

УДК 551.243+551.248

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-783-795

Разрывные нарушения Предбайкальского прогиба (Сибирская платформа): результаты структурно-парагенетического анализа

А. В. Черемных, И. К. Декабрёв

Институт земной коры СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, e-mail: cherem@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 14.04.2022 г., принята к печати 28.09.2022 г.

Объект исследования. Предбайкальский предгорный прогиб расположен в восточной части Иркутского амфитеатра Сибирской платформы и протягивается более чем на 600 км в северо-восточном направлении. Он начал формироваться в мезозое на палеозойском основании, смятом в складчатые структуры, и продолжил в кайнозое, в результате чего имеет сложное строение в виде системы валов и прогибов, осложненных разрывными нарушениями. Исследование посвящено недостаточно детально изученным разрывным нарушениям платформенного чехла, которые сложно картировать из-за незначительных смещений их крыльев. **Материалы и методы.** При изучении разноранговых разрывных нарушений применен метод специального картирования разломных зон, в основе которого лежит парагенетический анализ дизъюнктивных дислокаций. Была создана сеть из 18 точек геолого-структурных наблюдений в разновозрастных породах осадочного чехла, в пределах которых собраны данные о разрывах и трещиноватости горных пород. **Результаты.** Поранговый структурно-парагенетический анализ разрывов, откартированных в породах разного возраста и состава, позволил определить специфику поэтапного развития прогиба. Разрывы, обнаруженные в породах докайнозойского чехла платформы, удовлетворяют парагенезам зоны сжатия, поскольку являются взбросами и соответствующими сдвигами, а также парагенезам зоны правостороннего сдвига и зоны растяжения северо-восточного простирания. Деформации в кайнозойских отложениях относятся к парагенезам зон правостороннего сдвига и растяжения, которым удовлетворяют локальные сдвиги и сбросы. **Выводы.** Проведенное исследование показало, что кайнозойский Предбайкальский предгорный прогиб формировался в обстановках сдвига и растяжения. Он заложен на докайнозойском основании, которое, помимо обстановок сдвига и растяжения, испытало этап сжатия в докайнозойское время.

Ключевые слова: Сибирская платформа, предгорный прогиб, разломная зона, парагенезы разрывов, Байкальский рифт

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWEF-2021-0009 “Современная геодинамика, механизмы деструкции литосферы и опасные геологические процессы в Центральной Азии” с использованием оборудования ЦКП “Геодинамика и геохронология” Института земной коры СО РАН (грант № 075-15-2021-682)

Faults of the Pre-Baikal submontane trough (Siberian Platform): Structural-genetic analysis

Aleksandr V. Cheremnykh, Ilya K. Dekabryov

Institute of the Earth's Crust SB RAS, 128 Lermontov st., Irkutsk 664033, Russia, e-mail: cherem@crust.irk.ru

Received 14.04.2022, accepted 28.09.2022

Research subject. The pre-Baikal submontane trough is located in the eastern part of the Irkutsk Amphitheater of the Siberian Platform, stretching for 600 km in a north-easterly direction. The trough started to form in the Mesozoic on the Paleozoic folded base and continued in the Cenozoic. The trough is characterized by a complex structure of shafts and deflections complicated by ruptures. **Aim.** To investigate the insufficiently studied ruptures of the platform cover, which are difficult to map due to minor displacements of their wings. **Materials and methods.** The method of specialized mapping of crustal fault zones based on an analysis genetically related of ruptures families was used. A network of 18 points of geological and structural observations in rocks of different ages of the sedimentary cover was created. **Results.** A rank structural-ge-

Для цитирования: Черемных А.В., Декабрёв И.К. (2022) Разрывные нарушения Предбайкальского прогиба (Сибирская платформа): результаты структурно-парагенетического анализа. *Литосфера*, 22(6), 783–795. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-783-795>

For citation: Cheremnykh A.V., Dekabryov I.K. (2022) Faults of the Pre-Baikal submontane trough (Siberian Platform): Structural-genetic analysis. *Lithosphere (Russia)*, 22(6), 783–795. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-783-795>

© А.В. Черемных, И.К. Декабрёв, 2022

netic analysis of fractures mapped in rocks of different ages and composition revealed specific features associated with the gradual development of the trough. The ruptures identified in the rocks of the pre-Cenozoic cover of the platform satisfy the parageneses of the compression zone, the dextral strike-slip zone and the extension zone of the north-eastern strike. Deformations in Cenozoic sediments belong to the parageneses of dextral strike-slip zone and the extension zone. These parageneses consist of strike-slip and normal faults. *Conclusions.* The Cenozoic Pre-Baikal submontane trough was formed under strike-slip and extension conditions. The compression stage is highlighted in the Pre-Cenozoic base.

Keywords: *Siberian platform, submontane trough, fault zone, rupture parageneses, Baikal rift*

Funding information

The study was carried out as part of project No. FWEF-2021-0009 *Recent Geodynamics, Mechanism of Lithospheric Deformation, and Geological Hazards in Central Asia. The research was technically supported by equipment of the Centre of Geodynamics and Geochronology at the Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (grant No. 075-15-2021-682)*

Acknowledgements

The authors express their appreciation to K.Zh. Seminsky, Yu.P. Burzunova, A.K. Seminsky, R.M. Zaripov, A.A. Karimova and A.S. Cheremnykh for assistance in field structural and geological measurements.

ВВЕДЕНИЕ

Кайнозойский Предбайкальский предгорный прогиб расположен в восточной части Иркутского амфитеатра Сибирской платформы (Логачев и др., 1964; Замараев и др., 1976; и др.). Он протягивается от долины р. Ангара в северо-восточном направлении около 600 км (рис. 1). Заложение (поздний мезозой) и дальнейшее развитие прогиба происходили синхронно с формированием Байкальской рифтовой системы (Логачев, 2003; Мац, Ефимова, 2011; и др.), в связи с чем представляет научный интерес специфика тектонического развития этих территорий, разделенных горными сооружениями (Приморский и Байкальский хребты).

Согласно Геологической карте масштаба 1 : 1 000 000 (Государственная..., 2009), в пределах района наших исследований кайнозойские отложения прогиба представлены образованиями от среднего палеогена до современных русловых и пойменных отложений (рис. 2). Отложения среднего палеогена (каменная свита) в своем стратотипическом виде описаны в монографии (Логачев и др., 1964). Они выделяются в основании разреза осадочной формации кайнозойских впадин, где залегают, как правило, на мощной коре выветривания. В пределах района исследований кора выветривания развивалась по юрским аркозовым песчаникам и алевролитам и по красноцветным мергелям и алевролитам среднего кембрия. Булусинская свита верхнего отдела палеогена выделена (Литвинцев, Тараканова, 1967) в объеме нижней угленосной подсвиты ользонской свиты (Логачев и др., 1964). Ее отложения располагаются либо с размывом на породах каменной свиты, либо на коре выветривания подстилающих юрских или кембрийских пород. Отложения баяндайской свиты нижнего неогена с нормальным стратиграфическим контактом лежат на булусинской, иногда

с локальным перерывом и смещением структурного плана – на каменной свите и значительно реже – на коре выветривания коренных пород. Отло-

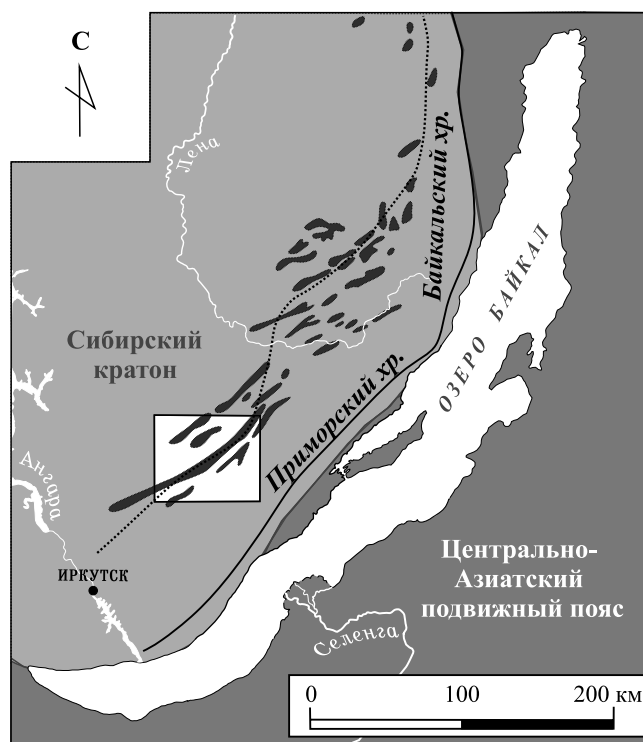


Рис. 1. Район проведения исследования.

