

жс 14605

ISSN 0869-5652

Том 400, Номер 6

Февраль 2005



# ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК

<http://www.maik.ru>



“НАУКА”

УДК 551.243:551.24.03

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ (РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ)

© 2005 г. С. И. Шерман, А. В. Черемных, А. И. Мирошниченко

Представлено академиком С.В. Гольдиным 26.08.2004 г.

Поступило 26.08.2004 г.

В работе [1] выделена зона современной деструкции литосферы и показана ее роль в пространственном контроле сейсмичности в Байкальской рифтовой системе (БРС). Ее формирование, как и сейсмический процесс, сопровождающий деструкцию литосферы при рифтогенезе, тесно связаны с региональным и локальным полями напряжений. Первое из них генерируется литосферными процессами, предопределяющими растяжение и разрыв хрупкой части литосферы. Тензор регионального поля напряжений изменяется в пространстве по простиранию БРС и зависит прежде всего от ориентации крупных дорифтовых разломов. В хорошо известной S-образной форме БРС отчетливо выделяются субширотные фланги с преимущественной ориентировкой векторов растяжения в северо-западном направлении, а векторов сжатия в северо-восточном и центральной части с преимущественной ориентировкой векторов растяжения в том же северо-западном направлении, а векторов сжатия в субвертикальном [2].

Общая структура и хорошая корреляция главных векторов напряженного состояния по результатам интерпретации геолого-структурных и сейсмологических данных о механизмах очагов сильных землетрясений охарактеризованы в работе [2]. В ней же приведена одна из первых карт поля напряжений БРС. Выделение в БРС зоны современной деструкции литосферы [1], ее существенное влияние на современный сейсмический процесс и распределение локальных полей напряжений потребовали уточнения структуры и организации полей современного напряженно-деформированного состояния. Эта работа проведена на базе поляризационно-оптического моделирования. Целесообразность использования именно этого метода опирается на новые представления авторов о том,

что для процессов, контролируемых разломами и изменяющихся в масштабах реального времени, например, сейсмичности, необходимо использовать представления о стационарной и нестационарной моделях разломов литосферы [3]. Эта мысль подтверждается и работой [4], в которой утверждается, что в крупных сейсмически активных зонах проявляется относительная стационарность процесса разрушения в течение достаточно длительных интервалов времени. При этом напряженное состояние не остается постоянным.

Стационарная составляющая отражает стабильную в объеме пространства, сформировавшуюся зональную по латерали и глубине структуру разлома. Соответственно, на определенных интервалах времени стабильным является и напряженно-деформированное состояние в пределах области динамического влияния этого разлома. В свою очередь, временная нестационарная модель разлома призвана обосновать критерии, определяющие дискретный в реальном масштабе времени характер деятельности крупных разрывов [3].

Впервые использовано оптическое моделирование для исследования напряженного состояния зоны современной деструкции литосферы и получены принципиально новые данные о структуре поля напряжений. Использованный нами в работе поляризационно-оптический метод моделирования позволил выявить общую структуру поля напряжений, сформированную региональным растяжением и активизированными при этом основными элементами зоны деструкции в хрупкой части литосферы.

При подготовке эксперимента авторы опирались на устоявшиеся современные представления о зарождении и формировании БРС [5–7]. Учитывались и основные модельные представления об условиях генерации и вероятных источниках тектонических сил БРС [8–10]. Ее центральная часть пространственно связана со структурным швом литосферы между Сибирским и Забайкальским мегаблоками, начало формирования которого относится к раннему протерозою и который на

протяжении всей фанерозойской истории региона разделял блоки литосферы существенно разного строения и развития [11]. Долгоживущий шов определяет и современный общий S-образный структурный план БРС, характеризующийся относительно закономерной сеткой разломов. В процессе рифтогенеза они контролировали положение рифтовых впадин и функционировали как сбросы в центральной части БРС и как сдвиго-сбросы на ее флангах. Большая часть из них проявила активность в кайнозое. Примерно по осевой линии БРС сетка разноранговых разломов сгущается и они группируются в зону современной деструкции литосферы, стержневыми ветвями которой выступают Тункинский и Муйско-Чарский трансформные разломы на флангах БРС, соединяемые Байкало-Чарским развивающимся разломом [11].

