

# СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАК ОТРАЖЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ

С.И. Шерман

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

В последние годы детально анализируются различные варианты общности процессов разломообразования и сейсмичности [Белоусов и др., 1997; Гзовский, 1963, 1975; Жалковский, Мучная, 2000; Ружич, 1997; Садовский, Писаренко, 1991; Соболев, 1993; Соболев, Тюнкин, 2000; Уломов, 1991, 1999; и мн. др.], в совокупности определяющие современную деструкцию литосферы. Рассмотрим некоторые физические закономерности тектонической и сейсмической деструкции литосферы.

Исследования распределения разломов по степени количественной распространенности и рангам длин, проведенные в регионах с различными режимами геодинамического развития [Шерман, 1977; Шерман, Семинский, Борняков и др., 1991, 1992, 1994; Ружич, 1997], показывают, что между обсуждаемыми параметрами существует тесная количественная связь, описываемая уравнениями:

$$L = A/N^b \quad (1), \quad \text{и} \quad N = A'/L^{1/b} \quad (2)$$

где  $L$  – длина разломов,  $N$  – их количество;  $A$ ,  $A'$  – коэффициенты пропорциональности, зависящие от масштаба исследований;  $b$  – коэффициент, определяемый физическими свойствами коры (или литосферы) и численно равный  $\approx 0.4$ . Степень тектонической активизации и предшествующая геологическая история развития регионов отражаются лишь на общей фоновой плотности разломов и совершенно не влияют на закономерности связей  $N(L)$  или  $L(N)$ .

Регулярность сетки разломов находит логическое продолжение и в формировании разломно-блоковой структуры литосферы, на что обратил внимание М.А. Садовский [1979]. Исследования в регионах с различными режимами геодинамического развития [Шерман, Семинский, Черемных, 1998] показали, что структурная организация их блоковой тектоники описывается уравнением:

$$L_{\text{бл.}} = A / N_{\text{бл.}}^c \quad (3),$$

где  $L_{\text{бл.}}$  – средний размер блока, численно равный  $L_{\text{бл.}} = \sqrt{S_{\text{бл.}}}$ ;  $S_{\text{бл.}}$  – площадь блока;  $N_{\text{бл.}}$  – количество блоков;  $c \approx 0.22 - 0.35$ .

Разломно-блоковая тектоника определяет тектоническую деструкцию литосферы. Из уравнений 1 и 3 следует, что деструкция литосферы при разных геодина-

мических режимах и полях напряжений описывается общим математическим выражением:

$$L = A / N^c, \quad (4)$$

где  $L$  – размер разрывных или блоковых структур;  $N$  – их количество;  $A$  – свободный член, зависящий от размеров структур;  $c$  – степенной показатель, изменяющийся от 0,4 до 0,22 при переходе от разломов к блокам.

Параметры в уравнении 4, отражающие общую закономерность тектонической деструкции литосферы, можно сопоставлять с другими параметрами деструктивного сейсмического процесса – энергией землетрясений и их количеством. Связь между этими параметрами характеризуется графиком повторяемости землетрясений:

$$\lg N_j = a - \gamma \lg E \quad (5) \quad \text{или} \quad N_j = a' / E^\gamma \quad (5a),$$

где  $E$  – энергия землетрясений;  $N_j$  – их количество;  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности, незначительно изменяющийся в разных сейсмически активных регионах.

Известно, что угловой коэффициент графика повторяемости землетрясений достаточно хорошо отражает сейсмическую характеристику любого района и представляет собой относительно постоянную величину. То же следует и для отношения количества разрывов и их длины. Можно качественно сопоставить уравнения 2 и 5а, приняв, что  $N$  – количество разломов и сейсмических событий,  $a$  – размеры разломов и в то же время величина, пропорциональная энергии сейсмического события  $E$ . Коэффициент  $\gamma$  в уравнении 5а для большинства сейсмоактивных районов мира независимо от типа напряженного состояния литосферы определяется величиной  $\approx 0.5$ . Коэффициент  $b$  в уравнении 2 определяется величиной  $\approx 0.4$  и не зависит от режимов геодинамического развития территорий. Из подобного сопоставления вытекает, что  $L \approx E$  (6). Соотношение 6 получено вне связи с конкретным сейсмическим регионом. Это означает, что процессы разломообразования и сейсмичности отражают общие закономерности деструкции литосферы и характеризуются парагенетической связью. Первичным можно считать первый или второй процесс. Иными словами, землетрясения могут происходить в результате подвижек по имеющимся разрывам в литосфере или в результате образования разрывов в относительно ненарушенной среде. Сейсмологические данные свидетельствуют о том, что для сильных землетрясений первичен разлом, подвижка по которому провоцирует сейсмическое событие. Слабые землетрясения генерируются короткими разрывами, с которым синхронен сейсмический эффект.

