

Литература

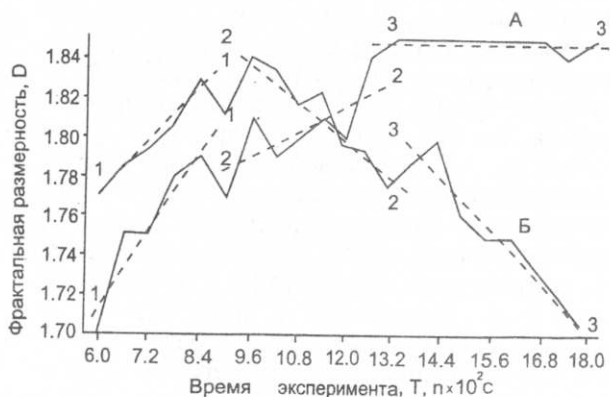
1. Шемпелев А.Г. О глубинном выражении Главного Кавказского надвига // Геотектоника. 1978. № 6. С. 75–86.
2. Шемпелев А.Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным // Геол. журнал. 1982. № 4. С. 97–108.
3. Хаин В.Е. Сопоставление фиксированных и мобилистских моделей тектонического развития Большого Кавказа // Геотектоника. 1982. № 4. С. 3–13.
4. Хаин В.Е. Региональная геотектоника: Альпийский средиземноморский пояс. М.: Недра, 1984. 344 с.
5. Егоркин А.В. Содержание кремнезема в консолидированной коре территории России // Разведка и охрана недр. 2000. № 2. С. 15–17.

С. И. Шерман¹, С. А. Борняков

Эволюция деструктивных зон сдвига в литосфере: физическое моделирование и его интерпретация на базе мезомеханики

На примере результатов физического моделирования формирования деструктивных зон сдвига (ДЗС) в упруговязкопластичной модели литосферы показана правомерность использования современных представлений мезомеханики структурно-неоднородных сред [1] в сочетании с синергетикой [2, 3] для анализа структурной эволюции крупных сдвиговых зон литосферы. Эксперименты проведены на установке «Разлом», с использованием упруговязкопластичного модельного материала, свойства которого хорошо изучены [4], при полном соблюдении условий подобия. Основным критерием–комплексом подобия явилось уравнение $\rho q L T / \eta = \text{Const}$. [5], ρ – плотность; q – ускорение; L – линейные размеры; T – время; η – вязкость. Основные параметры выходных данных по условиям подобия находились в следующем соотношении: $t_{\text{мин. опыта}}$ соответствовала $\sim 10^5$ – 10^6 лет природной летоисчисления; 1 см модели соответствовал ~ 10 км на местности. Скорости нагружения модели изменялись от 0,5 до 50 см/мин. Наблюдения за эволюцией пластических и разрывных деформаций проводились непрерывно, документальная фоторегистрация проводилась с интервалом 30 с. Впоследствии с каждой фотографии составлялись две структурные схемы систем разрывов. Первая из них учитывала все разрывы, сформировавшиеся на момент регистрации, вторая – только те из них, которые к моменту документации сохраняли активность. Для каждого типа структурных схем в пределах выбранной стационарной прямоугольной площадки впоследствии рассчитывалась фрактальная размерность (D) с использованием стандартной процедуры, реализованной в компьютерной программе [6].

¹ Институт земной коры (ИЗК) СО РАН, Иркутск, Россия.



Изменение фрактальной размерности D во времени T для всей совокупности разрывов в деструктивной зоне сдвига (А) и только для активных разрывов (Б)

Динамика развития интраструктуры ДЗС, наблюдаемая в моделях, подчиняется фундаментальной закономерности – стадийной эволюции [7]. Стадийность развития интраструктуры ДЗС, выделенная по структурным признакам на качественном уровне, находит подтверждение и в характере поведения во времени характеризующей её фрактальной размерности. Результаты фрактального анализа сведены на одном графике (рисунок). Общие тенденции поведения представленных фрактальных кривых неодинаковы. Если для первой из них, характеризующей весь комплекс разрывных элементов в ДЗС, без разделения их по степени активности, D постепенно возрастает от некоторого минимума до асимптотического приближения (см. рисунок, А), то для второй кратковременное первоначальное увеличение D со временем сменяется её уменьшением (см. рисунок, Б). Несмотря на различия в общих тенденциях направленности изменений во времени, фрактальные кривые имеют частные сходства. Если в пределах кривых провести линии усреднения (линии 1–1, 2–2, 3–3, см. рисунок), то отчётливо видно, что каждая из них разделяется на три части, соответствующие последовательным временным интервалам, в пределах которых изменение D подчиняется некоторой общей закономерности.