Моделирование напряженного состояния проведено на оборудовании лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН. Воспроизводилась ситуация, при которой главные напряжения лежали в плоскости модели. В качестве модельного материала использовали студни желатина, обладающие высокими коэффициентами оптической активности и удовлетворяющие требованиям теории подобия [12].

Непосредственно перед экспериментом проводили градуировку модели, т.е. фиксировали соотношение деформации желатинового студня и разности хода лучей при его просвечивании (цвета модели). Изохромы (полосы с одинаковой окраской, отражающие величину максимальных касательных напряжений  $\tau_{\max}$ ) по результатам градуировки были трансформированы в изолинии относительной концентрации максимальных касательных напряжений. Они отражают области увеличения (>100%) или уменьшения (<100%) касательных напряжений в окрестностях неоднородностей моделей и характеризуют напряженно-деформированное состояние блоковых массивов. В целом модель позволяет оконтурить область динамического влияния зоны современной деструкции литосферы. По конфигурациям областей максимальных касательных напряжений вблизи концов разрывов оценивался тип и интенсивность подвижек по ним. Проведен количественный контроль силового воздействия на существующие структурные композиции, и в соответствии с работой [12] качественно оценены типы возникающих полей напряжений.

Поскольку БРС развивается на границе плит с различной мощностью и реологическими свойствами литосферы, в модель изначально была заложена неоднородность в виде более плотного блока Сибирской платформы и несколько менее плотного Забайкальского блока. Прилагаемые к моделям внешние нагрузки соответствовали типичному для БРС северо-запад – юго-восточному

растяжению с векторами смещения, характерными для современного этапа развития БРС (рис. 1).

Результат моделирования напряженного состояния БРС как структуры, развивающейся на границе плит, приведен на рис. 2А. Хорошо видны два различающихся по величине напряжений поля: более низкое (Сибирская плита) и более высокое (Забайкальская плита). Они предопределяют дальнейшее разное тектоническое развитие этих сопредельных с областью рифтогенеза территорий. В рифтогенез полностью вовлечена юго-восточная пограничная от шва территория, т.е. северо-западная часть Забайкальской плиты. Также отчетливо видно, что основные касательные напряжения возникают на границе плит в районе современного оз. Байкал со стороны северо-западной более жесткой платформенной структуры. Кроме того, область высоких касательных напряжений характеризуется зональным строением. Таким образом, первая серия экспериментов показала, что положение БРС связано с взаимодействием двух плит, различающихся мощностью литосферы и последующей интенсивностью активизаций, вызванных региональным растяжением.

