



СИСТЕМЫ РАЗЛОМОВ В ВЕРХНЕЙ КОРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

В.С. БУРТМАН

*Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена дизъюнктивная деформация верхней коры в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах Центрально-Азиатского складчатого пояса. Проведен анализ диаграмм направлений разломов, построенных по данным о более чем 3000 разломах. Он позволил выделить ортогональные ассоциации систем разломов в этих регионах. Изучение ассоциаций систем разломов показало, что значительное число разломов функционирует в двух и более эпохах орогенных деформаций. Направление перемещения по разлому обусловлено действующим в эпоху полем деформаций. Оно не зависит от кинематики разлома в предыдущие эпохи деформации. Тянь-Шань — палеозойский складчатый пояс, который испытал покровно-складчатые деформации и орогенез в палеозое и был подвергнут неотектоническому орогенезу в позднем кайнозое. Палеозойский Тянь-Шань состоит из каледонской и варисской провинций, в которых было разное количество эпох деформации. В варисской провинции Тянь-Шаня были две эпохи деформации, охватившие всю провинцию, — позднепалеозойская и позднекайнозойская. Позднепалеозойские деформации связаны с коллизией Таримского и Казахстанского палеоконтинентов. Туркестанский океан, разделявший эти блоки, был закрыт в позднем карбоне. Орогенез был поздней стадией этой эпохи деформации и происходил в пермское время. В каледонском Северном Тянь-Шане было четыре или более эпох орогенеза. В среднем ордовике был закрыт Терскойский океан, который в раннем палеозое разделял Кокчетау-Иссыкульский и Сырдарьинский микроконтиненты. Коллизия этих блоков сопровождалась орогенными деформациями и формированием позднеордовикской молассы. Распространение в регионе молассы позднего девона свидетельствует об орогенных процессах и в это время. Затем территория каледонид вместе со всем Тянь-Шанем была охвачена орогенезами в пермское время и в позднем кайнозое. В процессе позднекайнозойской деформации в варисской и каледонской провинциях Тянь-Шаня не возникали новые системы разломов: происходило перемещение по палеозойским разломам подходящего направления. В разных частях Алтай-Саянского региона орогенные дислокации происходили в кембрии, ордовике, силуре, девоне, позднем палеозое и позднем кайнозое. В этом регионе определены позднепалеозойские ассоциации систем разломов, которые были активизированы в новейшую эпоху, и выявлена ассоциация систем разломов, созданная в позднем кайнозое.

Ключевые слова: тектонические разломы, активные разломы, Тянь-Шань, Алтай, Саяны

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены по плану ГИН РАН, тема № 0135-2019-0055.

Благодарности: автор благодарен В.Г. Трифонову и Д.М. Бачманову за разрешение пользоваться дополненной ими картой активных разломов Евразии. М.Л. Копп и В.Г. Трифонов ознакомились с предварительным вариантом статьи и высказали замечания, которые автором учтены.

Для цитирования: Буртман В.С. Системы разломов в верхней коре Центрально-Азиатского складчатого пояса. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(1):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-8-18>

FAULT SYSTEMS IN THE UPPER CRUST OF THE CENTRAL ASIAN FOLDING BELT

VALENTIN S. BURTMAN

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky per., Moscow 119017, Russia*

ABSTRACT

This article considers the disjunctive deformation of the upper crust in the Tien Shan and Altai-Sayan regions of the Central Asian folding belt. An analysis of the diagrams of fault directions constructed on the basis of information on more than 3000 faults revealed orthogonal fault system assemblages in these regions. Among them, a significant number of faults were functioning during two or more epochs of orogenic deformations. The direction of displacements was determined by the deformation field existing in that epoch, irrespective of the fault kinematics in the previous deformation epochs. The Tien Shan is a Paleozoic folded belt that experienced cover-folded deformations and orogenesis in the Paleozoic, as well as neotectonic orogenesis in the Late Cenozoic. The Paleozoic Tien Shan consists of the Caledonian and Variscan provinces, which underwent a different number of deformation epochs. Two deformation epochs — Late Paleozoic and Late Cenozoic — covered the entire Variscan province of the Tien Shan. Late Paleozoic deformations were associated with a collision of the Tarim and Kazakhstan paleocontinents. The Turkestan Ocean having separated these blocks was closed in the Late Carboniferous. The orogenesis having occurred during Permian was a late stage of that deformation epoch. Four or more orogenic epochs were characteristic of the Caledonian Northern Tien Shan. In the middle Ordovician, the Terskey Ocean, which had separated the Kokchetau-Issyk-Kul and Syrdarya microcontinents in the early Paleozoic, was closed. The collision of these blocks was accompanied by orogenic deformations and the formation of the Late Ordovician molasses. The distribution of the Late Devonian molasses in the region indicates orogenic processes having occurred at that time. Subsequently, the Caledonide territory, along with the entire Tien Shan, was covered by orogenesis in the Permian and Late Cenozoic. During the Late Cenozoic deformation, no fault systems appeared in the Variscan and Caledonian provinces of the Tien Shan; rather, a movement along the Paleozoic faults of a corresponding direction took place. Orogenic dislocations occurred in the different parts of the Altai-Sayan region in Cambrian, Ordovician, Silurian, Devonian, Late Paleozoic and Late Cenozoic. In this region, the Late Paleozoic assemblages of fault systems activated in the most recent epoch were identified, and the fault system assemblage in the Late Cenozoic was revealed.

Keywords: tectonic faults, active faults, Tien Shan, Altai, Sayans

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Funding: the research was conducted according to the plan of the GIN RAS, topic No. 0135-2019-0055.

Acknowledgments: the author expresses his appreciation to V.G. Trifonov and D.M. Bachmanov for the permission to use their map of Eurasia's active faults, as well as to M.L. Kopp and V.G. Trifonov for their critical comments of the manuscript draft that significantly improved the overall quality of the work.

