

А. В. Черемных

РАЗЛОМЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРИБАЙКАЛЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ СТРУКТУРНО-ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Институт земной коры СО РАН, Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Изучены парагенезисы разрывов в разломных зонах Центрального Прибайкалья. Структурно-парагенетический подход позволил выявить разноранговые разломные структуры, реконструировать их кинематический тип и напряженно-деформированное состояние в окрестностях этих дизъюнктивов. Разнообразие локальных разрывов и напряженных состояний верхней коры, при которых они формировались, связано с иерархией дизъюнктивных дислокаций и полициклическим развитием разломов. Для разломов второго уровня иерархии выявлена наиболее выраженная региональная тектоническая обстановка, а также одна-две обстановки с меньшим количеством решений. Развитие изученных разломных зон северо-восточного простирания связано с разновозрастными тектоническими обстановками регионального уровня, так как парагенетические ассоциации разрывов в зонах изученных региональных разломов второго уровня соответствуют сбросам, сдвигам и взбросам. В кайнозойских породах, расположенных в зонах разломов региона, преобладают сбросы северо-восточного простирания (6 решений) и левосторонние сдвиги субширотной ориентировки (5 решений). Библиогр. 39 назв. Ил. 5.

Ключевые слова: разломные зоны, структурно-парагенетический анализ, тектоническая трещиноватость, иерархия разрывов, Байкальский рифт.

FAULTS OF THE CENTRAL BAIKAL REGION: STRUCTURAL-PARAGENETIC METHOD RESULTS

A. V. Cheremnykh

Institute of the Earth's Crust SB RAS, 128, ul. Lermontova, Irkutsk, 664033, Russian Federation

Parageneses of gaps had been studied in the fault zones of the Central Baikal region. Structural-paragenetic method allowed to reveal fractured structures of different ranks, reconstruct their kinematic type and stress-strain state of faults in the vicinity of these. Variety of local fractures and stress states of the upper crust in which they were formed originated due to the hierarchy of disjunctive dislocations and fractures polycyclic development. For faults of the second level of the hierarchy the most pronounced regional tectonic setting is revealed, as well as one or two situations with fewer solutions. Formation of fault zones northeast strike connected to the tectonic setting of different ages at the regional level, because paragenetic association gaps in the areas of studied regional faults correspond to second-level normal faults, shear and reverse faults. In Cenozoic rocks which are situated in the fault zones of the region, normal NE-trending (6 solutions) left-shifts of sublatitudinal orientation (5 decisions) dominate. Refs 39. Figs 5.

Keywords: fault zones, structural and paragenetic analysis, tectonic joints, hierarchic fault, Baikal rift.

Введение

Изучению разломной тектоники и геодинамики Прибайкалья посвящены работы многих исследователей [1–20], в большинстве из которых рассмотрены пространственно-временные модели формирования Байкальского рифта или рифтовой системы в целом. К сожалению, несмотря на то, что к настоящему времени накоплено значительное количество сведений о кинематическом типе разноранговых разрывов и реконструкций напряженно-деформированного состояния (Н-ДС) по остаточным деформациям горных пород, у исследователей нет единого мнения

о количестве различных палеотектонических обстановок в пределах Прибайкалья. По нашему мнению, решение этого вопроса осложняется значительными вариациями ориентировки осей напряжений не только во времени, но и в пространстве, что связано как с отличиями в простирации крупных сегментов Байкальской межплитной границы, так и с иерархической разломно-блоковой структурой верхней коры региона.

М. В. Гзовский при определении направления исследования тектонических полей напряжений отметил, что на фоне общего поля напряжений могут быть выявлены поля тектонических напряжений, генетически связанные с развитием определенных структурных форм [21]. Одной из таких структурных форм являются крупные (трансрегиональные и региональные) разломы. Последние представляют собой объемные геологические тела, в зоне влияния которых наблюдаются остаточные деформации горных пород, связанные с формированием дизъюнктива и последующими подвижками по нему [22, 23]. Однако в пределах крупных разломных зон часто реконструируется сложное Н-ДС, связанное как с парагенетическими ассоциациями разноранговых разрывов, составляющих внутреннюю структуру дизъюнктива, так и с разнонаправленными смещениями его крыльев в отдельные тектонические эпохи. Решение данной проблемы, по нашему мнению, следует искать на основе комплексирования методов структурного, системного и парагенетического анализов. Суть системного анализа детально охарактеризована в работе [24] и сводится к рассмотрению частных решений как составляющих более крупных структур (систем). Так, систематизация локальных напряжений вблизи разнонаправленных разрывов зон региональных дизъюнктивов восточного побережья озера Байкал позволила установить связь разломно-блоковой структуры и Н-ДС [25]. Парагенетический анализ позволяет по сочетанию соответствующих структур и структурным рисункам разрывных дислокаций реконструировать динамическую обстановку, при которой они образовались. В частности, исследование трещиноватости кайнозойских осадков Байкальского рифта показало, что многообразие реконструированных стресс-тензоров связано с влиянием на характер остаточных деформаций горных пород временной, пространственной и иерархической изменчивости условий структурообразования при рифтогенезе [26].

Ниже приведено исследование парагенетических ассоциаций разноранговых разрывов, образующих внутреннюю структуру зон известных разломов Центрального Прибайкалья, с целью изучения тектонических обстановок регионального уровня. Район исследования интересен тем, что находится на стыке Сибирской платформы и Забайкальской складчатой области, где в кайнозой развивается Байкальская рифтовая система.

