

РАЗРЫВНАЯ СТРУКТУРА И ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ЗОНЫ ПРИМОРСКОГО РАЗЛОМА (Байкальская рифтовая система)

О. В. Лунина, А. С. Гладков, А. В. Черемных

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

На основе детальных геолого-структурных исследований охарактеризована зона одного из крупнейших разломов Байкальской рифтовой зоны — Приморского сброса. Внутренняя структура разлома состоит из серии субпараллельных разрывных нарушений, вытянутых клиновидных тектонических блоков и осложняется крупными поперечными разрывами, представляющими собой отдельные сегменты разлома, проходящего по долине р. Сарма. Изучение параметров трещиноватости позволило выделить области влияния частных сместителей, строение которых носит закономерный зональный характер. Кайнозойская активизация в зоне Приморского разлома носила избирательный характер и сосредоточена в областях влияния частных сместителей. При этом по разрывам приморского и сарминского направлений под воздействием полей растягивающих напряжений ССЗ и СВ направлений происходили правосторонние сдвигосбросовые и сбросовые движения. Ширина зоны Приморского разлома для этапа кайнозойской активизации более 3 км.

Внутренняя структура, трещиноватость, поля напряжений, активизация, зона Приморского разлома.

FRACTURING IN THE PRIMORSKY FAULT ZONE (Baikal Rift system)

O. V. Lunina, A. S. Gladkov, and A. V. Cheremnykh

Fracturing in the Primorsky Fault, a master fault in the Baikal Rift system, is investigated using high-resolution structural data. The fault zone consists of several roughly parallel segments and elongate wedge-shaped blocks cut by large transversal extension joints that belong to a fault running along the Sarma valley. Fracturing parameters were used to distinguish regularly zoned influence areas of individual fault planes. These areas have been involved in selective Cenozoic activity manifested as right-lateral oblique-slip and normal faulting in NNW and NE extension stress fields along fractures parallel to the Primorsky and Sarma Faults. The breadth of the active Primorsky Fault zone exceeds 3 km.

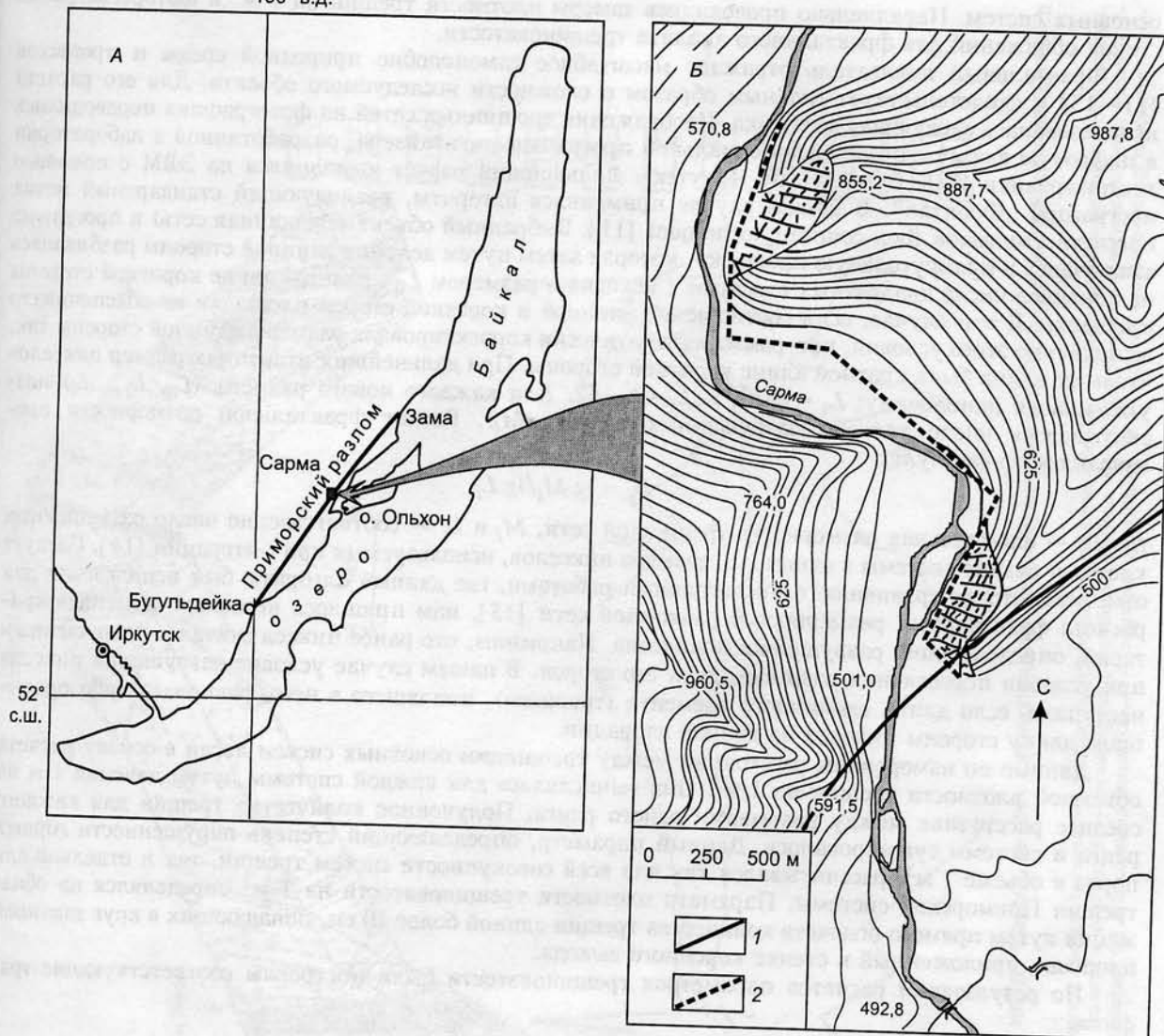
Structure, fracturing, stress field, activity, Primorsky Fault zone

ВВЕДЕНИЕ

Приморский разлом относится к главным разломным структурам Байкальской рифтовой зоны. Он протягивается на 200 км вдоль западного побережья оз. Байкал от устья р. Бугульдейки на юге до пос. Зама на севере (рис. 1, А). В литературе Приморский разлом описывался неоднократно, а в зоне его влияния проводились различные геолого-структурные, петрографические и геоморфологические наблюдения [1—8 и др.]. Предыдущими исследователями установлено, что эта структура, имеющая длительную историю тектонического развития, заложила в раннем протерозое как сдвигосброс между Сибирской платформой и Байкальской горной областью, а в кайнозое функционировала как сдвигосброс с преобладанием вертикальной компоненты движений.

