабатываются различные статистические алгоритмы как долгосрочного, так и среднесрочного прогноза землетрясений, которые в отдельных сейсмоактивных областях дают достаточно надежные результаты. Подробные обзоры статистических методов прогноза представлены в (Соболев, 1993; Завьялов, 2006).

Необходимо отметить, что многолетние сейсмологические наблюдения позволили составить карты сейсмической опасности практически по всем сейсмоактивным регионам планеты. Анализ выделенных сейсмоактивных поясов показывает, что все разрушительные землетрясения связаны с движениями литосферных плит и крупными литосферными блоками внутри их. Поскольку движение литосферных плит происходит в масштабе геологического времени, можно утверждать, во-первых, что в ближай-

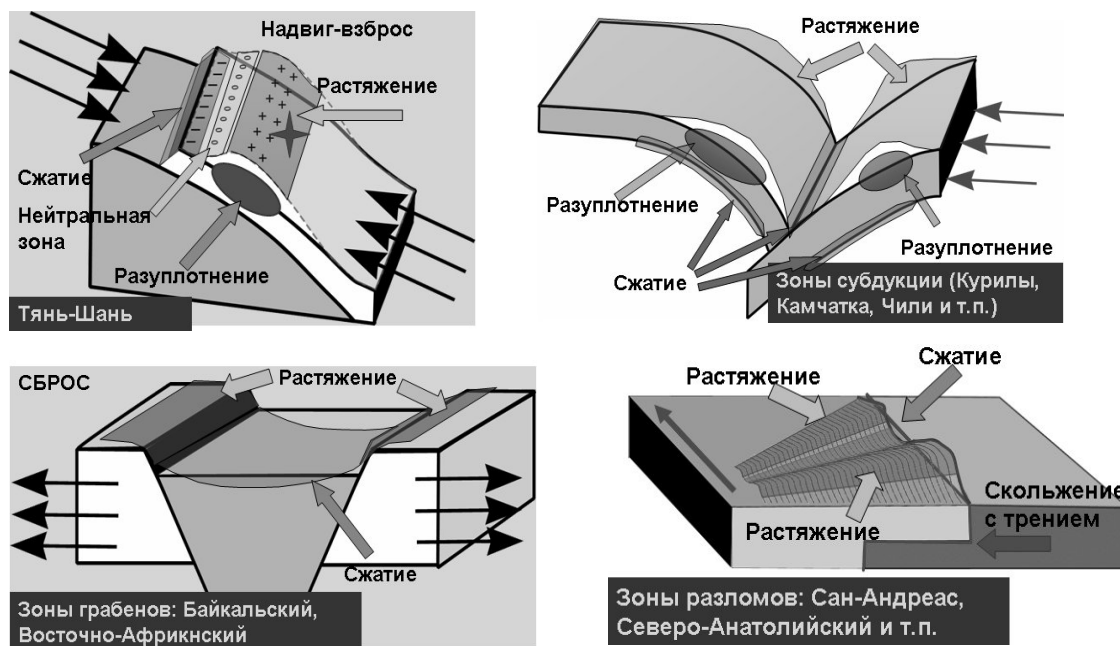
шие 100-200 лет никаких новейших аномальных сейсмоактивных регионов, вероятнее всего, не будет наблюдаться; во-вторых, должны наблюдаться некоторые общие закономерности подготовки землетрясений. Основные процессы взаимодействия литосферных блоков, связанные с подготовкой землетрясения, можно свести к трем моделям: сжатие, сдвиг, растяжение (Теркот Д., Шуберт Дж., 1985). Представленные модели описывают практически все возможные варианты движений. Первая модель, наиболее распространенная, соответствует зонам субдукции и зонам надвига: Тянь-Шань, Южная Америка, Индонезия, Япония, Камчатка и т.д. Вторая – характерна для сдвиговых движений: разломы Сан-Андреас (США) и Северо-Анатолийский (Турция). Третья – соотносится к вновь образующимся рифтовым зонам: Африканская, Мертвое море, Афганская, Байкало-Алтайская и т.п.

