

УДК 552.311

МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАБАЗИТОВ ОФИОЛИТОВОЙ АССОЦИАЦИИ СЕВЕРНОГО СКЛОНА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

© 2017 г. Н. А. Дугарова, П. А. Тишин, И. Ф. Гертнер, Т. С. Краснова

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск,
просп. Ленина, 36, e-mail: nadyadugarova@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.08.2016 г.; принята к печати 18.01.2017 г.

Офиолиты северного склона Кузнецко-Алатауского хребта являются наиболее представительными фрагментами субокеанической коры в регионе. В настоящей статье приводятся результаты исследования метабазитов офиолитового парагенеза гор Северная, Зеленая, Бархатная и Семеновского массива. Для исследования отобраны образцы из габброидного и субвулканического комплексов. Помимо петрографического изучения в шлифах составы основных породообразующих минералов (плагиоклазы, амфиболы) были детально исследованы на электронном микроскопе, оснащённом микрозондовым энерго-дисперсионным анализатором. При этом установлено, что полевые шпаты представлены широким спектром состава: от альбита до битовнита; не менее распространённые амфиболы характеризуются также широким диапазоном составов: эденит, ферроэденит, ферропаргасит, магнезиогастингсит, магнезиальная, железистая и актинолитовая роговые обманки. Хлорит отмечается во всех образцах и представлен рипидолитом и пикнохлоритом. Из акцессорных минералов присутствуют апатит, ильменит, сфен и, в единичных случаях, рутил. Полученные данные по фазовым взаимоотношениям и изменениям химических составов основных минералов (полевые шпаты, амфиболы) обнаруживают признаки как прогрессивного, так и ретроградного метаморфизма и предполагают несколько этапов метаморфических преобразований исследуемых пород. Поведение акцессорных минералов также выражает вариативность термодинамических параметров метаморфизма. Это подтверждается и традиционными методами геотермобарометрии (с использованием минеральной пары «плагиоклаз-амфибол»). Наблюдаемая ретроградная направленность процессов метаморфизма отражает перемещение офиолитовых масс в верхние горизонты коры и позволяет связывать этот метаморфизм с обдукцией офиолитов. Для исследуемого региона наиболее ранний этап обдукции реститовых ультрабазитов в условиях заложения «рифейской» океанической островной дуги может быть сопоставлен с эпизодами регионального метаморфизма на уровне эпидот-амфиболитовой фации ($T = 500\text{--}700^\circ\text{C}$ и $P = 2\text{--}6$ кбар). Коллизионное приращение Кузнецко-Алтайской островной дуги к структурам Центрально-Азиатского супертеррейна и Сибирскому кратону в позднем кембрии-ордовике контролировало вертикальные движения вдоль субмеридиональных тектонических разрывов и привело к метаморфизму пород при низких температурах ($350\text{--}510^\circ\text{C}$) и высоких давлениях (6–9 кбар). Завершение этих процессов характеризуется понижением давления (2–6 кбар) при тех же температурах. Результатом этих событий является формирование серпентинитового меланжа на Семеновском массиве.

Ключевые слова: метабазиты, офиолитовый парагенез, полевые шпаты, амфиболы, метаморфизм, Кузнецкий Алатау

MINERALOGY AND METABASITES FORMATION CONDITIONS FROM OPHIOLITE ASSOCIATION AT NORTHERN SLOPE OF KUZNETSK ALATAU

N. A. Dugarova, P. A. Tishin, I. F. Gertner, T. S. Krasnova

National Research Tomsk State University, 36 Lenin av., Tomsk, 634050, e-mail: nadyadugarova@mail.ru

Received 15.08.2016; accepted 18.01.2017

The ophiolites of the northern slope of the Kuznetsk-Alatau Ridge are the most representative fragments of the sub-oceanic crust in the region. In this article, we present the results of a study of the metabasites from ophiolite paragenesis of the Severnaya, Zelenaya, Barkhatnaya mountains and Semenovskiy massif. The selected samples from the gabbroid and subvolcanic complexes were studied in microsections, and the compositions of the main rock-forming minerals (plagioclases, amphiboles) were investigated in detail on an electron microscope equipped with micro-dispersion analyzer. It was established that feldspars are represented by a wide spectrum of composition: from albite to bitovnite; not less common amphiboles are also characterized by a wide diapason: edenite, ferro-edenite, ferropargasite, magnesio-gastingsite,

Для цитирования: Дугарова Н.А., Тишин П.А., Гертнер И.Ф., Краснова Т.С. (2017) Минералогия и условия образования метабазитов офиолитовой ассоциации северного склона Кузнецкого Алатау. *Литосфера*, 17(4). 97–109. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-097-109

For citation: Dugarova N.A., Tishin P.A., Gertner I.F., Krasnova T.S. (2017) Mineralogy and metabasites formation conditions from ophiolite association at northern slope of Kuznetsk Alatau. *Litosfera*, 17(4), 97–109. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-097-109

magnesian, ferrous and actinolite hornblendes. Chlorite, which observed in all samples, represents ripidolit and piknochlorite. Accessories are apatite, ilmenite, sphene and, in rare cases, rutile. The data obtained by the phase relationship, and changing chemical composition of essential minerals (feldspars, amphiboles) allow suppose several steps of the transforming investigated metamorphic rock because signs of both progressive and retrograde metamorphism are found. The behavior of accessory minerals also expresses the variability of the thermodynamic parameters of metamorphism. This is confirmed by the traditional geothermobarometry methods (using the plagioclase-amphibole mineral pair). Observed retrograde metamorphic processes reflect the movement of ophiolite mass in the upper layers of the crust, and this makes it possible to connect metamorphism with obduction of ophiolites. For most of the investigated regions the early stage of ophiolite obduction in terms of location the "Riphean" oceanic island arc can be associated with episode of epidote-amphibolite facies of regional metamorphism at ($T = 500\text{--}700^\circ\text{C}$ and $P = 2\text{--}6$ kbar). The collision of Kuznetsk-Altai island arc to the structures of the Central Asia and Siberian Craton superterrane in Late Cambrian-Ordovician was controlled by vertical movement along submeridional tectonic discontinuities and resulted the metamorphism at low temperatures ($350\text{--}510^\circ\text{C}$) and high pressure ($6\text{--}9$ kbar). The completion of these processes is characterized by a decrease in pressure ($2\text{--}6$ kbar) at the same temperatures. The result of these events is the formation of serpentinite melange on the Semenovskiy massif.

Keywords: metabasites, ophiolite paragenesis, feldspars, amphiboles, metamorphism, Kuznetsk Alatau

Acknowledgments

The research was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia (project No. 5-2352-2017/IF).

ВВЕДЕНИЕ

Офиолиты являются реликтами коры океанического типа и в современных складчатых областях наблюдаются в виде сутурных швов [Колман, 1979; Магматические...1985, 1988; Nicolas, 1979]. От самого появления и до выхода на поверхность они подвергаются метаморфическим преобразованиям различной степени. Это зависит от того при каких условиях проходил метаморфизм пород (мантийные, верхнекоровые) и в каких геодинамических обстановках (спрединговые, коллизионные, обдукционные) [Симонов, 1993; Савельева и др., 1995; Книппер и др., 2001; Robertson, 2002; Dilek, Furnes, 2011]. Так, например, метаморфизованные комплексы Уральских офиолитов формировались в условиях высоких давлений и низких температур в обстановке коллизии "островная дуга-континент", а офиолитовые ассоциации варисцид Европы претерпевали изменения в ходе коллизии "континент-континент" при более высоких температурах и средних-низких давлениях [Савельева, 2011]. Что же касается метаморфизма офиолитов Кузнецкого Алатау, то здесь вопрос остается открытым и до конца не изученным. Отметим лишь тот факт, что для ранее выделявшейся позднерифейско-ранневендской офиолитовой ассоциации характерен повсеместный метаморфизм пород. Так метабазальтоиды Томского блока по степени метаморфизма разделялись на два самостоятельных комплекса: конжинский эпидот-амфиболитовый и терсинский зеленосланцевый [Плотников и др., 2000]. Для пород офиолитовой ассоциации северного склона Кузнецкого Алатау (горы Северная, Зеленая, Бархатная, Семеновский массив) известно только то, что изменения носят характер "зеленокаменного перерождения". В связи с этим предпринята попытка уточнить *PT*-условия и определить тип метамор-

физма на основе изучения базитов данной офиолитовой ассоциации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С использованием традиционных оптических методов исследованы образцы из массивов гор Северная, Зеленая, Бархатная и Семеновского массива. Микрозондовый анализ состава минералов выполнен на растровом электронном микроскопе TESCAN VEGA LMU II, оснащенный системой энергодисперсионного микроанализа Inca Energy 350 в ЦКП "Аналитический центр геохимии природных систем" ТГУ (г. Томск).