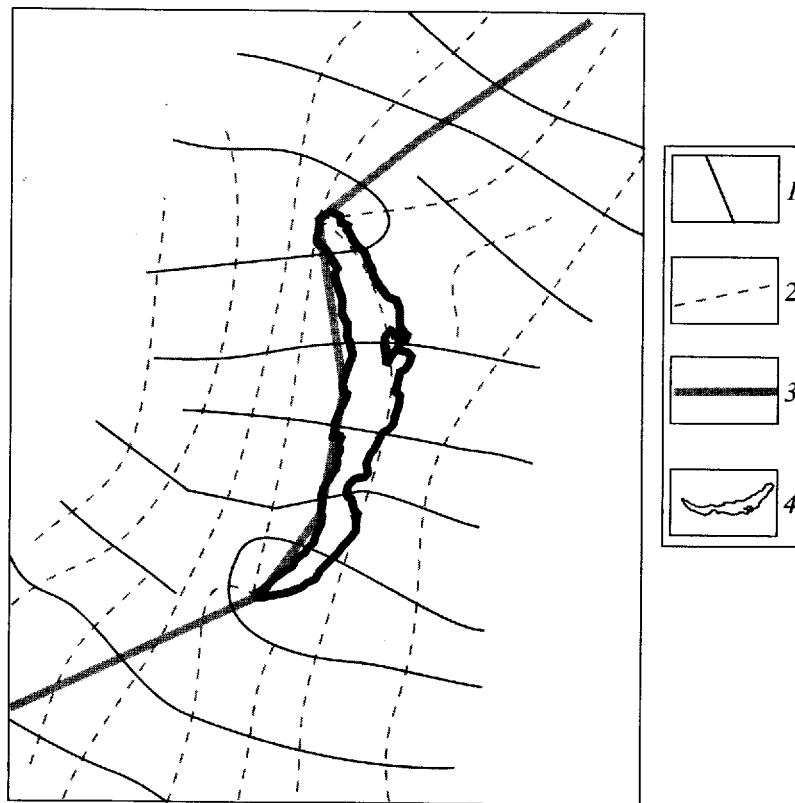
Во времени формирования зоны современной деструкции литосфера и особенно ее верхняя часть – земная кора – характеризовались высокой плотностью разломов. Их преобладающие по направлению и размерам иерархические группы использованы во второй серии экспериментов.

Новая серия экспериментов показала, что добавление в модель разрывов расширяет область пониженных значений  $\tau_{\max}$ , а область их повышенных значений смещается к северо-востоку. Фиксируется пространственное сочетание областей снижения и повышения максимальных касательных напряжений по простиранию БРС (рис. 2Б).

По распределению касательных напряжений можно выделить близкие по структуре поля три области (рис. 2Б): юго-западный и северо-восточный фланги БРС; южно-байкальскую впадину, объединяющуюся с Баргузинской и образующие центральную часть БРС; северную котловину оз. Байкал.

Юго-западная и северо-восточная фланговые зоны делятся на фрагменты с различными относительными величинами касательных напряжений. Для флангов преимущественно характерны сдвиговые подвижки, иногда сочетающиеся с небольшим растяжением или сжатием.

Центральная часть БРС характеризуется повышенными значениями максимальных касательных напряжений. Их наибольший максимум пространственно соответствует югу оз. Байкал. Форма конфигурации максимума свидетельствует о сопряженности и результирующем влиянии трех типов полей напряжений. Они, вероятнее всего, связаны с активностью тройного разлом-



**Рис. 1.** Региональное поле напряжений в верхней части литосферы БРС по результатам моделирования. 1, 2 – траектории главных нормальных напряжений: 1 – растяжение, 2 – сжатие; 3 – граница плит; 4 – контур, соответствующий оз. Байкал.

