

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ СОВРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

А.В. Черемных

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Для экспериментального воспроизведения современного напряженного состояния верхней части земной коры и оценки согласованности с ним сейсмичности проведено оптическое моделирование полей напряжений Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), обусловленных сетью наиболее крупных активных в кайнозой разломов. Применены различные условия нагружения моделей, которые реализуют деформацию растяжения в центральной части БРЗ. Экспериментальное исследование, выполненное при разных вариантах действия внешних сил, показало черты сходства и отличия в распределении напряжений по отношению к заданной в моделях консервативной сетке разрывов. Особенности распространения в БРЗ сильных землетрясений могут быть объяснены взаимодействием пассивного и активного механизмов рифтогенеза.

Разрывы, поля напряжений, оптическое моделирование, деформация растяжения, сейсмичность.

ACTIVE STRESS FIELD IN THE BAIKAL RIFT ZONE: LABORATORY MODELING

A.V. Cheremnykh

The stress field in the upper crust of the Baikal rift produced by the system of large faults, active in the Cenozoic, has been simulated in laboratory optical models and compared to the seismicity pattern. Different loading regimes in three sets of models provided extension strain in the central part of the rift and corresponded to impacts from different external forces. Stress distributions in the three model sets correlated to the superposed fault pattern showed features of similarity and difference. The distribution of large earthquakes in the Baikal rift can be accounted for in terms of the interplay of passive and active rifting mechanisms.

Rupture, stress field, optical modeling, extension strain, seismicity

ВВЕДЕНИЕ

Результаты изучения напряженного состояния Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) геолого-структурными и сейсмологическими методами показывают сложную пространственно-временную картину распределения полей напряжений в её пределах на протяжении кайнозоя [1—5 и др.]. Установлено, что на современном этапе центральная часть БРЗ развивается в условиях растяжения, а её ЮЗ и СВ фланги — левостороннего сдвига [1].

До недавнего времени в вопросе о генетической природе БРЗ и её напряженного состояния доминировали две точки зрения. Первая из них принимала за энергетический источник рифтогенных процессов активный механизм, обусловленный подъемом и растеканием мантийного диапира [6], вторая связывала их с пассивным механизмом, порождаемым Индостанской коллизией [7]. По мере развития исследований и получения новой геолого-геофизической информации эти две на первый взгляд взаимоисключающие точки зрения постепенно выходили на путь компромисса, допуская их совместное действие [8, 9]. Последние результаты анализа землетрясений в БРЗ и в зоне субдукции Тихоокеанской плиты показывают отставание активизации сейсмичности по времени в первой от второй на 2—3 года [10], что позволяет говорить о тесной взаимосвязи этих двух пространственно разобщенных процессов и рассматривать движения Тихоокеанской плиты как третий энергетический источник, осложняющий действие двух первых, упомянутых выше.

В настоящей статье представлены результаты экспериментального исследования методом оптического моделирования природы современного напряженного состояния БРЗ. В моделях воспроизводились различные геодинамические обстановки, порождающие растяжение в центральной части БРЗ, и оценивалась степень согласованности напряженного состояния в моделях и характеристик современной сейсмичности региона.

ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Остановимся на особенностях напряженного состояния земной коры и условиях моделирования. Исследования напряженного состояния земной коры [11, 12] показывают, что на 95 % площади Земли в коре доминируют горизонтальные сжимающие напряжения с распределением величин $SH > Sh > Sv$, где SH — максимальное горизонтальное напряжение, Sh — минимальное напряжение в горизонтальной плоскости, Sv — вертикальное напряжение. Считается, что ориентировка горизонтальных напряжений

относительно постоянна для верхней части земной коры до глубин 20—25 км [13]. Режим горизонтального растяжения, при котором $S_v > S_H > S_h$, регистрируется в узких (километры—первые десятки километров) зонах срединно-океанических хребтов и континентальных рифтов. Относительно напряженного состояния БРЗ ситуация выглядит следующим образом. Растяжение характерно для центральной части БРЗ, а на ее флангах фиксируется сдвиговое поле напряжений, при котором, как и в предлагаемых моделях, $S_H > S_v > S_h$. Кроме того, новые данные о полях напряжений в зонах региональных разломов восточного побережья оз. Байкал [14], в центральной части БРЗ, свидетельствуют о близком значении максимальных (вертикальные) и средних (горизонтальные) сжимающих напряжений, что, по-видимому, приводит к переиндексации их осей. Это объясняет широкое распространение сдвиговых деформаций в зонах разломов региона. Таким образом, как на флангах, так и в центральной части Байкальского рифта в земной коре наблюдаются обстановки, при которых максимальные и минимальные сжимающие напряжения часто находятся в горизонтальной плоскости, что делает возможным аппроксимировать сложное напряженно-деформированное состояние БРЗ предлагаемыми моделями.

Метод оптического моделирования, традиционно используемый для изучения полей напряжений, позволяет решать прямую и обратную задачи. В первом случае, имея информацию о характере действующего поля напряжений и находящихся в нем основных систем разломов, в модели из оптически-активного материала можно получить картину распределения региональных и локальных полей напряжений. Во втором случае, при наличии информации об основных системах разломов и связанных с ними полях напряжений, можно опытным путем восстановить породившее их исходное поле напряжений. В данной работе использован второй подход.

Исследование проведено на оборудовании лаборатории тектонофизики Института земной коры. Установка для моделирования состоит из полярископа-поляриметра ПКС-250 и деформационного стола, позволяющего прикладывать к моделям различные виды нагрузки. Для моделирования использовались студни оптически-активного материала — желатина. Свойства желатиновых студней детально охарактеризованы в работе Д.Н. Осокиной [15]. Там же обсуждаются условия подобия, предложенные М.В. Гзовским, и показано, что для студней с концентрацией желатина 10—30 % они соблюдаются, поэтому главным требованием было единообразие при изготовлении моделей в каждой серии опытов.