Специальными тектонофизическими исследованиями зона Приморского разлома изучалась по серии профилей, проложенных по долинам рек Зундук, Правая Иликта, Сарма, Бугульдейка [5, 6]. Основное внимание было уделено изучению древней разрывной сети, происхождение которой связано с сокращением земной коры в северо-западном направлении. Также были затронуты вопросы современного разломообразования в зоне Приморского разлома под действием растягивающих напряжений аналогичного направления. В частности, результаты изучения тектонической трещиноватости по профилю р. Сарма дали следующие оценки ширины зоны Приморского разлома: для древнего этапа сжатия — первые десятки километров, а для современного этапа растяжения — 8 км [6]. Считается, что основные наиболее значительные сбросовые подвижки произошли по древним взбросовым плоскостям, хотя в некоторых местах наблюдаются и новообразованные разрывы. Кроме того, по долине р. Сарма проходит поперечный разлом, выполняющий функции транспортировки вещества в эпохи древнего надвига- и современного сбросообразования [6].

Профиль по р. Сарма интересен еще и тем, что здесь, на левобережье одноименной реки в ее приустьевой части, находится палеосейсмодислокация, которая свидетельствует о современной активизации Приморского разлома. Дислокация выражена сочетанием рвов и сбросовых уступов северо-восточного простирания и представляет собой фрагмент приозерного склона Байкальского хребта и его предгорной равнины, испытавший ступенчатое опускание в зоне глубинного разлома [9]. Протяженность палеосейсмодислокации оценивается в 6 км, вертикальная амплитуда смещения



2 м [10]. Наличие сейсмогенного разрыва дает информацию не только о следах землетрясения в прошлом, но и свидетельствует о возможности проявления сейсмических событий в будущем. В связи с этим исследование внутренней структуры участка Приморского активного разлома, к которому приурочена палеосейсмодислокация, представляет большой научный интерес и практическую значимость. Кроме того, по условиям обнаженности, зона этого разлома является уникальным природным объектом для отработки методических приемов структурного изучения внутреннего строения разломных зон. Поэтому для выявления особенностей строения и взаимодействия разрывных нарушений различного ранга, выделения наиболее нарушенных блоков, а также оценки ширины участков, активизированных в связи с процессом рифтогенеза, нами выполнены детальные исследования в зоне влияния Приморского разлома по профилю, проходящему по долине р. Сарма.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изученный профиль начинается от места выхода реки из гор и протягивается примерно на 3 км вверх по течению р. Сарма (см. рис. 1, Б). Его направление меняется от 275 до 25°. Хорошая обнаженность коренных пород позволила проводить наблюдения с шагом 50—100 м. В каждой точке фиксировались основные системы трещин, характер тектонической раздробленности, особенности строения встреченных разломных зон (дробление, расланцевание, милонитизация), а также другие структурные формы (смещения маркеров, складки, овоиды, штрихи на зеркалах скольжения и др.). При документации обнажений помимо стандартного набора наблюдений особое внимание уделялось сбору количественных характеристик трещиноватости. Измерялись средние расстояния между мелкими (длиной <0,5 м), средними (0,5—2 м) и крупными (>2 м) трещинами для каждой из

основных систем. Параллельно проводились замеры плотности трещин на 1 м^2 и фоторегистрация стенок обнажений для фрактального анализа трещиноватости.

Фрактальный показатель отражает масштабное самоподобие природной среды и процессов [11—13] и свидетельствует главным образом о сложности исследуемого объекта. Для его расчета использовалась следующая методика. Изображения трещинных сетей на фотографиях переводились в цифровую форму с помощью специальной программы-дигитайзера, разработанной в лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН (г. Иркутск). Дальнейший расчет выполнялся на ЭВМ с помощью программы „Фрактал“. В нашем случае применялся алгоритм, реализующий стандартный метод подсчета квадратов (box-counting technique) [11]. Выбранный объект (трещинная сеть) в программе заключался в прямоугольную площадку, которая затем путем деления длинной стороны разбивалась на конечное число квадратных пикселей с исходным размером L_0 , равным длине короткой стороны площадки. В том случае, если соотношение длинной и короткой сторон площадки не обеспечивало выполнение этого условия, программа автоматически корректировала размеры длинной стороны так, чтобы ее длина была кратной длине короткой стороны. При дальнейших итерациях размер пикселей уменьшался наполовину: $L_1 = L_0/2, \dots, L_i = L_{i-1}/2$. Для каждого нового размера ($L_0, L_1, \dots, L_i$) подсчитывалось число условно разрушенных клеток (M_i). Расчет фрактальной размерности производился по формуле:

$$D_f = \lg M_i / \lg L_i,$$

где D_f — фрактальная размерность трещинной сети, M_i и L_i — соответственно число разрушенных клеток и размер системы в единицах размера пикселей, используемых при i -итерации [14]. Следует отметить, что по сравнению с предыдущими работами, где данный алгоритм был использован для расчета фрактальных размерностей разломной сети [15], нам пришлось несколько изменить критерий, определяющий разрушенность пикселя. Напомним, что ранее пиксел считался разрушенным при условии пересечения разрывом двух его сторон. В нашем случае условие разрушения пикселя наступало, если длина единичного элемента (трещины), попавшего в него, равнялась либо превышала длину стороны пикселя на данной итерации.

Данные по измерениям расстояний между трещинами основных систем легли в основу расчета объемной плотности трещин на 1 м^3 . Она вычислялась для каждой системы путем деления 1 м на среднее расстояние между разрывами одного ранга. Полученное количество трещин для каждого ранга и системы суммировалось. Данный параметр, определяющий степень нарушенности горных пород в объеме 1 м^3 , рассчитывался как для всей совокупности систем трещин, так и отдельно для трещин Приморской системы. Параметр плотности трещиноватости на 1 м^2 определялся на обнажении путем прямого подсчета количества трещин длиной более 10 см, попадающих в круг заданной площади, приложенный к стенке коренного выхода.

