Геосферные исследования. 2019. № 3. С. 20–34

УДК 552.321.5+549.1+550.85+571.52

СОСТАВ МИНЕРАЛОВ И ГЕНЕЗИС ПОЛОСЧАТЫХ ГАББРОИДОВ КАЛБАКДАГСКОГО УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВОГО МАССИВА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТУВА)

Ч.К. Ойдуп[1], Ф.П. Леснов[2], А.А. Монгуш[1]

[1] *Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия*
[2] *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия*

Представлены результаты детальных исследований химического состава главных (оливин, ортопироксен, клинопироксен, плагиоклаз, амфибол) и второстепенных (скаполит, магнетит, ильменит) минералов из бороздовой пробы оливинового габбронорита Калбакдагского массива. Габброиды данного массива кристаллизовались, вероятно, в процессе восходящего движения мафитового расплава, который представлял собой структурированную суспензию. Последняя состояла из перемешивающихся и приобретающих струйчатое расположение вкрапленников оливина, ортопироксена, клинопироксена и плагиоклаза, погруженных в основную массу, состоящую из субпараллельно ориентированных длинными осями и «обтекающих» порфировидные вкрапленники лейст плагиоклаза и благодаря этому имеющую трахитоидную текстуру. Следствием перемешивания порфировидных вкрапленников в процессе восходящего движения расплава-суспензии стало то, что в находящихся в непосредственной близости друг от друга вкрапленниках пироксена не выявлены свидетельства их химического равновесия, т.е. согласованности их составов. Полосчатые текстуры габброидов Калбакдагского массива являются, скорее всего, следствием позднемагматических процессов, не связанных с внутрикамерной кристаллизационно-гравитационной дифференциацией мафитового расплава.

Ключевые слова: *ультрамафит-мафитовый массив, коэффициент распределения, габбронорит, офиолиты, габброиды, минералогия, петрография, Тува.*

Введение

На территории Тувы широко распространены ультрамафит-мафитовые массивы раннепалеозойского возраста. Эти массивы, породы которых часто имеют полосчатую текстуру, как предполагалось, являются расслоенными, т.е. образованными в результате внутрикамерной кристаллизационно-гравитационной дифференциации мафитовых расплавов [Поляков, Богнибов, 1979; Поляков и др., 1984]. Вместе с тем механизмы формирования массивов этого магматического комплекса продолжают оставаться предметом дискуссий, в том числе из-за дефицита представительных аналитических данных о химическом составе минералов из слагающих их пород [Леснов и др., 2019а, в печати].

С целью несколько сузить рамки этих дискуссий авторами были выполнены достаточно детальные исследования химического состава главных и некоторых второстепенных минералов из полосчатых габброидов на примере Калбакдагского массива. Аналитические исследования проведены в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) на автоматизированном рентгеновском микроанализаторе JEOL JXA-8100, аналитик – канд. геол.-минерал. наук В.Н. Королюк. Микрофотографии выполнены с использованием оптического микроскопа Skope A1 и фотоаппарата Canon.

Геологическая позиция и строение массива

Калбакдагский ультрамафит-мафитовый массив расположен в 30 км к востоку от г. Кызыл на левобережье р. Каа-Хем, в Ондумской подзоне Таннуольско-Хамсаринской зоны ранних каледонид Тувы. На южном фланге Калбакдагский массив прорывает осадочно-вулканогенную верхневендско-нижнекембрийскую толщу эффузивов риолитового, дацитового, андезитового и базальтового состава, кислых туфов, известняков, яшмоидов, кремнистых сланцев (рис. 1) [Геологическая.., 1983; Бухаров, 1981, 1983]. К северу от массива обнажаются существенно плагиоклазовые граниты раннеордовикского (474 ± 4,5 млн лет) чарашского плагиогранитного комплекса [Дистанова, 1981; Ковалев и др., 1997; Ковалев, Кужугет, Монгуш, 1999; Руднев и др., 2006]. По результатам U-Pb датировки цирконов из амфиболизированного габбро в рамках геологического доизучения масштаба 1:200 000 возраст Калбакдагского массива составил 486 ± 6,4 млн лет [Колямкин, Красноярскгеолсъемка, 2015].

Данный массив относится к мажалыкскому комплексу, в состав которого входит ряд других подобных ему существенно габброидных интрузивов [Поляков, Богнибов, 1979; Поляков и др., 1984; Руднев и др., 2006]. Возраст петротипного Мажалыкского ультрамафит-мафитового массива, по данным U-Pb метода по циркону, составляет 478 ± 1,4 млн лет

© Ойдуп Ч.К., Леснов Ф.П., Монгуш А.А., 2019
DOI: 10.17223/25421379/12/2

[Сальникова и др., 2004], Ar-Ar метода по амфиболу – 484 ± 2,3 млн лет [Бородина, Егорова, Изох, 2004].

В рельефе этот массив выражен в виде удлиненного в восток-северо-восточном направлении небольшого отдельного хребта (рис. 2). Его тело, имеющее линзовидную в плане форму, обнажается на площади около 9 км2.