Границы этих временных интервалов совпадают с временными границами выделенных нами по структурным признакам стадий деструктивного процесса.

Как и большинство развивающихся геологических объектов, ДЗС представляет собой открытую неравновесную динамическую систему. Универсальной особенностью таких систем является их прохождение, по мере эволюции, через серию стационарных состояний [8]. Выявленная нами стадийность развития деструктивного процесса в сдвиговой зоне представляет собой не что иное, как последовательную, иерархическую смену стационарных состояний. Эволюция структурных преобразований ДЗС может быть представлена следующим образом.

В начале первой стадии в ДЗС зарождаются многочисленные прямолинейные непротяженные разрывы, пространственное распределение которых хаотично. Каждый разрыв развивается независимо от других как самостоятельный структурный элемент. Количество и плотность разрывов постепенно возрастают и при некотором пороговом их значении, при наличии достаточного уровня накопленной внутренней энергии, срабатывает механизм самоорганизации, порождающий диссипативную разрывную систему. С момента возникновения диссипативной системы развитие всех активных разрывов становится строго согласованным, когерентным, что, в свою очередь, является источником порядка в интраструктуре ДЗС. Деструктивный процесс в ней переходит в квазистационарное состояние. Его функциональной особенностью является реализация принципа Ле Шателье-Брауна, в соответствии с которым неравновесная система стремится не выйти из стационарного состояния путем такой организации своей интраструктуры, которая сводила бы к минимуму внешнее воздействие на неё [8–10]. Только в упорядоченном состоянии, свойственном диссипативным структурам, интраструктура ДЗС способна оказывать максимальное противодействие внешнему деформационному влиянию. В нашем случае показателем степени упорядоченности интраструктуры ДЗС служит фрактальная размерность сети разрывов, максимальные значения которой отвечают их более упорядоченному состоянию (см. рисунок).

По мере накопления внутренней энергии под действием продолжающейся деформации, интраструктура ДЗС достигает предела устойчивости и выходит из стационарного состояния первой стадии. Происходит разрушение существовавшей диссипативной структуры, и деструктивный процесс через быструю перестройку старой структуры переходит на новую, вторую, стадию эволюции. При этом выбор пути эволюции деструктивного процесса определяется принципом минимума производства энтропии. В рамках второй стадии после кратковременной разупорядоченности интраструктуры (на что указывает снижение значений фрактальных размерностей, см. рисунок), деструктивный процесс снова входит в стационарное состояние с образованием нового порядка, новой диссипативной структуры, время существования которой также лимитировано.

При неизменных граничных условиях эксперимента деструктивный процесс неизбежно приближается к очередной структурной перестройке и переходу в третью, заключительную стадию эволюции с повторениями на качественно новом иерархическом уровне. В понятиях мезомеханики [1; и др.] для геодинамической интерпретации [11] это означает, что эволюция ДЗС претерпевает три качественных уровня трансформации: микро-, мезо- и макро-. Каждый из них представлен своим определяющим комплексом структур, характеризующих уровень. Микроуровень характеризуют одиночные разрывы (одного, двух преобладающих направлений) с простой морфологией сместителей. По мере деформации разрывы развиваются, удлиняются и увеличивается их количество. На общей площади модели отчетливо выделяется область динамического влияния формирующейся зоны сдвига.

Фрактальная размерность, достигая относительного максимума, начинает снижаться, что указывает на кардинальную перестройку и снижение упорядоченности внутренней структуры ДЗС. Система перешла на новый качественный уровень своего развития – мезоуровень. Для него характерно наличие системы протяженных разрывов со сложной морфологией, расчленяющих ДЗС на узкие длинные блоки. Анализ фрактальных размерностей разрывов показывает их относительный рост по мере эволюции мезоуровня. Затем ситуация повторяется, трансформируясь в новый – макроуровень. Развивается сложнопостроенный магистральный разрыв, разделяющий ДЗС на два структурированных блока. Примерами могут явиться хорошо известные фланги Байкальской рифтовой зоны, разлом Сан-Андреас, Африкано-Сирийский трансформный разлом, контролирующий Мертвое море и некоторые другие. И на макроуровне D изменяется от минимальной величины до относительно максимальной, естественно, с флуктуациями между крайними значениями.