For citation: Burtman V.S. Fault systems in the upper crust of the Central Asian folding belt. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-8-18>

Земная кора в складчатых областях имеет мощность 40—70 км. На глубине 10—15 км или более расположена граница между верхней и нижней корой, которая соответствует сейсмической границе Форша (F, K1). Эта граница служит разделом, определяющим структурную дисгармонию между верхней и нижней корой [8]. Во многих районах граница между верхней и нижней корой отмечена «волноводом» — слоем или сериями тел, которые характеризует пониженная скорость сейсмических волн [1, 10, 15]. Вероятно, волновод представляет собой насыщенный флюидом пористый катаклазит или милонит [9, 15, 16].

Верхняя кора в разных тектонических условиях обладает свойствами упруго-пластичного или упруго-вязкого реологического тела. В ней возможно хрупкое разрушение — возникновение дизъюнктивных дислокаций. Нижняя кора, вероятно, имеет свойства, близкие к свойствам вязко-пластичного тела, в котором хрупкая деформация не происходит или происходит в локальных кратковременных аномалиях. Сейсмологические данные, результаты сейсмического и магнитотеллурического зондирования показывают, что протяженные разломы, изученные на земной поверхности, проникают в нижнюю кору и в верхнюю мантию. В вязко-пластичной среде нижней коры и мантии они должны иметь иное выражение, чем в верхней коре. Экстраполяция на глубину физических параметров разломов, изученных на земной поверхности, возможна в пределах верхней коры.

В статье рассмотрена дизъюнктивная деформация верхней коры, записанная в виде тектонических разломов в Тянь-шаньской и Алтай-Саянской

складчатых областях (рис. 1), которые занимают значительную часть территории Центрально-Азиатского складчатого пояса. Представительными для исследования можно считать разломы, которые глубоко проникают в верхнюю кору или пересекают ее. Изучение активных разломов и гипоцентров внутрикоровых землетрясений показало [19], что глубина проникновения разломов в земную кору близка к длине линий разломов на дневной поверхности. В статье использованы разломы, линии которых на земной поверхности имеют длину более шести километров.

Особенности методики исследования

В деформируемом теле, подвергнутом сжатию, возникают системы разломов первичной генерации, имеющие четыре направления. Вдоль направления сжатия образуются сбросы и раздвиги, под углом 90° к этому направлению — взбросы и надвиги. Эта ортогональная ассоциация систем разломов двух направлений может быть названа сброс-взбросовой ассоциацией. Под углом к направлениям разломов этой ассоциации формируются системы сдвигов двух направлений, которые образуют сдвиговую ассоциацию систем разломов (которую также называют «диагональной» [23]). В изотропном твердом теле сдвиговая ассоциация систем разломов также ортогональна. Угол между разломами, принадлежащими сброс-взбросовой и сдвиговой ассоциациям, в изотропном теле равен 45° . В земной коре этот угол может уменьшаться до 30° [21, 25]. Внутри сдвиговой ассоциации угол между двумя системами разломов может быть в интервале 60° — 90° . Между системами разломов сброс-взбросовой ассоциации он обычно близок к 90° (рис. 2).

Анализ розы-диаграммы направлений разломов региона позволяет выявить системы разломов и ассоциации систем разломов этого региона. Роза-диаграмма содержит разломы, функционировавшие в региональном поле деформаций, и разломы, которые возникли в локальных полях деформаций. Лучи диаграммы показывают системы разломов, маркируя направления региональных систем разломов. Ассоциация систем разломов обычно состоит из двух лучей, которые отмечают системы разломов двух направлений. Тектонофизические эксперименты показали, что разломы в лучах часто имеют разную длину, возможно также формирование лишь одного луча сдвиговых разломов [18].

При изучении тектонических разломов региона предварительным этапом обычно служит

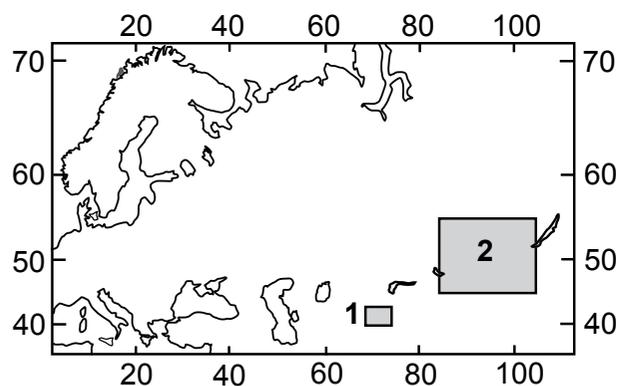


Рис. 1. Исследованные регионы: 1 — Тянь-шаньский, 2 — Алтай-Саянский

Fig. 1. The investigated regions: 1 — Tien Shan, 2 — Altai-Sayan

дешифрирование фотоснимков с летательных аппаратов и выделение на снимках фотолинеаментов, природа которых должна изучаться при наземных исследованиях. Нередко дешифрирование фотоснимков — единственный этап исследования, и фотолинеаменты являются основой для выводов. Значительная роль субъективного фактора при дешифрировании фотоснимков приводит к созданию принципиально разных карт фотолинеаментов для одного и того же региона [14]. Геологические карты, основанные на фотографических, топографических и иных линеаментах, в статье не были использованы. Исключение составляют карты разломов, активных в современную эпоху, эти разломы надежно распознаваемы на снимках с космических и других летательных аппаратов.

В складчатых зонах, сложенных шарьяжами, аллохтонные массы могут достигать 10—15 км мощности и занимать большую часть или всю верхнюю кору. На стадии шарьяживания верхняя кора таких регионов расслоена наволоками: тектоническими поверхностями в основании шарьяжей, которые первоначально имеют пологий наклон. Формирование шарьяжей предшествует орогенезу [2]. В дальнейшем на стадии складчатости наволоки приобретают разный наклон — вплоть до вертикального и опрокинутого залегания. К наволокам не применима упомянутая выше схема деформации, в соответствии с которой возникают и функционируют сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги. К наволокам не относится и упомянутое выше соотношение между длиной линии разлома и глубиной его проникновения в земную кору. Диаграммы, приводимые в статье, показывают простирания разломов всех типов, кроме наволоков и пологих надвигов.

