

УДК 551.248.2(517)

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ ПОЛЯХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИХУБСУГУЛЬЯ (МОНГОЛИЯ)

© 2003 г. В. А. Саньков, А. И. Мирошниченко, А. В. Парфеев, А. В. Аржанникова

Представлено академиком Н.А. Логачевым 19.06.2002 г.

Поступило 03.07.2002 г.

Многолетние дебаты о происхождении Байкальской рифтовой системы до настоящего времени продолжают в геологической литературе. Основными конкурирующими точками зрения являются гипотеза о местном источнике рифтогенеза и активном рифтинге [9 и др.] и гипотеза о происхождении рифтовых структур в результате пассивного рифтинга под воздействием сил сжатия со стороны зоны Индо-Азиатской коллизии [10 и др.]. Сочетание в Центральной Азии поля напряжений сжатия первого порядка с локальным растяжением в Байкальской рифтовой системе представляет собой основную интригу в этих дебатах. Район Хубсугульской впадины является одним из ключевых с точки зрения решения проблемы соотношения сил сжатия и растяжения в пространственно-временном аспекте. В задачи настоящей работы входили реконструкция палеонапряженного состояния Прихубсугулья (Северная Монголия) на основе тектонофизического анализа тектонической трещиноватости, сопоставление с современным напряженным состоянием земной коры, выделение этапов эволюции поля напряжений, а также физическое моделирование напряженного состояния исследуемой территории поляризационно-оптическим методом для верификации модели.

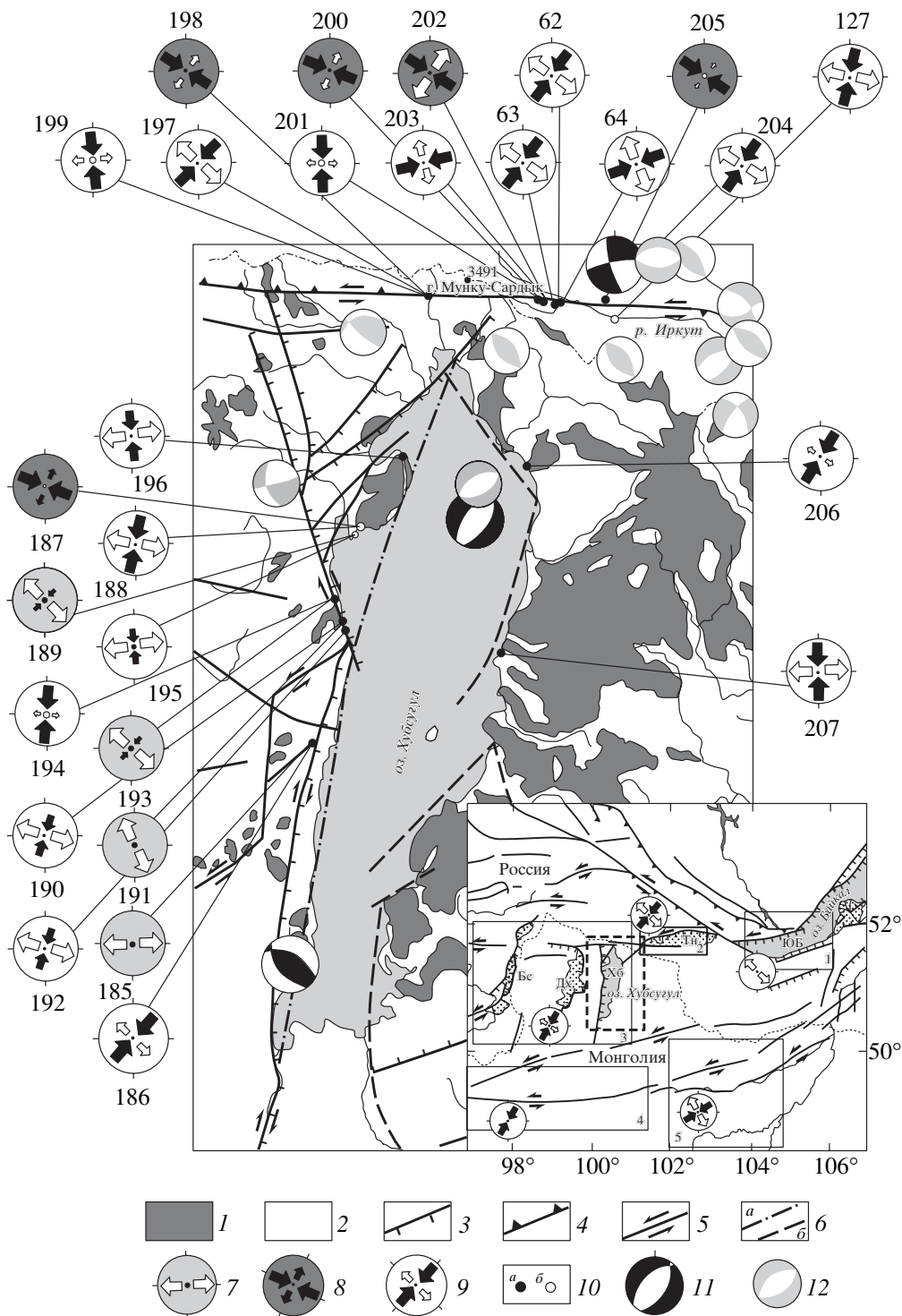
Субмеридиональные Хубсугульская, Дархатская и Бусийнгольская впадины составляют крайнее юго-западное звено Байкальской рифтовой системы. Впадина оз. Хубсугул имеет протяженность 125 км при ширине 15–30 км и представляет собой полуграбен с крутым западным и более пологим восточным бортом. Как и субширотная Тункинская, Хубсугульская впадина заложена вдоль границы рифейского Тувино-Монгольского микроконтинента с раннепалеозойской подвижной областью [2]. Борты впадины оформлены разло-