Более детально поведение массива в различных геодинамических условиях представлено на схемах рис. 1.

Общим процессом для всех моделей является торможение движения блоков за счет трения, что неминуемо вызывает де-

формацию блоков. Особенностью этих деформационных явлений является то, что блоки *не разрушаются*, поскольку прочностные свойства блоков существенно выше, чем у зоны скольжения, но испытывают *изгибовые* деформации. Особенностью деформации такого вида является, во-первых, то, что этот вид деформации является *единственным, который может накопить упругую энергию без разрушения трещиновато-пористой среды*, каковыми являются литосферные блоки. Во-вторых, накопление упругой энергии будет происходить практически без видимых перемещений блока, накапливающего энергию, что сразу же исключает из рассмотрения такой широко используемый предвестник, как регистрация расстояния между базовыми точками. Например, анализ данных GPS-мониторинга, проведенного на Северном Тянь-Шане, показал, что все крупнейшие землетрясения Северного Тянь-Шаня находятся в зоне наименьших «вековых» движений по данным GPS (Уткин и др., 2006).

Геофизическими параметрами чувствительности к деформации изгиба, могут быть: электрическое сопротивление мас-



**Рис. 1.** Геодинамические модели деформационных процессов при подготовке тектонических землетрясений: а) надвиг-взброс (типично для Тянь-Шаня, Аляски); б) зоны субдукции (Курилы, Камчатка, Чили и др.); в) скольжение с трением (разломы Сан-Андреас, Северо-Анатолийский и т.п.); г) сброс (зоны грабенов – Байкальский, Восточно-Африканский)

сива деформирующихся пород, изменение состояния подземных вод (изменение уровня, наличие аномальных перетоков воды по водоносным пластам и т.п.). Однако, как показывает наш опыт и опыт других исследователей, наиболее чувствительным параметром к изменению напряженно-деформированного состояния массива является изменение выхода (эксхалиция) естественного радиоактивного газа радона из поверхностных частей массива горных пород.

Сопоставление данных деформографа и радонового монитора, расположенных в одной точке измерений (Северный Тянь-Шань), показало, что при подготовке тектонического землетрясения относительная деформации массива составляет  $n \times 10^{-8}$ , а выход радона из массива может изменяться на 200–250% (Уткин и др., 2006).

Наиболее полные данные по радоновому мониторингу были получены King Chi-Yu (King Chi-Yu, Walkingstick, Basler, 1991) в результате проведения уникального эксперимента, проведенного Геологической службой США. Регистрация радона осуществлялась в 60-ти точках вдоль известной

системы разломов Сан-Андреас-Калаверас-Хайворд. Разница в скоростях движения литосферных плит в этом районе достигает 38 мм/год: Тихоокеанская плита двигается на северо-запад со скоростью 49 мм/год; Северо-американская – в том же направлении, но со скоростью 11 мм/год (рис. 2). Эти движения соответствуют предложенной модели типа (в) (рис. 1). Очевидно, что при этом Тихоокеанская плита будет испытывать при ее торможении за счет внутреннего трения сильнейшие изгибовые деформации, которые неминуемо будут отражены в поле эксхалиции радона.

На рис. 2. показаны зоны изменения выхода радона перед землетрясением по профилю, на который спроектированы относительные изменения выхода радона по отдельным станциям. Видно, что наблюдаются явно выраженные зоны сжатия и растяжения, связанные с изгибовой деформацией верхней части литосферной плиты. Всего было исследовано 25 событий и во всех случаях наблюдалась аналогичная картина (Уткин, Юрков, 1998), причем эпицентры всех событий всегда находи-