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНА И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОФИОЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА

Кузнецкий Алатау является северо-западным сегментом Алтае-Саянской складчатой области (АССО) и представляет собой каледонскую коллизионную систему. Она состоит из трех палеотектонических ансамблей (снизу вверх): а) фрагментов позднепротерозойской субокеанической коры; б) ранне-среднекембрийских островодужных комплексов; в) позднекембрийских-раннеордовикских континентально-окраинных и сопутствующих им раннепалеозойских рифтогенных или внутриплитных формаций. Тектогенез сопровождался активной магматической деятельностью с образованием комплексов повышенной щелочности. В целом для региона характерен "мозаичный" (или блоковый) структурный стиль, обусловленный развитием тектонических нарушений северо-западного и субмеридионального простирания [Алабин, 1983; Берзин, Кунгурцев, 1996; Краснова и др., 2001].

Фрагменты субокеанической коры, сложенной типичным для офиолитового разреза [Коновалова, Прусевич, 1977; Гончаренко и др., 1982; Краснова и др., 2001] набором петрографических разновидностей локализованы преимущественно в осевой части Кузнецко-Алатауского хребта. Среди них наиболее представительными являются офиолиты гор Северной, Зеленой и Бархатной, которые имеют зонально-полукольцевой характер строения (рис. 1). Это погружающаяся на север подковообразная синформа, в которой наиболее крупные фрагменты дунит-гарцбургитового комплекса слагают краевые ветви, а внутренняя часть заполнена, главным образом, породами основного состава. Между центральным телом габброидов и гипербазитовыми массивами развиты полосчатое уралит-клиноцоизитовое габбро и габбро-амфиболиты [Коновалова, Прусевич, 1977; Краснова, 2005].

Кундустуял-Семеновская базит-гипербазитовая ассоциация представлена цепочкой небольших дайко- и линзообразных тел перидотитов и серпентинитов, вытянутых в субмеридиональном направлении. Они локализованы вдоль тектонического контакта (см. рис. 1). В пределах этой зоны в тесном структурном и пространственном сочетании с гипербазитами находятся тела габброидов, диоритов, диорит-диабазов с локальным распространением пироксенитов, альбититов, лиственитов, а также дайки и жилы мелкозернистых сиенитов и сиенит-аплитов [Коновалова, Прусевич, 1977].

Состав базитового ядра обладает определенной зональностью (см. рис. 1). Во фронтальной части "подковы", в пределах горы Медвежьей, развиты меланократовые разновидности пироксенитов, габбро-перидотитов и габбро-пироксенитов. Базиты восточного склона гор Северная и Зеленая представлены габброидами разной меланократовости с признаками дифференциации и полосчатых текстур, что соответствует породам верхних серий plutonического комплекса. По мере продвижения вглубь, т.е. в восточном направлении, возрастает роль габбродиоритов с мелкими инъекционными телами плагиогранитов. На западном склоне горы Бархатной преобладают достаточно однородные мелко- и среднезернистые габбро, габбро-диабазы, пронизанные многочисленными дайковыми и жильными телами микрогаббро, микрогаббродиоритов и реже дацитовых порфиров. По своим петро- и геохимическим особенностям данные породы соответствуют умеренно и высокотитанистым низкомагнезиальным мафитам, наиболее распространенным в верхних частях габброидного разреза и комплекса параллельных даек [Коновалова, Прусевич, 1977; Краснова и др., 1996] и относятся в основном к продуктам натриевой толеитовой серии [Дугарова, 2015].

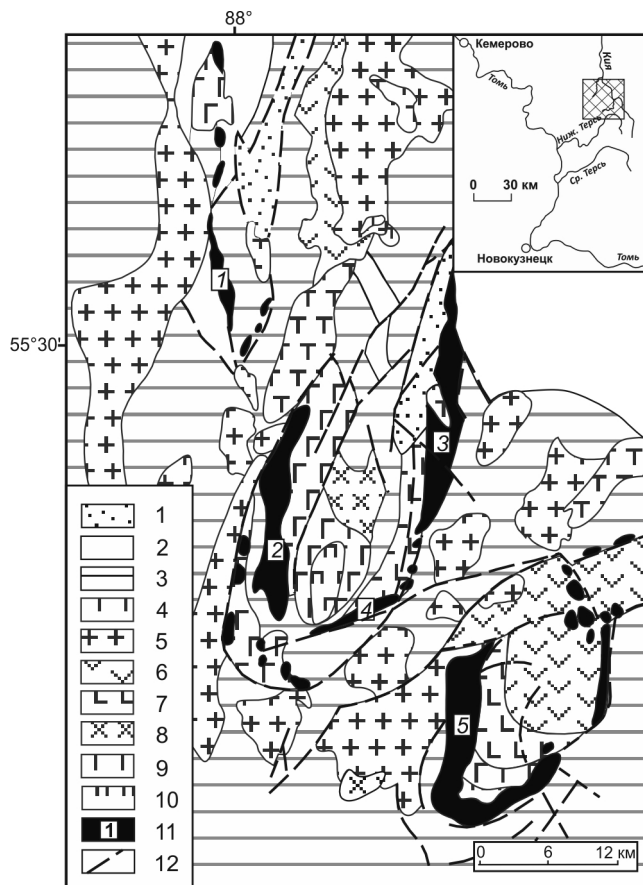


Рис. 1. Схема внутреннего строения офиолитовых парагенезов северо-восточного склона Кузнецкого Алатау (по [Коновалова, Прусевич, 1977] с изменениями [Краснова, 2005]).

1–3 – структурно-вещественные комплексы обрамления: 1 – субконтинентальные вулканогенно-терригенные отложения (D); 2 – островодужные карбонатно-вулканогенные отложения C_{1-2} ; 3 – субокеанические карбонатные и терригенные осадки $R-C_1$. 4–5 – интрузивные массивы: 4 – субщелочных габброидов; 5 – гранитоидов. 6–11 – вещественные комплексы офиолитовой ассоциации: 6 – базальтовый, 7 – габбро-диабазовый, 8 – габбродиоритовый, 9 – габбровый, 10 – габбро-пироксенитовый, 11 – ультрамафитовые массивы (1 – Семеновский, 2 – горы Северная-Зеленая, 3 – Бархатный, 4 – горы Заячьей, 5 – Среднетерсинский). 12 – тектонические нарушения.

Fig. 1. Scheme of the internal structure of ophiolite parageneses from the NE slope of the Kuznetsk Alatau ridge (based on materials [Konvalova, Prusevich, 1977], amended by [Krasnova, 2005]).

1–3 – structural-compositional complexes of framing: 1 – subcontinental volcanic-terrigenous formation (D); 2 – carbonate-volcanic formation of island arc units (C_{1-2}); 3 – carbonate and terrigenous formations of suboceanic units ($R-C_1$). 4–5 – intrusive massifs: 4 – subalkaline gabbroic intrusions; 5 – granitic intrusions. 6–11 – ophiolitic units: 6 – basaltic, 7 – gabbro-diabasic, 8 – gabbro-dioritic, 9 – gabbroic, 10 – gabbro-pyroxenites, 11 – ultramafic massifs (1 – Semenovskiy, 2 – Severnaya-Zelenaya, 3 – Barkhatnaya, 4 – Zaichaya, 5 – Srednetersinskiy); 12 – faults.

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

Для исследования отобраны образцы из габброидного и субвулканического комплекса. В результате петрографического изучения установлено, что породы представлены амфиболитизированными габброидами и амфиболитами. В основном для них характерны массивная текстура и гипидиоморфная и офитовая структуры, но на отдельных участках отмечаются пойкилитовая и венцовая. Установление первичных структурных особенностей этих пород часто затрудняется интенсивным развитием вторичных минералов. Для пород из габброидного комплекса горы Бархатной и Семеновского массива обнаружены образцы с порфировидной структурой, где вкрапленники представлены практически полностью измененными плагиоклазами размером до 2–3 мм. Плагиоклаз в различной степени замещен серицитом, цоизитом и альбитом; пироксен, близкий к диопсиду, замещается уралитом, актинолитом, хлоритом. В базитах Семеновского и Бархатного массивов отмечается наличие агрегатов брейнерита. Из аксессуарных минералов присутствует магнетит.

Составы основных породообразующих минералов (плагиоклазы, амфиболы) и их взаимоотношения с другими минеральными фазами были детально исследованы на электронном микроскопе, оснащенном микрозондовым энерго-дисперсионным анализатором.

Полевые шпаты представлены **К-На разновидностью** и практически всеми представителями изоморфного ряда плагиоклазов от альбита до битовнита (рис. 2, табл. 1). Основные плагиоклазы, представленные *лабрадором* и *битовнитом*, наиболее часто встречаются в метагабброидах горы Бархатной (рис. 3а), и лишь единичные зерна найдены в породах гор. Северная, Зеленая и Семеновского массива (см. рис. 3в). Они образуют вытянутые призматические зерна, которые в различной степени замещены вторичными минералами: серицит, который иногда доходит до мусковита, цоизит и кальцит. В metabazитах гор Северная и Зеленая лабрадор имеет субизометричную и ксеноморфную формы. Следует отметить, что в обр. Зс-29/29 (горы Северная и Зеленая) также зафиксировано присутствие моноклинного пироксена, представленного диопсидом [Fabries et al., 1988], и **оливина**. Диопсид образует слабоудлиненные и ксеноморфные зерна, по которым развиваются псевдоморфозы гастингситовой роговой обманки. Иногда в пироксенах заключены рудные минералы, представленные ильменитом. Оливин присутствует в виде неправильных и субизометричных зерен, разбитых трещинами, и его состав отвечает форстериту. Все это позволяет предполагать первично магматическую природу данных плагиоклазов.