На базе совершенно других материалов М.В.Гзовский [1963] показал, что энергия землетрясений  $E$  пропорциональна третьей степени длины разлома  $L^3$  и квадрату величины градиента средней скорости  $V$  тектонических движений:

$$E \approx \omega L^3 |\text{grad} V|^2 \quad (7),$$

где  $\omega$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от физических свойств горных пород и типа деформаций земной коры. Разломы, как призматические геологические тела, имеют линейные размеры по простиранию и глубине проникновения во много сотен и даже тысяч раз большие, чем по ширине зоны дробления. Отсюда объем разлома как “разрушенного тела” пропорционален главным образом его длине, и во вторую очередь – глубине  $H$ , максимальный размер которой  $H \leq L$  [Шерман и др., 1992]. То есть  $E \approx L^3$ . Таким образом, исследования М.В.Гзовского не противоречат представлениям, что различия в энергии землетрясений,

возникающих в одном и том же районе, определяются в основном длиной разломов. Соответственно, наличие связи между числом и энергией землетрясений М.В.Гзовским [1963] было предложено считать результатом того, что существует связь между числом и величиной разломов, вызывающих землетрясения.

С.Д. Виноградов [1962] установил, что при разрушении образца горной породы в лабораторных условиях логарифм числа упругих импульсов, возникающих при образовании отдельных трещин, связан той же линейной зависимостью с логарифмом энергии импульсов. Коэффициент пропорциональности в этом случае близок к 0.4. Изложенные разные способы подхода к одним и тем же зависимостям и идентичность результатов указывают на общность процессов разломообразования и сейсмичности как факторов деструкции литосферы.

Деструкция литосферы может быть выражена размерами разрушаемых пространств. На примере хорошо изученной Байкальской рифтовой зоны проведено сопоставление фрактальной размерности разломов и эпицентрального поля землетрясений [Шерман, Гладков, 1998, 1999; Sherman, Gladkov, 1999]. Степень деструкции литосферы, связанная с областями динамического влияния разломов, оценивалась по фрактальной размерности  $D_f$ , рассчитываемой по уравнению:

$$D_f = \lg M_i / \lg (R_i) \quad (8),$$

где  $M_i$  и  $R_i$  - соответственно число разрушенных клеток и размер системы в единицах размера пикселей, используемых при  $i$ -итерации. Принимая во внимание, что разломы имеют нелинейно-пропорциональную длине область динамического влияния, в пределах которой происходит разрушение среды [Шерман и др., 1983], разрушенным считался пиксел, один или более процентов площади которого занимали области активного динамического влияния разломов - наиболее интенсивно разрушенные околоразломные пространства. Область активного динамического влияния разломов определялась как 0.006 длины разлома  $L$  [Шерман, Борняков, Буддо, 1983]. Таким образом, была получена фрактальность разрушенных разломами площадей, что при нашем способе вычисления соответствует и фрактальности собственно разломов. Для Байкальской рифтовой зоны она оценивается величиной  $D_f = 1.68$ .

Несколько сложнее представляется фрактальный анализ сейсмичности. Для корректного сопоставления с разломной тектоникой пространственная структура сейсмичности, согласованная с площадями деструкции, может быть описана фрактальной размерностью, если использовать размеры очаговой зоны эпицентров, попадающих в границы пикселей. При этом разрушенным пикселом следует считать тот, у которого более 1% площади заняты разрушенными круговыми очаговыми пространствами, радиусы которых  $R_{km}$  в зависимости от магнитуды  $M$  рассчитываются по Ю.В.Ризниченко [1985]:

$$\lg R_{km} = -1.671 + 0.422 M, \quad (9)$$

Площади проекций очагов землетрясений  $S$  на земной поверхности определялись по уравнению:

$$S = \pi R^2 \quad (9a).$$

Фрактальная размерность эпицентрального поля, выраженная через площади очагов землетрясений, оценивается величиной  $D_f = 1.68$ . В пределах размеров пикселей от 5 км до 150 км сохраняется подобие в размерах разрушаемых сейсмическими событиями площадей и, следовательно, сохраняется определенный порядок в сейсмической деструкции. Расчет площадей деструкции, связанных с одной

стороны с разломной тектоникой, с другой - с очагами землетрясений, позволяет сопоставлять эти два условно независимых процесса [Шерман, Гладков, 1998; Sherman, Gladkov, 1999].