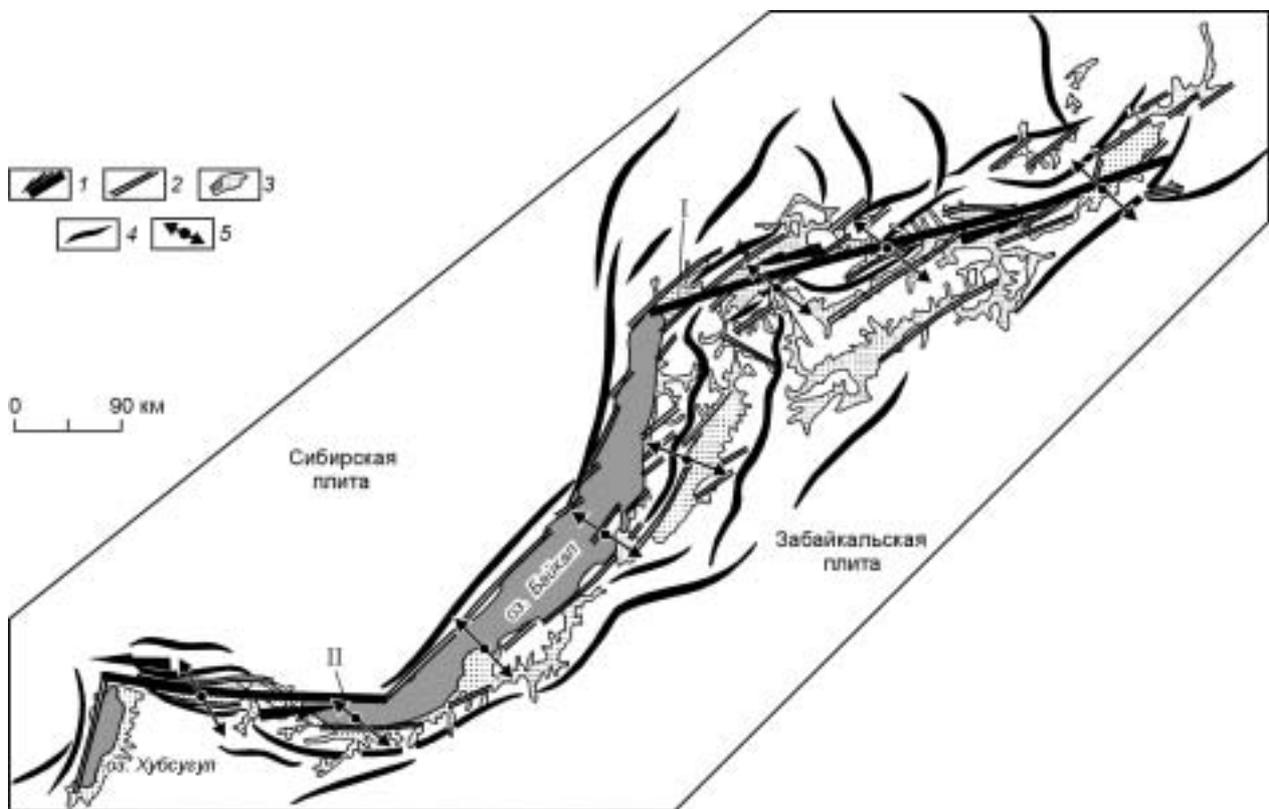
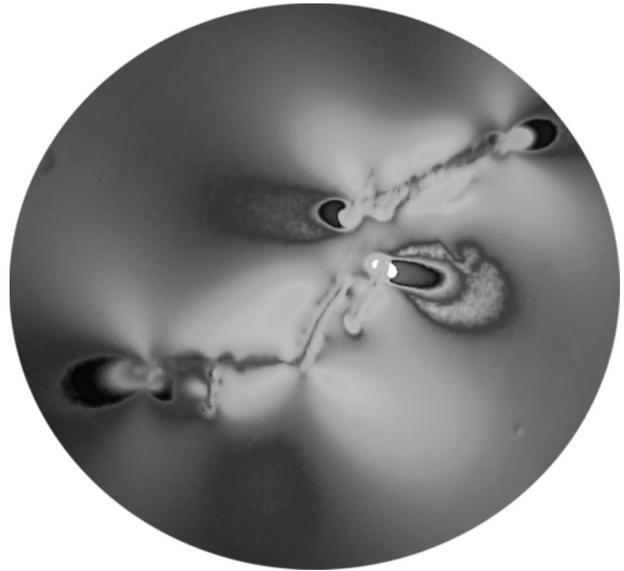


Рис. 1. Схема главных неоструктурных элементов Байкальской рифтовой зоны [16].

1 — трансформные разломы (I — Муйско-Чарский, II — Тункинский) и направления смещения блоков; 2 — основные глубинные и региональные разломы, активизированные в кайнозое; 3 — рифтовые впадины; 4 — оси горных сооружений; 5 — векторы главных растягивающих напряжений.

Рис. 2. Распределение в модели изохром (фотография эксперимента).

Оттенки серого цвета — изохромы, т. е. линии одинаковой окраски, которая соответствует различной величине τ_{\max} .



Все модели приготавливались по единой методике. Желатин расплавлялся на водяной бане, заливался в специальную форму (размер — $0,05 \times 0,3 \times 0,45$ м) для застывания выдерживался в ней 24 ч. Моделирование осуществлялось через 30 мин после извлечения модели из формы. Непосредственно перед проведением эксперимента производилась тарировка модели, в процессе которой определялось соотношение деформации и разности хода лучей (цвета модели). Это было необходимо для дальнейшего выявления участков относительного изменения величины максимальных касательных напряжений (τ_{\max}),

вызванного внесением в модель неоднородностей в виде разрывов. За фоновое значение τ_{\max} принят интервал разности хода лучей в пределах от 500 до 560 мкм, т. е. границы распространения в нагруженных моделях красного цвета при скрещенных поляризаторе и анализаторе.

После проведения тарировки на модель переносилась схема БРЗ, включающая сеть основных глубинных и региональных разломов, активизированных в кайнозой (рис. 1). Согласно требованиям методики [17], в моделях вначале воспроизводились крупномасштабные глубинные разломы и изучалось их влияние на поле напряжений, затем аналогичная операция повторялась для менее протяженных региональных разломов. Все разрывы наносились в виде вертикальных прорезей на всю толщину модели со смазкой их поверхностей водой, что продиктовано особенностями метода. В ходе эксперимента картина распределения в моделях цветов (изохромы и изоклины), необходимая для изучения напряженного состояния, фиксировалась цифровым фотоаппаратом с последующей компьютерной обработкой полученных результатов (рис. 2).