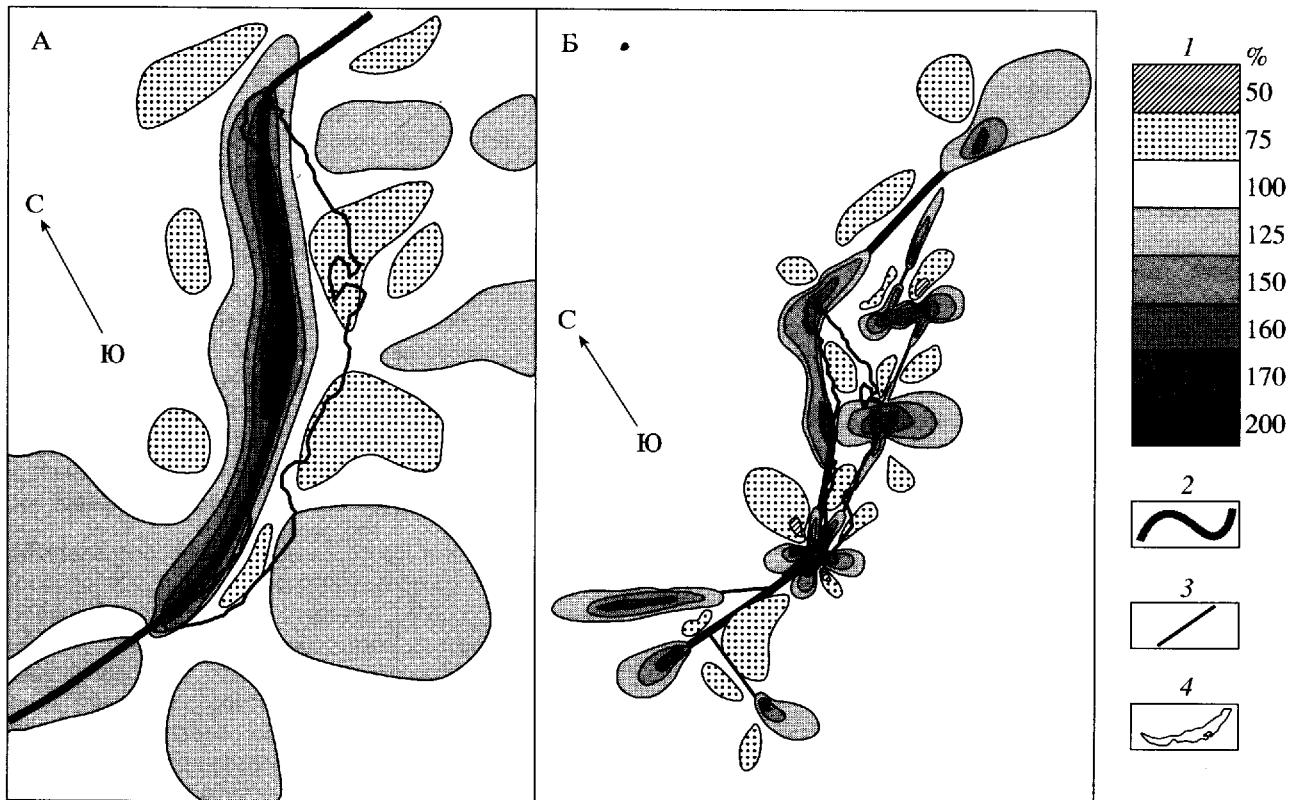
ного узла, образованного сочленением здесь трех разломов различного простирания. Другой максимум  $\tau_{\max}$  фиксируется в стержневой части модели, соответствующей центральной части оз. Байкал и его восточному побережью. Конфигурация максимума свидетельствует о значительном преобладании растяжения над сдвигом. В целом для разрывов центральной части модели характерны преимущественно раздвиговые, реже сдвиго-раздвиговые смещения.

Результаты экспериментов требуют обратить наше внимание на то, что к северо-востоку от второго максимума фиксируется разветвление поля напряжений. Одна из ветвей соответствует напряжениям, возникающим в окрестностях разрывов, другая – напряжениям на границе плит. Особенностью первой ветви является убывание растяжения с постепенным переходом к сдвигу в северо-восточном направлении. Вторая же ветвь поля напряжений, расположение которой соответствует северо-западному побережью оз. Байкал, вызвана результирующим влиянием межплитной границы и формирующейся северной, неглубокой котловиной озера. В целом в соответствии с моделью в северной части оз. Байкал фиксируется зона пониженных значений касательных напряжений, и лишь вдоль его северо-западного побережья протя-

живается полоса повышенных значений  $\tau_{\max}$ , отражающая взаимодействие литосферных плит. Эта линейно вытянутая область заметно расширяется в районе северной оконечности оз. Байкал, а затем приобретает простирание, согласное с ориентировкой структуры северо-восточного фланга БРС.

При повторных экспериментах и усложнении моделей за счет добавления разрывов более низких рангов принципиальная общая картина распределения напряжений не изменялась. Отмечались незначительные перераспределения абсолютных величин в пределах зоны современной деструкции.