По результатам расчетов параметров трещиноватости были построены соответствующие графики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геолого-структурная характеристика профиля. Комплекс детальных геолого-структурных работ с применением большого количества численного материала позволил откартировать разрывные нарушения преимущественно на участке, прилегающем к северо-западному крылу Приморского разлома, так как юго-восточное крыло скрыто под четвертичными осадками и водами оз. Байкал. В результате была построена структурная блок-диаграмма (рис. 2), которая позволяет получить более полное представление о пространственном положении тектонических нарушений в условиях изменчивости направления профиля в зависимости от рельефа и обнаженности пород, чем обычный разрез.

Породы на профиле представлены слюдяными, амфиболовыми гнейсами и кристаллическими сланцами, часто с включениями крупных овальных зерен полевого шпата, гранитами и гранитогнейсами. Незначительную площадь занимают кварциты, хотя в целом для всего изученного разреза характерно интенсивное окварцевание, которое выражается в наличии большого количества кварцевых прожилков и линзочек в коренных выходах. Их мощность колеблется от первых миллиметров до десятков сантиметров, достигая в редких случаях 5 м. В начале разреза наблюдаются участки рассланцованных гнейсов, высокометаморфизованных сланцев и бластомилонитов. Возраст пород до недавнего времени считался докембрийским [16], но по результатам геологических и геохронологических исследований последних лет некоторые метаморфические комплексы датируются как раннепалеозойские [17, 18]. Элементы залегания гнейсовидности и сланцеватости находятся преимущественно в пределах $155\text{—}180^\circ \angle 30\text{—}70^\circ$. Местами азимут падения изменяется до 120° и даже на обратный, что связано, по-видимому, со складчатыми деформациями, которые образовались в докайнозойское время.

Внутреннее строение зоны влияния Приморского разлома — это серия нарушений, представленных зонами рассланцевания, дробления, трещиноватости, милонитизации и бластомилонитов,

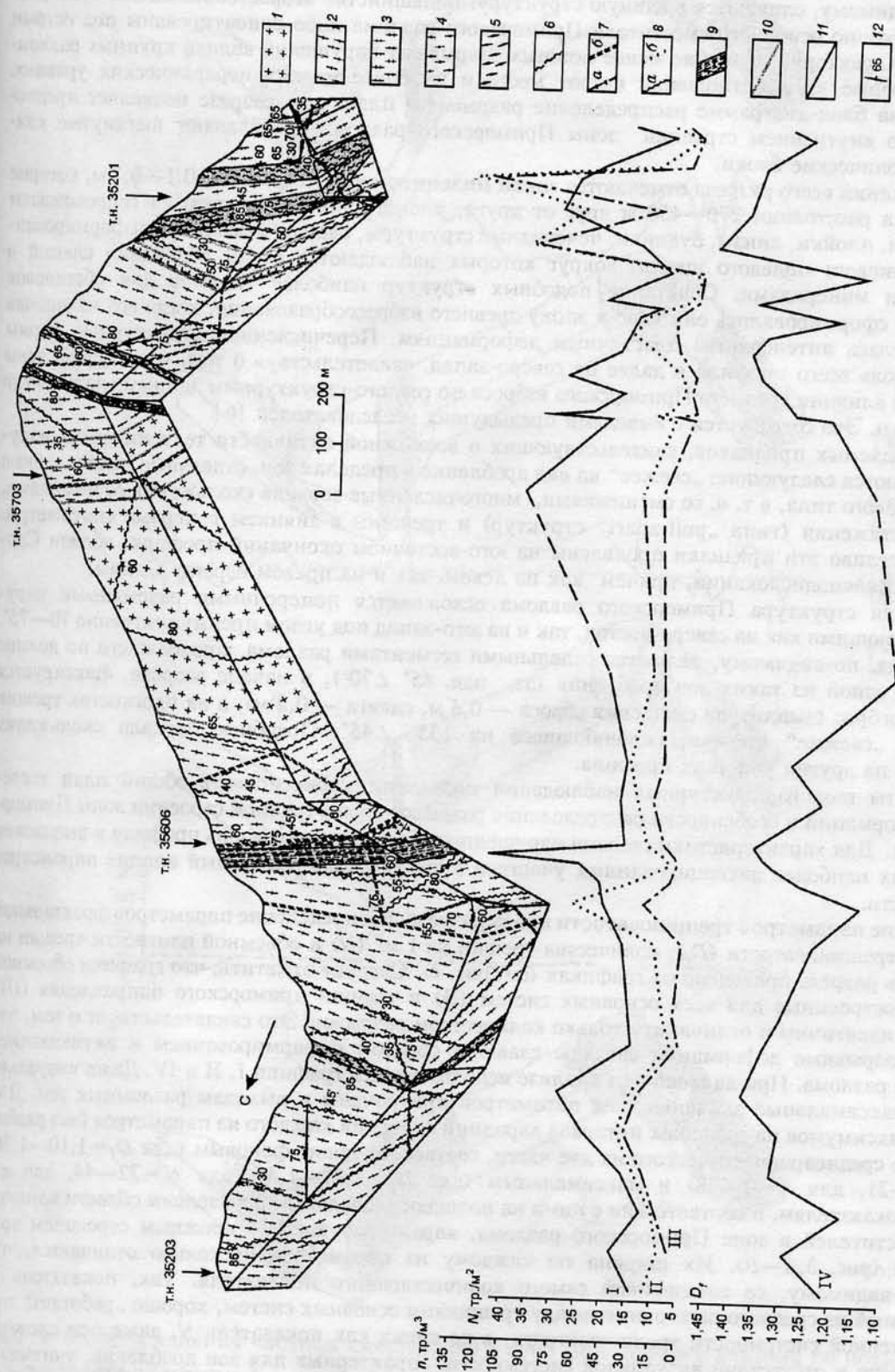


Рис. 2. Блок-диаграмма геолого-структурного профиля по р. Сарма вкрест простирания зоны Приморского разлома и графики изменения параметров трещиноватости.