Андезины г. Бархатной имеют вытянутую прямоугольную форму и незакономерную ориентировку

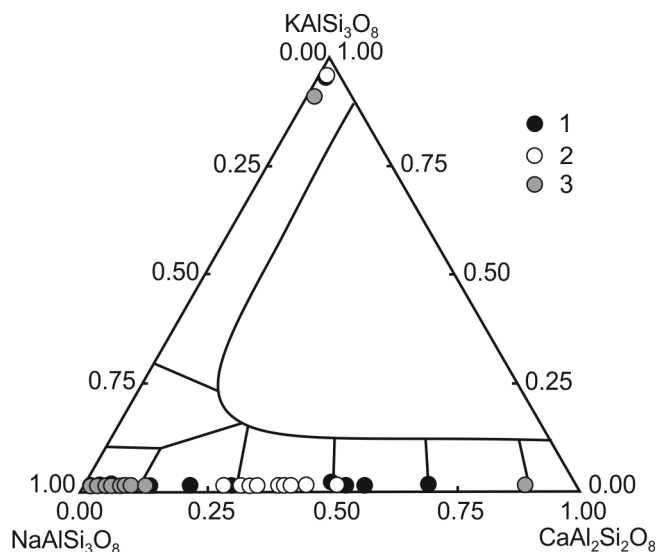


Рис. 2. Диаграмма вариаций химического состава полевых шпатов.

1 – Бархатный массив, 2 – горы Северная и Зеленая, 3 – Семеновский массив.

Fig. 2. Diagram of feldspars compositional variations.

1 – Barkhatnyi massif, 2 – mountains Severnaya and Zelenaya, 3 – Semenovskiy massif.

куи тесно ассоциируют с ферропаргаситом. Для андезинов, наиболее распространенных в породах гор Северная и Зеленая, характерны субизометричные, толстотаблитчатые и неправильные зерна, которые сосуществуют с амфиболами (эденит) таких же форм (см. рис. 3б). Они характеризуются пойкилобластовой структурой, где крупные неправильные зерна плагиоклаза пронизаны удлинёнными микроагрегатами железистой роговой обманки, которые имеют незакономерную ориентировку. Из этого можно сделать вывод о метаморфогенной природе плагиоклаза, а его состав, вероятно, определяет пик прогрессивной стадии метаморфизма. Этот минерал ассоциирует с **К-На-полевым шпатом**, который зафиксирован в единичных случаях в породах всех гор, в виде мелких неправильных зерен, развивающихся по плагиоклазам с характерной антипертитовой структурой (см. рис. 3б). Как правило, минерал обнаруживает срастания с альбитом и с агрегатами кальцита и брейнерита. Возможно, это свидетельствует о вероятном вторичном метасоматическом преобразований данных пород.

Кислые плагиоклазы (*альбит* и *олигоклаз*) установлены практически во всех образцах. Для них отмечаются структуры замещения, где альбит развивается по средним и основным плагиоклазам, образуя зерна неправильной формы (см. рис. 3). Минерал ассоциирует с вытянутыми агрегатами хлорита, представленного пикнохлоритом, и мелко-

Таблица 1. Химический состав полевых шпатов из метабазитов Кузнецкого Алатау, мас. %

Table 1. Chemical composition of feldspars from metabasites of the Kuznetsk Alatau, wt %

Компо- нент	Бх-1/3						Бх-22/1							Бх- 22/3
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	68.12	68.30	60.67	68.25	65.75	66.43	51.04	67.17	55.91	62.04	55.15	67.91	54.47	64.84
Al ₂ O ₃	19.60	19.38	24.30	19.67	20.40	20.54	30.99	19.42	27.83	23.01	28.23	19.79	28.45	18.33
FeO	0.22	0.32	0.33	0.00	1.29	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.35	0.28	6.35	0.49	1.09	1.45	14.33	0.41	10.26	4.6	11.03	0.58	11.60	0.00
Na ₂ O	11.71	11.72	8.24	11.60	11.04	10.92	3.64	11.39	5.65	8.99	5.41	11.33	4.94	0.39
K ₂ O	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.35	0.00	0.18	0.00	0.54	16.45
Σ	100.0	100.0	99.99	100.0	100.0	99.98	100.0	98.39	100.0	98.64	100.0	99.61	100.0	100.0
Количество ионов в пересчете на 8 атомов кислорода														
Si	2.98	2.99	2.71	2.98	2.90	2.92	2.32	2.98	2.52	2.78	2.49	2.98	2.47	3.00
Al	1.01	1.00	1.28	1.01	1.06	1.06	1.66	1.02	1.47	1.21	1.50	1.02	1.52	1.00
Fe	0.01	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.02	0.01	0.30	0.02	0.05	0.07	0.70	0.02	0.50	0.22	0.53	0.03	0.56	0.00
Na	0.99	0.99	0.71	0.98	0.94	0.93	0.32	0.98	0.49	0.78	0.47	0.96	0.43	0.03
K	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.97
Компо- нент	Бх-22/3		Зс-23/4							Зс-27/13				
	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	67.82	65.06	60.55	59.9	60.78	60.78	58.35	59.43	60.61	61.35	58.09	64.97	68.51	59.52
Al ₂ O ₃	19.93	21.85	25.3	25.13	24.67	24.57	26.06	25.31	24.59	24.22	26.44	18.28	19.56	25.43
FeO	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	0.28	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.64	2.97	1.31	7.15	6.53	6.28	8.15	7.31	6.57	6.06	8.57	0.00	0.30	7.40
Na ₂ O	11.62	10.12	7.18	7.54	8.03	8.27	7.09	7.64	8.15	8.38	6.90	0.37	11.63	7.65
K ₂ O	0.00	0.00	4.24	0.29	0.00	0.11	0.08	0.07	0.09	0.00	0.00	16.38	0.00	0.00
Σ	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.99	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Количество ионов в пересчете на 8 атомов кислорода														
Si	2.97	2.87	2.72	2.67	2.70	2.71	2.61	2.66	2.70	2.73	2.60	3.00	2.99	2.66
Al	1.03	1.13	1.34	1.32	1.29	1.29	1.37	1.33	1.29	1.27	1.39	0.99	1.01	1.34
Fe	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.03	0.14	0.06	0.34	0.31	0.30	0.39	0.35	0.31	0.29	0.41	0.00	0.01	0.35
Na	0.98	0.86	0.62	0.65	0.69	0.71	0.61	0.66	0.70	0.72	0.60	0.03	0.98	0.66
K	0.00	0.00	0.24	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00
Ком- понент	Зс-29/29			См-3/4				См-08/97			См-08/110			
	13	14	15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	57.73	55.00	57.00	66.56	49.65	65.16	67.72	68.05	67.98	67.60	69.44	65.55	62.38	66.63
Al ₂ O ₃	26.73	28.48	27.17	21.31	28.64	21.10	20.40	20.15	19.95	20.32	19.26	21.65	18.91	20.92
CaO	8.79	10.69	9.47	1.98	18.19	2.21	1.39	0.65	0.49	1.16	0.64	2.67	0.00	1.94
Na ₂ O	6.63	5.59	6.35	10.62	3.52	10.66	11.36	11.15	11.58	10.91	10.65	10.13	0.81	10.51
K ₂ O	0.13	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.49	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41	0.00
Σ	100.0	99.93	100.0	100.4	100.0	99.14	100.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Количество ионов в пересчете на 8 атомов кислорода														
Si	2.59	2.48	2.56	2.91	2.30	2.89	2.95	2.97	2.97	2.96	3.02	2.88	2.94	2.92
Al	1.41	1.51	1.43	1.10	1.56	1.10	1.04	1.04	1.03	1.05	0.99	1.12	1.05	1.08
Ca	0.42	0.52	0.46	0.09	0.90	0.11	0.06	0.03	0.02	0.05	0.03	0.13	0.00	0.09
Na	0.57	0.49	0.55	0.90	0.32	0.92	0.96	0.94	0.98	0.92	0.90	0.86	0.07	0.89
K	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00