мами различных направлений, основную роль среди которых играют субмеридиональные и субширотные, наследующие древний структурный план. Мощность осадочного заполнения Хубсугульской впадины, по данным гравиметрических работ [3], не превышает 450–550 м, причем максимум приурочен к северной части впадины. По мнению Н.А. Логачева, Хубсугульская впадина начала свое развитие с конца миоцена–начала плиоцена [4].

В зоне сочленения Хубсугульской и Мондинской рифтовых впадин основную роль играют разломы субширотного, северо-восточного и северо-западного направлений (рис. 1). Последние представлены сбросами и сдвиго-сбросами. Исследование разрывных деформаций плейстоцен-голоценовых форм рельефа показывает, что разломы северо-западного простирания имеют правостороннюю, а северо-восточного – левостороннюю сдвиговую компоненту. Субширотный Иххорогол-Мондинский разлом, прослеживающийся вдоль южного подножия массива Мунку-Сардык, имеет левостороннюю сдвиговую компоненту смещений наряду с вертикальной, взбросовой.

По результатам изучения тектонической трещиноватости и штрихов скольжения в датированных кайнозойских образованиях и породах фундамента бортов впадины и ее северного ограничения реконструированы этапы деформаций верхней части земной коры района в позднем кайнозое (см. рис. 1). Для расчетов стресс-тензоров нами использовалась технология, реализованная в программном комплексе TENSOR [8]. Соотношения разных генераций штрихов скольжения на плоскостях трещин и ориентировка даек базальтов дают основания полагать, что наиболее ранним (миоцен) здесь является поле напряжений растяжения с северо-западной либо субширотной ориентировкой растягивающих усилий (см. рис. 1). Следующий этап характеризуют стресс-тензоры транспрессионного типа и сжатия с северо-западной ориентировкой оси максимального сжатия

Институт земной коры  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Иркутск



**Рис. 1.** Схема палео- и современного напряженного состояния Прихубсугулья и положение района исследований в неотектонической структуре южного обрамления Сибирской платформы (штриховой прямоугольник на врезке). 1 – кайнозойские базальты; 2 – породы фундамента; 3–6 – разломы, активные в кайнозое: 3 – сбросы, 4 – взбросы, 5 – сдвиги, ба – под осадками, бб – предполагаемые; 7–9 – стресс-тензоры: 7 – раннеорогенного этапа, 8 – эпизода северо-западного сжатия, 9 – позднеорогенного этапа (залитые стрелки указывают направление максимального горизонтального сжатия  $S_{Hmax}$ , открытые – направление минимального горизонтального сжатия  $S_{Hmin}$ , длина стрелок является функцией коэффициента формы эллипсоида напряжений  $R = (\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$  [8]); 10 – точки наблюдения: а – в кристаллических породах фундамента, б – в вулканитах и осадках кайнозойского возраста; 11, 12 – механизмы очагов землетрясений за 1950–1996 гг. (по [5] с изменениями): 11 – по данным определений индивидуальным методом, 12 – по данным определений групповым методом. На врезке показаны стресс-тензоры современного поля напряжений по [7], прямоугольниками ограничены расчетные области, буквами обозначены рифтовые впадины: ЮБ – Южно-Байкальская, Тн – Тункинская, Хб – Хубсугульская, Дх – Дархатская, Бс – Бусийгольская.

(см. рис. 1). Самый поздний (четвертичный) этап характеризуется в общем сдвиговым полем напряжений с северо-восточной ориентировкой оси сжатия и северо-западной оси растяжения.