I — количество трещин на 1 м^2 ; II — объемная плотность на 1 м^3 ; III — основные систем трещин, IV — трещин приморского направления; V — факральная размерность сети трещин. Горные породы: 1 — граниты и гранитоиды, 2 — кристаллические сланцы и гнейсы, 3 — сильно расщепленные гнейсы, 4 — кварциты, 5 — blastsмилониты. Зоны: 6 — расщепления, 7 — дробления (a) и трещиноватости (b), 8 — милонитизации (a) и blastsмилонитов (b), 9 — крупные разломы, 10 — граница контакта между породами, 11 — крупные сколовые трещины, 12 — элементы залегания разрывных зон.

разделенных относительно слабо нарушенными блоками. Наиболее крупные из них имеют мощность 5—15 и 30—60 м. Основной сместитель разлома (аз. пад. $145\text{--}155^\circ \angle 45\text{--}65^\circ$) обнажается в скальных выходах урочища Сарминские щеки в виде двух мощных тектонических зон, которые на глубине, по-видимому, сливаются в единую структуру. Большинство второстепенных зон субпараллельны простиранию основного сместителя Приморского разлома либо ориентированы под острым углом к нему. Характерно сгущение менее мощных разрывных нарушений вблизи крупных разломных зон. Подобные взаимоотношения имеют место и на более низких иерархических уровнях. Наблюдаемое на блок-диаграмме распределение разрывов в плане и в разрезе позволяет предположить, что во внутреннем строении зоны Приморского разлома преобладают вытянутые клиновидные тектонические блоки.

На протяжении всего разреза отмечаются зонки милонитизации мощностью 0,1—0,2 м, которые картируются на расстоянии 270—450 м друг от друга, иногда ближе. Зачастую их сопровождают мелкие складки, плейки, линзы, будинки, чечевидные структуры, овоиды и овальные деформированные зерна калиевого полевого шпата, вокруг которых наблюдаются следы облекания слюдой и темноцветными минералами. Сочетание подобных структур наиболее типично для обстановок сжатия [19], и сформировались они явно в эпоху древнего взбросообразования, когда вся изучаемая толща подверглась интенсивным пластичным деформациям. Перечисленные структурные формы отмечаются вдоль всего профиля и далее на северо-запад, свидетельствуя о том, что ширина зоны динамического влияния древнего Приморского взброса по геолого-структурным данным значительно превышает 3 км. Это согласуется с выводами предыдущих исследователей [6].

Из наблюдаемых признаков, свидетельствующих о возможной активности тектонических нарушений, отмечаются следующие: „свежее“ на вид дробление в пределах зон, отдельные подновленные трещины сколового типа, в т. ч. со смещениями, многочисленные зеркала скольжения со штрихами, структуры растяжения (типа „pull-apart“ структур) и трещины с зиянием в первые сантиметры. Наиболее отчетливо эти признаки проявлены на юго-восточном окончании профиля, вблизи Сарминской палеосейсмодислокации, причем как на левом, так и на правом берегах Сармы.

Внутренняя структура Приморского разлома осложняется поперечными разрывными нарушениями, падающими как на северо-восток, так и на юго-запад под углом преимущественно $70\text{--}75^\circ$. Эти нарушения, по-видимому, являются отдельными сегментами разлома, проходящего по долине р. Сарма. По одной из таких зон дробления (аз. пад. $45^\circ \angle 70^\circ$), в начале разреза, фиксируется правый сдвигоброс (амплитуда смещения сброса — 0,5 м, сдвига — 0,2 м), а на плоскостях трещин наблюдаются „свежие“ штрихи, склоняющиеся на $135^\circ \angle 45^\circ$. Подобные зеркала скольжения отмечаются и на других участках профиля.

Результаты геолого-структурных наблюдений позволили зафиксировать общий план тектонических деформаций и особенности распределения разрывов во внутреннем строении зоны Приморского разлома. Для характеристики степени нарушенности горных пород вдоль профиля и выделения в его пределах наиболее дислоцированных участков проведен количественный анализ параметров трещиноватости.

Изменение параметров трещиноватости вдоль разреза. Распределение параметров фрактальной размерности трещиноватости (D_f), количества трещин на 1 м^2 (N) и объемной плотности трещин на 1 м^3 (n) вдоль разреза приведено на графиках (см. рис. 2). Следует отметить, что графики объемной плотности, построенные для всех основных систем (II) и трещин приморского направления (III) практически идентичны и отличаются только количеством разрывов. Это свидетельствует о том, что изученные разрывные деформации связаны главным образом с формированием и активизацией Приморского разлома. При дальнейшем анализе использовались графики I, II и IV. Даже визуально видно, что максимальные значения всех параметров приурочены к выходам разломных зон. Для выделения максимумов на графиках интервал вариаций значений каждого из параметров был разбит относительно среднеарифметического на две части, соответствующие фоновым (для $D_f = 1,10\text{--}1,30$, для $N = 11\text{--}21$, для $n = 2\text{--}28$) и максимальным (для $D_f = 1,31\text{--}1,47$, для $N = 22\text{--}44$, для $n = 29\text{--}136$) показателям. В соответствии с ними на площади исследований выделены области влияния частных сместителей в зоне Приморского разлома, характеризующиеся сложным строением трещиноватости (рис. 3, А—В). Их ширина по каждому из параметров несколько отличается, что связано, по-видимому, со спецификой самого количественного показателя. Так, показатель n , рассчитываемый из среднего расстояния между трещинами основных систем, хорошо „работает“ при четко выраженной системности трещиноватости, в то время как показатель N , даже при сложной трещиноватости и отсутствии визуальной системности, характерных для зон дробления, учитывает все трещины на плоскости обнажения. Высокие значения D_f свидетельствуют о сложной геометрии трещинной сети в обнажении, составляющими которой, по-видимому, являются плотность и пространственные взаимоотношения трещин, их длины, системность и иерархическая соподчиненность. Можно предположить, что усложнение геометрии трещинной сети происходит как за счет фор-