Тянь-шаньский регион

Тянь-Шань — палеозойский складчатый пояс, который в палеозое испытал покровно-складчатые деформации и орогенез и в позднем кайнозое был подвергнут неотектоническому орогенезу. Палеозойский Тянь-Шань состоит из варисской и каледонской провинций (рис. 3), в которых было разное количество эпох орогенной деформации.

Варисский Тянь-Шань. В варисской провинции Тянь-Шаня были две эпохи деформации, охватившие всю провинцию, — позднепалеозойская и позднекайнозойская. Позднепалеозойские деформации связаны с коллизией Таримского и Казахстанского энсиалических блоков [2]. Туркестанский океан, разделявший эти блоки, был закрыт в позднем карбоне [3, 20]. Сутура Турке-

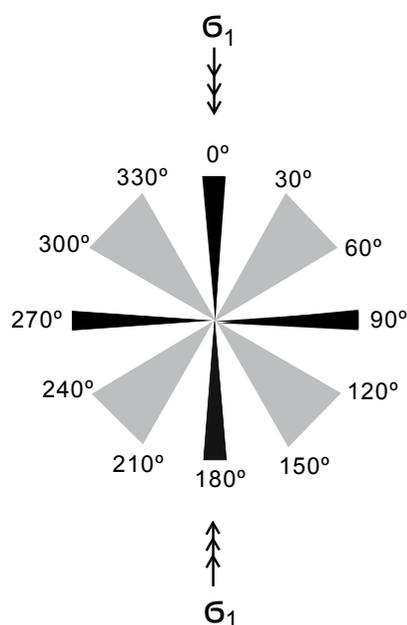


Рис. 2. Интервалы направлений, в которых могут возникнуть и функционировать системы разломов сброс-взбросовой (черные поля) и сдвиговой (серые поля) ассоциаций. σ_1 — направление сжатия объекта
Fig. 2. Intervals of directions in which downthrow-upthrow (black fields) and strike-slip (gray fields) associations of fault systems can arise and function, σ_1 — the direction of compression

станского океана (рис. 3) разделяет тектонические зоны Южного и Среднего Тянь-Шаня, история и стиль деформаций которых имеют значительные отличия. На территории Южного Тянь-Шаня находятся многослойные шарьяжи, которые формировались на окраине Туркестанского океана на ранней стадии варисской деформации — в позднекаменноугольное время [3]. В пермское время в процессе орогенеза автохтон и шарьяжи были смяты в складки, наволоки приобрели разный наклон и нередко — простирание вдоль складчатого пояса.

В Среднем Тянь-Шане — севернее Туркестанской сутуры — нет шарьяжей раннего этапа варисской деформации. Это способствовало выбору Чаткальского района Среднего Тянь-Шаня (рис. 3Б) для изучения направлений разломов в орогенные эпохи. Диаграмма I (рис. 4) показывает простирания 439 разломов в Чаткальском районе, который охватывает территорию Кураминского, Чаткальского, Пскемского и Угамского хребтов, горы Каржантау, западную часть южного склона Таласского хребта и межгорные долины. Географические координаты этой территории:

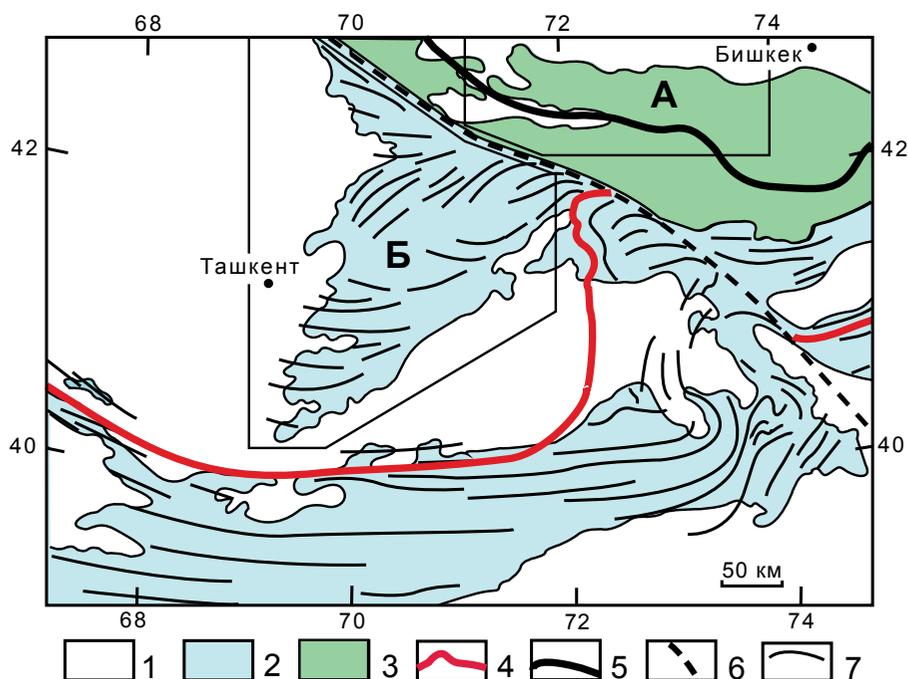


Рис. 3. Палеозойские тектонические провинции Тянь-Шаня. 1 — кайнозой и мезозой, 2 — варисская провинция, 3 — каледонская провинция, 4—5 — океанические сuture (4 — Туркестанского палеозойского океана, 5 — Терской раннепалеозойского океана), 6 — Таласо-Ферганский позднепалеозойский сдвиг, 7 — оси позднепалеозойских складок в варисской провинции Тянь-Шаня

Fig. 3. Paleozoic tectonic provinces of the Tien Shan: 1 — Cenozoic and Mesozoic, 2 — Variscides, 3 — Caledonides, 4—5 — oceanic sutures (4 — Turkestan Paleozoic ocean, 5 — Terskey Early Paleozoic ocean), 6 — Talas-Fergana Late Paleozoic strike-slip, 7 — axis of the Late Paleozoic folds in Variscian province of the Tien Shan

40°—43° с.ш., 69°—72° в.д., источник данных о разломах — [6].