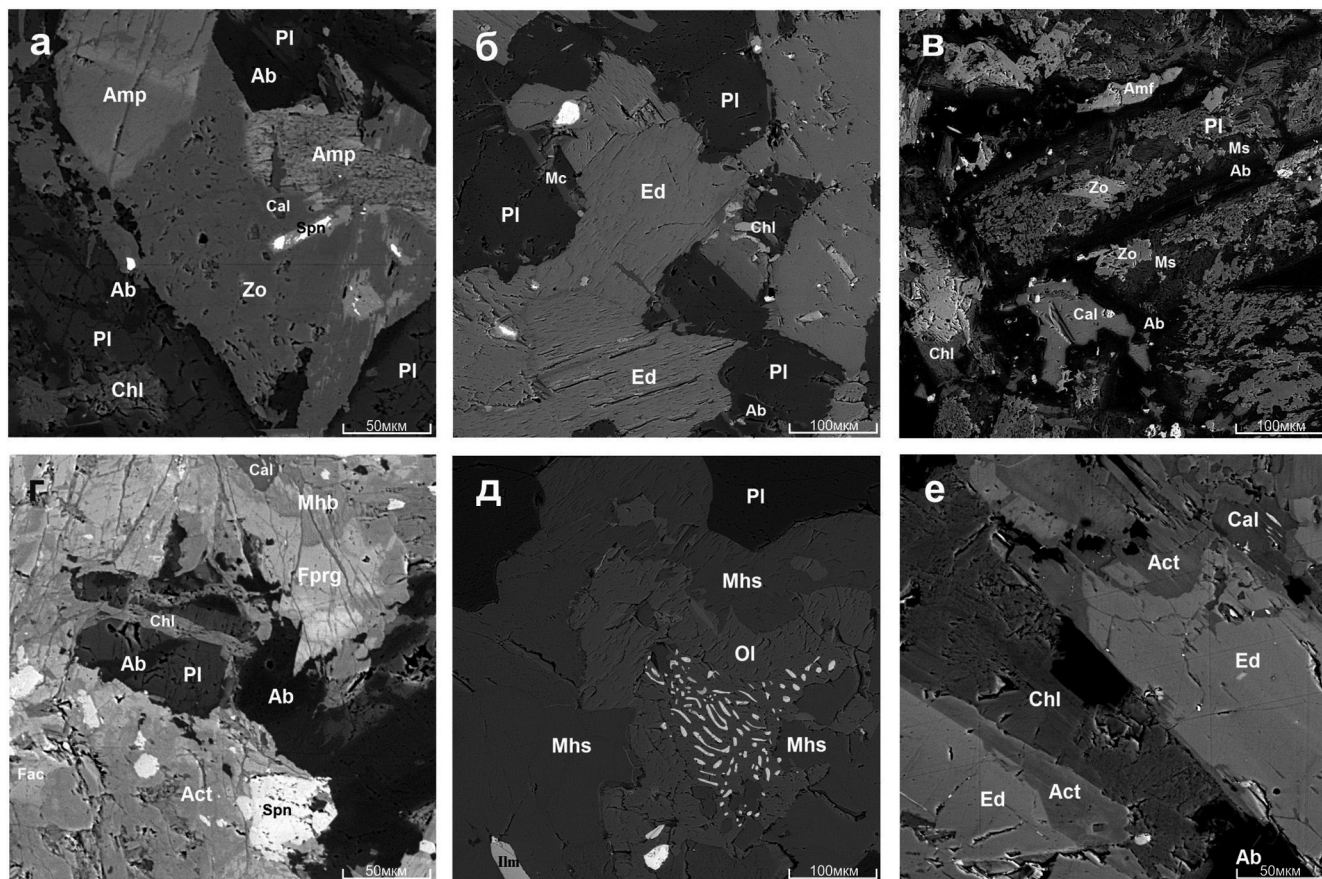


Рис. 3. Парагенетические ассоциации. Изображение в обратно рассеянных электронах.

Бархатный массив: обр. Бх-22/1 (а, г); горы Северная и Зеленая: обр. Зс-27/13 (б), Зс-29/29 (д); Семеновский массив: обр. См-3/4 (в), См-08/110 (е). Символы минералов приняты по [Whitney, Evans, 2010].

Fig. 3. Paragenetic associations. Image BSE (back-scattered electrons).

Barkhatnyi massif: sample Bx-22/1 (a, g); mountains Severnaya, Zelenaya: samples 3c-27/13 (b), 3c-29/29 (d); Semenovskiy massif: samples Cm-3/4 (v), Cm-08/110 (e). Symbols of minerals are taken upon [Whitney, Evans, 2010].

ми неправильными зернами цоизита. Этот тип плагиоклаза фиксирует метаморфогенные достаточно низкотемпературные преобразования исходных пород.

Амфиболы. Для вещественной систематики минералов группы амфиболов была применена классификация В. Leake с коллегами [1997]. Все минералы разделились на 2 группы: субщелочные (содержание $(Na + K)_A \geq 0.50$) (рис. 4а) и известковистые амфиболы с содержанием $(Na + K)_A < 0.50$ (рис. 4б) (табл. 2).

Под микроскопом амфиболы в основном представлены удлиненно-призматическими и таблитчатыми кристаллами бурой окраски с ясным плеохроизмом. При этом кристаллы окрашены неравномерно, т.к. в краевых частях (особенно в вершинах призм) отмечается окраска зеленых тонов, что свидетельствует о переходе одних амфиболов в другие.

Амфиболы из пород Бархатного массива представлены ферропаргаситом, ферроэденитом, акти-

нолитом и роговой обманкой (магнезиальная и железистая) с подчиненной ролью эденита, магнезиогастингсита и ферроактинолита (см. рис. 4). В тесной ассоциации друг с другом находятся магнезиогастингсит и ферропаргасит, которые в основном образуют как слабо, так и сильно вытянутые зерна, местами с шестиугольным разрезом. По краям минерал замещается хлоритом. В образце Бх-22/1 амфибол представлен зернами неправильной формы, где отчетливо наблюдается зональное строение амфибола не только по оптическим характеристикам, но и по составу (см. рис. 3г). Ферропаргасит (бурая окраска) обрастает ферроактинолитом, актинолитом и магнезиальной роговой обманкой (зеленая окраска).

Амфиболы гор Северная и Зеленая отвечают по составу эдениту и ферроэдениту, магнезиогастингситу и железистой роговой обманке (см. рис. 4). Магнезиогастингсит представлен зернами слабо вытянутой и неправильной формы, иногда об-

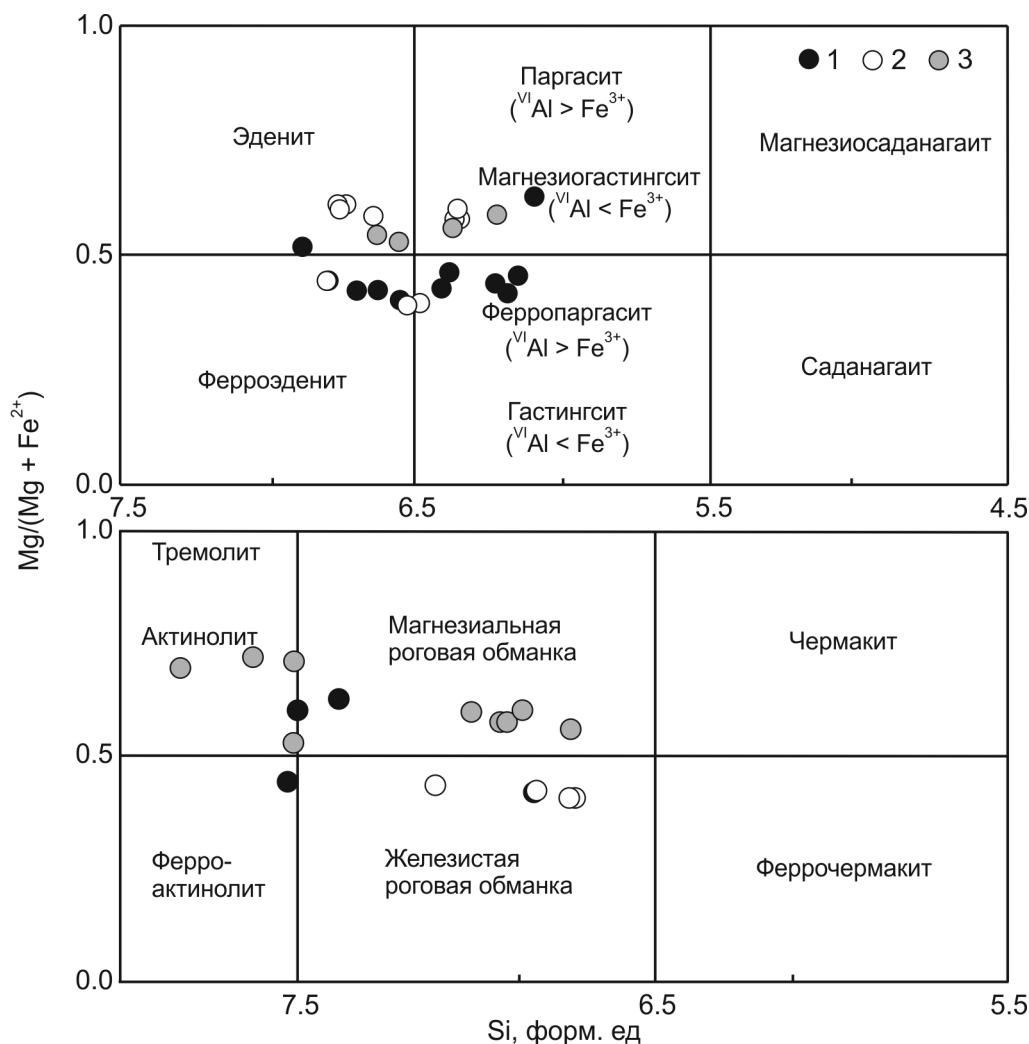


Рис. 4. Классификация кальциевых амфиболов [Leake et al., 1997] в изученных метагабброидах Кузнецкого Алатау.