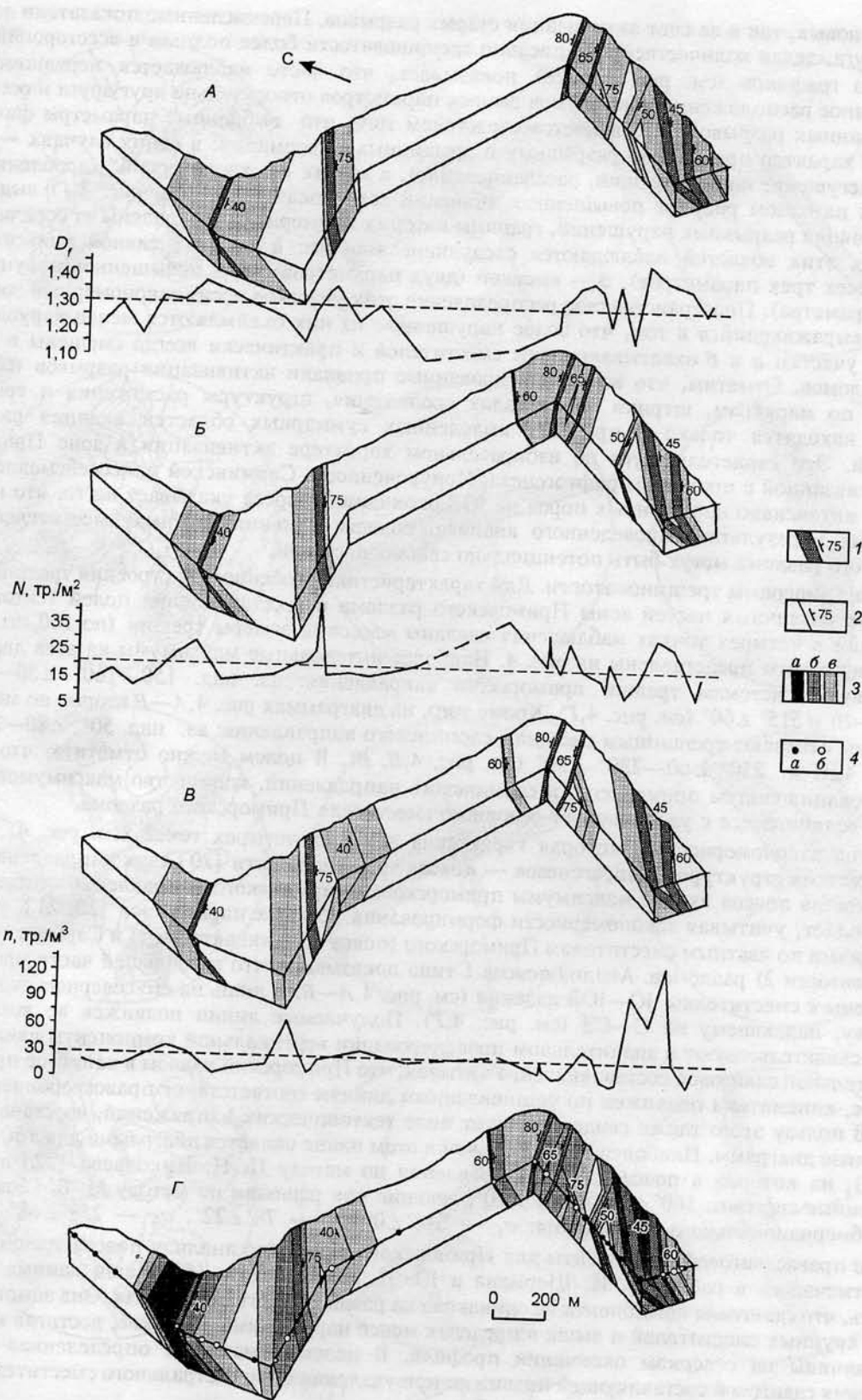


Рис. 3. Области влияния частных сместителей в зоне Приморского разлома по показателю:

А — фрактальной размерности, Б — количества трещин на 1 м^2 , В — объемной плотности трещин на 1 м^3 , Г — по трем показателям. Штриховая линия на графиках — среднеарифметические значения показателей. 1 — крупные разломные зоны и их элементы залегания; 2 — маломощные разрывные зоны, которые проявляются в параметрах трещиноватости; 3 — участки наиболее нарушенных пород: а — интенсивной, б — высокой, в — повышенной нарушенности; 4 — точки наблюдения, в которых зафиксированы сбросовые смещения (а) и штрихи скольжения (б).

мирования новых, так и за счет активизации старых разрывов. Перечисленные показатели дополняют друг друга, делая количественное описание трещиноватости более полным и всесторонним.

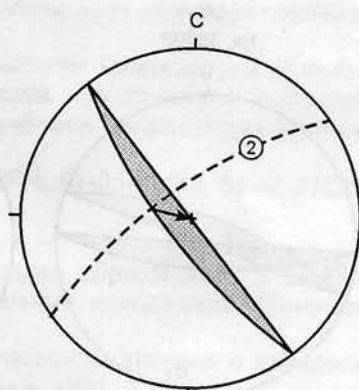
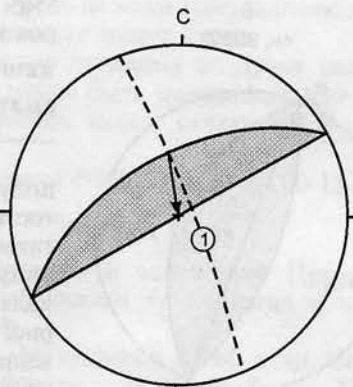
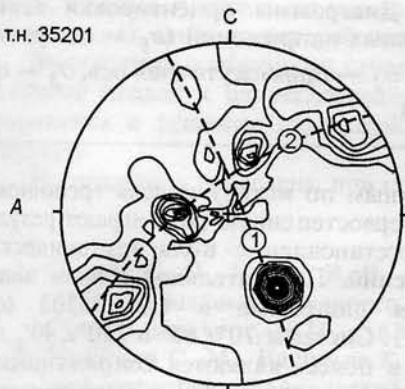
Анализ графиков (см. рис. 3, А—В) показывает, что часто наблюдается неравномерное и асимметричное расположение максимумов разных параметров относительно друг друга и осевых зон закартированных разрывов. Это является следствием того, что выбранные параметры фиксируют различный характер проявления разрывных и трещинных деформаций: в одних случаях — упорядоченный (сгущение систем трещин, расщепление), в других — „хаотический“ (дробление). При наложении на одном рисунке повышенных значений всех показателей (см. рис. 3, Г) выделяются области влияния разрывных нарушений, границы которых примерно равноудалены от осей разрывов. В пределах этих областей наблюдаются следующие участки: *а* — интенсивной (максимальные значения всех трех параметров), *б* — высокой (двух параметров), *в* — повышенной нарушенности (одного параметра). Пространственное распределение этих участков носит закономерный зональный характер, выражающийся в том, что более нарушенные из них окаймляются менее нарушенными. При этом участки *а* и *б* охватывают зоны сместителей и практически всегда смещены в лежачее крыло разломов. Отметим, что все зафиксированные признаки активизации разрывов (сбросовые смещения по маркерам, штрихи на зеркалах скольжения, структуры растяжения и трещины с зиянием) находятся только в пределах выделенных суммарных областей влияния разрывных нарушений. Это свидетельствует об избирательном характере активизации в зоне Приморского разлома, связанной с процессом рифтогенеза. Приуроченность Сарминской палеосейсмодислокации к участку интенсивно нарушенных пород на ЮВ окончании разреза указывает на то, что и другие, выделенные в результате проведенного анализа, области влияния частных сместителей в зоне Приморского разлома могут быть потенциально сейсмоопасными.