Проведенное моделирование позволило очертить область динамического влияния зоны современной деструкции и выявить особенности стационарной, долговременной составляющей ее напряженного состояния на различных участках. Область влияния охватывает территорию, значительно более широкую, чем непосредственное развитие структур БРС. Напряженное состояние внутри области динамического влияния зоны современной деструкции характеризуется пространственным сочетанием областей снижения и повышения максимальных касательных напряжений по ее простиранию. Это свидетельствует о



**Рис. 2.** Схемы распределения максимальных касательных напряжений в моделях БРС, вызванных формированием зоны современной деструкции литосферы. А – модель без разрывов, Б – модель с зоной современной деструкции литосферы. 1 – процентное отношение концентрации максимальных касательных напряжений; 2 – граница плит; 3 – разрывы; 4 – контур, соответствующий оз. Байкал.

разной потенциальной степени вовлечения разломов в активизацию в различных местах зоны современной деструкции литосферы. Становится понятной ситуация, связанная с отклонением осевой линии рифтогенеза и, соответственно, зоны современной деструкции литосферы в центральной части современного оз. Байкал от межплитной границы и должным образом краевого шва Сибирской платформы. Представляется также ясной ситуация с избирательной по площади рифтогенеза различной относительной активизацией разноранговых разломов и их современной сейсмичностью.

Таким образом, выделенная в БРС зона современной деструкции литосферы оказывает влияние на неравноценное пространственное распределение региональных напряжений и различную активизацию разломов. Этим может быть вызвана, в частности, различная сейсмическая активность западного и восточного побережий оз. Байкал, хотя по геолого-геоморфологическим признакам кайнозойская активизация разломов западного побережья несомненна (см. [5, 6, 13] и многие другие). Замеченная “маятниковая” пространственно-временная миграция эпицентров землетрясений вдоль осевой линии зоны современной деструкции ли-

тосферы в БРС и ее отдельных разломов [1], скорее всего, связана с другими причинами, вызванными как развитием разрывов во времени, так и изменениями локальных полей напряжений в результате комплексного воздействия эндогенных и планетарных процессов. Развитие сейсмического процесса на кратковременных стадиях в масштабах реального времени надо рассматривать на базах нестационарных моделей активных разломов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 04–05–64348, 03–05–65276) и Программы “Физические основы и новые технологии среднесрочного прогноза землетрясений (применительно к сейсмоактивным зонам Сибири)”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерман С.И., Демьянович В.М., Лысак С.В. // ДАН. 2002. Т. 387. № 4. С. 533–536.
2. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и методы их изучения. Новосибирск: Наука, 1989. 158 с.
3. Шерман С.И. Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Материалы XXXVII Тектониче-

- ского совещания. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2004. Т. 2. С. 299–302.
4. Гольдин С.В. // Физ. мезомеханика. 2002. Т. 5. № 5. С. 5–22.
  5. Логачев Н.А. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 5. С. 391–406.
  6. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. и др. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. Строе-ние и геологическая история. Новосибирск. Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2001. 252 с.
  7. Леви К.Г., Мирошниченко А.И., Ружич В.В. и др. // Физ. мезомеханика. 2000. Т. 2. № 1/2. С. 171–180.
  8. Логачев Н.А., Борняков С.А., Шерман С.И. // ДАН. 2000. Т. 373. № 3. С. 388–390.
  9. Chemenda A., Deverchere J., Calais E. // Tectonophys-ics. 2002. V. 356. P. 253–273.
  10. Адамович А.Н., Шерман С.И., Иванова С.В. // Гео-логия и геофизика. 2003. Т. 44. № 4. С. 286–296.
  11. Шерман С.И., Леви К.Г. Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 3–16.
  12. Осокина Д.Н. Экспериментальная тектоника: ме-тоды, результаты, перспективы. М.: Наука, 1989. С. 163–197.
  13. Уфимцев Г.Ф. Морфотектоника Евразии. Ир-кутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2002. 494 с.