Методы исследования

В 2009–2010 годах по профилю Шертой — Тарбагатай проведены комплексные геолого-геофизические исследования [19, 20]. Изучены межблоковые зоны верхней части земной коры и Н-ДС в их пределах. В данной работе мы рассмотрим две дизъюнктивные системы, которые большинством исследователей относятся к основным разломам Байкальского рифта (структуры второго уровня по отношению к рифту), отделяющим его от окружающих хребтов (рис. 1, А). Это Обручевская система раз-

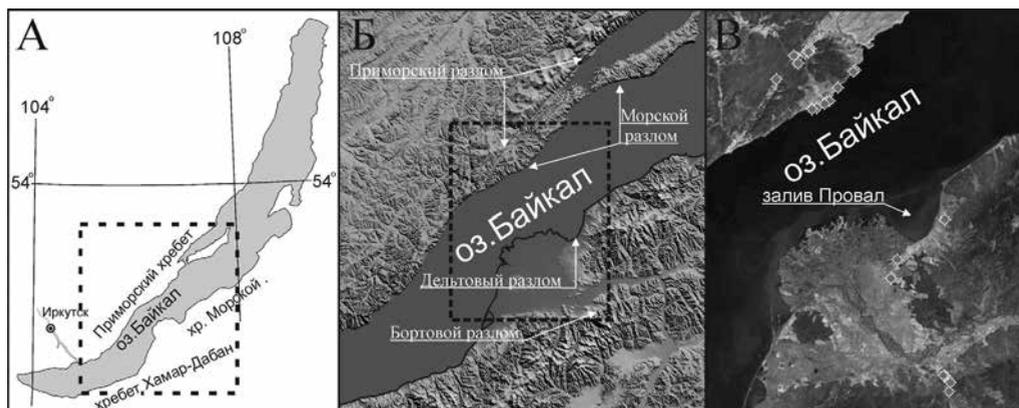
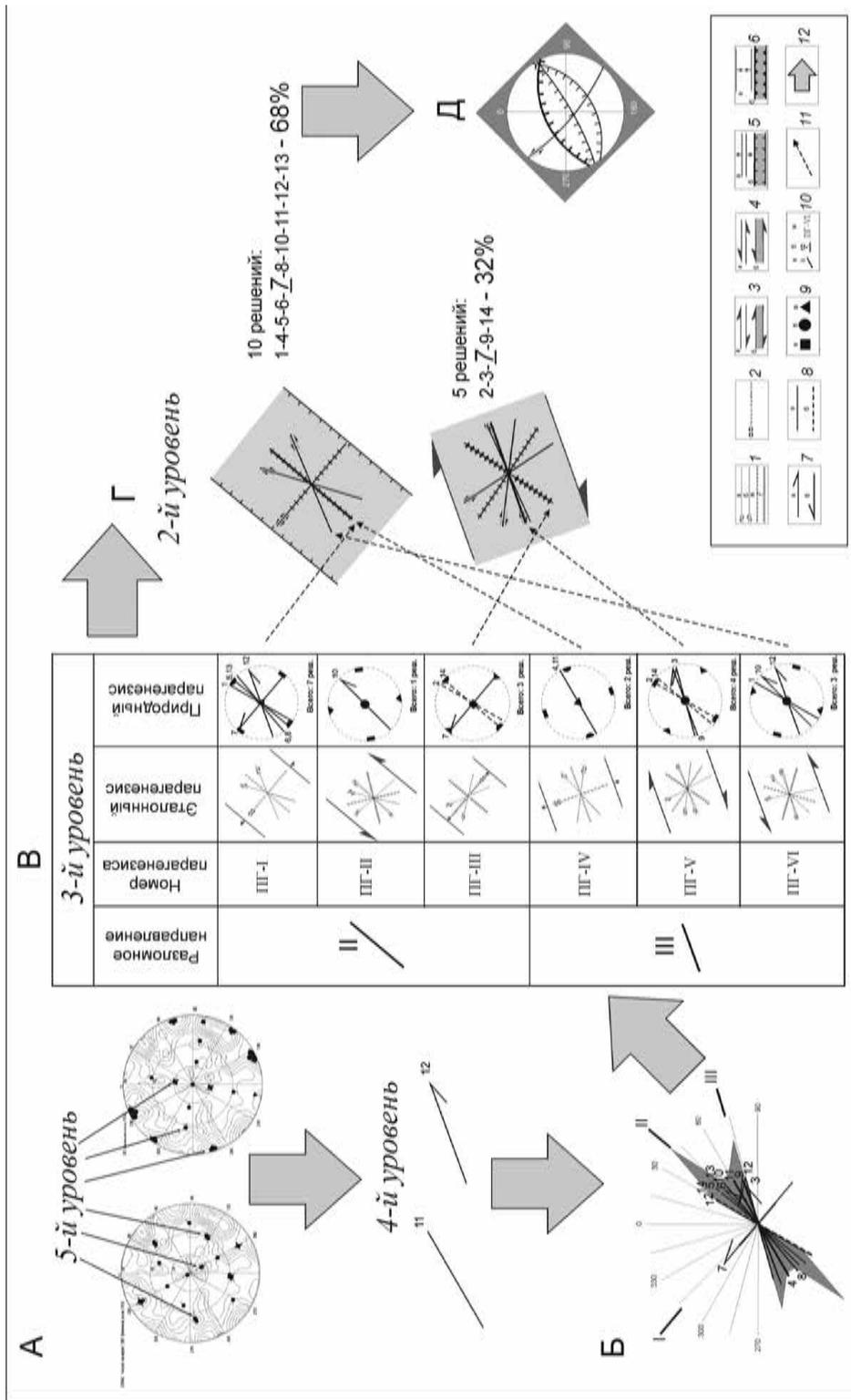


Рис. 1. Местоположение района исследований с элементами орографии (А), основные разломы Прибайкалья на цифровой модели рельефа (Б) и расположение точек геолого-структурных наблюдений (В)

ломов северо-западного борта рифта и система разломов Черского юго-восточного борта. В Обручевской системе нами исследованы зоны Приморского и Ольхонского разломов, а в рамках системы разломов Черского изучены зоны Бортового и Дельтового дизъюнктивов (рис. 1, Б). В пределах этих разломных зон в ходе комплексных исследований и в последующие годы создана сеть точек геолого-структурных наблюдений (рис. 1, В).