Анализ диаграмм трещиноватости. Для характеристики особенностей строения трещиноватости в пределах различных частей зоны Приморского разлома и восстановления полей тектонических напряжений в четырех точках наблюдения сделаны массовые замеры трещин (по 100 шт.). Полученные диаграммы представлены на рис. 4. Наиболее интенсивные максимумы на всех диаграммах соответствуют системам трещин приморского направления: аз. пад. $150-160^\circ \angle 50-70^\circ$ (см. рис. 4, А—В) и $315^\circ \angle 60^\circ$ (см. рис. 4, Г). Кроме того, на диаграммах рис. 4, А—В вторые по значимости максимумы отвечают трещинным системам сарминского направления: аз. пад. $50^\circ \angle 80-230^\circ \angle 80^\circ$ (см. рис. 4, А) и $250^\circ \angle 60-230^\circ \angle 50^\circ$ (см. рис. 4, Б, В). В целом можно отметить, что на фоне превалярования систем приморского и сарминского направлений, количество максимумов на диаграммах увеличивается с удалением от основного сместителя Приморского разлома.

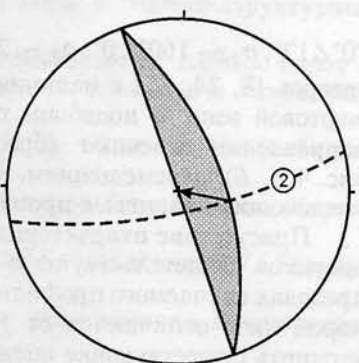
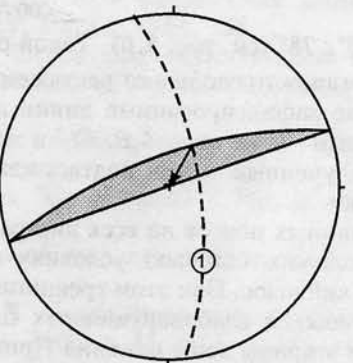
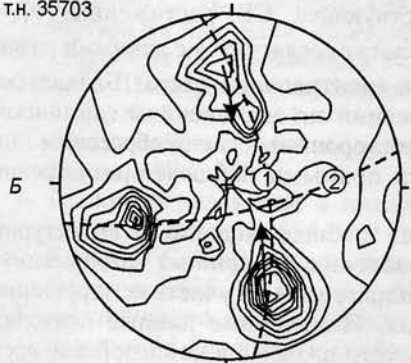
Другой закономерностью, которая характерна для всех четырех точек (см. рис. 4), является наличие четких структурных парагенезов — поясов трещиноватости [20] двух направлений: С—СЗ и СВ. В состав поясов входят максимумы приморского и сарминского направлений соответственно. Это позволяет, учитывая закономерности формирования поясных парагенезов [20, 21], увязать их с движениями по частным сместителям Приморского (пояса трещиноватости 1) и Сарминского (пояса трещиноватости 2) разломов. Анализ поясов 1 типа показывает, что на большей части профиля они приурочены к сместителям Ю—ЮВ падения (см. рис. 4, А—В) и лишь на его северном окончании — к разрыву, падающему на С—СЗ (см. рис. 4, Г). Получаемые линии подвижек во всех четырех случаях свидетельствуют о значительном преваляровании вертикальной компоненты движения при незначительной сдвиговой составляющей. Учитывая, что Приморский разлом в кайнозое проявляется как сброс, кинематика подвижек по установленным линиям соответствует правостороннему сдвигосбросу. В пользу этого также свидетельствует поле тектонических напряжений, восстанавливаемое при анализе диаграмм. Наиболее показательной в этом плане является диаграмма для т.н. 35703 (см. рис. 4, Б), на которой в поясе С—СЗ направления по методу П. Н. Николаева [22] выделяются сопряженные системы: $160^\circ \angle 70^\circ$ и $357^\circ \angle 70^\circ$, дающие при решении по методу М. В. Гзовского [23] поле субмеридионального растяжения: $\sigma_1 - 348^\circ \angle 0^\circ$, $\sigma_2 - 78^\circ \angle 22^\circ$, $\sigma_3 - 258^\circ \angle 68^\circ$ (рис. 5, А). Наличие правосдвиговой компоненты для Приморского сброса (по анализу поясов трещиноватости) ранее отмечалось в работе С. И. Шермана и Ю. И. Днепровского [3]. Наши данные позволяют уточнить, что сдвиговая компонента не одинакова на разных участках профиля. Она заметно меньше в зонах крупных сместителей и выше в пределах менее нарушенных участков, достигая максимальной величины на северном окончании профиля. В целом намечается определенная тенденция увеличения сдвиговой составляющей подвижки при удалении от магистрального сместителя Приморского разлома в его лежачее крыло.