Массив сложен мезо-, лейко- и меланократовыми оливиновыми и безоливиновыми габброноритами и габбро, а также подчиненными им плагиоклазсодержащими перидотитами и клинопироксенитами. Мощная зона плагиоперидотитов, включающая небольшие линзообразные участки габбро и габброноритов, вскрыта в северо-восточной части массива.

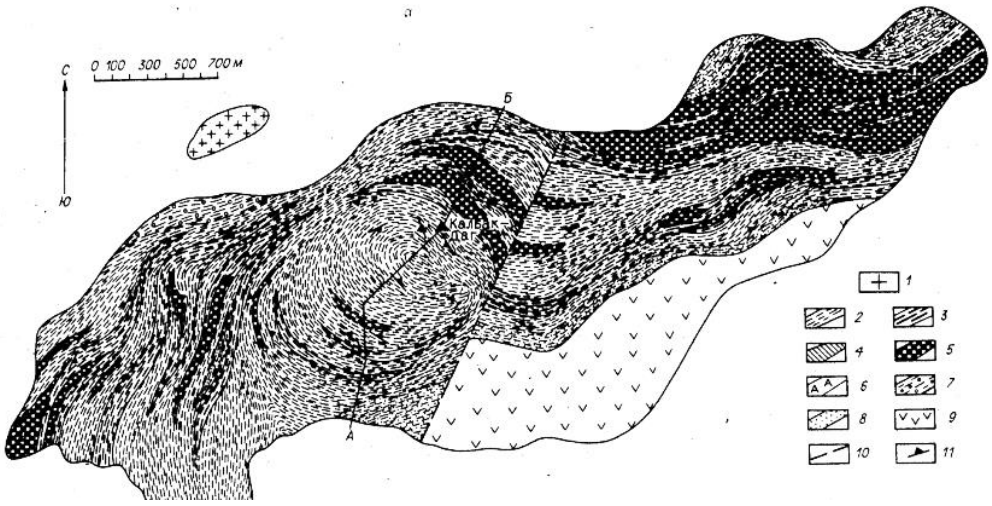

Рис. 1. Схема геологического строения Калбакдагского ультрамафит-мафитового массива [Поляков и др., 1984]

1 – гранитоиды раннего палеозоя; 2–7 – породы слоистой серии массива: 2 – лейко- и мезократовые оливиновые и безоливиновые габбро и габбронориты, 3 – меланократовые разновидности тех же пород, 4 – плагиовебстериты, 5 – плагиоперидотиты и оливин-плагиоклазовые пироксениты, 6 – габбро амфиболизированные, 7 – окварцованные разновидности габброидов; 8 – ороговикованные вмещающие породы; 9 – осадочно-вулканогенная верхневендско-нижнекембрийская толща; 10 – разломы; 11 – элементы залегания полосчатости и трахитоидности пород

Fig. 1. The geological structure of the Kalbakdag ultramafic-mafic massif [Polyakov et al., 1984]

1 – Early Paleozoic granitoids; 2–7 – rocks of the layered series of the massif: 2 – leuco- and mesocratic olivine and olivine-free gabbros and gabbronorites, 3 – melanocratic varieties of the same rocks, 4 – plagioclase-bearing websterites; 5 – plagioclase-bearing peridotites and olivine-plagioclase pyroxenites; 6 – amphibolized gabbro, 7 – silicified varieties of gabbroids; 8 – keratinized enclosing rocks; 9 – Upper Vendian and Early Cambrian sedimentary-volcanogenic strata; 10 – faults; 11 – elements of occurrence of banding and trachitoid rocks

Рис. 2. Рельеф района Калбакдагского массива

Белым квадратом показано место отбора бороздовой пробы оливинового габбронорита К-1

Fig. 2. The relief of the Kalbakdag massif array

The white square shows the site of the K-1 trench sample of olivine gabbronorite

К югу плагиоверлиты постепенно сменяются оливиновыми меланогаббро, которые, в свою очередь, сменяются габброноритами и габбро, слагающими южный фланг массива. В центральной части массива в районе вершины горы Калбаг-Даг преобладают лейко- и мезократовые габбро и габбронориты и подчиненные им оливиновые разновидности этих пород. В западной части массива обнажены чередующиеся полосовидные обособления плагиоклазовых верлитов, оливиновых и безоливиновых габбро и габброноритов различной меланократовости [Монгуш, 2002]. Габброиды массива обычно имеют среднезернистую структуру и массивную текстуру. Иногда габброиды имеют полосчатую текстуру, обусловленную «струйчатым» распределением зерен темноцветных минералов и плагиоклаза.

По результатам структурного картирования массива с учетом элементов залегания полосчатости пород установлено, что он имеет концентрически-зональное строение (см. рис. 1) [Поляков и др., 1984].

Результаты исследований

В данной работе представлены результаты детального изучения полосчатого оливинового габбронорита из штуфной бороздовой пробы К-1, отобранной из коренного обнажения с применением алмазной пилы «болгарки».

Обнажение расположено в центральной части массива вблизи вершины горы Калбак-Даг (51°33'74" с.ш.; 94°56'47.15" в.д., высота над уровнем моря – 1 747 м) (рис. 3, 4).