Выбор способов нагружения моделей определялся необходимостью реализации растягивающих напряжений в центральной части БРЗ, характерных для современного этапа её развития. Было проведено три серии экспериментов, в каждой из которых необходимое растяжение достигалось:

- сжатием (рис. 3,А) (имитация действия Индостанской коллизии);
- растяжением (см. рис. 3,Б) (имитация действия подлитосферного потока аномальной мантии);

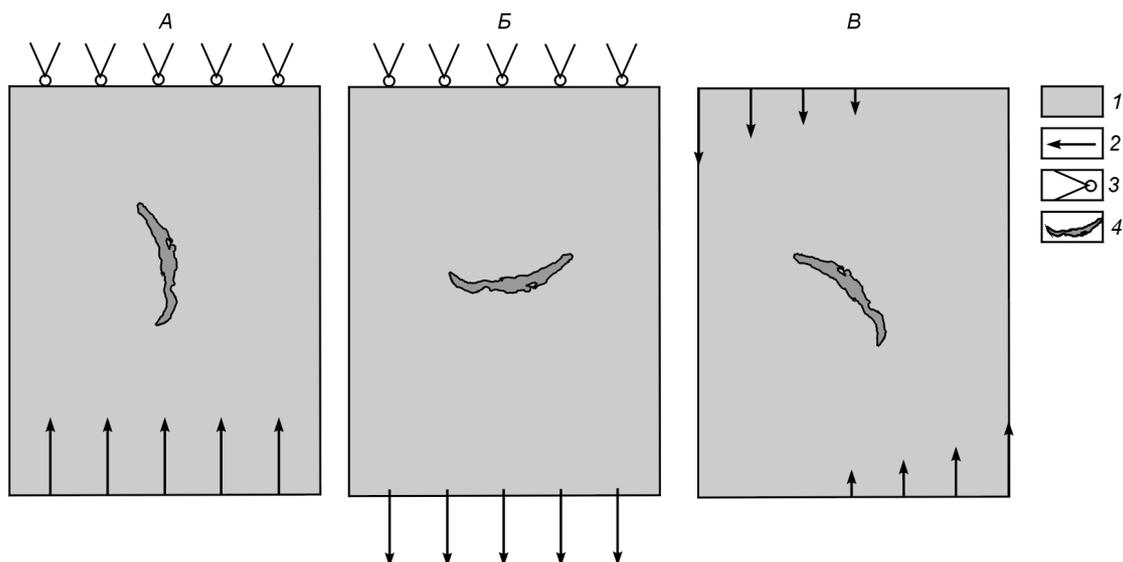


Рис. 3. Схемы деформирования моделей.

1 — модель; 2 — направление действия нагрузки; 3 — упор с возможностью бокового смещения; 4 — контур оз. Байкал. А, Б, В — пояснения см. в тексте.

— левосторонним сдвигом (см. рис. 3,В) (имитация поворота Амурской плиты под действием одного или нескольких энергетических источников).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные эксперименты показали, что все выбранные способы приложения к моделям нагрузки обеспечивают растяжение в центральной части БРЗ в модельном варианте, но при этом генерируют отличающиеся от серии к серии напряженные состояния на её флангах. Так, в первой серии экспериментов наблюдается левосторонний сдвиг со сжатием (транспрессия) по разрыву, имитирующему юго-западный (ЮЗ) фланг и сдвиг с левосторонней компонентой смещения на северо-восточном (СВ) фланге. Во второй серии экспериментов ЮЗ фланг в восточной части развивается в условиях растяжения, постепенно трансформирующегося в транстенсию в его западной части, а СВ фланг на всем своем протяжении развивается в условиях транстенсии. В третьей серии экспериментов весь ЮЗ фланг находится в условиях транстенсии с левосторонней сдвиговой компонентой смещения, а СВ фланг испытывает практически чистое растяжение. На основе анализа изоклин были восстановлены траектории главных нормальных (σ_{\max} — сжимающие и σ_{\min} — растягивающие) и касательных ($\tau_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$) напряжений в моделях (рис. 4). Сопоставление полученных схем показывает, что, несмотря на разницу в способах приложения нагрузки к моделям, траектории главных нормальных напряжений в них имеют близкое положение осей напряжений вблизи берегов разломов БРЗ.

Анализ схем пространственного распределения в моделях максимальных касательных напряжений (рис. 5) показывает, что их повышенные значения фиксируются на концах разломов, в местах резкого изменения их простирания и в разломных узлах, тогда как их пониженные значения характерны для спрямленных участков разломов. При этом, как показали эксперименты, основное влияние на изменение характера поля напряжений оказывают наиболее крупные разрывы, имитирующие глубинные разломы, а разрывы меньших рангов длины вносят в общую картину распределения напряжений лишь незначительные отклонения, либо почти не искажают её, попадая в зону влияния более протяженного разрыва.