На диаграмме I видны две ортогональные ассоциации систем разломов — I-1 и I-2 (рис. 4). Каждая ассоциация состоит из двух систем разломов (0°/180° и 90°/270°, 40°/220° и 120°/300°) — двух лучей, направленных под углом около 90° друг к другу. Тянь-шаньская позднепалеозойская складчатая система имеет в современных координатах субширотное простирание. Направление максимального сжатия при ее формировании было близко к меридиональному (в современных координатах). В таких условиях, ассоциация I-1 была сброс-взбросовой, ассоциация I-2 — сдвиговой. Это подтверждается результатами полевых исследований смещений по разломам. Диаграмма I имеет также луч 70°/250°, направленный под углом 20° к ближайшему лучу, который принадлежит ассоциации I-1. Система разломов такого направления не могла быть создана или активна в поле деформаций, в котором функционировали разломы ассоциаций I-1 и I-2, это — система разломов другого возраста.

Складки, сформированные в позднем палеозое на территории Чаткальского района, имеют широкий спектр направлений (рис. 3), говорящий о локальных полях деформаций, параметры которых отличались от параметров регионального поля деформаций, в котором функционировали разломы ассоциаций I-1 и I-2. Такая картина свидетельствует о том, что складчатые и дизъюнктивные деформации — формирование складок и движения по большинству разломов — происходили в разное время, на разных стадиях деформации. Этот вывод находится в соответствии с полевыми наблюдениями, которые показали, что многие позднепалеозойские разломы возникли после смятия пород в складки.

Каледонский Тянь-Шань. Каледонскую провинцию Тянь-Шаня называют Северным Тянь-Шанем. В каледонском Тянь-Шане (рис. 3) было четыре или более эпох орогенеза. В среднем ордовике был закрыт Терский океан, который в раннем палеозое разделял Иссыккульский (Кокчетау-Иссыккульский) и Сырдарьинский энсиалические блоки [3, 7]. Коллизия этих блоков

сопровождалась орогенными деформациями и формированием позднеордовикской молассы. Распространение в регионе молассы позднего девона свидетельствует об орогенных процессах и в это время. Затем территория каледонид вместе со всем Тянь-Шанем была охвачена орогенезами в пермское время и в позднем кайнозое.

Диаграмма II (рис. 4) показывает простираения 476 разломов в западном районе Северного Тянь-Шаня (рис. 3А). Район находится на территории Киргизского и Таласского хребтов и межгорных долин, географические координаты территории: 42° — 43° с.ш., 71° — 74° в.д., источники данных о разломах — [5, 13].

Диаграмма II имеет два луча ($60^{\circ}/240^{\circ}$ и $90^{\circ}/270^{\circ}$) и широкую полосу разломов СЗ/ЮВ простираения. В поле диаграммы вне ее лучей нередко находятся разломы, ассоциированные с разломами лучей диаграммы, но не столь широко распространенные. На диаграмме II показаны направления таких разломов, которые ассоциированы с разломами лучей $60^{\circ}/240^{\circ}$ и $90^{\circ}/270^{\circ}$. На этой диаграмме можно выделить ассоциации систем разломов II-1 и II-2, ориентированные под углом 30° одна к другой. Ассоциация II-1 идентична сброс-взбросовой позднепалеозойской ассоциации систем разломов I-1. Выше было отмечено, что позиция ассоциации I-1 соответствует региональному полю деформаций в позднем палеозое. Это свидетельствует о том, что разломы ассоциации II-1 в каледонидах были сформированы в процессе позднепалеозойского орогенеза, который охватил территорию всего Тянь-Шаня. Сдвиговой ассоциацией систем разломов, активных в эту эпоху, могла быть ассоциация II-2.

Полоса СЗ/ЮВ направления на диаграмме II содержит данные о 199 разломах, имеющих простираение в интервале 110° — $140^{\circ}/290^{\circ}$ — 320° . В диаграмме II нет ассоциации систем разломов, включающей разломы, которые простираются вдоль этой полосы. СЗ/ЮВ направление имеет сутура раннепалеозойского Терской океана в рассматриваемом районе (рис. 3). Это позволяет предположить связь разломов СЗ/ЮВ простираения с коллизионным процессом, происходившим в каледонидах в среднем и позднем ордовике. Обилие разломов в полосе СЗ/ЮВ направления может быть результатом присутствия в ней наволоков, которые приобрели такое положение при смятии в складки.

Активные разломы Тянь-Шаня. В позднем кайнозое Тянь-Шань был подвергнут повторному орогенезу. Разломы этого этапа дефор-