Рис. 3. Отбор штуфной бороздовой пробы К-1 из коренного обнажения полосчатого оливинового габбронорита с применением алмазной пилы «болгарки»

Fig. 3. Sampling of the K-1 trench sample from the native exposure of banded olivine gabbronorite using a diamond saw

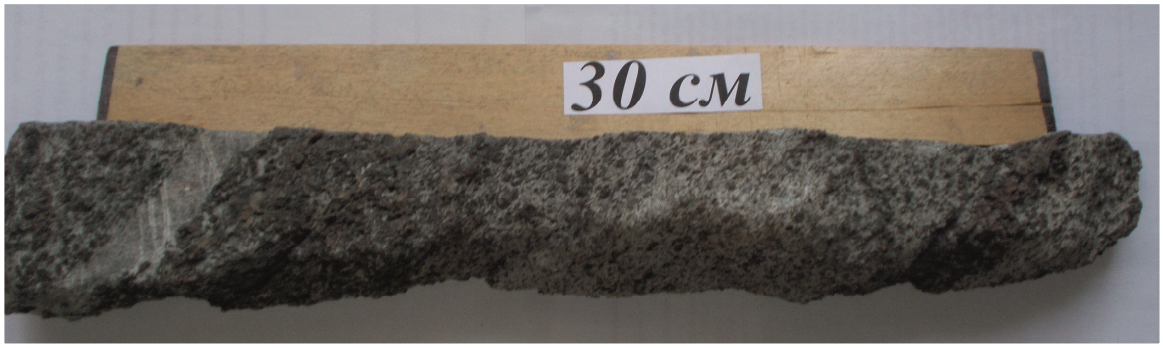

Рис. 4. Параллельно-полосчатая текстура оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1)

Fig. 4. Parallel-banded composition of olivine gabbronorite, K-1 trench sample

---

Количественно-минеральный состав габброидов массива, сложенных преобладающими зернами плагиоклаза и клинопироксена, в меньшей мере – оливина и ортопироксена, единичными зернами биотита, а так-

же акцессорными выделениями магнетита, ильменита и некоторых других фаз, подвержен значительным вариациям. При микроскопическом изучении габбронорита из пробы К-1 наблюдались порфировидные вкрапленники оливина, пироксенов и более редких плагиоклазов и амфиболов, которые погружены в основную массу, состоящую, главным образом, из лейст плагиоклаза и имеющую трахитоидную текстуру (рис. 5, 6).

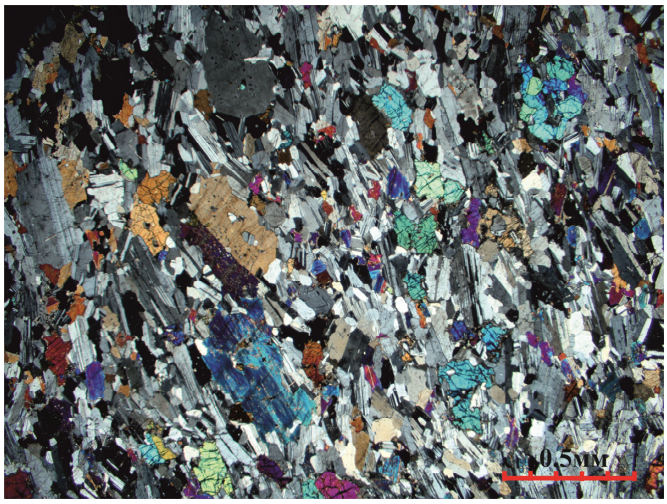

Рис. 5. Микрофотография оливинового габбронорита из бороздовой пробы К-1

Порода имеет порфировидную структуру и трахитоидную текстуру основной массы. Вкрапленники представлены клинопироксеном и плагиоклазом. Основная масса состоит из субпараллельно ориентированных лейст плагиоклаза и редких мелких выделений оливина и клинопироксена. Здесь и на рис. 6 микрофотографии выполнены с использованием оптического микроскопа Skope A1 и фотоаппарата Canon. Николи +, размер сторон фотографий – 3 мм

Fig. 5. Microphotograph of olivine gabbronorite from K-1 trench sample

The rock has a porphyritic structure and trachytoid texture of the groundmass. Phenocrysts are represented by clinopyroxene and plagioclase. The groundmass consists of subparallel oriented plagioclase laths and rare small separations of olivine and clinopyroxene. Here and in fig. 6 micrographs were taken using a Skope A1 optical microscope and a Canon camera. Nicol prism +, the size of the sides of the photos is 3 mm