1 – Бархатный массив, 2 – горы Северная, Зеленая, 3 – Семеновский массив.

Fig. 4. Classification of the calcic amphiboles [Leake et al., 1997] in studied metagabbroids of the Kuznetsk Alatau.

1 – Barkhatnyi massif, 2 – mountains Severnaya, Zelenaya, 3 – Semenovskiy massif.

разует каемки вокруг диопсида или оливина (см. рис. 3д). Также в них содержатся включения рудных минералов. Они пронизаны мелкими иголками хлорита. Железистая роговая обманка и ферроэдентит образуют удлиненные микроагрегаты несогласной ориентировки.

В метагабброидах Семеновского массива амфиболы наблюдаются в виде удлиненно-призматических кристаллов с зональным строением. На рис. 3е четко выделяются 2 зоны: внешняя кайма и ядро. Внешняя кайма более темной окраски отвечает по составу актинолиту. Центральная часть (ядро) кристалла представлена эденитом. Внутренняя кайма (магнезиальная роговая обманка) присутствует только в относительно крупных кристаллах. Минерал в центре и по краям замеща-

ется хлоритом. Отдельные мелкие кристаллы имеют магнезиогастингситовый состав, характерный для центральных частей зерен.

Хлориты представлены рипидолитом и пикнохлоритом [Неу, 1954]. Минерал установлен везде, но реже всего встречается в метабазитах гор Северная и Зеленая. Он образует каемки вокруг амфиболов или заполняет промежутки между зернами, местами тесно ассоциируя с кальцитом. Иногда встречается в виде мелких иголок, секущих другие минералы (см. рис. 3).

Из **аксессуарных минералов** присутствуют апатит, ильменит, сфен и, в единичных случаях, отмечается рутил. Апатит образует таблитчатые, шестоватые, игольчатые и субизометричные зерна. Ильменит и сфен находятся в тесных взаимоотношении

Таблица 2. Химический состав амфиболов из метабазитов Кузнецкого Алатау, мас %
Table 2. Chemical composition of amphiboles from metabasites of the Kuznetsk Alatau, wt %

Компо- нент	Бх-1/3						Бх-22/1						Бх-22/3						3с-23/4												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6										
Na ₂ O	2.04	1.89	1.32	1.81	1.64	2.00	1.42	1.19	0.32	0.55	2.71	0.34	2.78	2.83	1.71	1.62	1.71	1.46	1.13	1.15	1.65										
MgO	8.62	8.76	8.14	8.58	9.01	7.85	10.56	8.22	9.31	13.58	9.1	12.96	8.43	7.92	12.06	7.39	8.67	7.93	8.82	7.96	7.18										
Al ₂ O ₃	10.49	13.05	10.95	11.27	9.75	11.94	7.5	11.92	3.18	5.07	10.62	4.33	11.53	12.29	12.48	13.81	11.64	11.29	8.07	10.70	13.0										
SiO ₂	44.95	43.13	46.52	44.60	45.85	43.93	45.32	39.53	48.66	50.37	41.95	51.38	41	38.75	40.28	43.76	46.49	45.31	48.45	45.53	44.0										
K ₂ O	0.49	0.15	0.34	0.22	0.24	0.12	0.56	0.79	0.27	0.26	0.91	0.2	0.87	0.59	0.47	0.39	0.35	0.38	0.33	0.54	0.49										
CaO	11.43	11.11	11.35	11.88	12.29	12.29	11.67	11.58	11.78	12.88	11.24	12.98	11.25	10.51	11.72	11.92	11	11.58	11.82	12.20	12.0										
TiO ₂	0.43	0.40	0.38	0.32	0.63	0.29	1.8	4.15	0.36	0.00	2.49	0.00	2.64	1.28	3.94	0.26	0.47	0.52	0.54	0.74	0.69										
MnO	0.43	0.29	0.44	0.37	0.33	0.42	0.35	0.34	0.53	0.00	0.35	0.29	0.48	0.33	0.00	0.35	0.33	0.43	0.39	0.32	0.32										
FeO	21.14	21.21	20.56	20.95	20.25	21.16	17.52	17.6	21.18	14.74	18.7	15.67	19.54	19.81	13.01	20.13	19.34	21.11	20.45	20.67	20.6										
Σ	100.02	99.99	100.00	100.00	99.99	100.00	96.71	95.32	95.6	97.46	98.07	98.16	98.52	94.3	95.67	99.63	100.00	100.01	100.00	99.81	100.00										
Количество ионов в пересчете на 23 атома кислорода																															
Na	0.59	0.54	0.38	0.52	0.47	0.58	0.42	0.36	0.10	0.16	0.80	0.10	0.82	0.87	0.50	0.46	0.48	0.42	0.32	0.33	0.47										
Mg	1.92	1.95	1.80	1.91	2.00	1.76	2.40	1.92	2.16	2.99	2.08	2.84	1.93	1.90	2.74	1.64	1.90	1.76	1.94	1.77	1.60										
Al	1.84	2.28	1.90	1.97	1.70	2.09	1.34	2.18	0.58	0.87	1.90	0.74	2.07	2.31	2.22	2.41	2.00	1.97	1.40	1.86	2.27										
Si	6.69	6.41	6.85	6.63	6.78	6.55	6.88	6.16	7.53	7.39	6.38	7.50	6.25	6.18	6.10	6.49	6.80	6.71	7.12	6.74	6.53										
K	0.09	0.03	0.06	0.04	0.05	0.02	0.11	0.16	0.05	0.05	0.18	0.04	0.17	0.12	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06	0.10	0.09										
Ca	1.82	1.77	1.79	1.89	1.95	1.96	1.90	1.93	1.95	2.02	1.83	2.03	1.84	1.80	1.90	1.89	1.72	1.84	1.86	1.94	1.92										
Ti	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.03	0.20	0.48	0.04	0.00	0.28	0.00	0.30	0.15	0.45	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08										
Mn	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.07	0.00	0.05	0.04	0.06	0.04	0.00	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04										
Fe	2.62	2.63	2.52	2.59	2.50	2.63	2.22	2.28	2.73	1.80	2.37	1.91	2.48	2.63	1.64	2.49	2.36	2.61	2.50	2.55	2.55										
Al ^{IV}	1.31	1.59	1.15	1.37	1.22	1.45	1.12	1.84	0.47	0.61	1.62	0.50	1.75	1.82	1.90	1.51	1.20	1.29	0.88	1.26	1.47										
X _{Mg}	0.42	0.43	0.42	0.42	0.44	0.40	0.52	0.46	0.44	0.62	0.47	0.60	0.44	0.42	0.63	0.40	0.45	0.40	0.44	0.41	0.39										
Компо- нент	3с-23/4	3с-27/13						3с-29/29						См-3/4						См-08/97						См-08/110					
7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13										
Na ₂ O	1.21	1.86	1.89	1.78	1.67	1.9	1.91	1.89	2.15	1.23	2.65	1.89	0.00	0.71	1.02	0.62	1.61	1.66	0.61	1.74	1.22										
MgO	8.65	12.41	11.41	12.36	12.25	11.88	11.62	11.08	11.44	12.31	11.79	10.70	16.50	12.48	14.05	17.28	12.72	11.86	16.18	11.15	13.14										
Al ₂ O ₃	9.36	8.35	9.06	8.08	8.34	11.82	11.22	10.68	11.85	7.96	11.47	10.48	0.98	3.26	7.74	2.54	7.54	8.72	3.15	8.17	6.07										
SiO ₂	46.08	44.09	42.87	43.85	43.58	41.66	42.31	40.47	42.60	46.47	40.51	42.84	54.44	51.19	45.92	52.99	47.22	45.22	50.51	42.26	45.56										
K ₂ O	0.35	0.48	0.48	0.43	0.44	0.64	0.73	0.67	0.39	0.28	0.37	0.39	0.00	0.22	0.00	0.00	0.15	0.00	0.21	0.16	0.00										
CaO	11.88	10.01	10.52	10.71	10.81	11.18	11.41	11.59	10.30	10.27	10.26	10.15	12.66	10.11	9.66	11.1	11	10.97	11.19	10.33	10.52										
TiO ₂	0.95	2.22	2.7	2.28	2.29	1.6	2.26	1.91	2.31	1.41	3.01	1.81	0.00	0.74	0.9	0.3	1.59	1.98	0.72	2.57	1.32										
MnO	0.40	0.25	0.3	0.25	0.27	0.00	0.00	0.24	0.35	0.55	0.27	0.42	0.22	0.61	0.45	0.36	0.48	0.37	0.25	0.4	0.37										
FeO	20.95	14.63	14.31	13.85	13.74	14.1	15.24	14.54	16.03	16.38	14.72	16.97	13.03	19.81	16.82	12.22	16.8	16.92	11.72	16.71	15.66										
Σ	100.03	94.29	93.54	93.59	93.39	94.77	96.7	93.56	97.43	96.86	95.05	95.64	97.84	99.14	96.56	97.42	99.11	97.72	94.53	93.49	93.86										