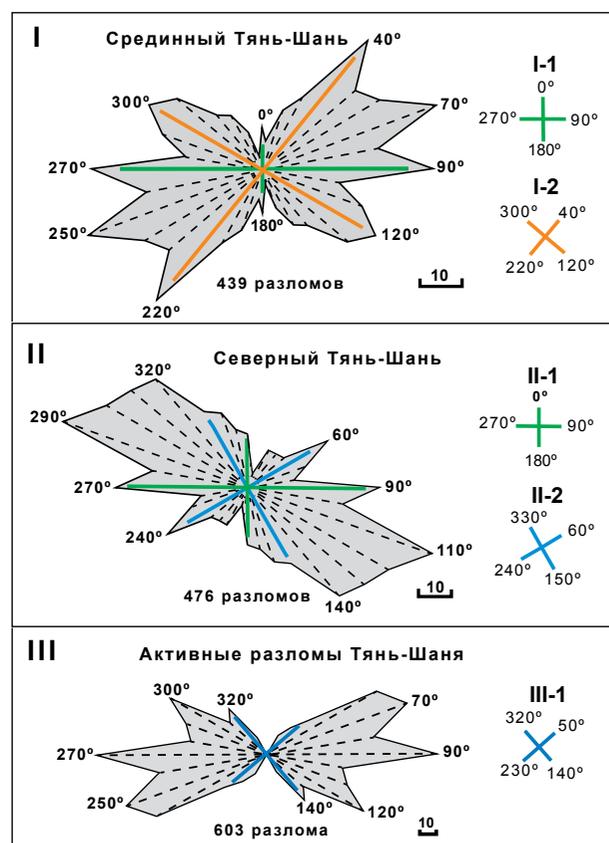


Рис. 4. Диаграммы направлений разломов в Тянь-шаньском регионе (полярные проекции, интервал — 10°): I — разломы в Чаткальском районе варисской провинции Тянь-Шаня (Б, рис. 3), II — разломы в Западном районе каледонской провинции Тянь-Шаня (А, рис. 3), III — разломы, активные в современную эпоху на всей территории Тянь-Шаня **Fig. 4.** Diagrams of fault directions in the Tien Shan region (polar projections, interval — 10°): I — faults in Chatkal district of the Variscian province of Tien Shan (B, Fig. 3), II — faults in the Western region of the Caledonian province of Tien Shan (A, Fig. 3), III — faults, active in the modern era throughout the Tien Shan

мации Тянь-Шаня были активны в позднем плиоцене-голоцене. Диаграмма III (рис. 4) показывает простираения 603 активных разломов, расположенных на территории всех тектонических зон Тянь-Шаня, — в координатах 35° — 45° с.ш., 65° — 95° в.д. Источник данных — карты активных разломов Евразии [11, 15, 27].

У диаграммы III — четыре луча (рис. 4). Наименьший из них указывает на существование слабо развитой ассоциации систем разломов III-1 с простираением лучей $50^{\circ}/230^{\circ}$ и $140^{\circ}/320^{\circ}$. Эти простираения близки к направлениям систем разломов в позднепалеозойских ассоциациях

I-2 и II-2. Три больших луча диаграммы III простираются под 20° — 30° один к другому. В поле диаграммы нет ассоциированных с ними разломов. Аналоги этих лучей диаграммы III присутствуют на диаграммах палеозойских разломов: луч с простиранием $90^{\circ}/270^{\circ}$ есть на диаграммах I и II, лучи $120^{\circ}/300^{\circ}$ и $70^{\circ}/250^{\circ}$ — на диаграмме I, луч $140^{\circ}/320^{\circ}$ — на диаграмме II. Всё это свидетельствует о том, что в процессе позднекайнозойской деформации Тянь-Шаня в большинстве случаев не возникали новые разломы, а происходили перемещения по палеозойским разломам. Полевое изучение активных разломов показало широкое распространение среди них разломов палеозойского происхождения.

Позднекайнозойский орогенез Тянь-Шаня обусловлен коллизией Индостанского континента с Евразией [24]. Кинематика активных разломов и данные GPS свидетельствуют о том, что направление горизонтального сжатия Тянь-шаньского региона в это время было близко к меридиональному [4]. Позднекайнозойский орогенез происходит в Тянь-Шане в поле деформаций, ориентировка которого подобна ориентировке позднепалеозойского поля деформаций. Небольшая ассоциация систем разломов III-1 (рис. 4) мо-

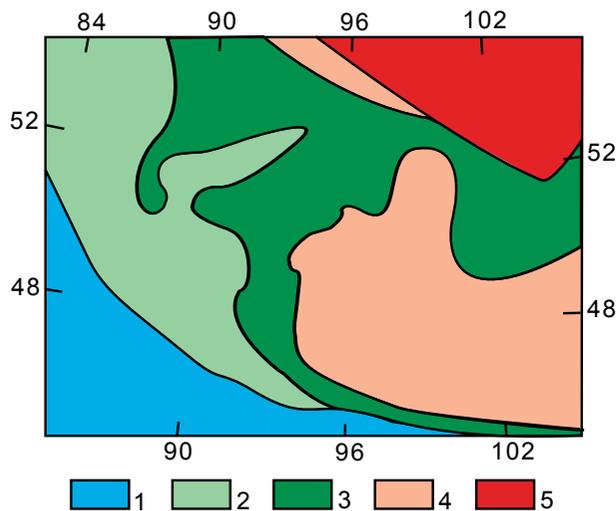


Рис. 5. Схема палеозойских тектонических провинций Алтай-Саянского региона — по [26], с изменениями. 1 — варсциды, 2 — поздние каледониды, 3 — ранние каледониды, 4 — микроконтиненты, 5 — Сибирский кратон

Fig. 5. Diagram of the Paleozoic tectonic provinces of the Altai-Sayan region — according to [26], with changes: 1 — varscides, 2 — late caledonides, 3 — early caledonides, 4 — microcontinent, 5 — Siberian craton

жет быть результатом реактивации позднепалеозойской ассоциации, но широкой реактивации палеозойских ассоциаций не произошло. «Ожидали» позднепалеозойские разломы в региональных полях деформаций, которые возникали при землетрясениях.

Алтай-Саянский регион

В Алтай-Саянском регионе (рис. 5) размещение раннепалеозойских, среднепалеозойских и других террейнов на площади региона [22, 26] более сложное, чем в Тянь-Шане. В разных частях этого региона орогенные дислокации происходили в кембрии, ордовике, силуре, девоне, позднем палеозое и позднем кайнозое. Рассматриваемая территория Алтай-Саянского региона находится в географических координатах 45° — 55° с.ш., 84° — 104° в.д., источник данных о разломах — [12]. Диаграмма IV (рис. 6) показывает направления 1187 разломов в этом регионе. Диаграмма IV имеет четыре луча. Опираясь на их направления, можно выделить три ассоциации системы разломов. Ассоциация IV-1 включает разломы лучей $60^{\circ}/240^{\circ}$ и $140^{\circ}/320^{\circ}$. Ассоциацию IV-2 образуют разломы луча $90^{\circ}/270^{\circ}$ и разломы меридионального направления, которые находятся внутри поля диаграммы. Ассоциация IV-3 содержит разломы луча $20^{\circ}/200^{\circ}$ и находящиеся внутри диаграммы разломы, которые имеют простирание $110^{\circ}/290^{\circ}$.