Темными пятнами обозначены кайнозойские отложения Предбайкальского предгорного прогиба, пунктирной линией – ось прогиба, по (Замараев и др., 1976).

Fig. 1. The area of the study.

Dark spots indicate Cenozoic deposits of the Pre-Baikal submontane trough. The discontinuous line is the submontane trough axis according to (Zamaraev et al., 1976).

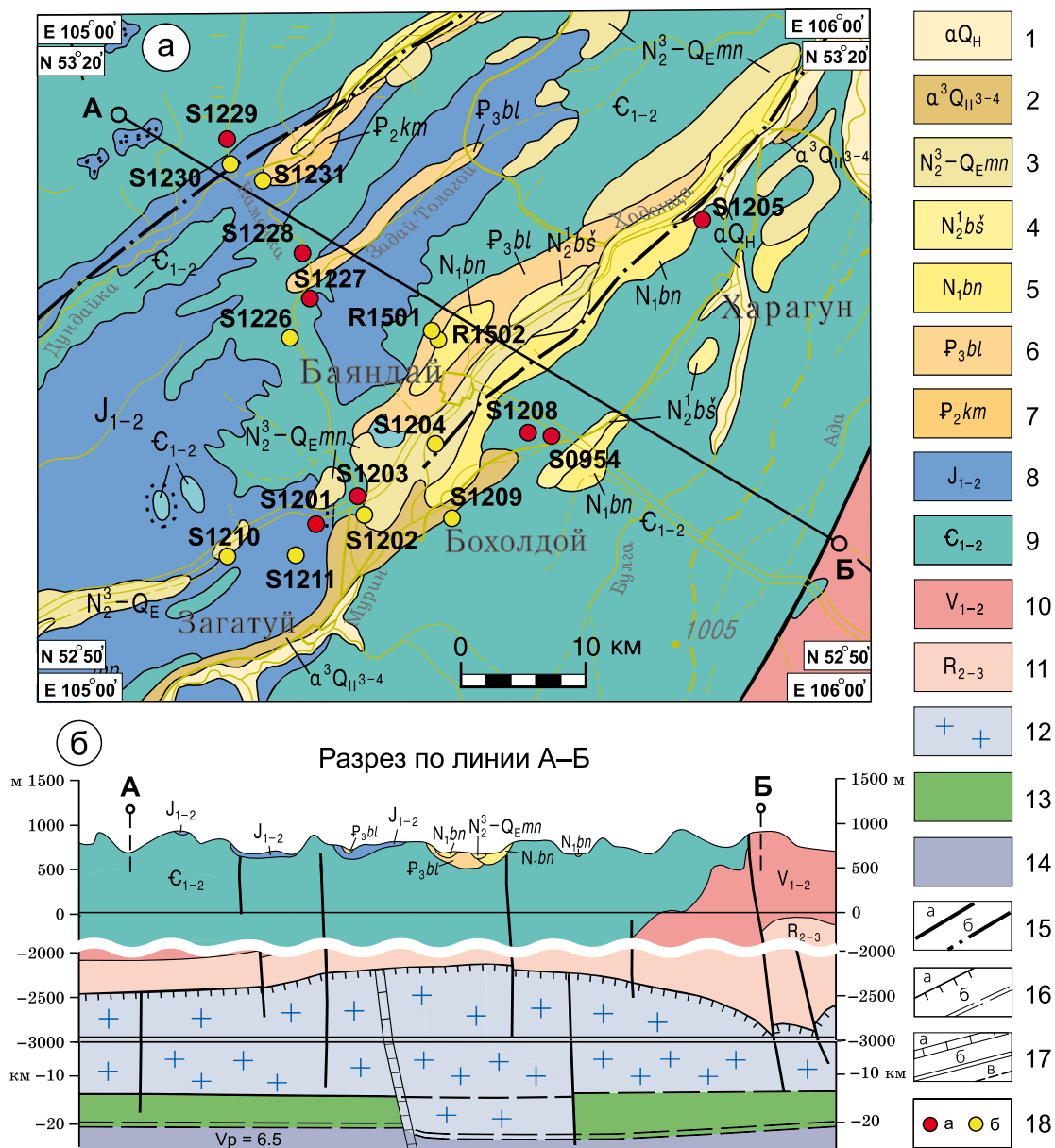


Рис. 2. Геологическое строение района исследований на карте (а) и в разрезе (б), согласно (Государственная..., 2009), и точки геолого-структурных наблюдений.

1 – аллювий русел, низкой и высокой пойм: валунно-галечные отложения, пески, супеси, суглинки, илы; 2 – аллювий третьей террасы: галечники, пески, супеси, суглинки; 3 – манзурская свита: галечники, пески, прослои глин, гравий; 4 – байшинская свита: галечники, пески, торфяники, глины; 5 – баяндайская свита: глины монтмориллонитовые серые, каолинит-гидрослюдистые, часто карбонатные, алевролиты, известняки, мергели, бурые угли; 6 – булусинская свита: глины каолинит-бейделлитовые, углистые, пласты бурых углей, пески, в основании – прослои галечников, гравийников; 7 – каменная свита: глины, алевролиты серые, пестроцветные с каолинитом, белые каолинитовые, песчаники пестроцветные, бурые угли, бокситы; 8 – нижняя и средняя юра: переслаивание песчаников, гравелитов, конгломератов, прослои алевролитов, аргиллитов, туфы андезитов, андезиты, глинисто-карбонатные брекчии, реже туффиты и угли; 9 – нижний и средний кембрий: алевролиты, песчаники, прослои аргиллитов, мергелей пестроцветных, алевролиты, мергели красноцветные, доломиты, доломито-ангидриты, глинистые доломиты, известняки, мергели, брекчии, прослои песчаников, каменная соль; 10 – нижний и средний венд: доломиты, известняки, карбонатные брекчии, каменная соль, ангидриты, песчаники, прослои известняков гравелитов, алевролитов, аргиллитов, песчаники кварцевые, аркозовые, конгломераты; 11 – средний и верхний рифей: песчаники кварцевые, сланцы глинистые, углеродистые, алевроитовые, известняки, доломиты, известняки доломитовые; 12 – верхнекоровый “гранит-метаморфический” слой консолидированной коры контрастного латерального членения по гравимангнитным свойствам и умеренноградиентного нарастания пластовых скоростей от 6.0 до 6.4 км/с при средней $V_p = 6$ км/с; 13 – переходный слой резкой горизонтальной расслоенности среды и дифференцированного изменения скоростных характеристик ($V_p = 5.9-6.8$ км/с при средней скорости 6.4 км/с); 14 – среднекоровый слой, характеризующийся резким падением электрического сопротивления до 50–100 Ом·м, падением градиента нарастания

тания сейсмических скоростей ($V_p = 6.5$ км/с); 15 – главные долгоживущие разломы: а – выходящие на поверхность, б – скрытые под перекрывающими образованиями; 16 – отражающие и преломляющие границы: а – кровля кристаллического фундамента, б – отражающие коровые границы; 17 – разломы фундамента и чехла по геофизическим данным, не выходящие на поверхность, выделяемые: а – по сейсморазведке, б – по градиентам Δg и ΔT основные, в – предполагаемые сейсмогеологические границы; 18 – точки геолого-структурных наблюдений: а – в докайнозойских породах чехла Сибирской платформы, б – в кайнозойских отложениях Предбайкальского предгорного прогиба.

Fig. 2. The geological structure on the map (a) and in the cross-section (б) of the research area, according to (State..., 2009) and the points of geological and structural observations.