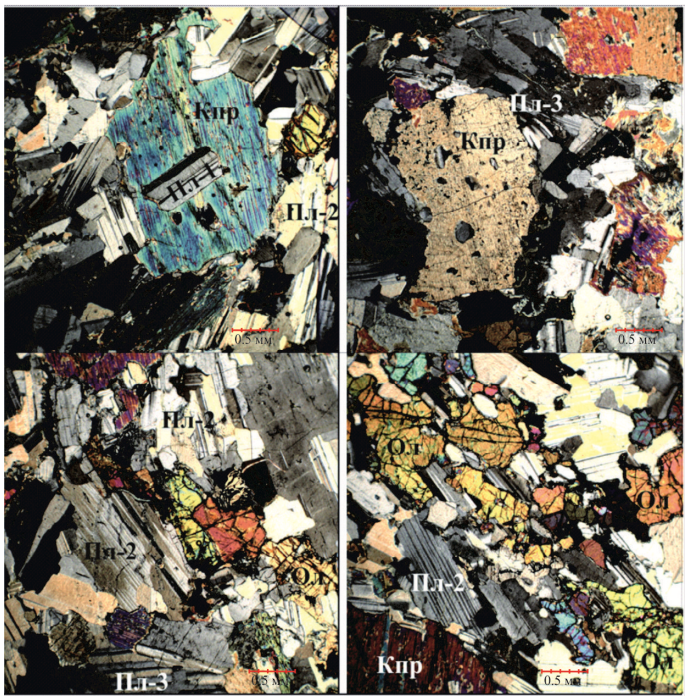

Рис. 6. Микрофотографии оливинового габбронорита из бороздовой пробы К-1

Порода имеет порфировидную структуру и трахитоидную текстуру основной массы. Вкрапленники представлены призматическими зернами клинопироксена (Кпр) и плагиоклаза (Пл), а также ксеноморфными зернами оливина (Ол). На верхней левой фотографии вкрапленник Кпр содержит лейстовидное пойкилитовое включение плагиоклаза

Fig. 6. A microphotographs of olivine gabbronorite from the K-1 trench sample

The rock has a porphyry structure and trachytoid texture of the groundmass. Phenocrysts are represented by prismatic grains of clinopyroxene (Cpr) and plagioclase (Pl), as well as xenomorphic grains of olivine (Ol). In the upper left of photograph, the Cpr phenocryst contains a lath-lke poikilite inclusion of plagioclase

Из бороздовой пробы К-1 была изготовлена серия препаратов на эпоксидной смоле, в которых с применением рентеноспектрального микроанализатора JEOL JXA-8100 выполнено более 100 анализов химического состава породообразующих и акцессорных минералов. Остановимся на характеристике состава каждого из минералов.

Оливины представлены ксеноморфными зернами размером 0,5–1,0 мм в количестве от единичных выделений до 20%, часто образующими кулисно расположенные кружевовидные цепочки. В непосредственном контакте с зернами оливина часто находятся ксеноморфные выделения магнетита и образованные при распаде его твердого раствора угловатые зерна ильменита. Мелкие выделения оливина иногда находятся в виде пойкилитовых включений в зернах клинопироксена. Зерна оливина незначительно замещены серпентином. Некоторые из них окружены различной ширины каймами с симплектитовой структурой, состоящими из агрегата серпентина и мелких червеобразных выделений магнетита (рис. 7). Содержание форстеритового минала (Fo) в оливинах изменяется в интервале 56–65% при среднем значении 63 ± 2,3 %, что соответствует гиалосидериту (табл. 1).

В некоторых зернах оливина выявлена оптическая и химическая зональность, выраженная в уменьшении содержания Fo в направлении от ядра (64%) к периферии (56%). Оливины характеризуются очень низким содержанием примесей NiO и CaO. Зависимость между значениями параметров Mg/Fe в оливинах и клинопироксенах не обнаружена (рис. 8, *а*). Кроме того, оливинам свойственны очень ограниченные вариации значений параметров Si/Mg и Si/Fe (рис. 9).

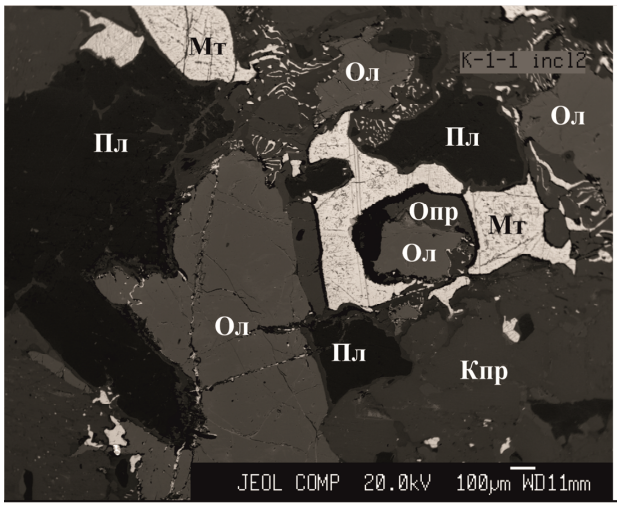

Рис. 7. Микрофотография оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), выполненная в режиме обратно рассеянных электронов на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8100

Ол – оливин, Опр – ортопироксен, Кпр – клинопироксен, Пл – плагиоклаз, Мт – магнетит

Fig. 7. Micrograph of olivine gabbronorite (K-1 trench sample) carried out using a JEOL JXA-8100 X-ray microanalyzer in backscattering electrons

Ол – olivine, Опр – orthopyroxene, Кпр – clinopyroxene, Пл – plagioclase, Мт – magnetite

Таблица 1

Химический состав оливинов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 1