Алтай-Саянский регион, как и Тянь-Шань, в позднем кайнозое был подвергнут орогенезу, вызванному коллизией Индостанского континента с Евразией [24]. Диаграмма V (рис. 6) показывает простирания 663 разломов, активных в позднем плейстоцене — голоцене, которые расположены на той же территории, для которой составлена диаграмма IV. Источник данных — карты активных разломов [11, 17, 27]. На диаграмме V видны две ортогональные ассоциации систем разломов — ассоциация V-1 с лучами $70^{\circ}/250^{\circ}$ и $160^{\circ}/340^{\circ}$ и ассоциация V-2 с лучами $0^{\circ}/180^{\circ}$ и $90^{\circ}/270^{\circ}$. Эти ассоциации ориентированы под углом 20° одна к другой. Это свидетельствует о формировании ассоциаций V-1 и V-2 в разное время, — в разные эпохи или на разных этапах деформации. Значительное количество разломов рассматриваемого региона имеют простирание 110° — $140^{\circ}/290^{\circ}$ — 320° . В поле диаграммы V не удастся выделить систему разломов, ассоциативную с разломами такого направления.

При составлении диаграммы VI (рис. 6) из комплекса данных, на которых основана диа-

грамма IV, были вычтены данные об активных разломах диаграммы V. В результате диаграмма VI показывает направления 524 разломов, по которым не было перемещений в неотектоническую эпоху. На этой диаграмме видны две ортогональные ассоциации систем разломов: ассоциация VI-a, которая подобна ассоциации IV-1, и ассоциация VI-b, подобная ассоциации IV-3. Аналоги ассоциации IV-2 на диаграмме VI отсутствуют.

Сравнение диаграмм IV, V и VI (рис. 6) позволяет сделать следующие выводы. Активные разломы ЮВ/СЗ направления на диаграмме V, не имеющие ассоциированных с ними разломов, — это активизированные палеозойские разломы ассоциаций IV-1 и IV-3. Ассоциации IV-2 и V-2 идентичны не только по направлению, но и по количеству разломов в их лучах. Это — веский довод в пользу зарождения разломов этих ассоциаций в неотектоническую эпоху. В отличие от Тянь-Шаня, в котором при позднепалеозойском и позднекайнозойском орогенезах деформации происходили в полях, имеющих близкое направление осей, в Алтай-Саянском регионе такого совпадения не было. По кинематике активных разломов направление регионального сжатия в неотектоническую эпоху изменялось от меридионального в Алтае до СВ/ЮЗ в Саянах [17]. Создание неотектонической ассоциации систем разломов V-2, вероятно, было реакцией на несовпадение региональных полей деформации в позднем палеозое и позднем кайнозое.

Обсуждение

Изучение ассоциаций систем разломов в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах показало, что значительное число разломов функционирует в двух или более эпохах деформаций. Направление перемещения по разлому обусловлено действующим в эту эпоху региональным полем деформаций. Оно не зависит от кинематики этого разлома в предыдущие эпохи деформации (если разлом в эти эпохи существовал). Кинематический тип разлома (сброс, правый сдвиг и др.) определяют по околоразломным деформациям, если они видны, или по соотношению между породами на его крыльях. Эти определения соответствуют направлению перемещения по разлому в одну эпоху деформации, обычно — последнюю. Поэтому для разделения систем разломов по возрасту их заложения следует использовать данные о направлениях разломов региона, не разделяя их на сбросы, взбросы сдвиги, надвиги. Так

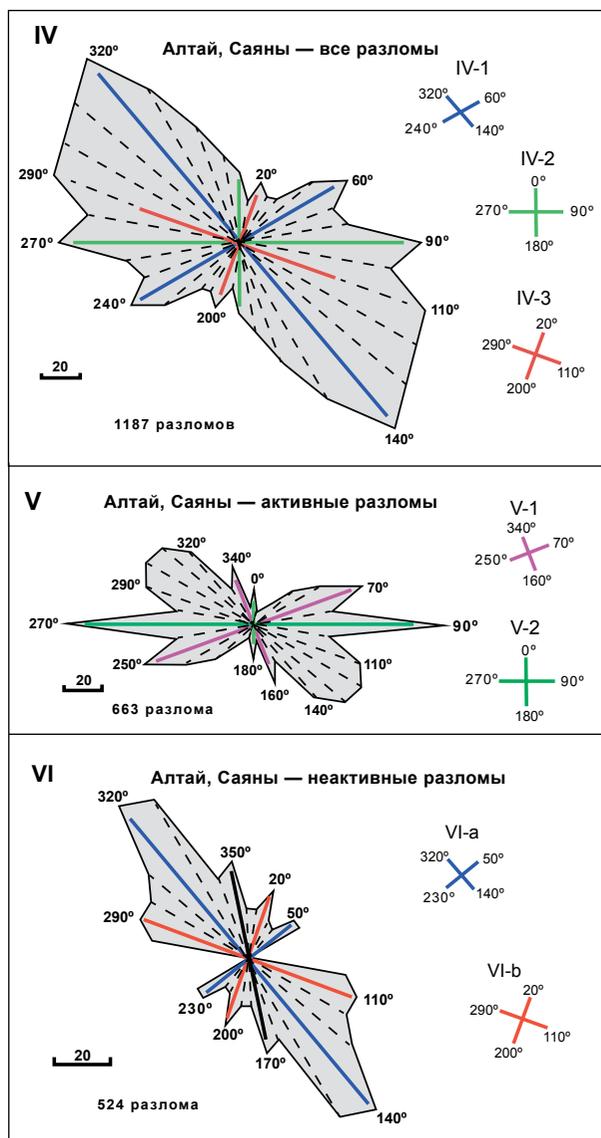


Рис. 6. Диаграммы направлений разломов в Алтай-Саянском регионе (полярные проекции, интервал — 10°): IV — все разломы, V — разломы, активные в современную эпоху, VI — палеозойские разломы, которые не были активизированы в современную эпоху деформации

Fig. 6. Diagrams of fault directions in the Altai-Sayan region (polar projections, interval — 10°): IV — all faults, V — faults active in the modern era, VI — Paleozoic faults not activated in the modern era of deformation

построены диаграммы направлений разломов в этой статье.