1 – alluvium of riverbeds, low and high floodplains: boulder-pebble deposits, sands, sandy loams, loams, silts; 2 – alluvium of the third terrace: pebbles, sands, sandy loams, loams; 3 – Manzurka Formation: pebbles, sands, clay interlayers, gravel; 4 – Baishinskaya Formation: pebbles, sands, peatlands, clays; 5 – Bayandai Formation: gray montmorillonite clays, kaolinite-hydrosoluidic, often carbonate, siltstones, limestones, marls, brown coals; 6 – Bulusinskaya Formation: kaolinite-beidellite clays, carbonaceous, brown coal beds, sands, at the base – layers of pebbles, gravel beds; 7 – Kamenskaya Formation: clays, gray siltstones, variegated with kaolinite, white kaolinite, variegated sandstones, brown coals, bauxite; 8 – Lower and Middle Jurassic: interlayer of sandstones, gravelites, conglomerates, interlayers of siltstones, mudstones, tuffs of andesites, andesites, clay-carbonate breccias, rarely tuffites and coals; 9 – Lower and Middle Cambrian: siltstones, sandstones, interlayers of mudstones, variegated marls, siltstones, red-colored marls, dolomites, dolomite-anhydrites, clay dolomites, limestones, marls, breccias, sandstone interlayers, rock salt; 10 – Upper Ediacaran: dolomites, limestones, carbonate breccias, rock salt, anhydrites, sandstones, layers of limestone mudstones, siltstones, mudstones, quartz sandstones, arkose, conglomerates, quartz sandstones, clay shales, carbonaceous, siltstone; 11 – Middle and Upper Riphean: quartz sandstones, clay shales, carbonaceous, siltstone, limestones, dolomites, dolomite limestones; 12 – the upper-crust “granite is a metamorphic” layer of consolidated crust of contrasting lateral partitioning according to gravimagnetic properties and a moderately gradient increase in reservoir velocities from 6.0 to 6.4 km/s with an average $V_p = 6$ km/s; 13 – is a transitional layer of sharp horizontal stratification of the medium and differentiated changes in velocity characteristics ($V_p = 5.9$ – 6.8 km/s at an average of 6.4 km/s); 14 – is a medium-core layer characterized by a sharp drop in electrical resistance to 50–100 Ohm·m, a drop in the gradient of the increase in seismic velocities ($V_p = 6.5$ km/s); 15 – the main long-lived faults: а – coming to the surface, б – hidden under overlapping formations; 16 – reflecting and refractive boundaries: а – the roof of the crystal foundation, б – reflecting crustal boundaries; 17 – faults of the foundation and cover according to geophysical data, not coming to the surface, allocated: а – for seismic exploration, б – for gradients Δg and ΔT main, в – assumed seismogeological boundaries; 18 – points of geological and structural observations: а – in the Pre-Cenozoic rocks of the Siberian Platform cover, б – in the Cenozoic sediments of the Pre-Baikal submontane trough.

жения байшинской свиты верхнего неогена залегают на осадках баяндайской свиты со скрытым угловым несогласием ввиду смещения оси максимального прогибания осадков к северо-западу. Манзурская свита, возраст которой оценивается в интервале конец плиоцена – эоплейстоцен, сложена аллювиальными песчано-галечными отложениями, которые впервые описаны на междуречье Унгуры и Манзурки (Логачев, Абрамова, 1957; Логачев и др., 1964), где они представлены мощной (до 195 м) толщей многократного переслаивания галечников и песков различного гранулометрического состава и с переменным (чередование преобладающего косослоистости с параллельно-слоистым) рисунком слоистости. Отложения манзурской свиты широко распространены в пределах района исследований и представляют особый интерес, поскольку их образование синхронно с интенсивным ростом горных поднятий Приморского и Байкальского хребтов на позднеорогенном этапе развития региона (последние 3.5 млн лет). Кроме того, четвертичные отложения представлены аллювием третьей террасы (средний неоплейстоцен), а также русел рек, включая низкую и высокую поймы (голоцен). Из приведенной характеристики кайнозойских отложений следует, что формирование прогиба было поэтапным с интенсификацией тектонических движений в плиоцен-четвертичное время.

Важными индикаторами тектонического развития являются разрывные нарушения, изуче-

ние которых в пределах краевого прогиба осложняется особенностями обнаженности горных пород и спецификой самих дизъюнктивов, которые, как правило, представлены лишь зонами повышенной трещиноватости. Кинематический тип таких разрывов сложно установить из-за весьма незначительных смещений их крыльев, которые крайне редко наблюдаются в выходах горных пород осадочного чехла платформы. Так, на государственных геологических картах этой территории (Суханова, Деев, 1962; Государственная..., 2009) разломы или совсем отсутствуют, или весьма редки (см. рис. 2). На приведенной карте и в разрезе разломы обозначены как скрытые под перекрывающими образованиями. При этом разломы не зафиксированы ни в кайнозойских, ни в мезозойских отложениях. Однако в пределах предгорного прогиба дистанционными методами установлена серия разломов северо-восточного простирания (Семинский, Черемных, 2011; Семинский и др., 2012; Лунина, 2016), образующих зону Предбайкальского разлома, которая находится в пределах прогиба, по данным магнитно-теллурических зондирований (Семинский и др., 2012) и сейсморазведки (см. рис. 2, разрез). Также выделенный геофизическими методами Предбайкальский разлом откартирован с помощью формализованного линейamentного анализа на базе программного комплекса LESSA (Иванченко, Горбунова, 2021). Однако целенаправленные геолого-структурные исследования разрывов

в этой разломной зоне не проводились. Ранее были рассмотрены парагенезы разломов и складок в северо-восточной части прогиба (Рязанов, Малых, 1981; Саньков и др., 2017). При этом разрывные нарушения платформенного чехла в пределах Предбайкальского прогиба, связанные с одноименным разломом, остаются недостаточно изученными. Наше исследование проведено в целях установления кинематических типов разрывных нарушений, характерных для крупной долгоживущей разломной зоны, расположенной в пределах Предбайкальского предгорного прогиба, и выявления разновозрастных тектонических этапов ее формирования. Особый интерес представляют разрывы новейшего времени и динамические обстановки их образования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Для выполнения исследования в центральной части юго-западного сегмента Предбайкальского предгорного прогиба, на водоразделе рек Ангара и Лена, была создана сеть точек геолого-структурных наблюдений (см. рис. 2). Наблюдения проведены в пределах 18 обнажений горных пород, из которых 8 – в породах кембрия и 10 – в кайнозойских отложениях. В ходе исследований мы не датировали кайнозойские отложения, хотя возраст последних в пределах изученной площади сильно варьирует от среднего палеогена до голоцена. Возраст некоторых разрезов известен, а других – еще предстоит установить. В дальнейшем, по мере накопления достаточного количества точек наблюдений в кайнозойских отложениях разного возраста, планируется датирование тектонических этапов. В данный момент это невозможно.

Во введении отмечено, что картирование разрывных нарушений в осадочном чехле платформ, а особенно в слабосцементированных кайнозойских осадках, затруднено, в связи с чем нами применен метод спецкартирования разломных зон земной коры, разработанный в Институте земной коры СО РАН (Семинский, 2014, 2015). В его основе лежит парагенетический анализ дизъюнктивных структур различных иерархических уровней: – от трещин длиной десятки сантиметров до крупных разломных зон протяженностью сотни и даже тысячи километров. Преимущество метода заключается в том, что основу фактического материала составляют зафиксированные в пределах горных пород разрывные и пликативные дислокации разного размера. Однако не во всех выходах горных пород наблюдаются разрывные нарушения или складки, но в каждом из них имеются трещины отрыва и/или скола. Сеть трещин, а часто и разрывов в виде зон

дробления или повышенной трещиноватости горных пород визуальнo выглядит хаотической или системной и может быть детально изучена. В связи с этим нами дополнительно к фиксации разрывов и складок проведены массовые измерения элементов залегания трещин (100 замеров). Затем с помощью построения сферограмм (азимутальные проекции) для каждого выхода горных пород, даже слабосцементированных кайнозойских отложений, был изучен характер трещиноватости, в том числе выделение максимумов, оценка их угловых соотношений, ориентировка в пространстве, асимметричность и т. д. Построения проведены с использованием программы “Structure”, правообладатель ИЗК СО РАН (Левина и др., 2017). Кроме того, в рамках спецкартирования применены многие известные методические приемы структурной геологии и тектонофизики при наличии соответствующих структур. Так, реконструкции поля тектонических напряжений с использованием штрихов на зеркалах скольжения проведены с помощью программы “Tensor”, разработанной Д. Дельво (Delvaux, 1993; Delvaux, Sperner, 2003) на основе метода инверсии Ж. Анжелы (Angelier, 1990) с добавлением метода оптимизации вращением.

В рамках первого этапа спецкартирования распределение максимумов трещиноватости на сферограммах сопоставлено с трафаретами парагенезов разрывов различных кинематических типов: сдвигов, сбросов, взбросов (надвигов), построенными в аналогичных проекциях (Бурзунова, 2011), что позволило установить кинематические типы локальных разрывов. Кроме того, при проведении парагенетического анализа использовался весь полученный в точках наблюдения фактический материал, т. е. при наличии обязательно учитывались сведения о выявленных разрывах (со смещением и без такового) и складках, а также о размерах и генетическом типе трещин. Эти сведения позволили верифицировать реконструкции кинематических типов локальных разрывов в пределах изученных обнажений горных пород (рис. 3а). Подобный комплекс методов, как правило, применяется при исследовании новейших деформаций в осадочном чехле впадин и их горном обрамлении (Пржияловский, Лаврушина, 2020; и др.).

На втором этапе специального картирования разломов осуществлен поранговый структурно-парагенетический анализ, заключающийся в выявлении наиболее распространенных парагенезов локальных разрывов в пределах изученной площади, и их сопоставление с идеализированными парагенезами разломных зон регионального уровня (рис. 3б). Ниже рассмотрены результаты проведенного исследования для палеозойского и кайнозойского структурных ярусов осадочного чехла.