The chemical composition of olivine from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Cr_2O_3	Сумма	Fo, %
Шлиф К-1-1												
По	0,03	0,01	0,02	–	0,01	0,009	0,03	0,009	0,01	0,01	–	–
19	36,68	0,01	–	–	31,37	0,58	31,66	0,01	0,04	0,01	100,36	64
20	36,34	0,01	–	–	32,49	0,62	30,32	0,01	–	0,01	99,80	63
28	35,86	0,02	–	–	33,93	0,73	29,81	0,02	–	–	100,37	61
29	35,57	–	0,27	–	31,55	0,55	30,19	0,10	–	1,45	99,68	63
36	36,25	0,02	–	–	31,70	0,60	31,37	0,01	0,026	0,03	100,01	64
52	36,77	0,04	–	–	32,74	0,66	30,33	0,02	–	–	100,56	62
53	36,61	0,02	–	–	32,79	0,68	30,17	0,02	0,025	0,02	100,34	62
Шлиф К-1-5												
19	36,36		–	–	32,43	0,58	31,02	0,02	–	0,02	100,96	63
20	36,75	0,01	–	–	32,41	0,56	31,01	0,02	–	0,03	100,79	63

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Cr_2O_3	Сумма	Fo, %
Шлиф К-1-6												
17	37,23	0,006	–	–	30,44	0,58	32,23	0,14	0,04	–	100,67	65
19	36,67	–	–	–	32,56	0,68	30,61	0,03	0,02	–	100,57	63
28	37,05	0,01	–	–	30,28	0,61	32,07	0,03	0,02	–	100,07	65
29	36,62	–	–	–	31,82	0,67	31,05		0,02	0,001	100,19	63
43 (ядро)	36,91	–	–	–	31,87	0,55	31,20	0,03	0,04	–	100,60	64
44 (край)	35,46	0,02	–	–	38,01	0,67	26,67	0,02	0,02	–	100,87	56
45 (ядро)	36,94	0,14	–	–	31,33	0,58	31,77	0,04	0,01	–	100,81	64
46 (край)	36,17	0,02	–	–	35,88	0,69	27,85	0,02	0,05	0,01	100,69	58

Примечание. По химическому составу все образцы оливинов относятся к гиалосидеритам. Fo, % = 100*Mg/(Mg + Fe), формульные единицы. Здесь и в остальных таблицах в строке По указаны нижние пределы обнаружения компонентов.

Note. By chemical composition, all samples of olivines belong to hyalosiderite. Fo, % = 100 * Mg / (Mg + Fe), formula units. Here and in the rest of the tables the По line shows the lower limits of detection of components.

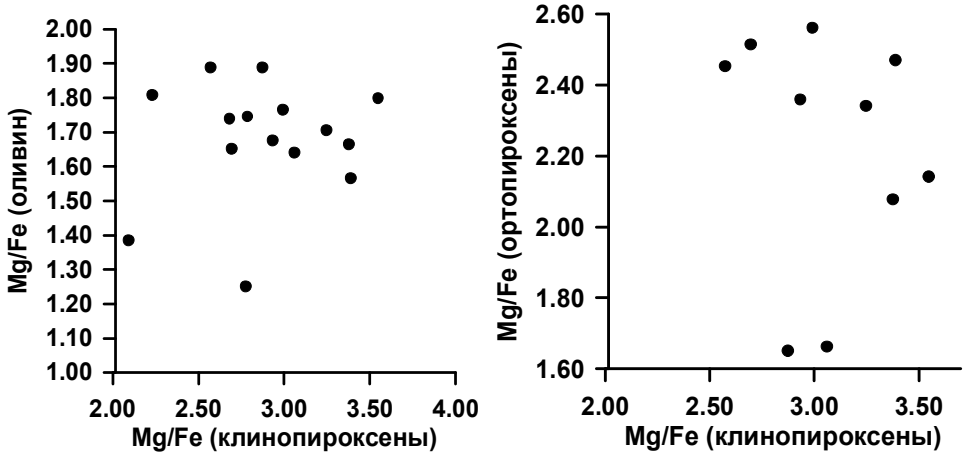

Рис. 8. Диаграмма сравнения химических составов оливинов, ортопироксенов и клинопироксенов из оливинового габбронорита из бороздовой пробы К-1 (по данным табл. 1–3)

Fig. 8. Comparison diagram of the chemical compositions of olivines, orthopyroxenes, and clinopyroxenes from olivine gabbronorite from the K-1 trench sample in the coordinates of the Si/Fe and Si/Mg parameters (according to the data in Tables 1–3)

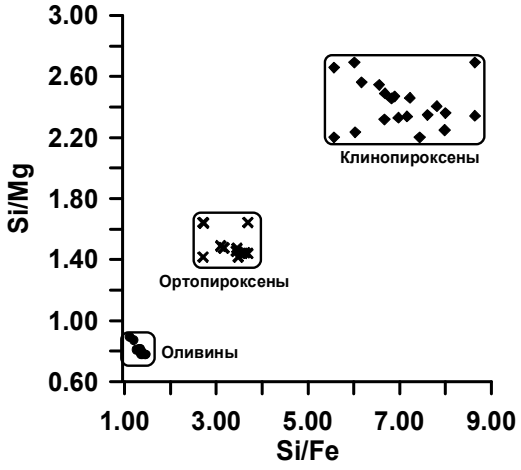

Рис. 9. Диаграммы в координатах химических параметров Si/Mg и Si/Fe (формульные единицы) оливинов, ортопироксенов, клинопироксенов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1)