Для выяснения — когда были созданы системы разломов и какие системы были активны в разные эпохи деформаций, необходимо знание параметров регионального поля деформаций в ис-

следуемые эпохи. Эта информация обычно основана на данных о тектонике и геодинамике региона. Для определения параметров неотектонического поля деформаций можно также использовать кинематику активных разломов, так как вид их активности в неотектоническую эпоху определяется безошибочно. Данные о кинематике активных разломов были использованы для определения параметров неотектонических полей деформаций в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах.

Заключение

Изучение ассоциаций систем разломов, которые пересекают верхнюю кору континента или проникают в нее на значительную глубину, проведено в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах Центрально-Азиатского палеозойского складчатого пояса. В варисцидах Срединного Тянь-Шаня выявлены системы разломов и их ассоциации, сформированные в процессе позднепалеозойского орогенеза. Установлено, что формирование большинства складок и движения по многим разломам этого региона происхо-

дили на разных этапах позднепалеозойской эпохи деформации. В каледонидах Северного Тянь-Шаня выявлена ассоциация систем разломов, имеющая позднепалеозойское происхождение, а также разломы, вероятно, имеющие раннепалеозойской возраст. Установлено, что в процессе позднекайнозойской деформации в обеих провинциях Тянь-Шаня не возникали новые системы разломов, — происходило перемещение по палеозойским разломам подходящего направления. В Алтай-Саянском регионе определены позднепалеозойские ассоциации систем разломов, которые были активизированы в новейшую эпоху, и выявлена ассоциация систем разломов, созданная в позднем кайнозое. Проведенное исследование показало, что анализ ассоциаций систем разломов позволяет разделить системы разломов региона, бывшие активными в разные эпохи деформации. Это способствует систематизации многоэтапных дизъюнктивных деформаций верхней коры исследованных регионов и позволяет оценивать степень сейсмической опасности палеозойских разломов разного направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багманова Н.Х., Миркин Е.Л., Сабитова Т.М. Волноводы в земной коре Тянь-Шаня // Вестник института сейсмологии НАН Киргизской Республики. 2014. № 3. С. 31—38.
2. Буртман В.С. Структурная эволюция палеозойских складчатых систем. М.: Наука, 1976. 164 с.
3. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: тектоника и геодинамика в палеозое. М.: Геос, 2006. 215 с.
4. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: геодинамика в кайнозое. М.: Геос, 2012. 187 с.
5. Буртман В.С., Каткова Н.С., Кордун Б.М., Медведев В.Я. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000, лист К-43-XIV. М.: Госгеолиздат, 1961.
6. Геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000, лист К-42,43. М.: Мингео СССР, 1990.
7. Дегтярев К.Е., Рязанцев А.В., Третьяков А.А. Строение каледонид Киргизского хребта и тектоническая эволюция Северного Тянь-Шаня в позднем докембрии — раннем палеозое // Геотектоника. 2014. № 6. С. 3—38.
8. Иванов С.Н. Зоны пластичных и хрупких деформаций в вертикальном разрезе литосферы // Геотектоника. 1990. № 2. С. 3—11.
9. Иванов С.Н. Вероятная природа главных сейсмических границ в земной коре континентов // Геотектоника. 1994. № 3. С. 3—13.
10. Каракин А.В., Курьянов Ю.А., Павленкова Н.И. Разломы, трещиноватые зоны и волноводы в верхних слоях земной оболочки. М.: ВНИИгеосистем, 2003. 221 с.
11. Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий, масштаб 1:8 000 000. М.—Иркутск: АН СССР, 1986.
12. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран, масштаб 1:2 500 000. М.: Мингео СССР, 1980.
13. Киселев В.В., Королев В.Г. Бешташ-Терекский правый сдвиг и сдвиговая тектоника в западной части Северного Тянь-Шаня // Тектоника западных районов Северного Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1964. С. 61—78.
14. Короновский Н.В., Брянцева Г.В., Гончаров М.А., Наймарк А.А., Копаев А.В. Линеаменты, планетарная трещиноватость и регматическая сеть: суть явлений и терминология // Геотектоника. 2014. № 2. С. 75—88.
15. Краснопевцева Г.В. Геолого-геофизические особенности строения слоев с пониженными скоростями в земной коре. М.: ВИЭМС. 1978. 37 с.
16. Николаевский В.Н., Шаров В.И. Разломы и реологическая расслоенность земной коры // Физика Земли. 1985. № 1. С. 16—28.
17. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: Геос, 2002. 224 с.
18. Шерман С.И. Сдвиги и трансформные разломы литосферы // Проблемы разломной тектоники. Новосибирск: Наука, 1981. С. 5—44.
19. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

20. Alexeiev D.V., Biske Yu.S., Djenchuraeva A.V., Kröner A., Getman O.F. Late Carboniferous (Kasimovian) closure of the South Tianshan Ocean: No Triassic subduction // *J. Asian Earth Sciences*. 2019. Vol. 173. P. 54—60.
21. Burtman V.S. Stationary network of continental faults and mobilism // *Geotectonics*. 1978. Vol. 12. no. 3. P. 177—184.
22. Buslov M.M., De Grave J. Tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan Foldbelt (southern Siberia). In: *The Central Asian Orogenic Belt / Stuttgart: Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung*. 2015. P. 93—153.
23. Jaroszeewski W. *Fault and fold tectonics*. Warszawa: PWN-PSP. 1984. 565 p.
24. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol. 189. P. 419—426.
25. Moody J.D., Hill M.J. Wrench-fault tectonics // *GSA Bull.* Vol. 67. no. 9. 1956. P. 1207—1246.
26. Safonova I., Seltmann R., Kröner A., Gladkochub D., Schulmann K., Xiao W., Kim J., Komiya T., Sun M. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt // *Episodes*. 2011. Vol. 34. no. 3. P. 186—196.
27. Trifonov V.G. World map of active faults, their seismic and environmental effects // *Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*. Dordrecht: Kluwer Acad. Pub. 1997. P. 169—180.