Обработка фактического материала проведена на основе структурно-парагенетического анализа разрывов и трещиноватости горных пород вблизи разломных сместителей [23, 26, 27], применение которого позволяет выявить последовательный иерархический ряд разрывных нарушений и соответствующих им тектонических напряжений. Методика структурно-парагенетического анализа разрывов и тектонической трещиноватости горных пород детально изложена ранее [26], поэтому рассмотрим только основные этапы реконструкции и особенности применения метода в рамках данного исследования (рис. 2). В каждой точке геолого-структурных наблюдений собирался фактический материал о локальных разрывах (зоны трещиноватости, дробления или милонитизации горных пород) и (или) тектонической трещиноватости (системность, плотность и генетический тип трещин), а также о специфических структурных элементах, таких как штрихи или борозды скольжения на плоскостях трещин и разрывов, смещения маркеров и т.п. Следует отметить, что не во всех обнажениях горных пород присутствуют разрывы и связанные с ними специфические структурные элементы, однако в каждом выходе даже слаболицированных осадков района исследования имеется трещиноватость, в связи с чем наблюдения сопровождались массовым замером залегания трещин. Дальнейшая обработка включала построение и анализ диаграмм трещиноватости, а также другого собранного в точках наблюдения фактического материала. Диаграммы построены в проекции верхней полусферы при помощи программы «Структура», разработанной в лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН.

Структурно-парагенетический анализ разрывов и трещиноватости горных пород вблизи разломных сместителей на основе сопоставления диаграмм трещиноватости с идеализированными трафаретами, характерными для зон скалывания



различного кинематического типа, изложен в работе [27]. Если на диаграммах выделялись пояса трещиноватости, соответствующие наблюдаемым в обнажении разрывам, дополнительно применялся метод В. Н. Даниловича для восстановления линии скольжения по сместителю разрыва [28], а по следам скольжения, зафиксированным на плоскостях разрывов, реконструировались оси напряжений с помощью метода В. Д. Парфенова [29]. Применение этих методов, реализованных в программе «Структура», способствовало верификации результатов структурно-парагенетического анализа.

Основным итогом первого этапа обработки собранного материала было выявление зон скальвания четвертого уровня иерархии (структуры 1-го локального уровня согласно [26]) и определение их кинематического типа (рис. 2, А). Затем все решения о зонах скальвания, полученные для конкретной разломной зоны, систематизировались по азимутам простирания с выделением основных направлений разломов (рис. 2, Б). Для статистически значимых направлений (лучи розы-диаграммы, представленные несколькими разрывами) производился структурно-парагенетический анализ природных дислокаций третьего уровня (рис. 2, В). В ходе анализа рассматривались парагенетические ассоциации разломных зон различного кинематического типа (сдвиги, сбросы, взбросы), для которых имеются решения о локальных зонах скальвания, соответствующие простиранию основного сместителя разлома. В результате каждый природный структурный парагенезис 3-го уровня оказался выражен определенным количеством решений. Следует отметить, что структуры третьего уровня — это региональные разломные зоны, состоящие из локальных зон скальвания четвертого уровня.

Затем осуществлялся переход к парагенезису разломов, образующих зоны дизъюнктивов второго уровня (см. рис. 2, В, Г). Для этого поочередно, от наиболее веро-

Рис. 2. Схема этапов порангового парагенетического анализа разрывных структур (на примере зоны Приморского разлома)

А — диаграммы трещиноватости, построенные для отдельных точек наблюдения (здесь и далее диаграммы построены в проекции верхней полусферы) и совмещенные с эталонными парагенезисами разрывов [Семинский, 2003]. Б — роза-диаграмма направлений разнотипных зон скальвания, реконструированных в результате структурно-парагенетического анализа трещинных сетей в точках наблюдения. В — результаты парагенетического анализа разрывных структур 3-го уровня для статистически значимых разломных направлений. Г — парагенезисы разрывных структур 2-го уровня, отражающие существование в зоне разлома обстановок растяжения и правостороннего сдвига. Д — диаграмма основного сместителя и разрывов 2-го порядка в зоне для наиболее проявленного структурного парагенезиса сброса (верхняя полусфера). Основной сместитель выделен жирной линией.

1 — система разрывных структур 2-го порядка с левосдвиговым (а), правосдвиговым (б), сбросовым (в) или взбросовым (г) характером перемещения крыльев; 2 — система разрывных структур 2-го порядка, характеризующихся одинаковой пространственной ориентировкой, но отличающихся характером перемещения крыльев (сброс; левый или правый сдвиг); 3–6 — зона скальвания 1-го порядка, развитие которой на 3-м (а) или 2-м (б) уровне структурообразования приводит к правому сдвигу (3), левому сдвигу (4), растяжению (5) или сжатию (6) земной коры; 7–8 — ориентировка и тип (7 — право- (а) или лево- (б) сдвиговая; 8 — сбросовая (а) или взбросовая (б)) зона скальвания, реконструированная в результате структурно-парагенетического анализа трещинной сети в точке наблюдения; 9 — выходы на верхнюю полусферу осей главных нормальных напряжений $\sigma_{\text{раст}}$ (а), σ_2 (б) и $\sigma_{\text{сж}}$ (в); 10 — нумерация разломных направлений (а), решений о зоне скальвания 1-го порядка на локальном уровне (б) и парагенезиса разрывных структур 3-го уровня; 11 — стрелки, отображающие связь природного парагенезиса 3-го уровня иерархии с разрывами зон скальвания 2-го уровня; 12 — стрелки, позволяющие проследить отдельные шаги порангового анализа.