Fig. 9. Diagram coordinates of the chemical parameters Si/Mg and Si/Fe (formula units) of olivines, orthopyroxenes, clinopyroxenes from olivine gabbronorite (K-1 trench sample)

Плагиоклазы в исследованном оливиновом габбронорите представлены тремя морфолого-генетическими разновидностями: а) редкими пойкилитовыми включениями в зернах клинопироксена и оливина; б) короткопризматическими порфировидными вкрапленниками (до 5%); в) многочисленными удлиненно-призматическими лейстами, слагающими основную массу породы (10–90%). Пойкилитовые включения плагиоклаза размером 0,03–0,4 мм, имеют неправильную субизометричную или удлиненно-призматическую форму. В порфировидных вкрапленниках оптическая зональность обычно не наблюдается. Субпараллельно ориентированные лейсты плагиоклаза, «обтекая» порфировидные вкрапленники пироксенов и плагиоклаза, обусловливают трахитоидную текстуру породы (см. рис. 5). При этом названные морфолого-генетические разновидности плагиоклазов почти не отличаются по среднему содержанию анортитового минала. В пойкилитовых включениях (7 анализов) оно составляет 84±2,4%, в порфировидных вкрапленниках (34 анализа) – 84 ± 2,9%, в лейстах – 85 ± 5,9%. По общей выборке, состоящей из 54 анализов плагиоклазов, содержание анортитового минала варьирует в интервале 77–95% при среднем значении 84 ± 3,7%, т.е. в большинстве случаев минерал представлен битовнитом (табл. 2). По общей выборке анализов плагиоклаза выявлена прямая зависимость между значениями параметров Si/Ca и Si/Al (рис. 10, *a*). При этом какая-либо зависимость между значениями параметра Si/Ca в плагиоклазах и клинопироксенах отсутствует (рис. 10, *b*). Содержание примеси FeO в пределах общей выборки анализов плагиоклазов находится в интервале 0,18–0,47 мас. % при среднем значении 0,26 ± 0,07 мас. %, при этом в единичных лейстах оно составило 0,59 мас. %.

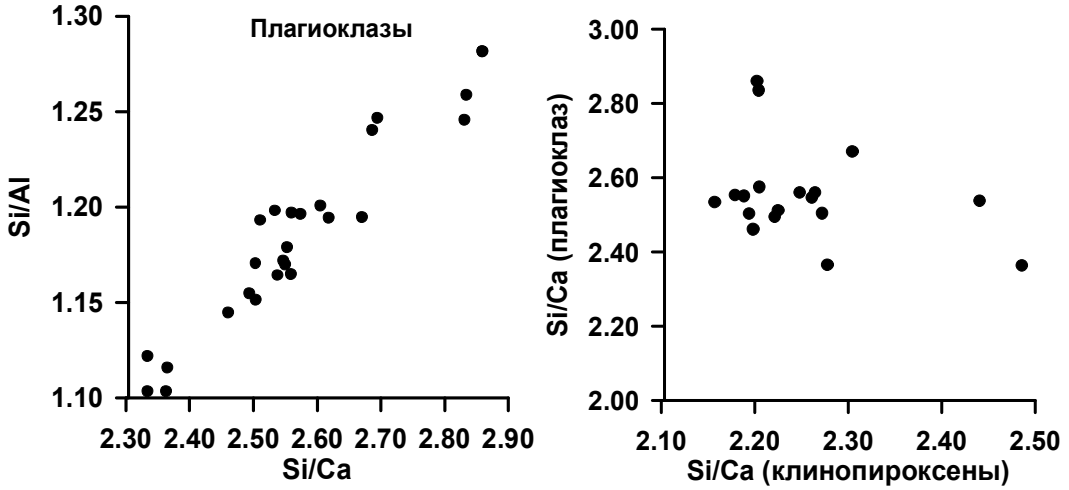

Рис. 10. Диаграммы химических составов плагиоклазов и клинопироксенов из оливинового габбронорита из бороздовой пробы К-1 в координатах параметров Si/Ca и Si/Al (по данным табл. 2 и 3)

Fig. 10. The diagrams of the chemical compositions of plagioclases and clinopyroxenes from K-1 trench sample olivine gabbronorite in the coordinates of the Si/Ca and Si/Al parameters (according to the data in Tables 2 and 3)

Таблица 2

Химический состав плагиоклазов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 2

The chemical composition of plagioclase from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cr_2O_3	Сумма	Ан, %
Шлиф К-1-1														
По	0,01	0,01	0,02	–	0,01	0,01	0,03	0,009	0,02	0,007	0,01	0,01	–	–
2вкр	47,70	0,04	33,88	–	0,21	0,01	–	16,67	1,94	–	–	0,02	100,47	83
3 вкр	46,79	0,05	34,10	–	0,22	–	0,01	17,21	1,58	0,01	–	–	99,97	86
7 вкр	46,37	0,04	34,37	–	0,24	–	–	17,59	1,43	–	–	–	100,04	87
8 вкр	46,96	–	34,00	–	0,33	–	–	17,21	1,73	0,02	–	–	100,25	85
13 вкр	45,64	–	34,71	–	0,39	0,01	–	18,01	1,23	0,01	–	–	100,00	84
16 вкр	45,63	–	35,09	–	0,37	0,02	–	18,02	1,05	–	–	–	100,18	90
30 вкр	46,71	–	34,32	–	0,20	0,03	0,027	17,48	1,51	–	–	–	100,28	87
31 вкр	46,52	0,01	34,28	–	0,21	–	–	17,34	1,60	0,02	0,01	0,03	100,02	86
47 вкр	47,00	0,03	34,09	–	0,25	–	–	17,20	1,80	0,02	0,01	–	100,40	84
48 вкр	46,89	0,02	34,16	–	0,25	0,04	–	17,10	1,73	0,03	0,02	–	100,24	84