REFERENCES

1. Bagmanova N.Kh., Mirkin E.L., Sabitova T.M. Waveguides in the Earth crust of the Tien Shan. *Vestnik instituta seismologii NAN Kirgizskoy Respubliki [Bulletin of the Institute of Seismology of the NAS of the Kyrgyz Republic]*, 2014, no. 3, pp. 31—38. (In Russian).
2. Burtman V.S. *Structural evolution of the Paleozoic folded systems*. Moscow, Nauka Publ., 1976, 164 p. (In Russian).
3. Burtman V.S. *Tien Shan and High Asia: tectonics and geodynamics in the Paleozoic*. Moscow, Geos Publ., 2006, 215 p. (In Russian).
4. Burtman V.S. *Tien Shan and High Asia: Cenozoic geodynamics*. Moscow, Geos Publ., 2012, 187 p. (In Russian).
5. Burtman V.S., Katkova N.S., Kordun B.M., Medvedev V.Ya. *Geological map of the USSR on a scale of 1:200,000, sheet K-43-XIV*. Moscow, Gosgeolizdat Publ., 1961. (In Russian).
6. *Geological map of the USSR, scale 1:1.000.000, sheet K-42.43*. Moscow, Mingeo USSR Publ., 1990. (In Russian).
7. Degtyarev K.E., Ryazantsev A.V., Tretyakov A.A. The structure of the caledonids of the Kyrgyz ridge and the tectonic evolution of the Northern Tien Shan in the Late Precambrian — Early Paleozoic. *Geotectonics*, 2014, no. 6, pp. 3—38. (In Russian).
8. Ivanov S.N. Zones of plastic and brittle deformations in a vertical section of the lithosphere. *Geotectonics*, 1990, no. 2, pp. 3—11. (In Russian).
9. Ivanov S.N. The probable nature of the main seismic boundaries in the continental crust. *Geotectonics*, 1994, no. 3, pp. 3—13. (In Russian).
10. Karakin A.V., Kuryanov Yu.A., Pavlenkova N.I. *Faults, fractured zones and waveguides in the upper layers of the earth's shell*. Moscow, Geosystem Publ., 2003, 221 p. (In Russian).
11. *Map of the active faults of the USSR and adjacent territories, scale 1:8.000.000*. Moscow—Irkutsk: Academy of Sciences of the USSR Publ., 1986. (In Russian).
12. *Map of faults of the USSR and neighboring countries, scale 1:2.500.000*. Moscow, Mingeo USSR Publ., 1980. (In Russian).
13. Kiselev V.V., Korolev V.G. Beshtash-Tereksky right shift and shear tectonics in the western part of the Northern Tien Shan. *Tektonika zapadnykh rayonov Severnogo Tyan-Shanya [Tectonics of the western regions of the Northern Tien Shan]*. Frunze: Ilim Publ., 1964, pp. 61—78. (In Russian).
14. Koronovsky N.V., Bryantseva G.V., Goncharov M.A., Naimark A.A., Kopaev A.V. Lineaments, planetary fracturing and a regmatic network: the essence of phenomena and terminology. *Geotectonics*, 2014, no. 2, pp. 75—88. (In Russian).
15. Krasnopevtseva G.V. *Geological and geophysical structural features of layers with reduced speeds in the earth's crust*. Moscow, VIEMS Publ., 1978. 37 p. (In Russian).
16. Nikolaevsky V.N., Sharov V.I. Faults and rheological stratification of the earth's crust. *Physics of the Earth*, 1985, no. 1, pp. 16—28. (In Russian).
17. Trifonov V.G., Soboleva O.V., Trifonov R.V., Vostrikov G.A. *Modern geodynamics of the Alpine-Himalayan collision belt*. Moscow, Geos Publ., 2002, 224 p. (In Russian).
18. Sherman S.I. Shifts and transform faults of the lithosphere. *Problemy razlomnoy tektoniki [Problems of fault tectonics]*. Novosibirsk, Science Publ., 1981, pp. 5—44. (In Russian).
19. Sherman S.I. *Physical laws of the development of faults in the earth's crust*. Novosibirsk, Science Publ., 1977, 102 p. (In Russian).
20. Alexeiev D.V., Biske Yu.S., Djenchuraeva A.V., Kröner A., Getman O.F. Late Carboniferous (Kasimovian) closure of the South Tianshan Ocean: No Triassic subduction. *J. Asian Earth Sciences*, 2019, vol. 173, pp. 54—60.
21. Burtman V.S. Stationary network of continental faults and mobilism. *Geotectonics*, 1978, vol. 12, no. 3, pp. 177—184.
22. Buslov M.M., De Grave J. *Tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan Foldbelt (southern Siberia). The Central Asian Orogenic Belt*. Stuttgart, Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2015, pp. 93—153.
23. Jaroszeewski W. *Fault and fold tectonics*. Warszawa, PWN-PSP Publ., 1984, 565 p.

24. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. *Science*, 1975, vol. 189, pp. 419—426.
25. Moody J.D., Hill M.J. Wrench-fault tectonics. *GSA Bull.*, 1956, vol. 67, no. 9, pp. 1207—1246.
26. Safonova I., Seltmann R., Kröner A., Gladkochub D., Schulmann K., Xiao W., Kim J., Komiya T., Sun M. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt. *Episodes*, 2011, vol. 34, no. 3, pp. 186—196.
27. Trifonov V.G. *World map of active faults, their seismic and environmental effects. Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*. Dordrecht, Kluwer Acad. Pub., 1997, pp. 169—180.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Буртман В.С. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Burtman V.S. — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Буртман Валентин Семенович — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ГИН РАН, Геологический институт РАН 7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия
e-mail: vburtman@gmail.com
тел.: +7 (499) 251-82-76, +7 (985) 909-23-63
SPIN: 2996-2801
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-9664>

Valentin S. Burtman — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading researcher, Geological Institute of the RAS 7, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: vburtman@gmail.com
tel.: +7 (499) 251-82-76, +7 (985) 909-23-63
SPIN: 2996-2801
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-9664>