ятного (максимальное количество решений о зонах скалывания четвертого уровня) к наименее проявленному природному парагенезису разрывов, рассматривались разломные структуры третьего уровня в качестве элементов более крупной разломной зоны (второй уровень). Анализ проводился последовательно до момента, пока все локальные решения не были рассмотрены как элементы дизъюнктивных зон второго уровня (см. рис. 2, Г). Далее на количественной основе (в процентах) рассчитывалась вероятность каждого из парагенезисов второго уровня. Так как некоторые зоны скалывания соответствуют различным парагенетическим ассоциациям второго уровня (номера выделены на рисунках подчеркиванием и курсивом), то их вклад принимался в соответствующих долях. Для наиболее проявленного парагенезиса каждого изученного регионального разлома построена диаграмма основных разрывов с выделением магистрального сместителя (рис. 2, Д). Диаграмма отображает выявленные в зоне разрывы, которые по своему пространственному положению могли сформироваться или активизироваться в ходе развития данной дизъюнктивной зоны. Предполагается, что наиболее вероятный итоговый парагенезис разломной зоны второго порядка отражает Н-ДС неотектонического этапа развития региона.

Полученные результаты

Изученные разломы являются активными на неотектоническом этапе развития региона. В их зонах ранее уже проводились геолого-структурные и тектонофизические исследования. Результаты наших работ подтвердили некоторые уже известные факты, а также позволили получить новые данные о внутренней структуре, кинематическом типе разрывов и напряженном состоянии верхней коры в зонах разломов.

Приморский глубинный разлом ранее изучен геолого-структурными и тектонофизическими методами [13, 17, 30–32]. Благодаря геоморфологической выработанности, великолепной обнаженности и доступности для изучения этот долгоживущий подновленный в кайнозойе дизъюнктив является опорным при палеотектонических реконструкциях. Ранее установлено, что на неотектоническом этапе основной сместитель дизъюнктива формировался как сброс с незначительной сдвиговой компонентой. Кроме того, изучены внутренняя структура и размеры зоны влияния этого дизъюнктива [31]. В рамках порангового структурно-парагенетического исследования в пределах зоны Приморского разлома, в непосредственной близости от его магистрального сместителя (см. рис. 1) собран фактический материал, обработка которого выявила 14 решений о зонах скалывания четвертого уровня. Анализ простирания этих разрывов позволил установить три системы, для двух из которых, имеющих неслучайный характер, изучены вероятные природные парагенезисы третьего уровня (см. рис. 2, В). Ярко выражен (7 решений о локальных зонах скалывания) парагенезис зон растяжения с простиранием 40° (ПГ-I). Существенно меньшим количеством решений (4 решения) характеризуется парагенезис зоны правого сдвига восток-северо-восточного простирания (ПГ-V). Менее проявленные парагенезисы разломов третьего уровня (ПГ-III, ПГ-VI) следует рассматривать как элементы уже выявленных парагенезисов второго уровня — зоны растяжения и зоны сдвига с правосторонним смещением крыльев (см. рис. 2, Г). Достаточно слабо про-

явленный (2 решения) парагенезис третьего уровня, соответствующий сбросу с простираем 70° , по нашему мнению, также следует отнести к зоне растяжения второго уровня. Это связано с тем, что решения 4 и 11, соответствующие локальным сбросам, характеризуются «пограничным» простираем 60° и обособлены в самостоятельный парагенезис третьего уровня лишь по формальной принадлежности к разломному направлению III. Однако для Приморского разлома ранее установлено наличие двух характерных направлений ориентировки осей напряжений, отличающихся на $20\text{--}30^\circ$, что, вероятно, обусловлено поэтапным формированием сброса [32]. Так учитываются все 14 решений о зонах скалывания четвертого уровня. При этом повторяющимся является лишь решение 7 (левый сдвиг северо-западной ориентировки), которое соответствует разрывам, характерным как для зон растяжения, так и для зон сдвига северо-восточного простираем. В результате подсчета процентного соотношения решений, отраженных в парагенезисе разломных зон, подтверждено, что формирование зоны Приморского разлома происходило в условиях растяжения земной коры, о чем свидетельствует соответствующий структурный рисунок разрывов (см. рис. 2, Д). Проведенный анализ подтвердил, что магистральный сместитель данного разлома при кайнозойском рифтогенезе активизировался как сброс с весьма незначительной левосторонней сдвиговой компонентой [32].

Наиболее подвижной в пределах Обручевской системы разломов является зона **Ольхонского**, согласно [13, 14, 17], или **Морского**, по [19, 20, 33, 34], **дизъюнктива**. Однако изучение в этой зоне несколько затруднено, так как основной сместитель разлома скрыт водами оз. Байкал. Кроме того, в пределах района исследований данная разломная зона «состоит из серии относительно коротких отрезков. Они образуют две системы, сочленяющиеся под углами $20\text{--}30^\circ$...», что, по-видимому, связано со сдвиговой компонентой» [13]. Наши исследования проведены на прямолинейном отрезке побережья оз. Байкал (см. рис. 1), что позволило минимизировать влияние пространственной неоднородности геологической среды в пределах разломной зоны. Здесь, так же, как и вблизи Приморского разлома, реконструировано 14 решений о зонах скалывания четвертого уровня (рис. 3). Анализ ориентировок зон скалывания позволил выделить два разломных направления: запад-северо-западное (290°) и северо-восточное (65°), а структурно-парагенетический анализ — две обстановки второго уровня для простираем 65° и одну динамическую обстановку для направления 290° (рис. 3, А). Как и следовало ожидать, в Ольхонской зоне хорошо проявлены природные парагенезисы третьего уровня (рис. 3, Б), соответствующие северо-восточному сбросу второго уровня (рис. 3, В), которым удовлетворяют 11 из 14 решений о зонах скалывания. Всего 2 решения являются взбросами основного разломного направления. Последнее косвенно свидетельствует о том, что эта разломная зона ранее развивалась в условиях сжатия, однако вблизи магистрального сместителя дизъюнктива горные породы сильно переработаны в кайнозое при рифтогенезе, так как относительное смещение крыльев этой разломной зоны составляет несколько километров [35, 36]. Исследование механизмов очагов инструментально зафиксированных землетрясений [37 и др.] убедительно показывает, что растяжение в этой зоне наблюдается и на современном этапе тектогенеза.