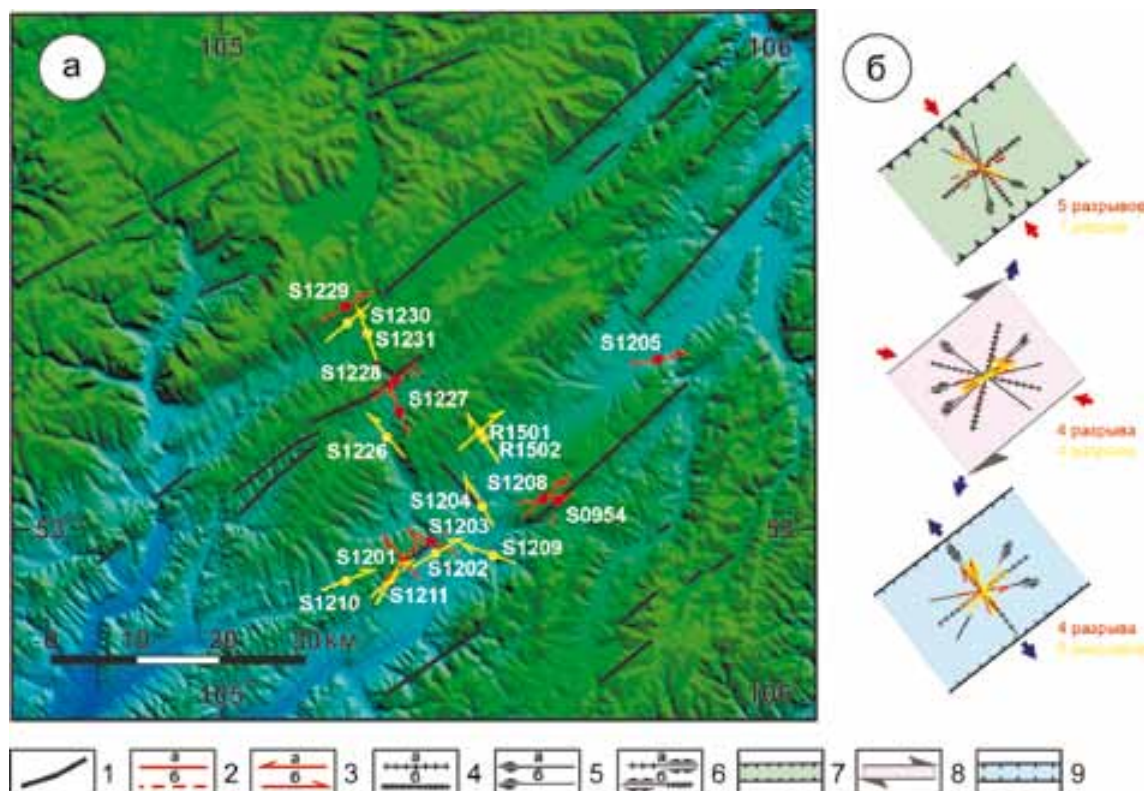


Рис. 3. Результаты спецкартирования разломных зон.

а – распространение выявленных локальных разрывов по площади, б – соответствие локальных разрывов парагенезам разломных зон сжатия, правого сдвига и растяжения.

1 – линейменты, выделенные с помощью цифровой модели рельефа (Черемных и др., 2018); 2, 3 – локальные разрывы, установленные в результате спецкартирования в кембрийских осадках (красное) и в кайнозойских отложениях (желтое): 2 – сброс (а) и взброс (надвиг, б), 3 – левый (а) и правый сдвиги (б); 4–6 – идеализированные разрывы структурных парагенезов разломных зон (Семинский, 2014): 4 – сброс (а) и взброс (надвиг, б), 5 – левый (а) и правый (б) сдвиги, 6 – разломы трансформационного типа в зонах растяжения (а) и зонах сжатия (б); 7–9 – разломные зоны: сжатия (7), сдвига (8) и растяжения (9).

Fig. 3. Results of specialized mapping of crustal fault zones.

а – local ruptures, б – the parageneses of the fault zones of compression, dextral strike-slip zone and the extension zone.

1 – lineaments identified using a digital relief model (Cheremnykh et al., 2018); 2, 3 – local ruptures in Cambrian sediments (red) and Cenozoic sediments (yellow): 2 – normal fault (а) and reverse fault (thrust; б), 3 – left (а) and right strike-slip fault (б); 4–6 – structural parageneses of fault zones (Seminskii, 2014): 4 – normal fault (а) and reverse fault (thrust; б), 5 – left (а) and right (б) strike-slip fault, 6 – transitional strike-slip to normal (а) and strike-slip to reverse (б) faults; 7–9 – fault zones: of compression (7), strike-slip (8) and extension (9).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Парагенезы разрывов и складчатость пород кембрия

В пределах коренных выходов кембрийских отложений выявлены разрывы, в том числе и со следами скольжения на поверхностях, и складчатые структуры, большинство из которых объясняются парагенезом зоны сжатия северо-восточного простирания. В двух из восьми обнажений (т. н. S1203 и S1228) наблюдались штрихи скольжения на пологих плоскостях и поверхности слоистости, простирание которых изменялось в пределах 315–325°,

что позволило реконструировать положение оси сжатия при формировании разрывов со смещением в этих коренных выходах. В т. н. S0954, S1201, S1203 и S1228 по результатам специального картирования разломов реконструированы структуры сжатия (взбросы и надвиг) с простиранием 20°, 40°, 60° и 70° соответственно (см. рис. 3). Во многих обнажениях кембрийских пород часто вместе со структурами сжатия выявлены сдвиги, характеризующиеся различным простиранием и направлением перемещения крыльев.

Кроме того, в т. н. S1228 изучен сброс с простиранием, согласным с ориентировкой линеймента, выявленного ранее путем анализа цифровой мо-

дели рельефа (Черемных и др., 2018). Здесь же обнаружены послойные и слабосекущие слоистость трещины. В складчатых породах кембрия зафиксировано два разрывных нарушения в виде зон трещиноватости мощностью 15 м и более 5 м (рис. 4).

К сожалению, полевые геолого-структурные наблюдения не позволили установить характер взаимодействия этих зон, а для реконструкции кинематического типа в зоне каждого из разрывных нарушений были собраны и в дальнейшем обработаны