Таблица 2. Окончание
Table 2. Ending

Компо- нент	3с-23/4				3с-27/13				3с-29/29				См-3/4				См-08/97				См-08/110			
	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Количество ионов в пересчете на 23 атома кислорода																								
Na	0.35	0.55	0.57	0.53	0.50	0.56	0.56	0.58	0.62	0.36	0.79	0.56	0.00	0.20	0.30	0.17	0.46	0.48	0.18	0.53	0.36			
Mg	1.93	2.85	2.65	2.86	2.84	2.73	2.63	2.61	2.57	2.76	2.72	2.45	3.56	2.75	3.15	3.73	2.79	2.65	3.61	2.62	3.04			
Al	1.63	1.51	1.65	1.47	1.52	2.13	1.99	1.98	2.09	1.40	2.07	1.89	0.17	0.56	1.36	0.43	1.30	1.53	0.55	1.51	1.10			
Si	6.84	6.76	6.64	6.76	6.73	6.37	6.38	6.36	6.37	6.94	6.22	6.55	7.83	7.52	6.87	7.63	6.92	6.74	7.51	6.63	7.02			
K	0.07	0.09	0.09	0.08	0.09	0.12	0.14	0.13	0.07	0.05	0.07	0.08	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.03	0.00			
Ca	1.89	1.64	1.75	1.77	1.79	1.83	1.84	1.95	1.65	1.64	1.69	1.66	1.95	1.59	1.55	1.71	1.73	1.75	1.78	1.74	1.74			
Ti	0.11	0.26	0.31	0.26	0.27	0.18	0.26	0.23	0.26	0.16	0.35	0.21	0.00	0.08	0.10	0.03	0.17	0.22	0.08	0.30	0.15			
Mn	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.00	0.00	0.03	0.04	0.07	0.04	0.05	0.03	0.08	0.06	0.04	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05			
Fe	2.59	1.87	1.85	1.78	1.77	1.80	1.92	1.91	2.00	2.04	1.88	2.16	1.56	2.42	2.10	1.47	2.05	2.10	1.45	2.18	2.01			
Al ^{IV}	1.16	1.24	1.36	1.24	1.27	1.63	1.62	1.64	1.63	1.06	1.78	1.45	0.17	0.48	1.13	0.37	1.08	1.26	0.49	1.37	0.98			
X _{Mg}	0.43	0.60	0.59	0.62	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.57	0.59	0.53	0.70	0.53	0.60	0.72	0.58	0.56	0.71	0.55	0.60			

Примечание. $X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe)$. В образцах Bx-1/3 и 3с-23/4 приведены нормированные данные.

Note. $X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe)$. Normalized data are shown in samples Bx-1/3 and 3с-23/4.

ях друг с другом и образуют зерна неправильной формы. В отдельных случаях сфен образует каемки вокруг ильменита, а вокруг сфена наблюдаются каемки рутила.

P-T УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА

Полученные данные по фазовым взаимоотношениям и изменениям химических составов основных породообразующих минералов (полевые шпаты, амфиболы) предполагают несколько этапов метаморфических преобразований исследуемых пород, т.к. обнаружены признаки как прогрессивного, так и ретроградного метаморфизма. Поведение акцессорных минералов также выражает вариативность термодинамических параметров метаморфизма. Это подтверждается и результатами классических геотермобарометрических исследований, приведенных в табл. 3. Оценка P-T условий метаморфизма выполнена с помощью амфиболового [Мишкин, 1990; Schmidt, 1992] и амфибол-плаггиоклазового [Перчук, 1970; Плюснина, 1986; Ферштатер, 1990] геотермобарометров.

С помощью биминерального геотермобарометра [Плюснина, 1986] и геотермометра [Перчук, 1970] (рис. 5) были проанализированы условия образования сосуществующих амфиболов и плаггиоклазов из метабазитов офиолитовой ассоциации. При этом пик прогрессивного метаморфизма соответствует 535–670°C (450–850°C) при давлении 2–6 кбар. Регрессивный метаморфизм для данных пород характеризуется следующими условиями: T = 450–510°C (<450°C) и P = 2–9 кбар (см. табл. 3).

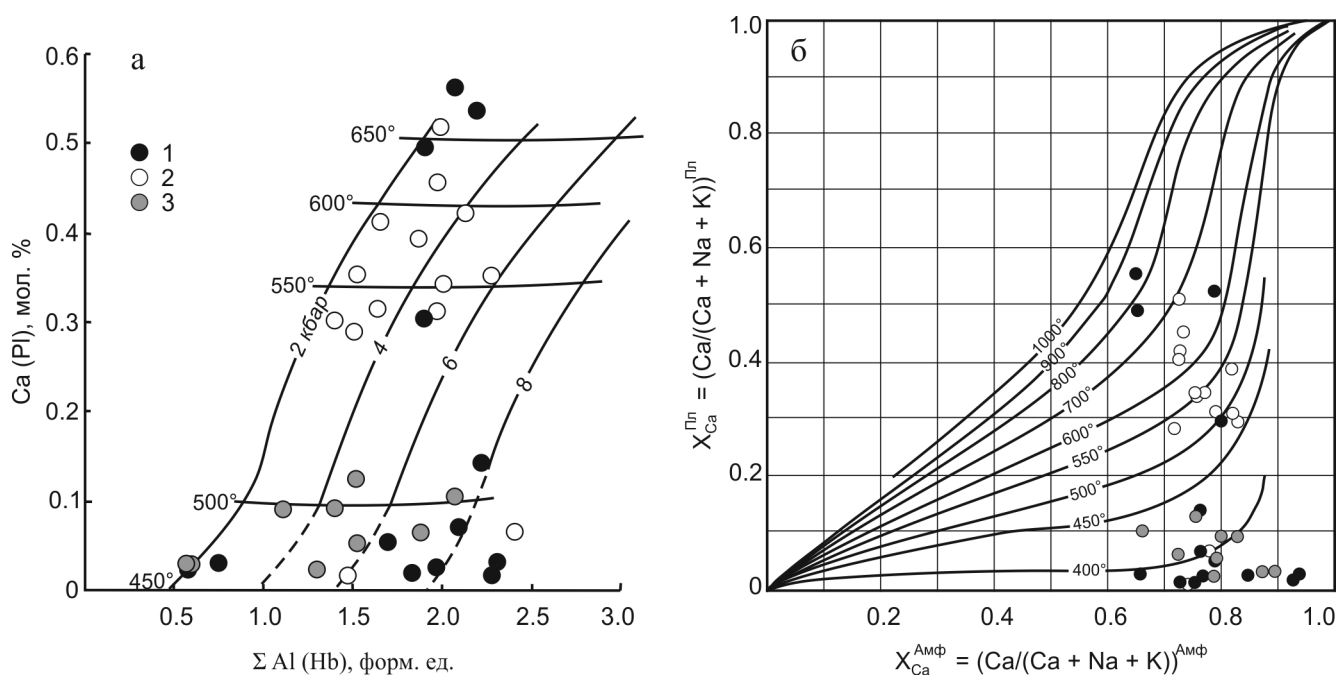
Оценка давления раннего метаморфизма с помощью плаггиоклаз-роговообманкового барометра [Ферштатер, 1990] дает сходные результаты (см. табл. 3). Так для образца Bx-22/1, где в ассоциации с ферропаргаситом сохранился плаггиоклаз An_{50-57} , давление варьирует в пределах от 3 до 5 кбар, а для образцов из гор Северная и Зеленая (3с-23/4, 3с-27/13, 3с-29/29) получены P = 3–6 кбар.

Результаты амфиболовой барометрии по [Schmidt, 1992] также приведены в табл. 3. Как видно, данный барометр дает приемлемые результаты, соответствующие ранее полученным.

Чтобы определить термодинамические условия образования зональных кристаллов амфибола был применен эмпирический амфиболовый геотермобарометр [Мишкин, 1990]. При этом установлено, что изменение габброидов с замещением первичных минералов пироксенов амфиболами происходит при температуре 555–790°C и давлении 4.5–8.0 кбар. Более низкие P-T параметры, определяемые по краевым частям зональных кристаллов амфибола (T = 360–450°C и P = 1.0–2.2 кбар) и хлоритов (T = 257–334°C по [Jovett, 1991]), свидетельствуют о регрессивном характере метаморфических процессов (табл. 4).