В зоне влияния **Дельтового разлома** (Усть-Селенгинская депрессия) наблюдения проведены в кайнозойских отложениях, слагающих надпойменные террасы

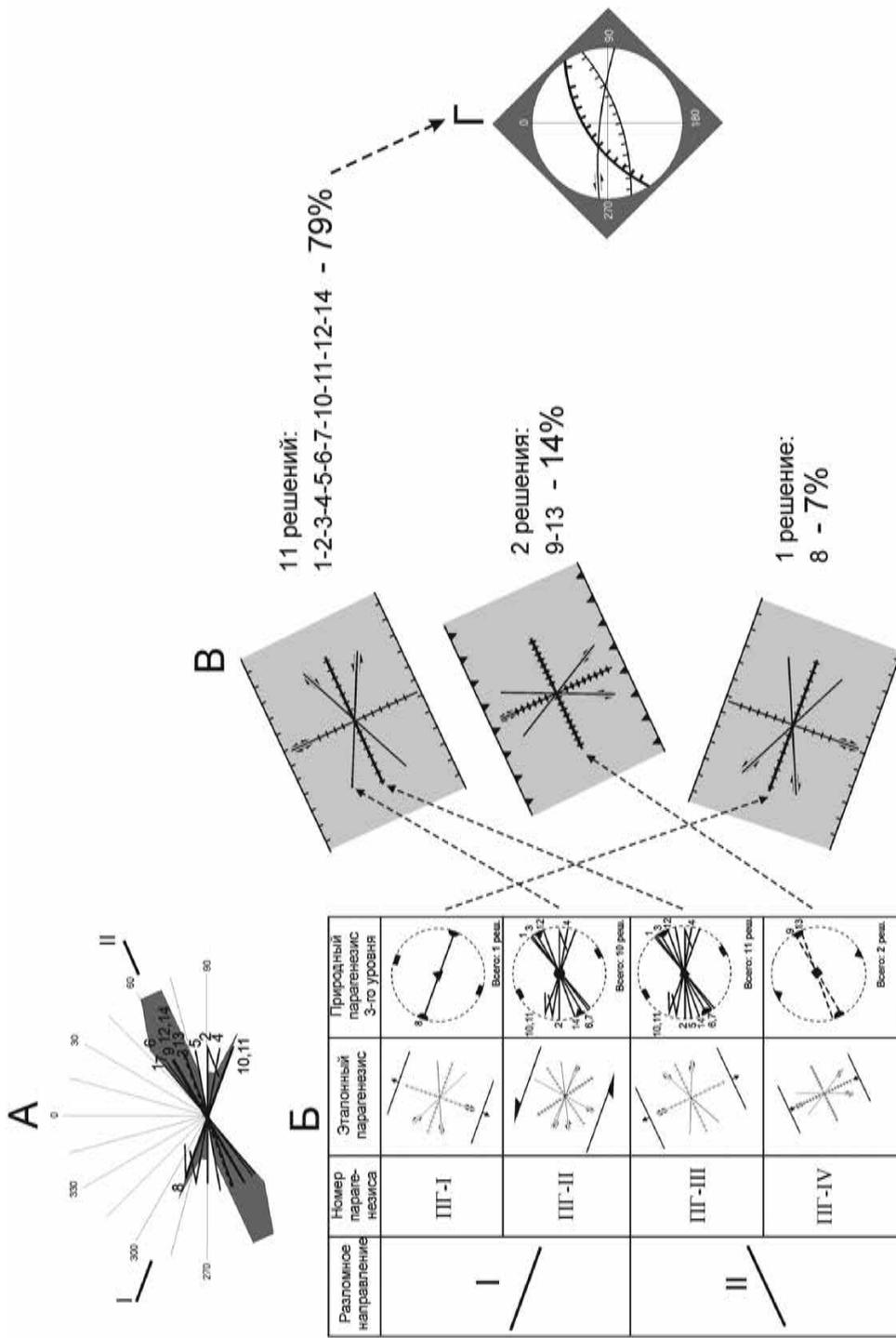


Рис. 3. Результаты порангового парагенетического анализа разрывных структур зоны Морского разлома. Условные обозначения см. на рис. 2

долины реки Селенга. Точки наблюдений располагались в окрестностях залива Провал (см. рис. 1), который образовался в результате погружения тектонического блока при Цаганском землетрясении 1864 г. По результатам первого этапа структурно-парагенетического анализа получено всего пять решений о зонах скалывания. Для разлома реконструированы сбросы и левосторонние сдвиги. При этом разрывы северо-восточного простирания (аз. пад. $300 \angle 80^\circ$) характеризуются сбросовым типом, а субширотные — левосторонним сдвиговым перемещением крыльев (рис. 4, А). На одной из точек наблюдения трещиноватость изучена в песчано-галечных отложениях, что позволило наблюдать в гальках трещины сколового генезиса, в том числе со смещением (рис. 4, Б). При изучении трещиноватости в галечниках возможно применять многие известные методы структурного анализа [38]. Зафиксировано четыре смещения галек трещинами с простиранием $25-35^\circ$. Так, трещины с аз. пад. $295 \angle 75^\circ$ и $295 \angle 86^\circ$ характеризуются левосторонними сдвиговыми смещениями краев галек