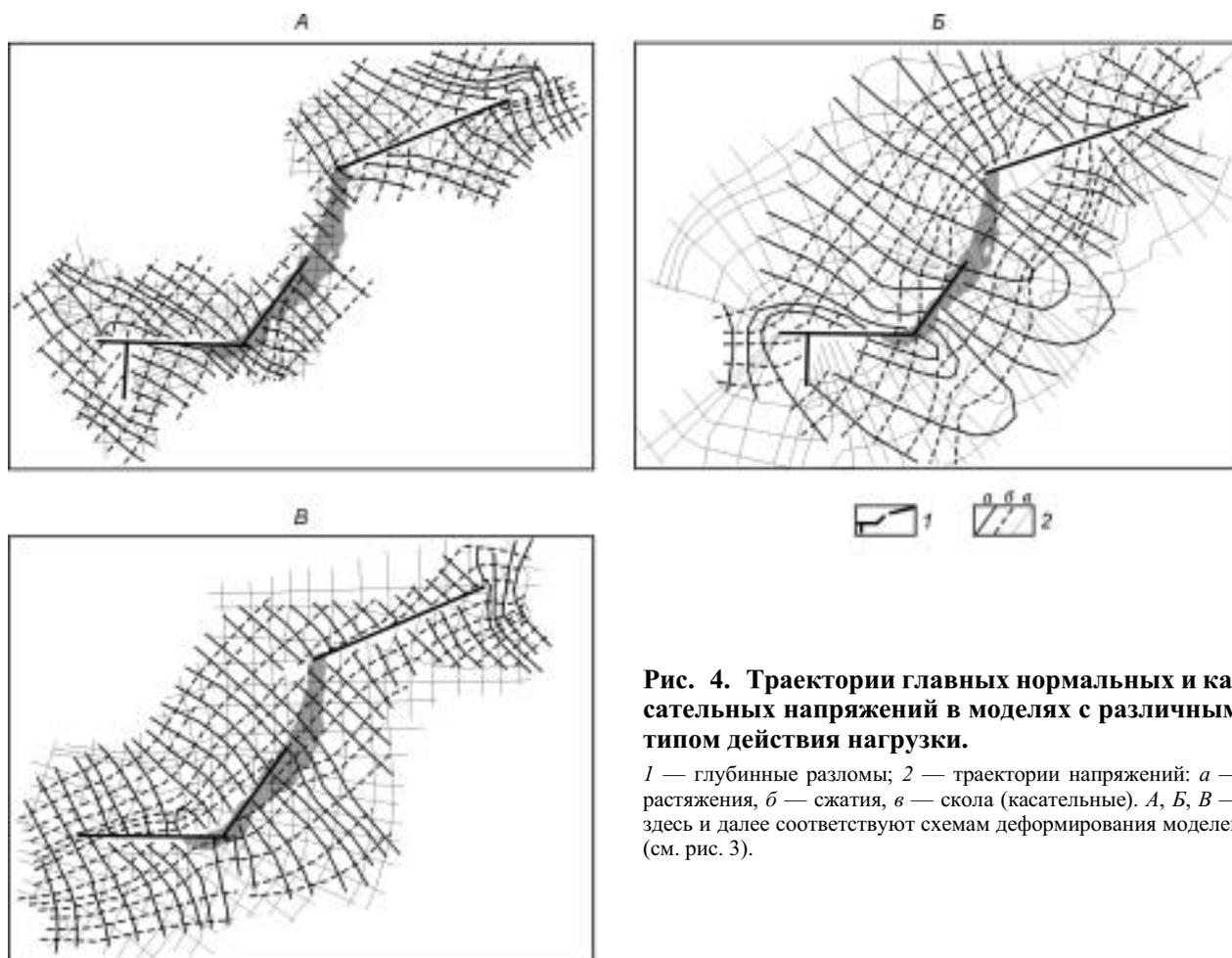


Рис. 4. Траектории главных нормальных и касательных напряжений в моделях с различным типом действия нагрузки.

1 — глубинные разломы; 2 — траектории напряжений: а — растяжения, б — сжатия, в — скола (касательные). А, Б, В — здесь и далее соответствуют схемам деформирования моделей (см. рис. 3).

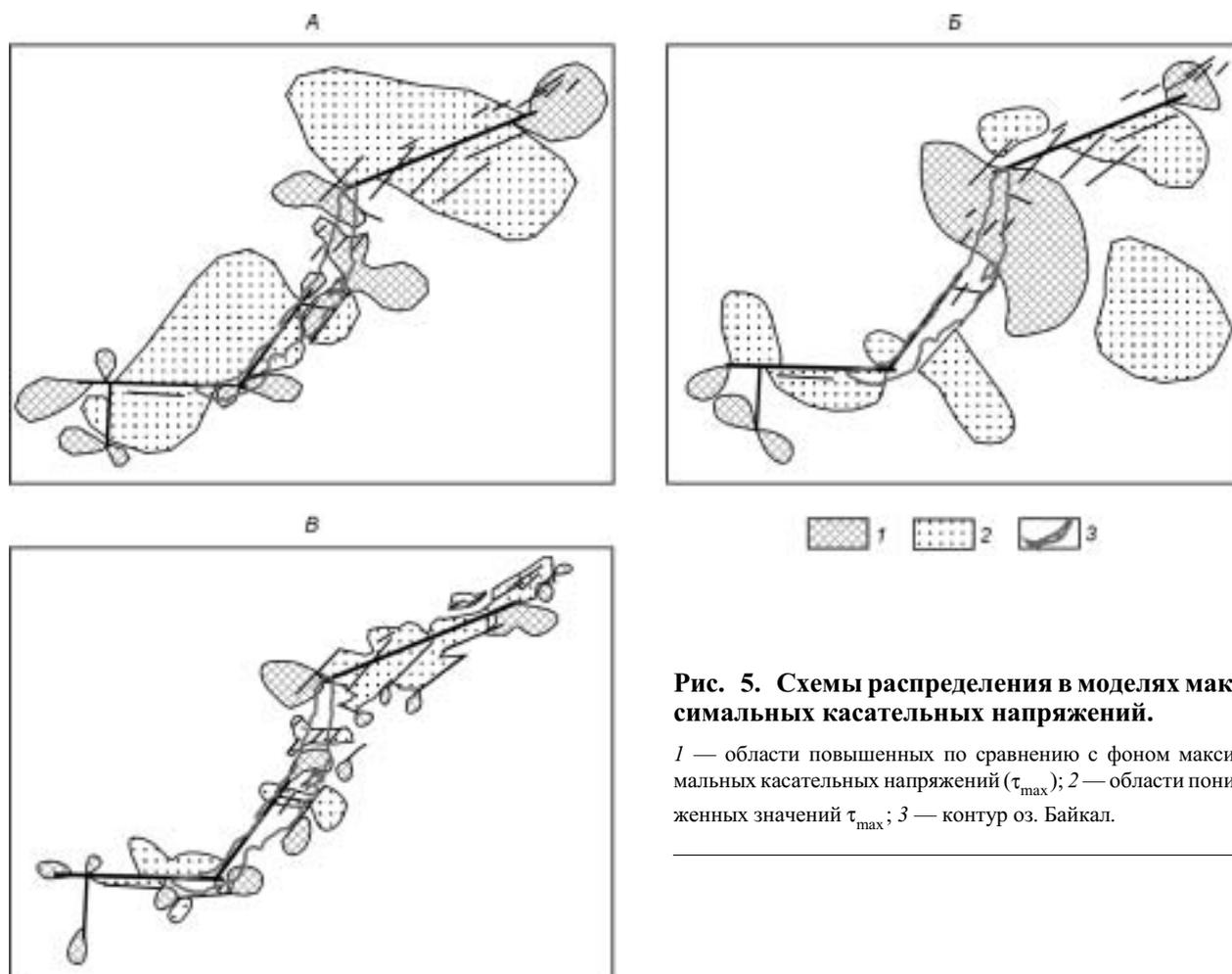


Рис. 5. Схемы распределения в моделях максимальных касательных напряжений.