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cr_2O_3	Сумма	Ан, %
Шлиф К-1-5														
10вкр	46,76	–,	33,86	–	0,21	–,	–	17,87	1,31	–	–	–	100,02	88
11вкр	47,67	0,02	33,20	–	0,27	0,01	–	17,03	1,91	0,02	–	–	100,12	83
12вкр	48,11	–	33,08	–	0,24	0,01	–	16,87	1,98	–	–	–	100,28	83
13вкр	48,57	0,02	32,89	–	0,24	0,02	–	16,50	2,28	0,02	–	–	100,53	80
15вкл	47,77	0,02	32,97	–	0,33	–	–	16,84	1,95	0,02	–	–	99,92	83
16вкл	48,26	–	33,14	–	0,23	0,01	–	16,77	1,95	0,02	–	–	100,39	83
2лейс	47,32	–	32,96	–	0,24	–	–	16,84	1,85	0,02	–	–	99,23	83
3лейс	44,51	0,01	34,99	–	0,19	–	–	19,10	0,55	–	–	–	99,34	95
4лейс	44,64	0,01	34,78	–	0,18	–	–	18,84	0,62	0,01	–	–	99,09	94
5лейс	46,47	0,01	33,54	–	0,22	0,01	–	17,47	1,42	–	–	–	99,16	87
6лейс	45,94	–	33,90	—	0,19	0,01	–	17,87	1,21	–	–	–	99,12	89
7лейс	48,74	0,01	32,53	–	0,24	–,	–	16,38	2,13	0,01	–	–	100,04	81
8лейс	48,17	0,03	33,14	–	0,23	0,01	–	16,93	1,91	0,01	–	–	100,42	83
9лейс	48,26	–	33,08	–	0,26	–	–	16,85	2,06	0,01	–	–	100,52	82
Шлиф К-1-6														
22 вкр	47,22	0,01	33,49	–	0,18	–	–	17,12	1,74	0,01	–	–	99,77	84
23 вкр	46,48	–	33,69	–	0,18	0,01	–	17,33	1,58	0,01	0,01	–	99,29	86
34 вкр	48,75	–	32,28		0,25	–	–	15,91	2,28	0,02	0,01	–	99,50	79
35 вкр	48,05	0,02	32,39	–	0,25	–	–	15,82	2,48	0,01	0,01	0,01	99,04	78
39 вкр	46,58	–	33,53	–	0,26	0,01	–	17,03	1,73	0,02	–	–	99,16	84
40 вкр	47,64	0,02	33,77	–	0,21	0,01	–	17,37	1,50	–	0,01	–	100,53	87
41 вкр	47,22	0,01	33,58	–	0,37	–	–	17,55	1,48	0,01	–	0,01	100,23	87
42 вкр	47,18	0,02	33,41	–	0,43	0,01	–	17,38	1,47	0,02	0,01	–	99,93	87
49 вкр	48,50	0,03	33,18	–	0,21	0,01	–	16,85	1,86	0,01	–	0,01	100,66	83
50 вкр	48,59	0,01	33,07	–	0,22	–	–	16,83	1,88	0,01	–	–	100,61	83
51 вкр	48,59	0,02	33,10	–	0,23	–	–	16,02	2,34	0,01	–	–	100,31	79
52 вкр	47,39	0,01	33,67	–	0,25	0,01	–	16,89	1,94	0,02	0,02	–	100,20	83
58 вкр	45,42	0,01	34,35	–	0,19	–	–	18,16	1,15	–	–	–	99,28	90
59 вкр	47,03	0,02	33,23	–	0,28	0,01	–	16,85	1,82	0,02	–	–	99,26	84
Шлиф К-1-8														
26вкр	47,20	0,01	33,07	–	0,26	0,01	–	17,41	1,59	0,03	–	–	99,56	86
27вкр	47,78	–	32,55	–	0,25	–	–	16,83	1,84	0,01	–	0,01	99,27	84
28вкр	48,14	0,02	32,54	–	0,29	0,02	–	16,76	2,03	0,02	–	–	99,81	82
29вкр	48,39	–	32,28	–	0,26	–	–	16,48	2,05	0,02	–	–	99,49	82
33вкр	48,26	0,02	32,86	–	0,24	–,	–	16,87	2,03	0,01	–	0,01	100,30	82
35вкр	47,62	–	33,18	–	0,25	0,01	–	16,93	1,86	0,01	–	0,01	99,87	87
22вкл	46,94	0,02	33,43	–	0,24	–	–	17,47	1,43	0,01	–	–	99,62	86
23вкл	46,95	0,01	33,53	–	0,33	–	–	17,49	1,52	0,01	–	–	99,83	86
31вкл	48,24	0,02	32,51	–	0,28	0,01	–	16,63	2,09	0,04	–	–	99,81	81
37вкл	46,72	0,02	33,56	–	0,34	–	–	17,42	1,37	0,01	–	–	99,47	88
38вкл	47,65	–	33,28	–	0,23	0,01	–	16,36	1,78	0,02	–	–	99,92	84
40лейс	48,84	0,01	32,49	–	0,23	——	–	16,11	3,40	0,01	–	0,01	100,09	79
41лейс	45,90	–	34,33	–	0,22	–	–	18,26	1,04	–	–	–	99,75	91
42лейс	49,05	0,02	32,09	–	0,59	0,02	0,23	15,51	2,42	0,02	–	0,01	99,95	78
43лейс	49,12	0,01	32,09	–	0,18	–	–	15,69	2,54	0,01	–	0,02	99,66	77
44лейс	47,88	0,01	33,34	–	0,19	0,01	–	16,98	1,73	0,01	–	–	100,15	84