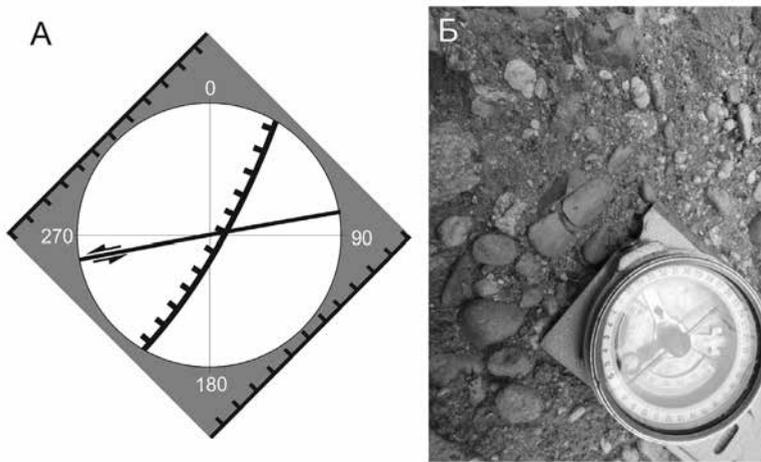


Рис. 4. Диаграмма основных разрывов зоны Дельтового разлома (А), нарушающих кайнозойские отложения надпойменных террас р. Селенга (Б)

с амплитудой 1 и 3 мм соответственно. Смещение с амплитудой 1 мм по трещине с аз. пад. $125 \angle 66^\circ$ правостороннее. Наиболее амплитудное сбросовое перемещение частей гальки наблюдалось по трещине с аз. пад. $306 \angle 82^\circ$. Наши данные корреспондируют с выводами о сбросовом характере смещения по разлому, плоскость которого имеет падение на северо-запад, полученными О. В. Луниной с соавторами [39]. В целом этот разлом сформировался в условиях растяжения.

Бортовой разлом проходит у подножия северо-западного склона хребта Хамар-Дабан (см. рис. 1). В пределах этого дизъюнктива реконструировано 10 решений о зонах скалывания четвертого уровня, системный анализ которых позволил выявить четыре направления разломов третьего уровня (рис. 5, А). Парагенетический анализ проведен для основного разломного направления (50°), так как зоны скалывания других направлений представлены только единичными разрывами. Более проявлен (4 решения) парагенезис сброса (ПГ-I), несколько менее — левый сдвиг

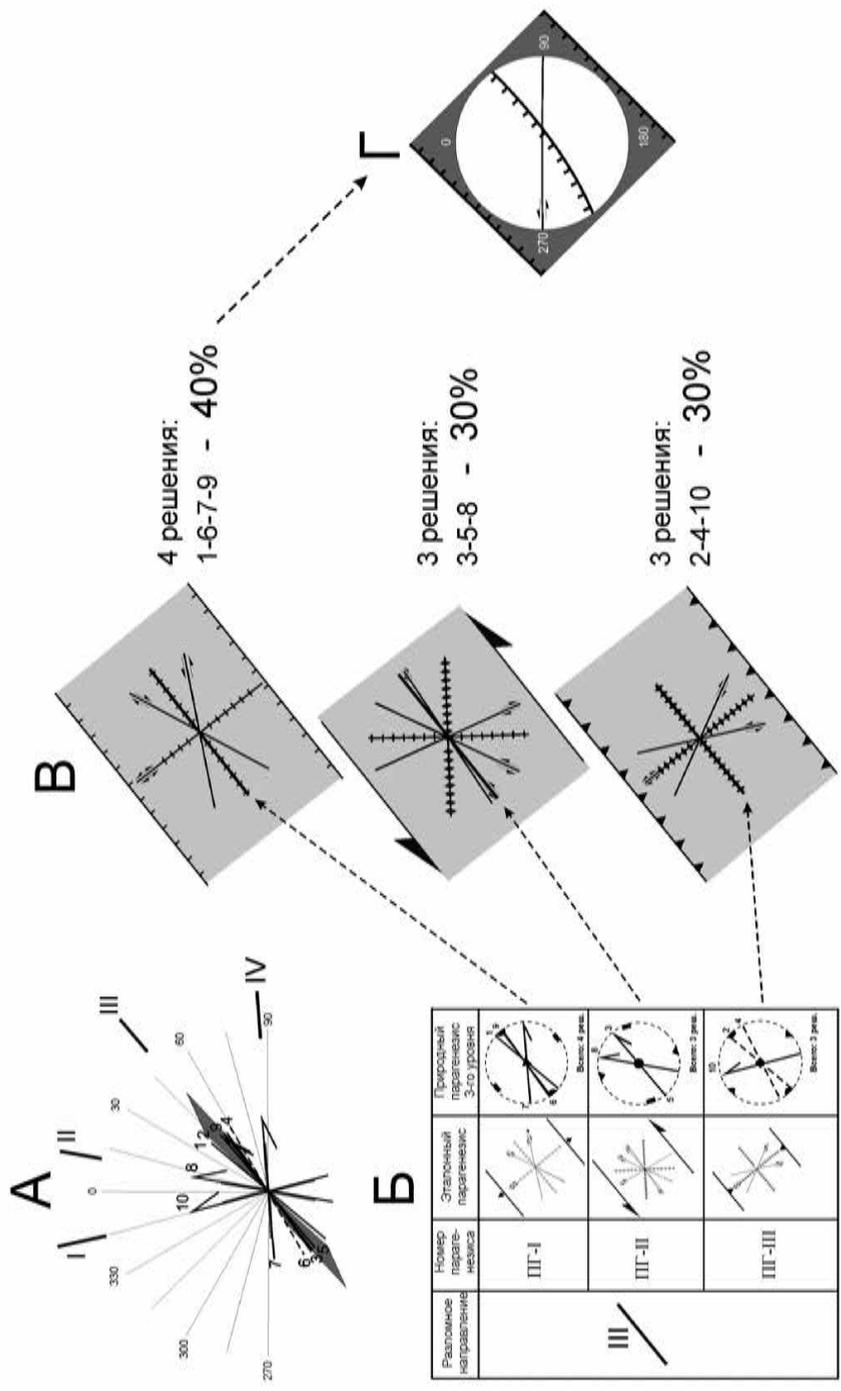


Рис. 5. Результаты порангового парагенизического анализа разрывных структур в окрестностях Боржомского разлома. Условные обозначения см. на рис. 2

(ПГ-II) и взброс (ПГ-III). Реконструированные парагенезисы третьего уровня соответствуют сбросу, сдвигу и взбросу второго уровня (рис. 5, В). Сброс, по сравнению с другими обстановками, характеризуется несколько большим количеством локальных решений (40% решений), поэтому он принят в качестве наиболее вероятного кинематического типа разломной зоны Бортового дизъюнктива.