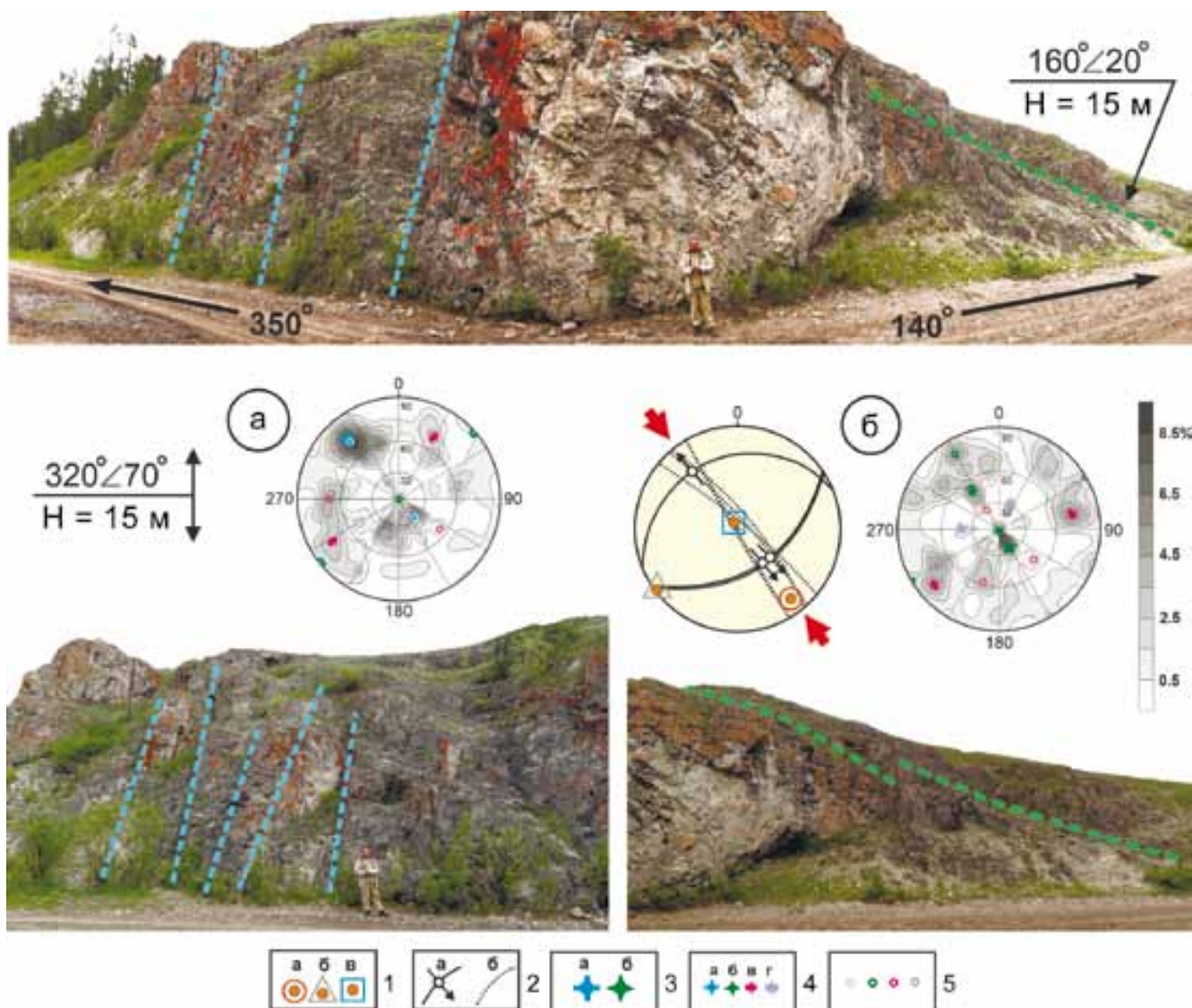


Рис. 4. Реконструкции кинематических типов разрывов и тектонических напряжений в отложениях кембрия (т. н. S1228).

1 – оси тектонических напряжений: а – сжатия, б – промежуточная, в – растяжения; 2 – положение плоскостей: а – зеркал скольжения (стрелка указывает направление перемещения висячего крыла), б – отрывов; 3 – полюса разрывов первого порядка: а – сброс, б – надвиг; 4 – полюса разрывов второго порядка, образующих парагенез зоны разрыва первого порядка: а – сброс, б – надвиг, в – сбросо-сдвиг, г – сдвиго-взброс; 5 – системы трещин соответствующих разрывов. Диаграммы построены в проекции верхней полусферы.

Fig. 4. Reconstructions of kinematics of ruptures and tectonic stresses in Cambrian sediments (Verkholenskaya Formation).

1 – axes of tectonic stresses: а – compression, б – intermediate, в – extension; 2 – position of planes: а – slickenside (arrow indicates the direction of movement of the hanging wing), б – tension joint; 3 – poles of faults of the first order: а – normal fault, б – thrust; 4 – poles of ruptures of the second order: а – normal fault, б – thrust, в – oblique, г – reverse oblique; 5 – systems of cracks of corresponding ruptures. Stereoplots are upper hemisphere projections.

сведения о трещиноватости горных пород. Также были построены сферограммы и выявлены максимумы плотности трещиноватости.

Даже при визуальном сравнении диаграмм трещиноватости видно, что они значительно различаются, хотя трещины для проведения анализа собраны в первых десятках метров друг от друга. Наиболее интенсивный максимум первой диаграммы – крутопадающий с наклоном на СЗ (см. рис. 4а), а самый значительный максимум второй диаграммы – пологий с падением на ЮВ (см. рис. 4б). Сопоставление максимумов диаграмм с трафаретами идеализированных парагенезов разрывов различных кинематических типов позволил установить кинематический тип этих разломов (зон трещиноватости) – сброс с аз. пад. $320^\circ \angle 70^\circ$ и надвига с аз. пад. $160^\circ \angle 20^\circ$.

Кроме того, в зоне надвига выявлены штрихи на зеркалах скольжения, по которым реконструировано поле тектонических напряжений сжатия с погружением главной оси – аз. пад. $323^\circ \angle 9^\circ$ (см. рис. 4б). Послойный и местами слабосекущий характер надвига, а также соответствующие выявленному сжатию пликативные структуры свидетельствуют о более раннем формировании этого разрыва по сравнению со сбросом. Последний развивался в среде, нарушенной трещиноватостью по слоистости горных пород и, вероятно, использовал ее как систему скола, сопряженного с основным разломом. В целом оба разлома имеют северо-восточное простирание, согласное с ориентировкой ближайшей границы платформы и подвижного пояса, но характеризуются падением в противоположных румбах и значительно различаются углами падения сместителей, что, вероятно, связано с характером воздействия на чехол платформы со стороны Центрально-Азиатского подвижного пояса.

Складчатая структура кембрийских отложений характеризуется северо-восточным простиранием осей складок, что вызвано сжатием в СЗ направлении в палеозойское время, когда кембрийские отложения еще обладали достаточной пластичностью для образования пликативных дислокаций. В т. н. S1229 были измерены элементы залегания крыльев и проведена реконструкция погружения шарнира – аз. пад. $219^\circ \angle 4^\circ$. В т. н. S1203 измерено погружение шарниров мелких складок: аз. пад. $65^\circ \angle 8^\circ$, аз. пад. $55^\circ \angle 30-40^\circ$, аз. пад. $245^\circ \angle 10^\circ$. В других обнажениях кембрийских пород положение шарниров не установлено, так как наблюдалось лишь одно из крыльев (наклонное залегание). Чаще фиксировалось залегание пород с падением в юго-восточных румбах под углами $15-50^\circ$ (т. н. S1201, S1205, S0954), реже – с падением в северо-западном направлении и более пологими углами (например, S1208 – аз. пад. $305^\circ \angle 10^\circ$). А в т. н. S1227 зафиксировано субгоризонтальное залегание пород кембрия.

Поранговый анализ второго этапа спецкартирования показал, что все разломы кембрийских по-

род, имеющие разную ориентировку и кинематический тип, могут быть отнесены к трем парагенезам разломных зон северо-восточного простирания: зоне сжатия, зоне правого сдвига и зоне растяжения (см. рис. 3б). При этом парагенезу каждой из разломных зон удовлетворяют 4-5 локальных разрывов. Если же рассматривать соответствие локальных разрывов простиранию крупного разлома, то основное направление Предбайкальской разломной зоны представлено тремя взбросонадвигами, двумя сдвигами и одним сбросом (см. рис. 3б).

Выше отмечено, что в субгоризонтально и наклонно залегающих породах кембрия широко распространены парагенезы сдвигов различного простирания и кинематического типа (см. рис. 3). Эти крутопадающие хрупкие разрывы и отдельные трещины скола часто ортогональны слоистости горных пород. По нашему мнению, данная особенность хрупкого разрушения слоистых толщ связана со спецификой напряженно-деформированного состояния в приповерхностных условиях, когда основным силам, действующим вдоль пласта, значительно легче реализовать образование скола в плоскости действия максимальных касательных напряжений. Подобные условия характерны и для субгоризонтально залегающих кайнозойских осадков.

Парагенезы разрывов в кайнозойских отложениях

Выше обсуждалось, что сдвиги широко распространены в неоднородной горизонтально-слоистой среде. Исследования, проведенные на 10 обнажениях кайнозойских осадков, подтвердили эти представления. В результате спецкартирования получено 11 решений о локальных разрывах, большинство из которых сдвиги (9 решений) преимущественно правые (6 решений).

Так, в горизонтально залегающих песчаниках, предположительно, неогенового возраста (т. н. S1210) наблюдаются зона трещиноватости с аз. пад. $160^\circ \angle 80^\circ$ и мощностью 70 см, и зона трещиноватости с аз. пад. $255^\circ \angle 89^\circ$ и мощностью 10 см (рис. 5). В ходе проведения структурно-парагенетического анализа установлено, что трещиноватость в обнажении соответствует парагенезу сдвиговой зоны северо-восточного простирания с правосторонним перемещением крыльев, где наиболее интенсивный максимум (аз. пад. $160^\circ \angle 80^\circ$) показывает положение основного сместителя – правого сдвига первого порядка. Два других полюса с высокой плотностью – аз. пад. $190^\circ \angle 70^\circ$ и аз. прост. 300° – являются известными сколами Риделя – R и R'. Другие максимумы диаграммы, расположенные вблизи большого круга, отображают полюса сопутствующей сдвигу крутопадающей трещиноватости (см. диаграмму на рис. 5).