Дизъюнктивы сарминского направления, с движениями по которым связаны пояса второго типа, также характеризуются различными падениями на разных отрезках профиля. В двух точках такие разрывы имеют СВ (см. рис. 4, А, Г), а в двух других — ЮЗ (см. рис. 4, Б, В) падение. Получаемые линии подвижек также указывают на преобладание вертикальной компоненты смещений и наличие сдвиговой составляющей. Учитывая, что, в отличие от Приморского, для Сарминского разлома нет однозначных данных о его кинематике в кайнозое, для уточнения направления движений по линиям,

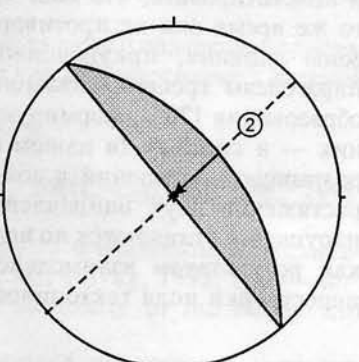
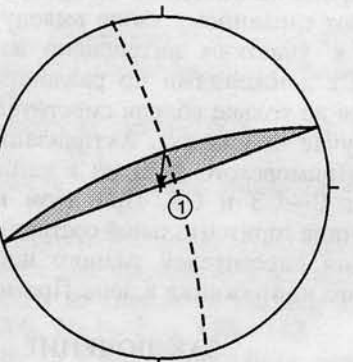
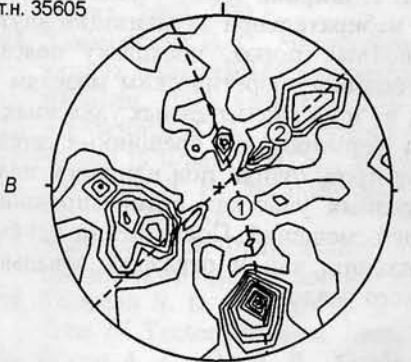
Т.Н. 35201



Т.Н. 35703



Т.Н. 35605



Т.Н. 35203

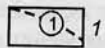
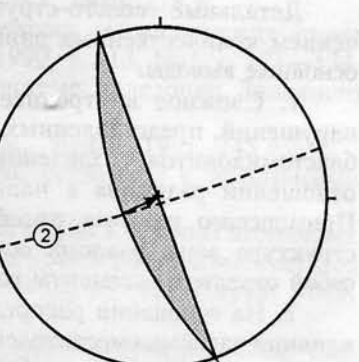
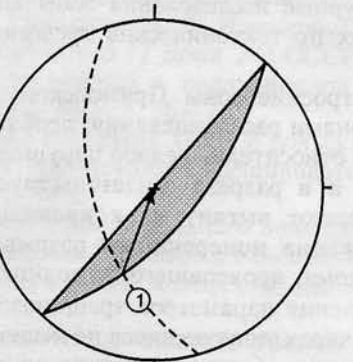


Рис. 4. Диаграммы трещиноватости и сферограммы для определения вектора смещения в зоне Приморского разлома.

1 — линия пояса трещиноватости и его номер; 2 — плоскость разрыва и вектор смещения по нему; 3 — направления преимущественных разбросов в максимумах трещиноватости, указывающие на сопряженность трещин по методике П. Н. Николаева [22].

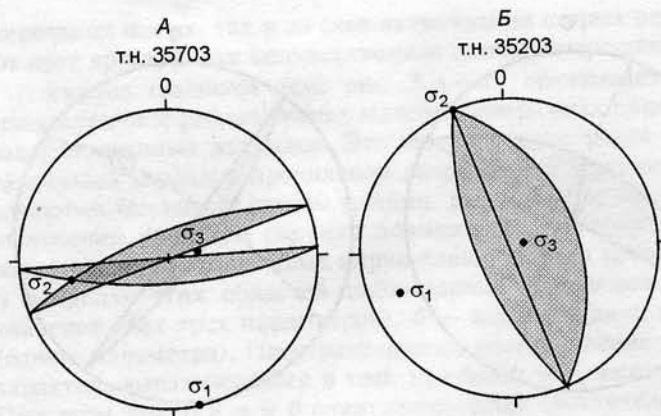


Рис. 5. Диаграммы ориентировки векторов главных напряжений (σ_1 — ось растяжения, σ_2 — промежуточная ось, σ_3 — ось сжатия).

полученным по методу поясов трещиноватости, первостепенную роль играют результаты восстановления поля тектонических напряжений. Показательной в этом плане является диаграмма в т.н. 35203 (см. рис. 4,Г). Системы $70^\circ \angle 65^\circ$ и $250^\circ \angle 40^\circ$, лежащие в поясе, являются сопряженными, по методу Николаева [22], и дают решение, соответствующее СВ растяжению: σ_1 — $70^\circ \angle 12^\circ$, σ_2 — $160^\circ \angle 0^\circ$, σ_3 — $250^\circ \angle 78^\circ$ (см. рис. 5,Б). Такой результат согласуется с данными разных авторов [8, 24, 25] о наличии этапов продольного растяжения в (центральной части) Байкальской рифтовой зоне. В подобном поле зафиксированные линии движений по нарушениям сарминского направления отвечают сбросовым (см. рис. 4,В,Г) и правосторонним сдвиго-сбросовым (см. рис. 4,А,Б) перемещениям. Полученный вывод подтверждается прямыми наблюдениями трещин, смещающих кварцевые прожилки.

Присутствие охарактеризованных поясов на всех диаграммах и общее сходство их структурных рисунков свидетельствуют о похожих (единых) условиях проявления трещинных деформаций в пределах изучаемого профиля в кайнозое. При этом трещинные парагенезы на участках нарушенных пород мало отличаются от таковых в слабонарушенных блоках. Полученные данные позволяют уточнить существующие оценки ширины зоны влияния Приморского разлома в кайнозойское время и констатировать, что наш профиль не вышел за ее пределы (т. е. ширина зоны — более 3 км). В то же время они не противоречат сделанному выше выводу об избирательной активизации внутри зоны влияния, приуроченной к участкам интенсивно нарушенных пород, поскольку поясные парагенезы трещин, связанные с движениями по разломам (согласно теоретическим моделям их образования [20]), формируются не только вблизи сместителей, но и на значительных удалениях от них — в крыльях (в нашем случае — блоках). Активизация и формирование трещинных сетей и разрывных нарушений в зоне Приморского разлома в кайнозое происходила под влиянием полей растяжения двух направлений: С—СЗ и СВ. При этом на разных участках активизированные нарушения отличаются по величине горизонтальной составляющей смещений. Последнее может быть как результатом взаимодействия сместителей разного направления, так и отражать локальные перестройки поля тектонического напряжения в зоне Приморского разлома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальные геолого-структурные исследования зоны влияния Приморского разлома с привлечением количественных данных по тектонической трещиноватости позволили сделать следующие основные выводы.