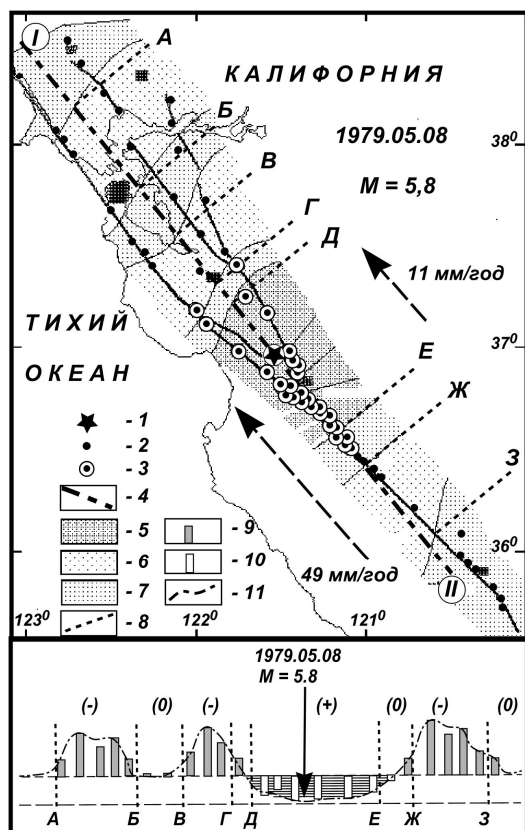


Рис. 2. Результаты обработки данных (Уткин и др., 2006) для события 5 августа 1979 года:

1 – эпицентр землетрясения; 2 – станции радонового мониторинга; 3 – станции, в области которых фиксировалось землетрясение; 4 – профиль интерпретации; 5 и 6 – зоны понижения и повышения выхода радона перед землетрясением, соответственно; 7 – «нейтральные» зоны; 8 – границы зон; 9 и 10 – относительное повышение и понижение выхода радона по отдельным станциям (проекция на профиль), соответственно; 11 – усредненная кривая изменения эксхалиции радона перед землетрясением

лись в пределах зоны сжатия (или в зоне уменьшения выхода радона). Характерные изменения выхода радона (усредненная кривая 11, рис. 2) показывают достаточно сложную геометрию деформаций. Кроме того, на основании этой кривой можно объяснить многие неудачные попытки использования радона как предвестника тектонического землетрясения.

Другим не менее важным процессом при подготовке землетрясения следует признать внутреннее (или межблоковое) трение, которое сопровождает движение литосферных плит. Исследование характера межблокового трения, проведенное С.Н. Scholz (Christopher, Scholz, 1998), выявило некоторые важные особенности этого процесса. Во-первых, трение стимулирует деформационные процессы, которые могут привести с нашей точки зрения к накоплению упругой энергии за счет изгибовых деформаций. Во-вторых, в реальных условиях может наблюдаться неустойчивость сил трения и возникать достаточно сложные процессы замедления и ускорения движения литосферных плит. Этот вывод, полученный в (Christopher, Scholz, 1998), очень хорошо объясняет возникновение нескольких последовательных землетрясений, эпицентры которых расположены практически в одной точке.

Предлагаемая модель может объяснить многие закономерности процесса подготовки тектонического землетрясения и подлежит, по нашему мнению, дальнейшему изучению.

Работа выполнена при поддержке Программы 16 Президиума РАН.

#### **Литература**

- Завьялов А.Д.* Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006. 254 с.
- Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.
- Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
- Теркот Д., Шуберт Дж.* Геодинамика. Геологические применения физики сплошных сред. М.: Мир, 1985. 374с.
- Уткин В.И., Юрков А.К.* Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясений // Докл. РАН. 1998. Т. 358, № 5. С. 675-680.
- Уткин В.И., Мамыров Э., Кан М.В., Кривашеев С.В., Юрков А.К., Косякин И.И., Шишканов А.Н.* Мониторинг радона при изучении процесса подготовки тектонического землетрясения на Северном Тянь-Шане // Физика Земли. 2006. №9. С. 145-155.
- King Chi-Yu, Walkingstick C., Basler D.* Radon in soil gas along active faults in Central California. Field studies of radon in rocks, soil and water. / Gunderson L. and Wanty R. editors / U.S. Geological surveys bulletin. 1991. P. 77-133.
- Christopher H. Scholz* Earthquakes and friction laws // *Nature*. 391. 1998. P. 37-42.