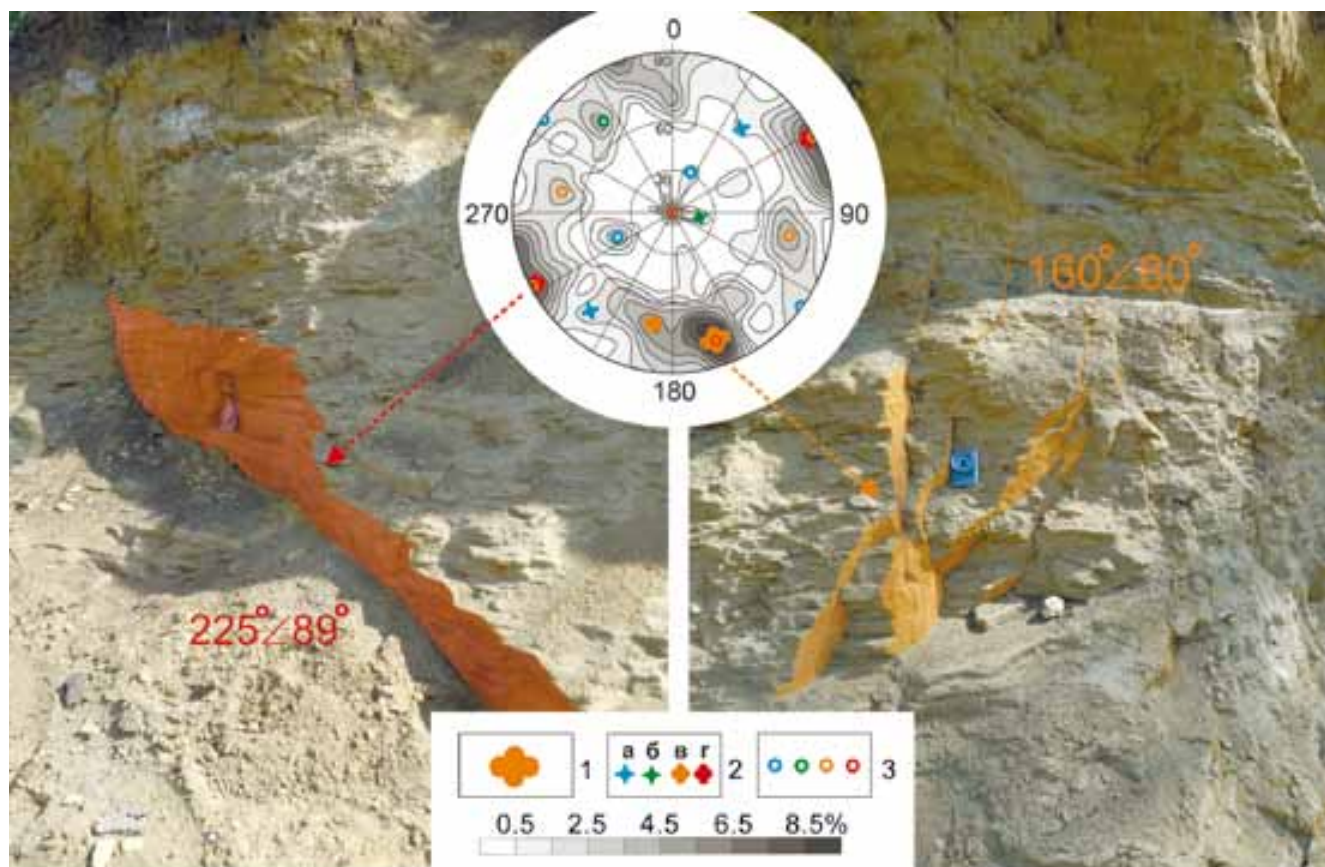


Рис. 5. Реконструкции кинематического типа разрыва в кайнозойских отложениях (т. н. S1210).

1 – полюс правого сдвига первого порядка; 2 – полюсы разрывов второго порядка, образующих парагенез зоны разрыва первого порядка: а – сброса, б – надвига, в – правого сдвига, г – левого сдвига; 3 – системы трещин соответствующих разрывов. Диаграмма построена в проекции верхней полусферы.

Fig. 5. Reconstructions of kinematically fault in Cenozoic sediments.

1 – the pole of the right strike-slip fault of the first order; 2 – the poles of the ruptures of the second order, forming the paragenesis of the fault zone of the first order: a – normal fault, б – thrust, в – dextral strike-slip fault, г – sinistral strike-slip fault; 3 – systems of cracks of corresponding ruptures. Stereoplot is upper hemisphere projections.

В целом из 9 локальных сдвигов кайнозойских осадков 4 являются правосторонними сдвигами северо-восточного простирания, 2 – правосторонними сдвигами северо-западной ориентировки, 2 – левосторонними сдвигами северо-западного простирания и 1 – правосторонним сдвигом западо-северо-западной ориентировки (см. рис. 3). Кроме того, в кайнозойских осадках реконструировано два сброса: аз. пад. $300^\circ/70^\circ$ (т. н. S1211) и аз. пад. $140^\circ/60^\circ$ (т. н. S1230). Дальнейший поранговый анализ показал, что локальные сбросы и различно ориентированные сдвиги удовлетворяют парагенезам более крупных зон растяжения, правостороннего сдвига северо-восточного простирания и, вероятно, сжатия (см. рис. 3а).

Наибольшее количество локальных разрывов (6 шт.), обнаруженных в кайнозойских осадках, удовлетворяют парагенезу зоны растяжения

северо-восточного простирания, так как являются сбросами близкой ориентировки и ортогональными к ним сдвигами с различным направлением перемещения крыльев, относящимися к трансформационному типу. Четыре правосторонних сдвига северо-восточного простирания, откартированные в т. н. S1210, S1211, S1202 и R1501, соответствуют парагенезу зоны сдвига с правосторонним перемещением крыльев. Парагенезу зоны сдвига также удовлетворяют правосторонние сдвиги и взброс, выявленные в отложениях кембрия (т. н. S1205, S1208, S1229 и S0954). Лишь один правосторонний сдвиг западо-северо-западной ориентировки, выявленный в т. н. S1209, хорошо соответствует парагенезу северо-восточной зоны сжатия (см. рис. 3б), что может быть вызвано рядом причин, затронутых в обсуждении результатов.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ
РЕЗУЛЬТАТОВ

Предбайкальский предгорный прогиб формируется на докайнозойском основании, поэтому часть разрывов, нарушающих кембрийские отложения чехла Сибирской платформы, образовалась на кайнозойском этапе тектогенеза. Однако и в кайнозойских осадках могли проявиться дизъюнктивные нарушения, сформированные ранее в кембрийских породах, что возможно при активизации разрывов, благоприятно ориентированных к новому полю тектонических напряжений. В связи с этим более детально рассмотрим распространение разрывов по площади и выявленные парагенезы разломных зон.

Анализ распространения выявленных локальных разрывов в пределах района исследования позволил отметить следующие особенности. Большинство разрывов характеризуются простиранием в северо-восточных румбах, согласным с ориентировкой прогиба и ближайшей реактивированной границы Сибирской платформы. Разрывы северо-западной ориентировки, как правило, приурочены к долинам рек и временных водотоков, имеющих соответствующее простирание. Близкая ориентировка разрывов в соседних точках наблюдения позволяет проследить некоторые из них по простиранию. Эта особенность отмечается для локальных дизъюнктивов как северо-восточного, так и северо-западного простирания (см. рис. 3). Например, в т. н. S1210, S1211, S1202 и S1208 выявлены правосторонние сдвиги северо-восточного простирания, что свидетельствует о протяженной зоне соответствующего сдвига, а правосторонние сдвиги северо-западного простирания в т. н. S1202 и S1209 характеризуются практически одинаковым простиранием. Также в т. н. S1201 и S1202 имеются взбросы сходной ориентировки. По нашему мнению, выявленные особенности носят не случайный характер, а обусловлены развитием региона на разных временных этапах в обстановках сжатия, сдвига и растяжения.

Существование Предбайкальского предгорного прогиба предполагает накопление осадков в условиях растяжения, поэтому не удивительно, что парагенез зоны растяжения северо-восточного простирания подтверждается наибольшим количеством локальных разрывов, которые преимущественно проявлены в породах кайнозоя. Парагенезу удовлетворяют 10 из 23 локальных разрывов, установленных в разновозрастных породах района исследований, а 6 из 10 – в осадках кайнозойского возраста. Это два сброса северо-восточного простирания в т. н. S1211 и S1230, а также четыре сдвига северо-западного простирания (в т. н. S1204, S1226, S1231 и R1502), характеризующиеся разнонаправленными перемещениями крыльев. Сдвиги

северо-западного простирания являются дополнительными элементами парагенеза зоны растяжения, так как их формирование обусловлено перемещением по системам основных структур – сбросов северо-восточного простирания, согласных с ориентировкой всей зоны. Подобный сброс и сдвиг обнаружены и в кембрийских отложениях, что ожидаемо и может быть объяснено двумя обстоятельствами. Во-первых, кайнозойское растяжение воздействовало на более ранние отложения платформенного чехла (кембрийские в пределах района исследования). Во-вторых, кайнозойский Предбайкальский предгорный прогиб наложен на более ранние структуры – Ангаро-Ленский раннепалеозойский прогиб в большей своей части и ранне- и среднеюрский предгорный прогиб в южной части (Замараев и др., 1976), т. е. условия растяжения в прогибе существовали и на более ранних (докайнозойских) тектонических этапах развития региона.