1 — области повышенных по сравнению с фоном максимальных касательных напряжений (τ_{\max}); 2 — области пониженных значений τ_{\max} ; 3 — контур оз. Байкал.

Для оценки степени согласованности распределения напряжений в моделях с характеристиками современной деструкции земной коры и особенностями современного напряженного состояния БРЗ результаты моделирования были сопоставлены с плотностью эпицентров землетрясений [18] и механизмами наиболее сильных землетрясений БРЗ [5].

По мнению С.И. Шермана с соавторами [18], стабильно расположенные в БРЗ аномальные концентрации эпицентров сильных землетрясений могут отражать активно протекающий в литосфере деструктивный процесс. Нами были сопоставлены карта плотности эпицентров землетрясений из работы [18] и схемы распределения в моделях максимальных касательных напряжений. Сопоставление показало, что восьми районам, где плотность эпицентров землетрясений превышает две стандартные ошибки от среднего значения, при разных механизмах деформирования моделей соответствуют различные по интенсивности области τ_{\max} (см. рис. 4). Такие районы пространственно совпадают в моделях с участками повышенных или пониженных значений τ_{\max} , а также — фоновых значений (табл. 1). Сопоставление с

Таблица 1. Сопоставление результатов моделирования с максимумами плотности эпицентров землетрясений БРЗ

Серия экспериментов	Районы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	+	+	—	+	0	0	—	+
B	+	+	0	0	+	+	—	+
B	0	+	0	0	0	+	—	+

Примечание. Относительные значения τ_{\max} : + повышенные, — пониженные, 0 — фоновые в соответствующих максимумах плотности землетрясений, превышающих две стандартные ошибки от среднего фонового значения. Максимумы пронумерованы с ЮЗ на СВ.

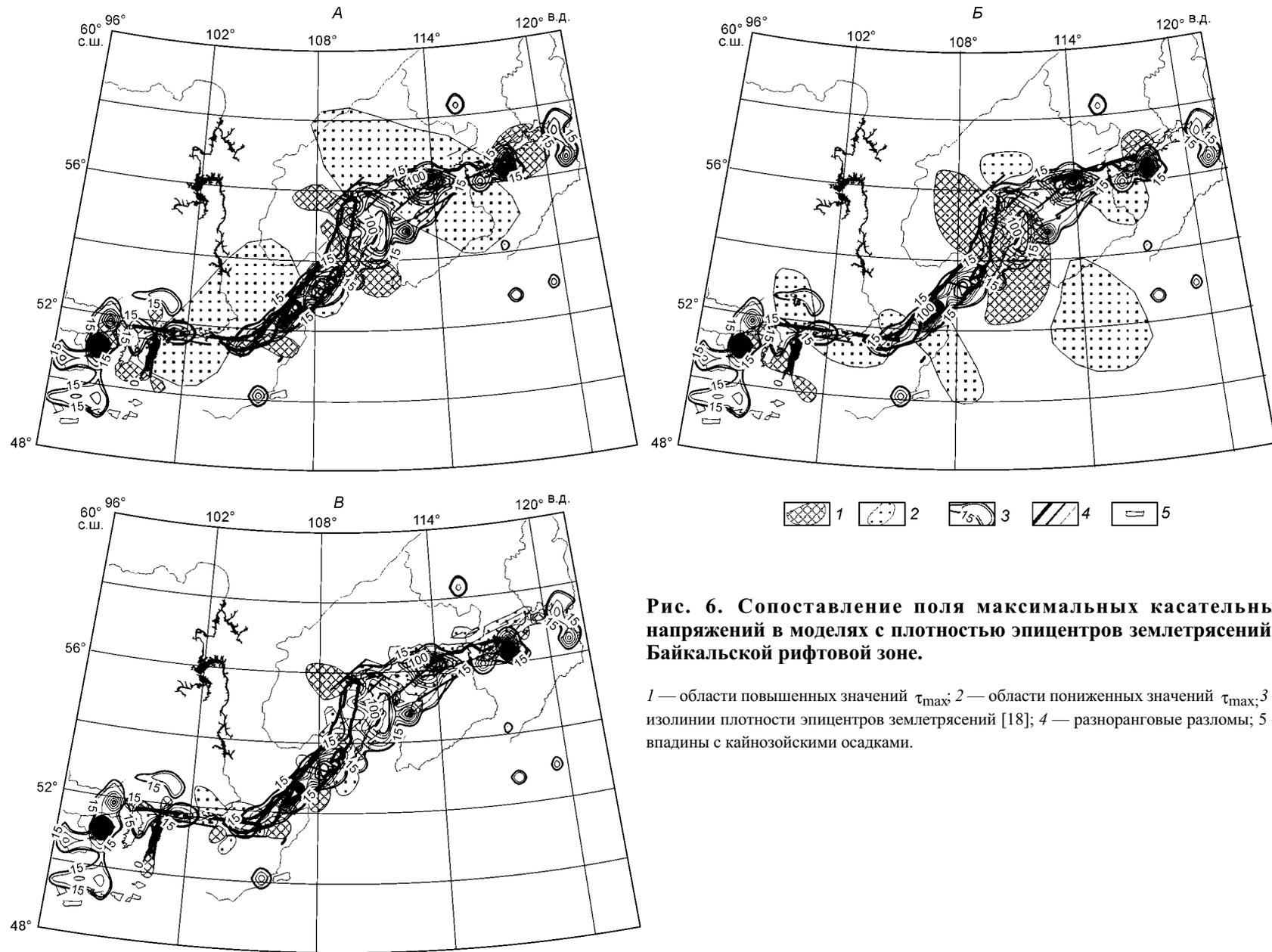


Рис. 6. Сопоставление поля максимальных касательных напряжений в моделях с плотностью эпицентров землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.