Таблица 3. *P-T* параметры метаморфизма метагабброидов офиолитовой ассоциации гор Северной, Зеленой, Бархатной и Семеновского массива**Table 3.** *P-T* parameters of metamorphism of metagabbroids of ophiolite association from the Severnaya, Zelenaya, Barkhatnaya mountains and Semenovskiy massif

№	Образец	Порода	Этапы	<i>T</i> , °С [Плюсни- на, 1986]	<i>T</i> , °С и <i>P</i> , кбар [Перчук, 1970]	<i>P</i> , кбар [Миш- кин, 1990]	<i>P</i> , кбар [Schmidt, 1992]
1	Бх-1/3	Метагаббро	1 2	490 (1 т.) <410	540 (1 т) 450–500	5 6–9	5.1–7.8
2	Бх-22/3	Метагаббро	1 2	<440	450–510	7.5–9.0	7.6–8
3	Бх-22/1	Метагаббро- порфирит	1 2	630–840 <400	> 640 450–470	1–3 2–3	0.5–7.4
4	Зс-23/4	Габбро-диорит	1 2	450–550 400 (1 т)	530–580 480 (1 т)	2–6 9	3.6–8.5
5	Зс-27/13	Метагаббро	1 2	530–620 <400 (1 т)	540–600 460 (1 т)	2–4 6	4.0–4.8
6	Зс-29/29	Метагаббро	1	630–700	590–660	2–4	6.4–7.1
7	См-3/4	Габбро- порфирит	1 2	400–440	480–510	4–8	3.6–6.9
8	См-08/97	Метагаббро	1 2	<400	450–580	2–6	2.4–4.9
9	См-08/110	Метагаббро	1 2	<430	450–510	2–5	2.2–4.2

**Рис. 5.** Hb-Pl геотермобарометр [Плюснина, 1986] (а) и Hb-Pl геотермометр [Перчук, 1970] (б).

Условные обозначения см. рис. 4.

Fig. 5. Hb-Pl geothermobarometr [Plusnina, 1986] (a) and Hb-Pl geothermometr [Perchuk, 1970] (b).

Legend see Fig. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогические особенности и геотермобарометрические исследования метабазитов офиоли-

товой ассоциации гор Северная, Зеленая, Бархатная и Семеновского массива предполагают наличие полистадийного метаморфизма. Наблюдаемая здесь ретроградная направленность процессов ме-

Таблица 4. *P-T* параметры для зональных кристаллов амфибола и хлоритов из представительных образцов метагабброидов офиолитовой ассоциации гор Северная, Зеленая, Бархатная и Семеновского массива

Table 4. *P-T* parameters of amphibole zoned crystals and chlorites from representative samples of metagabbroids of an ophiolite association from the Severnaya, Zelenaya, Barkhatnaya mountains and Semenovskiy massif

Образец	Минерал	По [Ферштатер, 1990]		<i>T</i> , °C [Jovett, 1991]
		<i>T</i> , °C	<i>P</i> , кбар	
Бх-22/1	Ферропаргасит (центр)	790	4.5	—
	Ферроактинолит (край)	420	<1	—
	рипидолит	—	—	334
Зс-27/13	Эденит	580	7	—
См-08/97	Магнезиальная роговая обманка (центр)	555	8	—
	Актинолит (край)	400	2.2	—
	Рипидолит	—	—	334

Примечание. Прочерк – нет данных.

Note. Dash – no data.

таморфизма отражает перемещение офиолитовых масс в верхние горизонты коры и позволяет связывать этот метаморфизм с обдукцией офиолитов [Савельева и др., 1995]. Для исследуемого региона наиболее ранний этап обдукции реститовых ультрабазитов в условиях заложения “рифейской” океанической островной дуги может быть сопоставлен с эпизодами регионального метаморфизма на уровне эпидот-амфиболитовой фации ($T = 500\text{--}700^\circ\text{C}$ и $P = 2\text{--}6$ кбар) [Дугарова и др., 2016]. Данный процесс был зафиксирован по результатам **Sm-Nd** изотопных исследований амфиболитов Томского выступа, где установлен изохронный возраст амфиболитов 703 ± 63 млн лет [Плотников и др., 2000], а также для дайки метабазальта (микрогаббро-амфиболита), прорывающей южную оконечность Бархатного гипербазитового массива, 676 ± 16 млн лет [Гертнер и др., 2012; Gertner et al., 2013].

Коллизионное причленение Кузнецко-Алтайской островной дуги к структурам Центрально-Азиатского супертеррейна и Сибирскому кратону в позднем кембрии-ордовике [Берзин, Кунгурцев, 1996; Ярмолук и др., 2003; Буслов, 2011; Буслов и др., 2013] контролировало вертикальные движения вдоль субмеридиональных тектонических разрывов и привело к метаморфизму пород при низких температурах ($350\text{--}510^\circ\text{C}$) и высоких давлениях (6–9 кбар) [Добрецов, 1995; Савельева, 2011]. А завершение этих процессов характеризуется понижением давления (2–6 кбар) при тех же температурах. Результатом этих событий является формирование серпентинитового меланжа на Семеновском массиве.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки России (проект № 5-2352-2017/ПЧ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алабин Л.В. (1983) Структурно-формационная и металлогеническая зональность Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Наука, 102 с.
- Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В. (1996) Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области. *Геология и геофизика*, **3**(1), 63-81.
- Буслов М.М. (2011) Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов. *Геология и геофизика*, **52**(1), 66-90.
- Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Минг Чен, Глори С., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилдаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А. (2013) Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области. *Геология и геофизика*, **54**(10), 1600-1627.
- Гертнер И.Ф., Краснова Т.С., Баянова Т.Б., Дугарова Н.А., Врублевский В.В., Тишин П.А. (2012) Изотопно-геохимическая неоднородность офиолитов Кузнецкого Алатау: оценка возраста формирования и источников вещества литосферы Палеоазиатского океана. *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)*. Иркутск: ИЗК СО РАН, 55-56.
- Гончаренко А.И., Кузнецов П.П., Симонов В.А., Чернышов А.И. (1982) Офиолитовая ассоциация Кузнецкого Алатау (на примере Среднетерсинского массива). Новосибирск: Наука, 105 с.
- Добрецов Н.Л. (1995) Проблемы соотношения тектоники и метаморфизма. *Петрология*, **3**(1), 4-23.
- Дугарова Н.А. (2015) Геохимическая неоднородность базитов офиолитовой ассоциации Кузнецкого Алатау. *Вопросы естествознания*, **4**(8), 50-53.
- Дугарова Н.А., Гертнер И.Ф., Краснова Т.С. (2016) Эволюция структур и вещественного состава пород офиолитовой ассоциации горы Бархатной (Кузнецкий Алатау). *Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 68-70.

- Книппер А.Л., Шараськин А.Я., Савельева Г.Н. (2001) Геодинамические обстановки формирования офиолитовых разрезов разного типа. *Геотектоника*, (4), 3-21.
- Колман Р.Г. (1979) Офиолиты. М.: Мир, 269 с.
- Коновалова О.Г., Прусевич Н.А. (1977) Дунит-гарцбургитовые массивы Кузнецкого Алатау и Салаира. Новосибирск: Наука, 166 с.
- Краснова Т.С. (2005) Петрология ультрамафитовых массивов гор Северной, Зеленой и Бархатной (Кузнецкий Алатау). Автореферат дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 20 с.
- Краснова Т.С., Гертнер И.Ф., Уткин Ю.В. (2001) Перспективы платиноносности офиолитов Кузнецкого Алатау. *Петрология магматических и метаморфических комплексов*. Томск: ЦНТИ, 229-235.
- Краснова Т.С., Уткин Ю.В., Рихванов Л.П. (1996) Геохимия габброидов офиолитовой ассоциации горы Бархатной (Кузнецкий Алатау). *Магматизм и геодинамика Сибири*. Томск: Томский гос. университет, 27-29.
- Магматические горные породы. Т. 3. (1985), 486 с. Т. 5. (1988), 508 с. М.: Наука.
- Мишкин М.А. (1990) Амфиболовый геотермобарометр для метабазитов. *Докл. АН СССР*, **312**(4), 944-946.
- Перчук Л.Л. (1970) Равновесия породообразующих минералов. М.: Наука, 392 с.
- Плотников А.В., Ступаков С.И., Бабин Г.А., Симон В.А. (2000) Возраст и геодинамическая природа офиолитов Кузнецкого Алатау. *Докл. АН*, **372**(1), 80-85.
- Плюснина Л.П. (1986) Экспериментальное исследование равновесий метабазитов, геотермобарометрия. *Эксперимент в решении актуальных задач геологии*. М.: Наука, 174-183.
- Савельева Г.Н. (2011) Офиолиты варисцид Европы и уралид: обстановки формирования и метаморфизм. *Геотектоника*, (6), 24-39.
- Савельева Г.Н., Савельев А.А., Перцев А.Н. (1995) Метаморфизм в истории офиолитов. *Геотектоника*, (2), 15-28.
- Симонов В.А. (1993) Петрогенезис офиолитов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 248 с.
- Ферштатер Г.Б. (1990) Эмпирический плагиоклаз-роговообманковый барометр. *Геохимия*, (3), 328-335.
- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. (2003) Геодинамика формирования каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса. *Докл АН*, **389**(3), 354-359.
- Dilek Y., Furnes H. (2011) Ophiolite genesis and global tectonics: geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **123**, 387-411.
- Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineral. Mag.*, **52**, 535-550.
- Gertner I.F., Bayanova T.B., Krasnova T.S., Vrublevskii V.V., Sayadyan G.R. (2013) Age and matter sources of ophiolites of the Kuznetsk Alatau, SW Siberia: new Sm-Nd isotope data. *Mineral. Mag.*, **77**(5), 1159.
- Hey M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Mineral. Mag.*, **30**, 277-292.
- Jowett E.C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. *GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting. Program with Abstracts*, **16**, A62.
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. *Canad. Mineral.*, **35**, 219-246.
- Nicolas A. (1989) Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. L.: Kluwer, 367 p.
- Robertson A.H.F. (2002) Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, **65**, 1-67.
- Schmidt M.W. (1992) Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **110**(2), 304-310.
- Whitney D.L., Evans B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Amer. Mineral.*, **95**, 185-187.