1. Сложное внутреннее строение зоны Приморского разлома определяется наличием серии нарушений, представленных зонами расщепления, дробления, трещиноватости, милонитизации и бластомилонитов, разделенных относительно слабо нарушенными блоками. Характеристика взаимоотношений разрывов в плане и в разрезе свидетельствует, что во внутреннем строении зоны Приморского разлома преобладают вытянутые клиновидные тектонические блоки. Кроме того, структура зоны разлома осложнена поперечными разрывными нарушениями, представляющими собой отдельные сегменты разлома, проходящего по долине р. Сарма.

2. На основании распределения параметров трещиноватости в зоне разлома выделены области влияния частных сместителей, характеризующиеся повышенной раздробленностью пород и сложным строением сети трещин. Строение областей влияния частных сместителей носит закономерный зональный характер, выражающийся в том, что более нарушенные участки окаймляются менее нарушенными. Признаки кайнозойской активизации отмечены только в пределах нарушенных участков, что может свидетельствовать об избирательной активизации тектонического процесса, сосредоточенной в областях влияния частных сместителей.

3. Данные обработки массовых замеров трещиноватости указывают на единые условия проявления трещинных деформаций в зоне Приморского разлома в кайнозое под воздействием полей растягивающих напряжений С—СЗ и СВ направлений. При этом по частным сместителям Приморского и Сарминского разломов происходили сбросовые и правосторонние сдвигосбросовые подвижки.

Таким образом, профиль не вышел за пределы зоны Приморского разлома (для этапа кайнозойской активизации), ширина которой составляет не менее 3 км.

Выявленные особенности строения зон активных разломов (на примере Приморского сброса) и подобный подход к их исследованию могут быть полезными для целей сейсмического микрорайонирования и решения ряда практических задач, связанных с изучением рудоконтролирующих структур.

Исследования проведены при поддержке РФФИ (грант № 00-15-98574, 01-05-64485, 01-05-97226).

ЛИТЕРАТУРА

1. Обухов С. П., Ружич В. В. Структура и положение Приморского сбрососдвига в системе главного разлома Западного Прибайкалья // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Иркутск, 1971, с. 65—68.
2. Замараев С. М., Васильев Е. П., Мазукабзов А. М. и др. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск, Наука, 1979, 125 с.
3. Шерман С. И., Днепровский Ю. И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск, Наука, 1989, 158 с.
4. Гореванов Д. Е., Конорев В. И. Структурно-вещественные преобразования горных пород в зоне Приморского глубинного разлома (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика, 1991, № 5, с. 54—61.
5. Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения / Ред. Н. А. Логачев. Новосибирск, Наука, 1992, 228 с.
6. Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия / Ред. Н. А. Логачев. Новосибирск, Наука, Сиб. изд. фирма, 1994, 263 с.
7. Кузьмин С. Б. Геоморфология зоны Приморского разлома (Западное Прибайкалье) // Геоморфология, 1995, № 4, с. 53—61.
8. Аржанникова А. В., Гофман Л. Е. Проявление неотектоники в зоне влияния Приморского разлома // Геология и геофизика, 2000, т. 41, № 6, с. 811—818.
9. Сейсмотектоника и сейсмичность рифтовой системы Прибайкалья / Ред. В. П. Солоненко. М., Наука, 1968, 220 с.
10. Хромовских В. С., Чипизубов А. В., Смекалин О. П. и др. Новые данные о палеосейсмодислокациях Байкальской рифтовой зоны // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии, 1993, вып. 1, с. 256—264.
11. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. N.Y., 1982, 121 p.
12. Федер Е. Фракталы. М., Мир, 1991, 258 с.
13. Васильев Л. Н. Мультифрактальность природной среды // Изв. РАН, Сер. географ., 1998, № 4, с. 25—40.
14. Челидзе Т. Л. Фрактальность структур разрушения геоматериалов // Физические и сейсмогеологические основы прогнозирования разрушения горных пород. М., Наука, 1992, с. 39—46.
15. Sherman S. I., Gladkov A. S. Fractals in studies of faulting and seismicity in the Baikal Rift Zone // Tectonophysics, 1999, v. 308, № 1—2, p. 133—142.
16. Ескин А. С., Эз В. В., Грабкин О. В. и др. Корреляция эндогенных процессов в метаморфических комплексах докембрия Прибайкалья. Новосибирск, Наука, 1979, 118 с.
17. Летников Ф. А., Халилов В. А., Савельева В. Б. Изотопный возраст магматических пород Приольхонья (Юго-Западное Прибайкалье) // Докл. АН СССР, 1990, т. 313, № 1, с. 171—174.
18. Федоровский В. С. Купольный тектогенез в коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Геотектоника, 1997, № 6, с. 56—71.
19. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок (Пер. с польск). М., Недра, 1981, 245 с.
20. Данилович В. Н. Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск, ИПИ, 1961, 48 с.
21. Осокина Д. Н., Цветкова Н. Ю. Изучение локального поля напряжений и прогноз вторичных нарушений в окрестностях тектонических разрывов и в очагах землетрясений с учетом третьего главного напряжения // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М., Наука, 1979, с. 163—184.
22. Николаев П. А. Методика статистического анализа трещин и реконструкция полей тектонических напряжений // Изв. вузов. Геология и разведка, 1977, № 12, с. 103—116.
23. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М., Наука, 1975, 536 с.
24. Семинский К. Ж., Гладков А. С. Комплексный подход к картированию структур земной коры на современном этапе развития тектонофизики // Отечественная геология, 1997, № 4, с. 4—17.
25. Саньков В. А., Мирошниченко А. И., Леви К. Г. и др. Реконструкция этапов развития напряженного состояния земной коры Байкальского рифта // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI века. Новосибирск, Наука, 1996, с. 126—132.

Рекомендована к печати 24 мая 2001 г.
Н. А. Берзиным

Поступила в редакцию
8 февраля 2001 г.