1 — области повышенных значений τ_{\max} ; 2 — области пониженных значений τ_{\max} ; 3 — изолинии плотности эпицентров землетрясений [18]; 4 — разноранговые разломы; 5 — впадины с кайнозойскими осадками.

Таблица 2.

**Сопоставление результатов моделирования
с механизмами очагов землетрясений БРЗ с $M \geq 5,5$**

Наиболее сильные инструментально зафиксированные землетрясения БРЗ*					Результаты моделирования	
Год	Землетрясение	Магнитуда	Глубина очага, км	Механизм очага	Вероятная модель	Относительные значения τ_{\max}
1950	Мондинское	7	20 ± 15	Левый сдвиг	<i>Б</i>	–
1957	Муйское	7,6	15 ± 15	Левый сдвиг со сбросом	<i>Б</i>	–
1959	Среднебайкальское	6,8	20 ± 10	Сброс	<i>А</i>	–
1961	Баргузинское	5,5	20 ± 10	Сброс	<i>А, Б, В</i>	+, +, –
1966	Южно-Байкальское	5,5	20 ± 10	Сбрососдвиг	<i>А</i>	+
1970	Байкальское	5,5	25 ± 5	Сдвиг	<i>А</i>	–
1970	Кодарское	5,5	20 ± 10	Взбрососдвиг	<i>А</i>	+
1994	Чарское	6,3	18 ± 3	Сброс	<i>Б</i>	+
1995	Тункинское	5,9	12 ± 5	Сбрососдвиг	<i>Б, В</i>	–
1995	Таксиминское	6,1	20 ± 4	Сброс	<i>Б, В</i>	–
1999	Южно-Байкальское-2	6	18 ± 3	Сброс	<i>А, В</i>	+
1999	Северобайкальское	6,1	19 ± 14	Сдвиг	<i>А, Б, В</i>	–, +, –

* Из работы В.И. Мельникова [5].

первой серией экспериментов (рис. 6,А) показало, что районы с высокой плотностью эпицентров землетрясений могут быть связаны с участками повышенных значений τ_{\max} (4 участка), с областями пониженных значений τ_{\max} (2 участка) и с фоновыми величинами τ_{\max} (2 участка). Для второй и третьей серий экспериментов эти соотношения распределились как 5:1:2 и 3:1:4 соответственно. Результаты проведенного сопоставления можно трактовать как косвенное свидетельство того, что растяжение в БРЗ на современном этапе развития региона в большей мере происходит за счет местного источника напряжений (активный рифтинг). Однако растяжение, вызванное сжатием литосферы в результате Индостанской коллизии (пассивный рифтинг) имеет лишь немногим меньшую вероятность. При этом напряженно-деформированное состояние в первой (А) и второй (Б) серии экспериментов взаимно дополняют друг друга на разных участках БРЗ, т. е. участкам с фоновым значением τ_{\max} в одной серии экспериментов соответствуют участки с отличными от фона значениями τ_{\max} в другой серии (см. табл. 1). Третий же механизм деформирования моделей (серия В) не имеет самостоятельного значения — сопоставление показывает меньшую вероятность связи очагов землетрясений с особенностями создаваемого им напряженно-деформированного состояния.

При сопоставлении результатов моделирования и механизмов очагов наиболее сильных землетрясений БРЗ [5] априори предполагалось, что очаги землетрясений непосредственно связаны с напряженным состоянием земной коры в окрестностях разломов. В связи с этим вероятность генетической связи каждого конкретного сильного землетрясения с тем или иным деформационным механизмом, воспроизведенным в моделях (серии экспериментов А, Б и В), определялась по трем критериям:

- соответствием типа подвижки в очаге напряженно-деформированному состоянию в моделях;
- близким положением нодальных плоскостей в очаге и траекторий τ_{\max} модели;
- наличием отличающихся от фонового значений τ_{\max} .

Проведенное сопоставление показало, что более удовлетворительное соответствие параметров сильных землетрясений модельным вариантам напряженного состояния отмечается в первых двух сериях (А и Б) экспериментов (рис. 7 и табл. 2). Третья серия экспериментов (серия В) характеризуется меньшей вероятностью. Последнее обстоятельство позволяет предполагать, что деформационный механизм, воспроизведенный в третьей серии экспериментов, имеет гораздо меньшее влияние на современное напряженное состояние и сейсмичность в БРЗ.