Наряду с фрактальной размерностью, мерой упорядоченного состояния внутренней структуры ДЗС является теснота взаимосвязи между различными количественными параметрами. Как известно, между параметрами разломов установлены определенные количественные соотношения [7]. Однако теснота связи между ними, определяемая по полевым данным, часто варьирует. Для выяснения причины нами промоделирована взаимосвязь амплитуды смещения разрывов a с их длиной L на единичных площадках экспериментальной модели. По экспериментальным данным, изучена корреляция между a и L и ее изменение во времени. Из корреляционного анализа следует, что теснота связей между амплитудой смещения и длиной разрыва непостоянна и зависит от степени упорядоченности интраструктуры ДЗС. Её более упорядоченные состояния свойственны временным интервалам существования диссипативных систем, тогда как вне их связи характеризуются относительной разбалансированностью.

Приведенные результаты физического моделирования показывают, что ДЗС являются сложными структурно-динамическими системами с хорошо выраженными фрактальными свойствами. С позиций синергетики их стадийная эволюция есть следствие многоуровневых процессов самоорганизации [11]. Именно самоорганизация является тем функциональным свойством интраструктуры ДЗС, обеспечивающим возникновение упорядоченного строения её интраструктуры, проявляющегося в росте значений D и повышении R в формализованной связи между амплитудой смещения и длиной разрывов.

Исходя из граничных условий экспериментов и критериев подобия при переходе на реальное геологическое состояние среды, можно констатировать, что при непрерывном геодинамическом процессе формирования и эволюция сдвиговых зон литосферы происходит примерно в течение 20 млн лет, из которых на первые два уровня уходит около 15 млн лет, при перерыве между активными стадиями активизации около 1,0 млн лет. Природные размеры таких зон по простиранию составляют сотни ки-

лометров, их ширина и область динамического влияния – первые десятки километров. С изложенным представлением эволюции ДЗС хорошо коррелирует сейсмичность с вариациями плотностей эпицентров в пространстве и во времени.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 00-15-98574.

Литература

1. Панин В.Е. Основы физической мезомеханики // Физическая мезомеханика. 1998. Т.1, №1. С. 5–22.
2. Хакен Г. Синергетика. М: Мир, 1980. 404 с.
3. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. San Francisco. Freeman, 1982. 208 p.
4. Семинский К.Ж. Структурно-механические свойства глинистых паст как модельного материала в тектонических экспериментах // Иркутск: ИЗК СО АН СССР. 1986. 130 с. (Деп. в ВИНТИ 13.08.86., №5762 - В86).
5. Шерман С.И. Физический эксперимент в тектонике и теория подобия // Геология и геофизика. 1984. № 3. С. 8–18.
6. Шерман С.И., Гладков А.С. Новые данные о фрактальной размерности разломов и сейсмичности в Байкальской рифтовой зоне // ДАН. 1998. Т.361. №5. С.685–688.
7. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. В 3 т. – Новосибирск: Наука, 1991. Т. 1. 262 с.; 1992. Т.2. 261с.; 1994. Т.3. 272 с.
8. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 231 с.
9. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 327 с.
10. Климонтович Ю.Л. Проблемы статистической теории открытых систем // Успехи физ. наук. 1989. Т. 158, вып. 1. С. 59–74.
11. Борняков С.А., Шерман С.И. Многоуровневая самоорганизация деструктивного процесса в сдвиговой зоне (по результатам физического моделирования) // Физическая мезомеханика. 2000. Т. 3, № 4. С. 82–91.

Г.А.Шмонов¹

О некорректности использования палеомагнитных данных при анализе движений литосферных плит

Вопрос о некорректности использования палеомагнитных данных при анализе движения литосферных плит уже рассматривался автором в небольших работах [3–6]. Данная работа является дальнейшим развитием высказанных в них идей. В настоящее время обрабатываются материалы наблюдений более 130 обсерваторий и станций мира за элементами магнитного поля Земли с конца XIX в. по 1978–1980 годы [1]. Предварительные результаты сводятся к следующему.

1. Подтверждается наличие двух северных магнитных полюсов, разнесенных друг от друга на расстояние около 3 тыс. км. На рис. 1 показано положение виртуальных северных магнитных полюсов в 1978–1980 гг., рассчитанных по применяемым в палеомагнитологии формулам, основной из которых является формула – $\text{tg } \varphi = 0,5 \text{ tg } I$, где φ – полярная широта точки наблюдения, а I – магнитное склонение. Часть полюсов нанесена расчетно-графическим способом. На рис. 1,а – только виртуальные по-

¹ Российский федеральный геологический фонд (Росгеолфонд) МПР РФ, Москва, Россия.