На современном этапе развития максимальной сейсмической активностью характеризуется северная часть Хубсугульской впадины и зона субширотного разлома Иххорогол-Мондинского [3]. Повышенная плотность эпицентров приурочена к восточному продолжению разлома, а также к южному окончанию Хубсугульской впадины. Как показано нами ранее [7], для блока земной коры, включающего рифтовые впадины Северной Монголии, преобладающим является транспрессионный режим деформирования с север-северо-восточным направлением оси сжатия и запад-северо-западным оси растяжения (см. врезку к рис. 1). В то же время северная часть Хубсугульской впадины характеризуется условиями растяжения, а ее южное окончание находится в условиях сжатия земной коры (см. рис. 1). Широтная зона Иххорогол-Мондинского разлома характеризуется в основном фокальными механизмами сдвигового типа [6, 5].

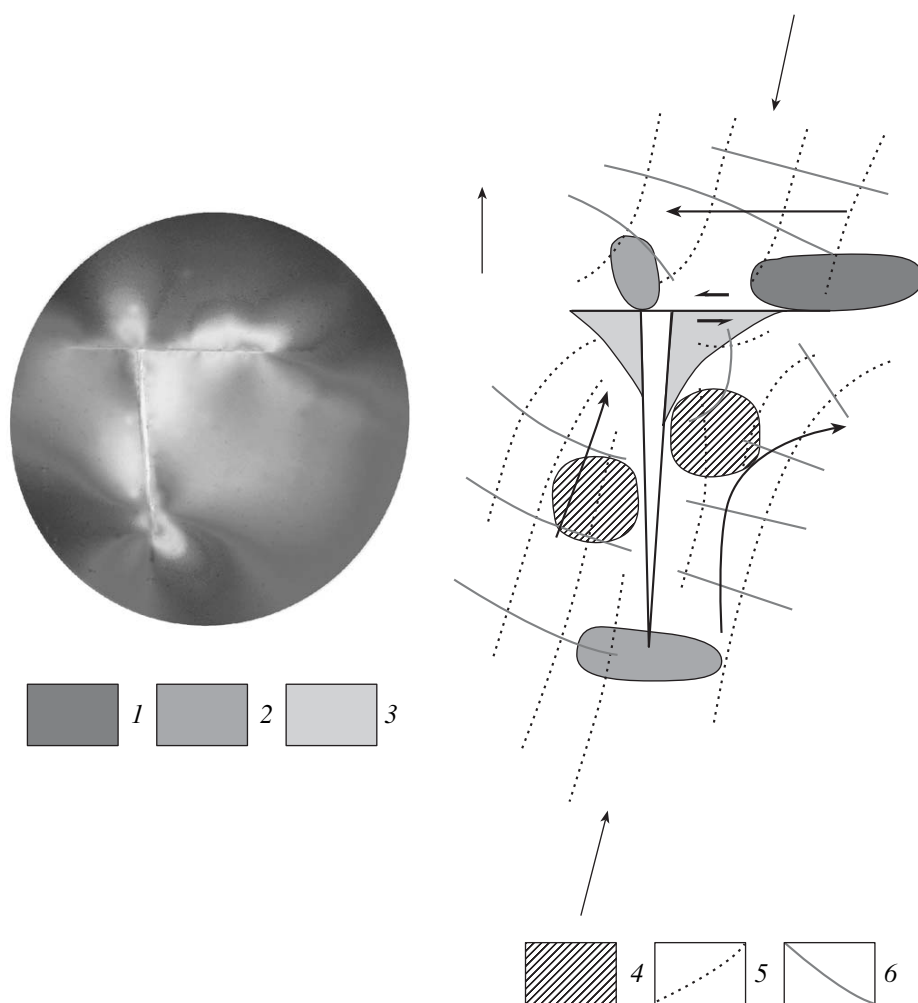
Для уточнения закономерностей напряженно-го состояния территории на плейстоцен-голоценовом этапе развития было проведено физическое моделирование поляризационно-оптическим методом. В качестве модельного материала использовались студни желатина, обладающие высокими коэффициентами оптической активности и удовлетворяющие требованиям теории подобия [1]. Деформирование модели осуществлялось в установке "Деформатор", разработанной в лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН. Непосредственно перед каждым экспериментом проводилась градуировка модели, в результате которой определялась зависимость двойного лучепреломления от величины максимальных касательных напряжений. По картине изохром, отражающей строение локальных полей максимальных касательных напряжений в окрестностях разрывов, с помощью градуировочного графика проводились изолинии коэффициентов концентрации максимальных касательных напряжений  $K_\tau$ , вычисляемых по формуле

$$K_\tau = \tau_{\max}^i / \tau_{\max}^0,$$

где  $\tau_{\max}^0$  – величина касательных напряжений в ненарушенной модели,  $\tau_{\max}^i$  – величина напряжений в исследуемой точке модели с разрезами. В экспериментах исследовалось распределение напряжений в окрестностях сочленения меридионального и широтного разломов при внешнем нагружении с ориентацией осей регионального поля сжатия  $15^\circ$  СВ и растяжения  $285^\circ$  СЗ (рис. 2).