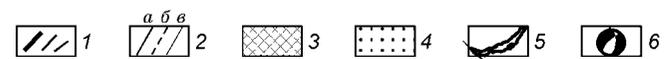
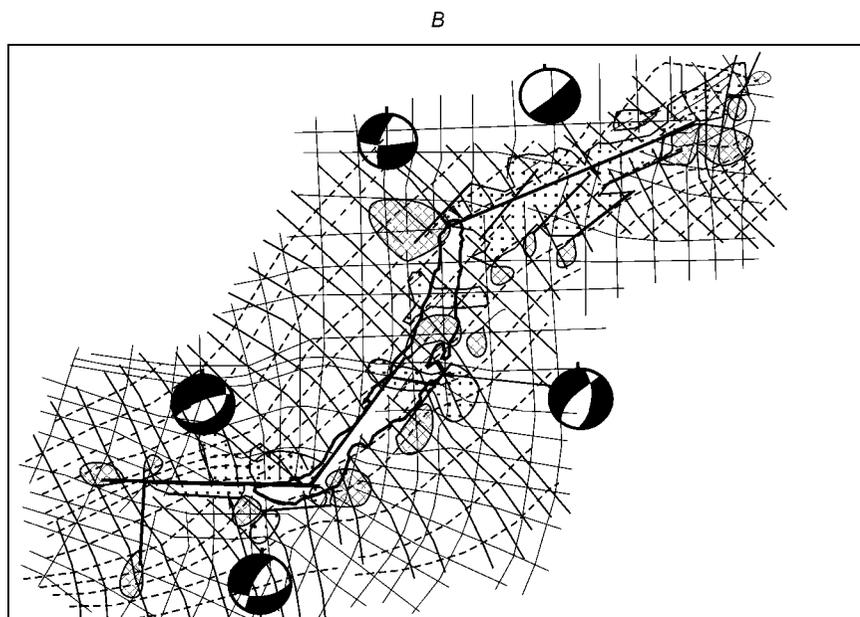
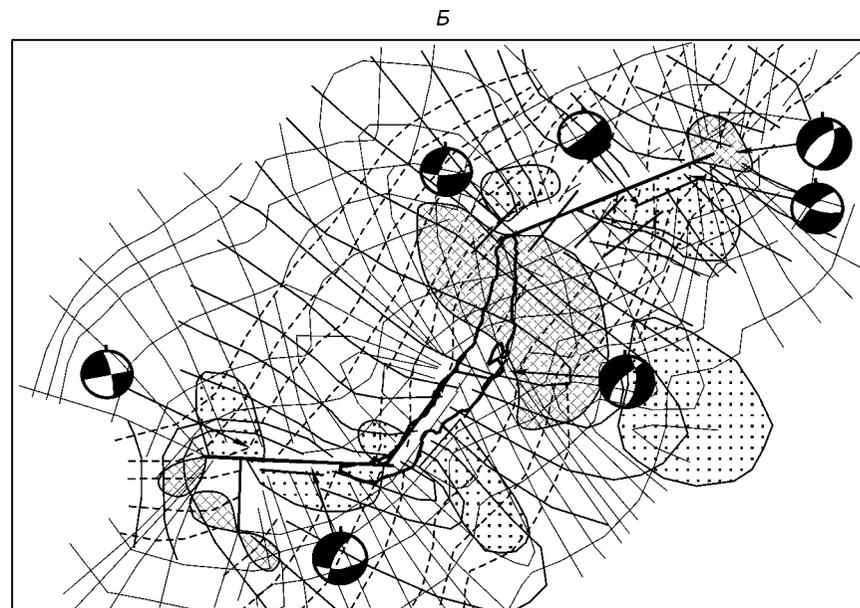
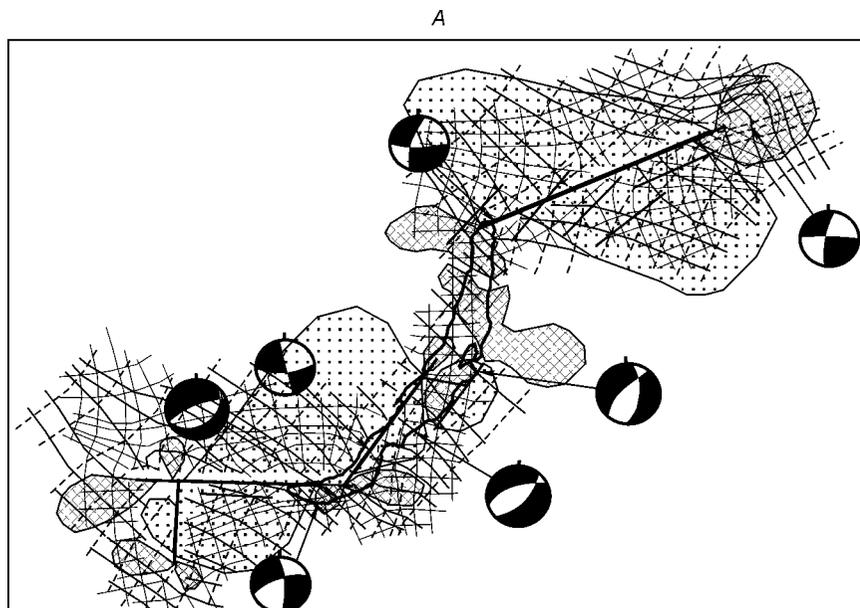


Рис. 7. Сопоставление поля максимальных касательных напряжений в моделях с механизмами очагов землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.

1 — разноранговые разломы; 2 — траектории напряжений: *a* — растяжения, *b* — сжатия, *v* — скола (касательные); 3 — области повышенных значений τ_{\max} ; 4 — области пониженных значений τ_{\max} ; 5 — контур оз. Байкал; 6 — механизмы очагов сильных землетрясений (проекция нижней полусферы). Закрашенные области на диаграммах соответствуют областям волн сжатия, светлые — областям волн разрежения [5].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе исследования выявились два наиболее вероятных механизма деформирования среды на современном этапе развития БРЗ, которые собственно являются предметом дискуссий об энергетическом источнике рифтогенеза. Проведенные эксперименты не позволяют отдать предпочтение какому-либо одному из этих механизмов деформирования среды. При каждом из них в моделях проявляются как общие закономерности напряженного состояния, так и некоторые отличительные особенности. Так, заданные в моделях механизмы деформации земной коры приводят к растяжению в пределах центральной части БРЗ, однако несколько отличаются ориентировкой напряжений и кинематическим типом разрывов на флангах. С другой стороны, различные способы приложения нагрузки могут объяснить кайнозойскую эволюцию напряженного состояния на флангах БРЗ при постоянстве растягивающих напряжений в её центральной части. Остается открытым вопрос о последовательности смены полей напряжений, механизме реализации и скорости протекания этого процесса. По нашим представлениям, глобальная смена источника напряжений должна продолжаться миллионы—первые десятки миллионов лет. Однако для сейсмичности в течение непродолжительного в геологических масштабах времени периода инструментальных наблюдений ≈ 40 лет, установлены пространственно-временные вариации параметров механизмов очагов при относительном постоянстве осей напряжений [19] и смена типов подвижки в очагах землетрясений БРЗ во времени [20]. Эпизодическая смена типов подвижек в очагах современных землетрясений региона [19] в совокупности с данными GPS-геодезии [21] указывают на наличие активной динамики напряженного состояния земной коры БРЗ. Кратковременные флуктуации напряженного состояния земной коры БРЗ могут быть связаны с перераспределением напряжений из-за произошедших в зоне сильных землетрясений или с прохождением деформационных волн от удаленных тектонических источников (вероятнее всего от Тихоокеанского подвижного пояса). Однако процессы в зоне субдукции Тихоокеанской плиты скорее всего являются лишь „спусковым крючком“ для землетрясений Прибайкалья.