Таким образом, в пределах некоторых известных разломов Центрального Прибайкалья реконструировано Н-ДС, которое генетически связано как с формированием дизъюнктивных дислокаций разных масштабных рангов, так и с изменением напряжений во времени.

Заключение

Основное количество реконструированных обстановок, как и следовало ожидать, соответствует растяжению земной коры, характерному для Байкальского рифта. Наиболее проявленные парагенезисы изученных разломных зон растяжения характеризуются разрывами сбросового и левостороннего сдвигового кинематического типа. Сбросами являются основные сместители изученных разломов и некоторые разрывы с таким же простиранием, но встречным падением. Широко распространены левосторонние сдвиги субширотной ориентировки. Кроме того, в пределах «плечей» рифта для северо-восточных разломов второго уровня, кроме доминирующих сбросов (40% локальных решений и более), выявлены парагенезисы сдвигов: причем как лево- (30%), так и правосторонних (32%), а также взбросов (14–30%). Вероятнее всего, различные тектонические обстановки связаны с полициклическим развитием разломных зон региона.

Очень важным является решение вопроса о возрасте палеотектонических обстановок, установленных в ходе исследования. Выше отмечалось, что фактический материал собран в горных породах разного возраста и состава, при преобладании достаточно древних геологических образований. Кратко охарактеризуем зоны скальвания, реконструированные в породах кайнозоя.

В пределах Байкальского рифта в изученных разломных зонах в осадочных породах кайнозоя зафиксированы следующие зоны скальвания четвертого уровня. В зоне Приморского разлома выявлен сброс с аз. пад. $330 \angle 80^\circ$ и левосторонний сдвиг с простиранием — 70° . В Ольхонской зоне — сбросы с аз. пад. $140 \angle 60^\circ$ и $340 \angle 70^\circ$, а также левый сдвиг — $180 \angle 80^\circ$. Как говорилось выше, все решения вблизи Дельтового разлома получены по трещиноватости кайнозойских отложений. Они соответствуют двум сбросам с одинаковыми элементами залегания (аз. пад. $300 \angle 80^\circ$) и трем левосторонним сдвигам (прост. 80° , аз. пад. $185 \angle 80^\circ$ и $300 \angle 80^\circ$). Висячем крыле Бортового разлома реконструирован сброс с аз. пад. $323 \angle 77^\circ$ и три сдвига с левосторонним смещением крыльев (прост. 10° , аз. пад. $75 \angle 75^\circ$ и $180 \angle 80^\circ$). Среди общего числа решений в молодых породах преобладают сбросы северо-восточного простирания (6 решений) и левосторонние сдвиги субширотной ориентировки (5 решений).

Таким образом, в ходе исследования выявлены парагенезисы разрывов четырех иерархических уровней, изучены их кинематические типы и напряженно-деформированное состояние коры в их окрестностях. Разнообразие локальных разрывов и напряженных состояний верхней коры, при которых они формировались, связано

с иерархией дизъюнктивных дислокаций и полициклическим развитием региональных разломов. Для разломов второго уровня иерархии (изученные разломы) может быть выявлена наиболее выраженная региональная тектоническая обстановка, а также одна-две обстановки с меньшим количеством решений. Развитие изученных разломных зон северо-восточного простирания связано с разновозрастными тектоническими обстановками регионального уровня, так как парагенетические ассоциации разрывов в зонах изученных региональных разломов второго уровня соответствуют сбросам, сдвигам и взбросам.

* * *

Автор благодарен заведующему лабораторией тектонофизики, доктору геол.-мин. наук К. Ж. Семинскому за постановку задачи и методическую помощь в ходе выполнения исследования, а также коллегам: кандидату геол.-мин. наук А. А. Боброву, Ю. П. Бурзуновой, Р. М. Зарипову, А. А. Тарасовой, А. С. Черемных и другим за помощь по сбору фактического материала. Кроме того, автор признателен доктору геол.-мин. наук, профессору А. К. Худолею и доктору геол.-мин. наук, профессору А. П. Кочневу за ценные замечания.

Литература

1. Флоренсов Н. А. О роли разломов и прогибов в структуре впадин байкальского типа // Вопросы геологии Азии. Т. I. Изд. АН СССР. М.; Л., 1954. С. 670–685.
2. Ламакин В. В. Неотектоника Байкальской впадины. М.: Наука, 1968. 247 с.
3. Ружич В. В. О динамике тектонического развития Прибайкалья в кайнозой // Геология и геофизика. 1972. № 4 (148). С. 122–126.
4. Ружич В. В. Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 144 с.
5. Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.
6. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне / Замараев С. М., Васильев Е. П., Мазукабзов А. М., Ружич В. В., Рязанов Г. В. Новосибирск: Наука, 1979. 126 с.
7. Шерман С. И., Днепровский Ю. И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск: Наука, 1989. 158 с.
8. Уфимцев Г. Ф. Морфотектоника Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1992. 216 с.
9. Logatchev N. A., Zorin Yu. A. Baikal rift zone: structure and geodynamics // Tectonophysics. 1992. Vol. 208. P. 273–286.
10. Зоненшайн Л. П., Казьмин В. Г., Кузьмин М. И. Новые данные по истории Байкала: результаты наблюдений с подводных обитаемых аппаратов // Геотектоника. 1995. № 3. С. 46–58.
11. Активная тектоника Байкала / Леви К. Г., Бабушкин С. М., Бадардинов А. А., Буддо В. Ю., Ларкин Г. В., Мирошниченко А. И., Саньков В. А., Ружич В. В., Вонг Х. К., Дельво Д., Колман С. // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 154–163.
12. Levi K. G., Miroshnichenko A. I., San'kov V. A., Babushkin S. M., Larkin G. V., Badardinov A. A., Wong Colman S. and Delvaux D. Active faults of the Baikal depression // Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 1997. Vol. 21. P. 399–434.
13. Cenozoic stress field evolution in the Baikal rift zone / San'kov V. A., Miroshnichenko A. I., Levi K. G., Likhnev A. V., Melnikov A. I., Delvaux D. // Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod. 1997. Vol. 21. N 2. P. 435–455.
14. Мац В. Д., Уфимцев Г. Ф., Мандельбаум М. М., Алакишин А. М., Поспеев А. В., Шимараев М. Н., Хлыстов О. М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 252 с.