Поле максимальных касательных напряжений модели характеризуется наличием закономерно расположенных областей концентрации и уменьшения  $\tau_{\max}$ . Размеры и положение области концентрации напряжений относительно разрывов указывают на интенсивность и тип подвижек по разрывам. Максимальной активностью характеризуется восточный, а минимальной – западный отрезок субширотного разлома, являющегося левосторонним сдвигом. По субмеридиональному разлому осуществляется раздвиговое перемещение с незначительной правосторонней сдвиговой составляющей. Амплитуда раскрытия увеличивается с юга на север и достигает максимальных значений в зоне сочленения разрывов. Интенсивная концентрация напряжений наблюдается в пределах северного крыла широтного разрыва почти на всем его протяжении, исключая участок непосредственного взаимодействия разрывов. Интересной особенностью перемещения юго-восточного блока является его вращения по часовой стрелке. В пределах моделируемой структуры по относительной величине максимальных касательных напряжений выделяются специфические области. На юге, северо-востоке и северо-западе Хубсугульской структуры располагаются области значительного повышения максимальных касательных напряжений (см. рис. 2). Вблизи области сочленения разрывов располагаются области умеренного повышения максимальных касательных напряжений. В центральной части субмеридионального разрыва наблюдаются участки умеренного снижения максимальных касательных напряжений. Для исследуемой структуры характерно изменение ориентации осей исходного поля напряжений (см. рис. 2). Максимальные вариации ориентировок осей напряжений наблюдаются вблизи концов разрывов и в зоне их сочленения. Траектории сжатия и растяжения ориентированы под углом  $45^\circ$  к линии широтного разрыва, вблизи же разрыва север-северо-западного простирания растяжение субперпендикулярно ему, а сжатие субпараллельно.

Таким образом, сжатие в север-северо-восточном направлении играет определяющую роль в формировании Хубсугульской впадины, по крайней мере на позднечетвертичном этапе. С этой точки зрения объясняется распределение в пространстве современной сейсмической активности. Максимальные сгущения поля эпицентров землетрясений тяготеют к районам, соответствующим областям концентрации напряжений в модели. Область растяжения на севере Хубсугульской впадины соответствует области раздвижения блоков в районе сочленения разрывов. Области преобладания очагов землетрясений взбросового и сдвигового типов по сейсмологическим данным соответствуют областям сжатия и сдвига на модели. Принимая во внимание результаты, получен-



**Рис. 2.** Результаты физического моделирования напряженного состояния Хубсугульской впадины поляризационно-оптическим методом (слева – фото модели). 1–4 – области модели с разным уровнем касательных напряжений: 1 –  $K_{\tau} > 1.5$ , 2 –  $K_{\tau} = 1.5$ , 3 –  $K_{\tau} = 0.5$ , 4 –  $K_{\tau} < 0.5$ ; 5, 6 – траектории главных нормальных напряжений: 5 – сжатия, 6 – растяжения.

ные в работе [7], можно заключить, что вся территория юго-западного обрамления Сибирского кратона (Алтае-Саянская горная область, Тува и Северная Монголия) в целом характеризуется транспрессионными условиями деформации земной коры.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке фондов ИНТАС (97–30874), РФФИ (грант 00–15–98574, 01–05–65134) и СО РАН (проект 89).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.Я., Ахметзянов М.Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М.: Наука, 1973. 576 с.
2. Васильев Е.П., Беличенко В.Г., Резницкий Л.З. // ДАН. 1997. Т. 353. № 6. С. 789–792.
3. Сейсмотектоника и сейсмичность Прихубсугулья / Под ред. Н.А. Логачева. Новосибирск: Наука, 1993. 184 с.
4. Логачев Н.А. // ДАН. 2001. Т. 376. № 4. С. 510–513.
5. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Гилева Н.А. и др. В кн.: Науки о Земле: современные проблемы сейсмологии. М.: Вуз. кн., 2001. С. 96–112.
6. Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Балжинням И. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 74–83.
7. Парфеевец А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И. и др. // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21. № 1. С. 14–28.
8. Delvaux D. // Terra Nova. 1993. V. 5. P. 216.
9. Logatchev N.A., Zorin Yu.A. // Tectonophysics. 1987. V. 143. № 1/3. P. 225–234.
10. Molnar P., Tapponnier P. // Science. 1975. V. 77. № 4201. P. 419–425.