На примере БРЗ подтверждено представление о том, что высокая сейсмичность в пределах земной коры наблюдается как в участках концентрации максимальных касательных напряжений, которые фиксируются на концах разломов, в узлах их пересечения и в местах резкого изменения простирания последних, так и в областях понижения напряжений вдоль крупных разломов [17]. Эта особенность объяснялась исходя из представлений об иерархической структуре поля напряжений, при котором одни сильные землетрясения „происходят под действием напряжений мегарегионального поля, а другие — под действием напряжений локального поля“ [17, с. 191]. По-нашему мнению, это может быть объяснено представлением о двух моделях очагов землетрясений: первая из которых связана с тектоническими подвижками типа прерывистого скольжения (stick-slip) по поверхности сформированного разлома, а другая с новообразованием разрывов в некотором напряженном объеме горных пород, которые разрушаются по типу лавинно-неустойчивого трещинообразования. Понижение напряжений вдоль разломов отражает скольжение их берегов (активное снятие напряжений), а повышение напряжений на концах разрывов и в местах резкого изменения их простирания связано с вторичным разломообразованием в условиях повышенных касательных напряжений. При такой постановке сильные землетрясения БРЗ обязательно вызваны либо повышением τ_{\max} в пределах ненарушенных блоков, либо — понижением τ_{\max} в областях динамического влияния разломов. В любом случае землетрясения будут связаны с изменением полей напряжений в зоне по сравнению с окружающей территорией относительно постоянного напряженного состояния земной коры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное моделирование показало, что из трех воспроизведенных в экспериментах удаленных и местных энергетических источников имитация деформационного воздействия Индостанской коллизии и подлитосферной конвекции генерирует модельные варианты полей напряжений, имеющих сходство с напряженным состоянием литосферы БРЗ на современном этапе её развития и способных объяснить особенности современной сейсмичности. С ними находят удовлетворительное соответствие основные параметры очагов сильных землетрясений, зафиксированных за период инструментальных наблюдений. Третий энергетический источник — взаимодействие Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит, по-видимому, влияет на кратковременные флуктуации напряженно-деформированного состояния в БРЗ.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант 03-05-65276.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск, Наука, 1989, 158 с.
2. Delvaux D., Moeys R., Stapel G. et al. Paleostress reconstruction and geodynamics of the Baikal region, Central Asia. Pt. 2. Cenozoic rifting // *Tectonophysics*, 1997, v. 282, p. 1—38.

3. **Парфеевец А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И. и др.** Эволюция напряженного состояния земной коры Монголо-Байкальского подвижного пояса // Тихоокеанская геология, 2002, т. 21, № 1, с. 14—28.
4. **Мишарина Л.А., Солоненко Н.В.** Механизм очагов и поле тектонических напряжений // Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. Новосибирск, 1977, с. 71—78.
5. **Мельникова В.И.** Напряженно-деформированное состояние Байкальской рифтовой зоны по данным о механизмах очагов землетрясений: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2001, 16 с.
6. **Logatchev N.A., Zorin Yu.A.** Baikal rift zone: structure and geodynamics // Tectonophysics, 1992, v. 208, p. 273—286.
7. **Molnar P., Tarponier P.** Cenozoic tectonics of Asia: effect of continental collision // Science, 1975, v. 189, № 4201, p. 419—426.
8. **Baljinnyam I., Bayasgalan A., Borisov V.A. et al.** Raptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings. Geol. Soc. Amer. Mem., 1993, v. 181, 62 p.
9. **Логачев Н.А., Борняков С.А., Шерман С.И.** О механизме формирования Байкальской рифтовой зоны по результатам физического моделирования // Докл. РАН, 2000, т. 373, № 3, с. 388—390.
10. **Дядьков П.Г., Мельникова В.И., Саньков В.А. и др.** Современная динамика Байкальского рифта: эпизод сжатия и последующее растяжение в 1992—1996 гг. // Докл. РАН, 2000, т. 372, № 1, с. 99—103.
11. **Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н., Макеев В.М.** Напряженное состояние земной коры и геодинамика // Геотектоника, 1987, № 1, с. 3—24.
12. **Леонов Ю.Г.** Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника, 1995, № 6, с. 3—21.
13. **Zoback M.L.** First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: the World Stress Map Project // J. Geoph. Res., 1992, v. 97, № B8, p. 11703—11728.
14. **Черемных А.В.** Разломно-блоковое строение и поля напряжений верхней части земной коры в зонах региональных разломов (на примере восточного побережья озера Байкал) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): материалы научного совещания, Т. 2 (Иркутск, 19—22 октября 2004 г.). Иркутск, Изд-во Института географии СО РАН, 2004, с. 149—151.
15. **Осокина Д.Н.** Пластические и упругие низкомолекулярные оптически-активные материалы для исследования напряжений в земной коре методом моделирования. М., Изд-во АН СССР, 1963, 196 с.
16. **Шерман С.И., Леви К.Г.** Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны // Докл. АН СССР, 1977, т. 233, № 2, с. 461—464.
17. **Осокина Д.Н.** Моделирование тектонических полей напряжений, обусловленных разрывами и неоднородностями в земной коре // Экспериментальная тектоника: методы, результаты, перспективы. М., Наука, 1989, с. 163—197.
18. **Шерман С.И., Демьянович В.М., Лысак С.В.** Новые данные о современной деструкции литосферы в Байкальской рифтовой зоне // Докл. РАН, 2002, т. 387, № 4, с. 533—536.
19. **Мельникова В.И.** Пространственно-временные вариации параметров механизма очагов слабых землетрясений ($M < 5,0$) Байкальской рифтовой зоны // Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий: материалы междунар. геофиз. конф. 27—29 сентября 2000 г. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2000, с. 155—157.
20. **Ключевский А.В.** О природе пространственно-временных вариаций сейсмических моментов землетрясений Байкальского региона // Докл. РАН, 2002, т. 384, № 5, с. 687—691.
21. **Саньков В.А., Леви К.Г., Лухнев А.В. и др.** Современная геодинамика Монголо-Сибирского подвижного пояса по данным геолого-структурных и инструментальных исследований // Тектоника и геофизика литосферы (материалы XXXV тектонического совещания, 27—29 сентября 2000 г.), Т. II. М., ГЕОС, 2002, с. 170—174.

Рекомендована к печати 18 марта 2005 г.
С.В. Гольдиным

Поступила в редакцию 28 января 2003 г.,
после доработки — 10 марта 2005 г.