Парагенезу зоны правостороннего сдвига в равной мере (по 4 решения) удовлетворяют локальные разрывы, выявленные как в кайнозойских, так и в палеозойских породах (см. рис. 3б). Мы предполагаем, что широкое распространение элементов парагенеза разломной зоны правостороннего сдвига в кайнозойских осадках, причем как неогенового, так и четвертичного возраста, связано с образованием или активизацией данного дизъюнктива в кайнозойское время. То есть не исключается формирование разлома в четвертичное время, что предполагает существование элементов, образующих его внутреннюю структуру, и в породах более раннего возраста. Однако существует вероятность того, что разлом образовался в докайнозойское время и лишь “подновился” при активизации. На данной стадии исследования нет возможности датировать выявленный для данного региона сдвиговый этап. Работы в этом направлении планируется продолжить.

В результате же проведенного исследования установлено, что разрывы, выявленные в кембрийских отложениях, удовлетворяют парагенезам зон сжатия (5 разрывов), правостороннего сдвига (4 разрыва) и растяжения (4 разрыва), а разрывы в кайнозойских осадках – в основном парагенезам зон правостороннего сдвига и растяжения (см. рис. 3б). Из этого следует, что парагенез зоны сжатия в пределах района исследования сформировался после ранне- и среднекембрийского и до кайнозойского времени. Единичный правосторонний сдвиговый разрыв, выявленный в молодых отложениях (т. н. S1209) и удовлетворяющий парагенезу зоны сжатия более раннего возраста, скорее всего, имеет случайный характер, хотя мы допускаем возможность активизации существовавшего ранее разрыва (ослабленной зоны) под действием необходимых для этого напряжений в кайнозойское время. Так мог образоваться соответствующий локаль-

ный парагенез трещин в кайнозойских песчано-галечных отложениях, о чем косвенно свидетельствует расположение данной точки наблюдения на границе с кембрийскими отложениями (см. рис. 2).

Полученные нами результаты хорошо коррелируют с подобными исследованиями, проведенными в северо-восточной части Предбайкальского прогиба и в Непской зоне. Так, парагенезы пликтивных и дизъюнктивных структур зоны сочленения Ангара-Ленского поднятия и Предбайкальского прогиба свидетельствуют о нескольких стадиях сжатия в докайнозойское, вероятно палеозойское, время и о растяжении на кайнозойском этапе развития региона (Саньков и др., 2017). Здесь, помимо взбросов и сбросов, отмечается широкое развитие генетически связанных с ними сдвиговых разрывных нарушений. Однако, в отличие от нашего исследования, отдельный сдвиговый этап в цитируемой работе не выделяется. Широкое развитие парагенеза правостороннего сдвига северо-восточного простирания в пределах Непской зоны обсуждалось в статье (Рязанов, Малых, 1981). На схеме, приведенной в данной работе, разнообразие различно ориентированных сдвигов и складчато-надвиговых дислокаций связывается со смещениями крыльев – правосторонними Ангаро-Вилуйского (наиболее крупный) и левосторонними Тунгусско-Чонского разломов фундамента при западо-северо-западной ориентировке оси сжатия. Авторы объясняют парагенез дислокаций верхних горизонтов осадочного чехла движением по разломам основания, а время активных движений устанавливается как позднедевонско-среднекаменноугольное. Проведенные нами исследования подтверждают существование данного поля тектонических напряжений в пределах Предбайкальского прогиба, которое могло воздействовать на породы осадочного чехла как в послекембрийское, так и в кайнозойское время.

Современная активность в пределах прогиба подтверждается сейсмичностью юга Сибирской платформы, закономерности проявления которой свидетельствуют о генетической связи процессов деструкции земной коры в краевой части платформы (полоса 150–300 км) и подвижном поясе (Семинский и др., 2008). Нам неизвестны механизмы очагов землетрясений в пределах Предбайкальского предгорного прогиба, однако растяжение вкрест центральной части его юго-западного сегмента подтверждается данными GPS-измерений (Ашурков, 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В окрестностях пос. Баяндай в кембрийских и кайнозойских отложениях чехла Сибирской платформы методом спецкартирования разломных зон изучены парагенезы разрывов. В центральной ча-

сти Предбайкальского предгорного прогиба выявлены парагенезы зон сжатия, правостороннего сдвига и растяжения. Парагенез разрывов зоны сжатия имеет докайнозойское время формирования, так как практически не проявлен в кайнозойских отложениях. Обстановки, при которых были сформированы парагенезы зоны сдвига с правосторонним перемещением крыльев и зоны растяжения, существовали в кайнозойское время.

Таким образом, кайнозойский Предбайкальский предгорный прогиб формировался в обстановках сдвига и растяжения. Он заложен на докайнозойском основании, которое, помимо обстановок сдвига и растяжения, испытало этап сжатия в докайнозойское время. Проведенное исследование также не исключает полициклического развития деформаций в пределах прогиба. Так, сброс и правосторонние сдвиги, зафиксированные в кембрийских отложениях чехла платформы, могли образоваться не только в кайнозойское время, но и ранее – в палеозое или мезозое. Уточнение времени проявления установленных в ходе исследования этапов тектогенеза требует проведения дальнейших работ по изучению деформаций в породах различного возраста.

Благодарности

Авторы благодарны д.г.-м.н. К.Ж. Семинскому, к.г.-м.н. Ю.П. Бурзуновой, к.г.-м.н. А.К. Семинскому, Р.М. Заринову, А.А. Каримовой и А.С. Черемных за помощь при сборе геолого-структурного материала в экспедициях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ашурков С.В. (2022) Деформации южной части Сибирской платформы по данным GPS-измерений. *Геодинамика и тектонофизика*, **13**(1), 0628. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-1-0628>
- Бурзунова Ю.П. (2011) Углы между сопряженными системами приразломных трещин в идеализированных и природных парагенезисах, формирующихся в различных динамических обстановках. *Литосфера*, (2), 94–110.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2009) N-48 (Иркутск). Масштаб 1 : 1 000 000. Авторы: Т.Ф. Галимова, С.А. Пермяков, В.Т. Бобровский, Л.А. Бормоткина, А.Г. Пашкова. (Ред. Л.Б. Макарьев). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Замараев С.М., Адаменко О.М., Рязанов Г.В. Кульчицкий А.А., Адаменко Р.С., Викентьева Н.М. (1976) Структура и история развития Предбайкальского предгорного прогиба. М.: Наука, 134 с.
- Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. (2021) Формализованный линейный анализ геологических структур Прибайкалья. *Физика Земли*, (5), 223–234. <https://doi.org/10.31857/S0002333721050082>
- Левина Е.А., Семинский К.Ж., Мирошников А.И., Гладков А.С. (2017) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615651 “Structure”.