15. *Парфеевец А. В., Саньков В. А., Мирошниченко А. И., Лухнев А. В.* Эволюция напряженного состояния земной коры Монголо-Байкальского подвижного пояса // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21, № 1. С. 14–28.
16. *Логачев Н. А.* История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, №5. С. 391–406.
17. *Mats V. D., Lobatskaya R. M., Khlystov O. M.* Evolution of faults in continental rift: morphotectonic evidence from the south-western termination of the North Baikal basin // Earth Science Frontiers. 2007. Vol. 14, N 1. P. 207–219.
18. *Лунина О. В., Гладков А. С., Неведрова Н. Н.* Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 316 с.
19. Межблоковые зоны северо-западного плеча Байкальского рифта: результаты комплексных геолого-геофизических исследований по профилю п. Баяндай — м. Крестовский / Семинский К. Ж., Кожевников Н. О., Черемных А. В., Поспеева Е. В., Бобров А. А., Оленченко В. В., Тугарина М. А., Потапов В. В., Бурзунова Ю. П. // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 2. С. 250–269.
20. Межблоковые зоны в земной коре юга Восточной Сибири: тектонофизическая интерпретация геолого-геофизических данных / Семинский К. Ж., Кожевников Н. О., Черемных А. В., Поспеева Е. В., Бобров А. А., Оленченко В. В., Тугарина М. А., Потапов В. В., Зарипов Р. М., Черемных А. С. // Геодинамика и тектонофизика. 2013. Т. 4, № 3. С. 203–278.
21. *Гзовский М. В.* Тектонические поля напряжений // Изв. Акад. наук СССР. Серия геофиз. 1954. № 5. С. 390–410.
22. *Шерман С. И., Борняков С. А., Буддо В. Ю.* Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
23. *Семинский К. Ж.* Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003, 244 с.
24. *Николаев П. Н.* Системный анализ тектонических напряжений и деформаций // Изв. вузов. Геология и разведка. 1978. № 5. С. 106–116.
25. *Черемных А. В.* Разломно-блоковое строение земной коры и напряженное состояние в зонах региональных разломов восточного побережья озера Байкал // Геология и геофизика, 2006. Т. 47, № 2. С. 250–258.
26. *Семинский К. Ж., Черемных А. В.* Трещинные сети и напряженное состояние кайнозойских осадков Байкальского рифта: новые возможности структурно-парагенетического анализа // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, №3. С. 450–469.
27. *Семинский К. Ж., Бурзунова Ю. П.* Новый подход к анализу хаотической трещиноватости вблизи разломных сместителей // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 3. С. 330–343.
28. *Данилович В. Н.* Метод поясов при исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск: ИПИ, 1961. 47 с.
29. *Парфенов В. Д.* К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника. 1984. №1. С. 60–72.
30. *Обухов С. П., Ружич В. В.* Структура и положение Приморского сбросо-сдвига в системе главного разлома Западного Прибайкалья // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Иркутск, 1971. С. 65–68.
31. *Лунина О. В., Гладков А. С., Черемных А. В.* Разрывная структура и трещиноватость зоны Приморского разлома (Байкальская рифтовая система) // Геология и геофизика, 2002. Т. 43, № 5. С. 446–455.
32. *Черемных А. В.* Поля напряжений в зоне Приморского сброса (Байкальский рифт) // Литосфера. 2011. № 1. С. 135–142.
33. *ten Brink U. S., Taylor M. H.* Crustal structure of central Lake Baikal: Insights into intracontinental rifting // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107, N B7. 2132. doi:10.1029/2001JB000300.
34. *Petit C., Deverchere J.* Structure and evolution of the Baikal rift: a synthesis // Geochemistry, Geophysics. Geosystems: electronic journal of the Earth sciences. 2006. Vol. 7, N 11. doi:10.1029/2006GC001265.
35. *Зорин Ю. А.* Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. М.: Наука, 1971. 167 с.
36. Особенности строения осадочной толщи оз. Байкал по результатам многоканальной сейсмической съемки (1989 г.) / Хатчинсон Д. Р., Гольмшток А. Ю., Зоненшайн Л. П., Мур Т. К., Шольц К. А., Клигфорд К. Д. // Геология и геофизика. 1993. Т. 34, № 10–11. С. 25–36.
37. *Мельникова В. И., Радзиминович Н. А.* Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 гг. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 11. С. 1598–1607.
38. *Гладков А. С., Лунина О. В.* Трещины в позднекайнозойских отложениях: новые возможности для структурного анализа // ДАН. 2004. Т. 398, № 6. С. 1–4.

39. Лунина О. В., Андреев А. В., Гладков А. С. По следам Цаганского землетрясения 1862 г. на Байкале: результаты исследования вторичных косейсмических деформаций в рыхлых осадках // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 6. С. 775–796.

Статья поступила в редакцию 30 декабря 2014 г.

Контактная информация:

Чермных Александр Викторович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент;
cherem@crust.irk.ru

Chermnykh A. V. — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor;
cherem@crust.irk.ru