REFERENCES

- Alabin L.V. (1983) *Structurno-formatsionnaya i metallogenicheskaya zonal'nost' Kuznetskogo Alatau* [Structural-formational and metallogenic zonality of the Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, Nauka Publ., 102 p. (In Russian)
- Berzin N.A., Kungurtsev L.V. (1996) Geodinamicheskaya interpretatsiya geologicheskikh kompleksov Altae-Sayanskoi oblasti [Geodynamic interpretation of Altai-Sayan geological complexes]. *Geol. Geofiz.*, **3**(1), 63-81. (In Russian)
- Buslov M.M. (2011) Tectonics and geodynamics of the Central Asian Foldbelt: the role of Late Paleozoic large-amplitude strike-slip faults. *Russ. Geol. Geophys.*, **52**(1), 52-71.
- Buslov M.M., Geng H., Travin A.V., Otgonbaatar D., Kulikova A.V., Ming Chen, Stijn G., Semakov N.N., Rubanove E.S., Abildaeva M.A., Voitishchek E.E., Trofimova D.A. (2013) Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area. *Russ. Geol. Geophys.*, **54**(10), 1250-1271.
- Dilek Y., Furnes H. (2011) Ophiolite genesis and global tectonics: geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **123**, 387-411.
- Dobretsov N.L. (1995) Problems of the correlation of tectonic and metamorphism. *Petrologiya*, **3**(1), 4-23. (In Russian)
- Dugarova N.A. (2015) Geochemical heterogeneity of basites of ophiolite association from the Kuznetsk Alatau. *Voprosy Estestvoznaniya*, **4**(8), 50-53. (In Russian)
- Dugarova N.A., Gertner I.F., Krasnova T.S. (2016) Evolution of structures and composition of rocks of ophiolite association from Barkhatnaya mountain (Kuznetsk Alatau). *Korreljatsiya altaid i uralid: magmatizm, metamorfizm, stratigrafiya, geokhronologiya, geodinamika i metallogeniya* [Correlation of Altaids and Uralids: magmatism, metamorphism, stratigraphy, geochronology, geodynamics and metallogeny]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 68-70. (In Russian)

- Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineral. Mag.*, **52**, 535-550.
- Fershtater G.B. (1990) Empirical hornblende-plagioclase geobarometer. *Geokhimiya*, (3), 328-335. (In Russian)
- Gertner I.F., Bayanova T.B., Krasnova T.S., Vrublevskii V.V., Sayadyan G.R. (2013) Age and matter sources of ophiolites of the Kuznetsk Alatau, SW Siberia: new Sm-Nd isotope data. *Mineral. Mag.*, **77**(5), 1159.
- Gertner I.F., Krasnova T.S., Bayanova T.B., Dugarova N.A., Vrublevskij V.V., Tishin P.A. (2012) Isotope-geochemical heterogeneity of ophiolites from the Kuznetsk Alatau: estimate of formation age and sources of lithosphere of the Paleo-Asian Ocean. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo pojasa (ot okeana k kontinentu)* [Geodynamic evolution of lithosphere of Central Asian mobile belt (from ocean to continent)]. Irkutsk, IZK SO RAN, 55-56. (In Russian)
- Goncharenko A.I., Kuznetsov P.P., Simonov V.A., Chernyshov A.I. (1982) *Ofiolitovaya assotsiatsiya Kuznetskogo Alatau (na primere Srednetersinskogo massiva)* [Ophiolite association of the Kuznetsk Alatau (on the example of Srednetersinsky massif)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 105 p. (In Russian)
- Hey M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Mineral. Mag.*, **30**, 277-292.
- Jarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Kovach V.P., Kozakov I.K., Kotov A.B., Sal'nikova E.B. (2003) Geodynamics of Caledonian formations of the Central Asian fold belt. *Dokl. Akad. Nauk*, **389**(3), 354-359. (In Russian)
- Jowett E.C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. *GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting. Program with Abstracts*, **16**, A62.
- Knipper A.L., Sharas'kin A.Ja., Savel'eva G.N. (2001) Geodynamic factors responsible for origin of diverse ophiolite sequences. *Geotektonika*, (4), 3-21. (In Russian)
- Kolman R.G. (1979) *Ofiolity* [Ophiolites]. Moscow, Mir Publ., 269 p. (In Russian)
- Konovalova O.G., Prusevich N.A. (1977) *Dunitgartsburgitovye massivy Kuznetskogo Alatau i Salaira* [Dunit-harzburgite massifs of the Kuznetsk Alatau and Salair]. Novosibirsk, Nauka Publ., 166 p. (In Russian)
- Krasnova T.S., Gertner I.F., Utkin U.V. (2001) Prospects of platinum of ophiolites from the Kuznetsk Alatau. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov* [Petrology of magmatic and metamorphic complexes]. Tomsk, TSNTI, 229-235. (In Russian)
- Krasnova T.S., Utkin Yu.V., Rikhvanov L.P. (1996) Geochemistry of gabbroids of ophiolite association from the Barkhatnaya mountain (Kuznetsk Alatau). *Magmatizm i geodinamika Sibiri* [Magmatism and geodynamics of Siberia]. Tomsk, Tomsk St. Univ. Publ., 27-29. (In Russian)
- Krasnova T.S. (2005) *Petrologiya ul'tramafitovykh massivov gor Severnoi-Zelenoi i Barkhatnoi (Kuznetskii Alatau)*. *Avtoreferat dis. ... kand. geol.-min. nauk* [Petrology of ultramafic massifs of the Severnaya-Zelenaya and Barkhatnaya mountains (Kuznetsk Alatau). Kand. geol. and min. sc. diss.]. Tomsk, 20 p. (In Russian)
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. *Canad. Mineral.*, **35**, 219-246.
- Magmaticheskie gornye porody* [Magmatic rocks]. V. 3. (1985), 486 p.; V. 5. (1988), 508 p. Moscow, Nauka Publ., (In Russian)
- Mishkin M.A. (1990) Amphibolic geothermobarometr for metabasites. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **312**(4), 944-946. (In Russian)
- Nicolas A. (1989) Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. L.: Kluwer, 367 p.
- Perchuk L.L. (1970) *Ravnoveciya porodoobrazuyushchikh mineralov* [Equilibrium of rock-forming minerals]. Moscow, Nauka Publ., 392 p. (In Russian)
- Plotnikov A.V., Stupakov S.I., Babin G.A., Simonov V.A. (2000) Age and geodynamic nature of ophiolites from the Kuznetsk Alatau. *Dokl. Akad. Nauk*, **372**(1), 80-85. (In Russian)
- Plyusnina L.P. (1986) Experimental study of equilibrium of metabasites, geothermobarometry. *Ekspieriment v reshenii aktual'nykh zadach geologii* [An experiment at the decision of actual problems of Geology]. Moscow, Nauka Publ., 174-183. (In Russian)
- Robertson A.H.F. (2002) Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, **65**, 1-67.
- Savel'eva G.N. (2011) Ophiolites in European variscides and uralides: formation setting and metamorphism. *Geotektonika*, (6), 24-39. (In Russian)
- Savel'eva G.N., Savel'ev A.A., Pertsev A.N. (1995) Metamorphism in the Ophiolite history. *Geotektonika*, (2), 15-28. (In Russian)
- Schmidt M.W. (1992) Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometr. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **110**(2), 304-310.
- Simonov V.A. (1993) *Petrogenезиз ofiolitov* [Petrogenesis of ophiolites]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 248 p. (In Russian)
- Whitney D.L., Evans B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Amer. Mineral.*, **95**, 185-187.