- Литвинцев Г.Г., Тараканова Г.И. (1967) Новые данные по стратиграфии и литологии третичных отложений юга Сибирской платформы. *Стратиграфия мезозоя и кайнозоя Средней Сибири*. Новосибирск: Наука, 156-166.
- Логачев Н.А. (2003) История и геодинамика Байкальского рифта. *Геология и геофизика*, **44**(5), 391-406.
- Логачев Н.А., Абрамова Т.К. (1958) Некоторые особенности геологии кайнозойских отложений юго-восточной части Иркутского амфитеатра. *Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР. Сер. геол.* Вып. 14, 114-128.
- Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. (1964) Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 196 с.
- Лунина О.В. (2016) Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии. *Геодинамика и тектонофизика*, **7**(3), 407-434. <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-3-0215>
- Мац В.Д., Ефимова И.М. (2011) Палеогеографический сценарий позднего мела-кайнозоя центральной части Байкальского региона. *Геодинамика и тектонофизика*, **2**(2), 175-193.
- Пржиялговский Е.С., Лаврушина Е.В. (2020) Структуры Алайской и Кичи-Каракольской впадин и обстановки новейших деформаций в их горном обрамлении (Южный Тянь-Шань). *Литосфера*, **20**(6), 771-790. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-6-771-790>
- Рязанов Г.В., Малых А.В. (1981) Парагенезы дислокаций осадочного чехла при горизонтальных движениях фундамента в Непской зоне (Сибирская платформа). *Докл. АН СССР*, **258**(4), 980-982.
- Саньков В.А., Парфеев А.В., Мирошниченко А.И., Бызов Л.М., Лебедева М.А., Саньков А.В., Добрынина А.А., Коваленко С.Н. (2017) Позднекайнозойское разломообразование и напряженное состояние юго-восточной части Сибирской платформы. *Геодинамика и тектонофизика*, **8**(1), 81-105. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0233>
- Семинский К.Ж. (2014) Спецкартирование разломных зон земной коры. Ст. 1. Теоретические основы и принципы. *Геодинамика и тектонофизика*, **5**(2), 445-467.
- Семинский К.Ж. (2015) Спецкартирование разломных зон земной коры. Ст. 2. Основные этапы и перспективы. *Геодинамика и тектонофизика*, **6**(1), 1-43.
- Семинский К.Ж., Гладков А.С., Вахромеев А.Г., Черемных А.В., Бобров А.А., Когут Е.И. (2008) Разломы и сейсмичность юга Сибирской платформы: особенности проявления на разных масштабных уровнях. *Литосфера*, (4), 3-21.
- 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. (2012) Межблоковые зоны северо-западного плеча Байкальского рифта: результаты комплексных геолого-геофизических исследований по профилю пос. Баяндай – м. Крестовский. *Геология и геофизика*, **53**(2), 250-269.
- Семинский К.Ж., Черемных А.В. (2011) Трещинные сети и напряженное состояние кайнозойских осадков Байкальского рифта: новые возможности структурно-парагенетического анализа. *Геология и геофизика*, **52**(3), 450-469.
- Суханова Н.В., Деев Ю.П. (1962) Государственная геологическая карта СССР. Сер. Прибайкальская. Лист N-48-XXVIII. Масштаб 1 : 200 000.
- Черемных А.В., Черемных А.С., Бобров А.А. (2018) Морфоструктурные и структурно-парагенетические особенности разломных зон Прибайкалья (на примере Бугульдейского дизъюнктивного узла). *Геология и геофизика*, **59**(9), 1372-1383.
- Angelier J. (1990) Inversion of the field data in fault tectonics to obtain the regional stress III, a new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophys. J. Int.*, **103**, 363-376.
- Delvaux D. (1993) The TENSOR program for reconstruction: examples from east African and the Baikal rift systems. *Terra Abstracts (Abstr. suppl. Terra Nova)*, **5**, 216.
- Delvaux D., Sperner B. (2003) Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. *Nieuwland, D. (Ed.) New Insights into Structural Interpretation and Modelling. V. 212. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 75-100.

REFERENCES

- Angelier J. (1990) Inversion of the field data in fault tectonics to obtain the regional stress III, a new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophys. J. Int.*, **103**, 363-376.
- Ashurkov S.V. (2022) Strain rates for the Southern Siberian craton derived from GPS measurements. *Geodynam. Tectonophys.*, **13**(1), 0628. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-1-0628>
- Burzunova Y.P. (2011) Angles between conjugated systems of near-fault fractures in idealized and natural parageneses formed in various dynamic settings. *Lithosphere (Russia)*, (2), 94-110. (In Russ.)
- Cheremnykh A.V., Cheremnykh A.S., Bobrov A.A. (2018) Faults in the Baikal region: morphostructural and structure-genetic features (case study of the Buguldeika fault junction). *Russ. Geol. Geophys.*, **59**(9), 1100-1108 (translated from *Geologiya i Geofizika*, **59**(9), 1372-1383). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.08.004>
- Delvaux D. (1993) The TENSOR program for reconstruction: examples from east African and the Baikal rift systems. *Terra Abstracts (Abstr. suppl. Terra Nova)*, **5**, 216.
- Delvaux D., Sperner B. (2003) Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. *Nieuwland D. (Ed.) New Insights into Structural Interpretation and Modelling. V. 212. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 75-100.
- Geological Map of the Russian Federation. (2009) N-48 (Irkutsk). T.F. Galimova, S.A. Permyakov, V.T. Bobrovsky, L.A. Bormitkina, L.B. Pashkova. (Ed. A.G. Makar'ev). Scale 1 : 1 000 000. St.Petersburg, VSEGEI. (In Russ.)
- Ivanchenko G.N., Gorbunova E.M. (2021) Formalized lineament analysis of geological structures in the Baikal region. *Izv. Phys. Solid Earth*, **57**(5), 779-788 (translated from *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Fizika Zemli*, (5), 223-234). <https://doi.org/10.31857/S0002333721050082>
- Levina E.A., Seminsky K.Zh., Miroshnichennko A.I., Gladkov A.S. (2017) Structure Software. *State Registration Certificate 615651*. (In Russ.)
- Litvintsev G.G., Tarakanova G.I. (1967) New data on stratigraphy and lithology of tertiary deposits of the south of

- the Siberian platform. *Stratigraphy of the Mesozoic and Cenozoic of Central Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 156-166. (In Russ.)
- Logachev N.A. (2003) History and geodynamics of the Baikal rift. *Russ. Geol. Geophys.*, **44**(5), 373-387 (translated from *Geologiya i Geofizika*, **44**(5), 391-406).
- Logachev N.A., Abramova T.K. (1958) Some features of the geology of Cenozoic deposits of the southeastern part of the Irkutsk Amphitheater. *Tr. Vost.-Sib. Filiala AN SSSR. Ser. geol.* V. 14, 114-128. (In Russ.)
- Logachev N.A., Lomonosova T.K., Klimanova V.M. (1964) Cenozoic deposits of the Irkutsk Amphitheater. Moscow, Nauka Publ., 196 p. (In Russ.)
- Lunina O.V. (2016) The digital map of the Pliocene-Quaternary crustal faults in the southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia. *Geodynam. Tectonophys.*, **7**(3), 407-434. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-3-0215>
- Mats V.D., Efimova I.M. (2011) Paleogeographic scenario of the Late Cretaceous–Cenozoic for the central part of the Baikal region. *Geodynam. Tectonophys.*, **2**(2), 175-193. (In Russ.)
- Przhiyalgovskii E.S., Lavrushina E.V. (2020) The structures of the Alai and Kichi-Karakol depressions and the latest deformations in their mountainous surroundings (Southern Tien Shan). *Lithosphere (Russia)*, **20**(6), 771-790. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-6-771-790>
- Ryazanov G.V., Malykh A.V. (1981) Parageneses of dislocations of sedimentary cover during horizontal movements of the foundation in the Siberian zone (Siberian platform). *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **258**(4), 980-982. (In Russ.)
- San'kov V.A., Parfeevets A.V., Miroshnichenko A.I., By-zov L.M., Lebedeva M.A., San'kov A.V., Dobryni-na A.A., Kovalenko S.N. (2017) Late Cenozoic faulting and the stress state in the south-eastern segment of the Si-berian platform. *Geodynam. Tectonophys.*, **8**(1), 81-105. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0233>
- Seminsky K.Zh. (2014) Specialized mapping of crustal fault zones. Pt 1: Basic theoretical concepts and principles. *Geodynam. Tectonophys.*, **5**(2), 445-467. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0136>
- Seminsky K.Zh. (2015) Specialized mapping of crustal fault zones. Pt 2: Main stages and prospects. *Geodynam. Tec-tonophys.*, **6**(1), 1-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-1-0170>
- Seminsky K.Zh., Cheremnykh A.V. (2011) Jointing pat-terns and stress tensors in Cenozoic sediments of the Baikal rift: Development of the structural-genetic ap-proach. *Russ. Geol. Geophys.*, **52**(3), 353-367 (translated from *Geologiya i Geofizika*, **52**(3), 450-469). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.002.008>
- Seminsky K.Zh., Gladkov A.S., Vakhromeev A.G., Cherem-nykh A.V., Bobrov A.A., Kogut E.I. (2008) Faults and seismicity of the south of Siberian platform: features of display at different scale levels. *Lithosphere (Russia)*, **4**(4), 3-21. (In Russ.)
- Seminsky K.Zh., Kozhevnikov N.O., Cheremnykh A.V., Pospeeva E.V., Bobrov A.A., Olenchenko V.V., Tuga-rina M.A., Potapov V.V., Burzunova Y.P. (2012) Inter-block zones of the northwestern Baikal rift: Results of geological and geophysical studies along the Bayandai Village-Cape Krestovskii profile. *Geol. Geofiz.*, **53**(2), 194-208. (In Russ.)
- Sukhanova N.V., Deev Yu.P. (1962) State geological map of the USSR. The Baikal series. Sheet N-48-XXVIII. Scale 1 : 200 000. (In Russ.)
- Zamaraev S.M., Adamenko O.M., Ryazanov G.V., Kulchit-sky A.A., Adamenko R.S., Vikentieva N.M. (1976) Structure and history of the development of the Pre-Bai-kal foothill trough. Moscow, Nauka Publ., 134 p. (In Russ.)