Фрактальные размерности деструкции земной коры в областях активного динамического влияния разломов и в границах очагов землетрясений в пределах точности расчетов сопоставимы по значениям. Это означает, что пространственные структуры сетки разломов и эпицентрального поля землетрясений идентичны. Сейсмический процесс в Байкальской рифтовой зоне во всем объеме выборки от слабых до сильных (редкие события) землетрясений пространственно контролируется разломной тектоникой. Оба процесса, связанные причинно-следственной связью, находятся в целом в сбалансированном и, следуя терминологии А.В. Солоненко и др. [Solonenko and el., 1996], сформировавшемся состоянии. Для современного геодинамического режима БРЗ известная сеть разломов и ее активизированная часть с одной стороны и сейсмический процесс с другой сбалансированы и находятся в относительном динамическом равновесии. Это равновесие устойчиво для пределов, внутри которых каждый из процессов характеризуется относительно закономерным течением событий.

Таким образом, процессы разломообразования и сейсмичности фрактальны и это их обоюдное качество отражает более общие свойства геодинамических процессов – их автомодельность [Садовский, 1986]. Формы взаимосвязи количества разломов и их длин, длины разломов и энергии землетрясений, энергии землетрясений и их количества, идентичная фрактальность в распределении площадей тектонической и сейсмической деструкции свидетельствуют о единой физической сути общего процесса современной деструкции литосферы, определяющего формирование ее разломно-блоковой структуры и сейсмичности.

## Литература

1. Белоусов Т.П., Куртасов С.В., Мухамедиев Ш.А. Делимость земной коры и палеонапряжения в сейсмоактивных и нефтегазоносных регионах Земли. Москва, ОИФЗ РАН, 1997, 324 с.
2. Виноградов С.Д. Акустический метод в исследованиях по физике землетрясений. Москва, "Наука", 1989, 177 с.
3. Гзовский М.В. Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Часть 3и4. Изд. АН СССР, Москва, 1963. 544 с.
4. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. Москва, "Наука", 1975, 536 с.
5. Жолковский Н.Д., Мучная В.И. О природе афтершоков и физический процесс в очагах землетрясений. "Геология и геофизика", 2000, т.41, №2, с.255-267.
6. Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. Москва. "Наука". 1976. С.9 – 27.
7. Ружич В.В. Сеймотектоническая деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1997, 144 с.
8. Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов // Вестн. АН СССР. 1986, №8, с. 3-11.
9. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. Москва, "Наука", 1987, 100 с.

10. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. Москва. "Наука".1991. 96с.
11. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993, 314с.
12. Соболев Г.А., Тюнкин Ю.С. Анализ процесса выделения энергии при формировании магистрального разрыва в лабораторных исследованиях горных пород перед сильным землетрясением. // "Физика Земли",2000, №2, с.44-55.
13. Уломов В.И. Районирование сейсмической опасности //Маскан. Ташкент, 1991, №9, с.5-8.
14. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии. // "Вулканология и сейсмология",1999, №4-5, с.6-12.
15. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск, "Наука" Сиб. отд., 1977, 102 с.
16. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск, "Наука СО", 1983, 94 с.
17. Шерман С.И., Гладков А.С. Новые данные о фрактальных размерностях разломов и сейсмичности в Байкальской рифтовой зоне //Докл. РАН, 1998, т.361, №5 с.685-688.
18. Шерман С.И., Гладков А.С. Анализ фрактальных размерностей разломов и сейсмичности в Байкальской рифтовой зоне // Геология и геофизика, 1999, т.40, №1 с.28-35.
19. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск, "Наука" Сиб. отд. 1991, 262 с.
20. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения. Новосибирск, "Наука" Сиб. отд.,1992, 227 с.
21. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия. Новосибирск, "Наука" Сиб. отд.,1994, 262 с.
22. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Черемных А.В. Деструктивные зоны и разломно-блоковые структуры Центральной Азии. "Тихоокеанская геология", 1999, том18, №2, с.41-53.
23. Mandelbrot B.B. The fractal Geometry of Nature. New York, 1982, 121 p.
24. Sherman S.I., Gladkov A.S. Fractals in studies of faulting and seismicity in the Baikal rift zone. Tectonophysics, 1999 (in press).
25. Solonenko A.V., Solonenko N.V., Melnikova V.I. and Shteiman E.A. The analysis of the spatial-temporal structure of seismicity in the Baikal rift zone // V.Shenk (ed.), Earthquake Hazard and Risk. Kluwer Academic Publisher. Netherlands, 1996, p. 49-62.