Примечание. вкр – вкрапленники; вкл – пойкилитовые включения; лейс – лейсты; Ан, % = 100*Ca/(Ca+Na) формульные единицы.

Note. вкр – phenocrysts; вкл – poikilitic inclusions; лейс – laths; An, % = 100*Ca/(Ca+Na) formula units.

Клинопироксены представлены бледно-зелеными, призматическими зернами в количестве 15–55% от общего объема породы. Размер их зерен составляет от 0,5 до 5 мм. Зерна минерала часто сдвойникованы, в них нередко наблюдаются тонкие ламели ортопироксена – структуры распада твердого раствора. Встречаются гломеропорфировидные сростки зерен клинопироксена с зернами плагиоклаза, погруженные в мелкозернистую основную массу, состоящую из лейст плагиоклаза. В зернах клинопироксена встречаются пойкилитовые включения плагиоклаза, реже оливина и ортопироксена размером в первые сотые доли миллиметра. Зерна минерала частично или полностью замещены амфиболом, изредка – совместно с биотитом. В своем большинстве клинопироксены по химическому составу относятся к авгитам, в которых содержания миналов варьируют в таких пределах (%): Wo (39,4–45,9); Fs (11,9–18,2); En (36,8–45,3) (табл. 3). Значения параметра Mg/Fe в них находятся в интервале 2,09–3,69, значения параметра Si/Fe варьируют в более широком интервале по сравнению со значениями параметра Si/Mg (см.

рис. 9). Между значениями параметров Si/Ca и Si/Al в клинопироксенах наблюдается неотчетливая обратная зависимость. Содержания второстепенных компонентов в клинопироксенах изменяются в следующих пределах (мас. %): Al_2O_3 (1,80–3,21), TiO_2 (0,21–0,42), MnO (0,18–0,39), Na_2O (0,11–0,31).

На основе данных о химическом составе находящихся в непосредственной близости зерен орто- и клинопироксенов из препаратов К-1-1 и К-1-6, были получены оценки температуры их химического равновесия на заключительной стадии кристаллизации материнского расплава. При этом в препарате К-1-1 проанализировали 9 пар зерен пироксенов, в препарате К-1-6 – 8 пар. Проанализированные зерна пироксенов располагались на расстоянии в несколько сантиметров друг от друга. Расчеты по оценке температуры равновесия, выполненные с использование трех геотермометров [Wells, 1977; Brey, Kohler, 1990; Nimis, Taylor, 2000] (табл. 4), показали, что оценки температуры равновесия орто- и клинопироксенов значительно варьируют.

Таблица 3

Химический состав клинопироксенов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 3

The chemical composition of clinopyroxene from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cr_2O_3	Сумма	En, %
Шлиф К-1-1														
Но	0,03	0,03	0,02	–	0,01	0,01	0,03	0,009	0,02	0,007	0,01	0,01	–	–
11	51,81	0,25	3,21	–	7,76	0,18	15,45	20,98	0,20	–	0,04	0,22	100,08	78
12	52,07	0,28	2,99	–	8,37	0,23	15,86	19,91	0,26	–	–	0,07	100,04	77
26	52,13	0,23	2,35	–	7,79	0,21	14,81	22,13	0,22	–	–	0,21	100,07	77
27	52,14	0,21	2,42	–	7,98	0,20	14,54	21,52	0,26	–	0,01	0,56	99,84	76
32	51,62	0,42	2,85	–	8,85	0,28	14,86	21,15	0,20	0,01	0,01	0,10	100,35	75
33	51,54	0,40	2,77	–	10,22	0,31	15,46	19,35	0,25	0,02	–	0,09	100,41	73
40	51,82	0,36	2,20	–	8,65	0,28	14,86	21,77	0,11	–	0,01	0,03	100,10	75
45	51,49	0,40	2,63	–	9,23	0,26	14,89	21,15	0,23	–	–	0,09	100,38	74
46	51,66	0,42	2,75	–	8,55	0,26	14,08	22,03	0,23	–	–	0,13	100,11	75
Шлиф К-1-5														
17	51,36	0,46	2,54	–	8,30	0,25	14,01	22,30	0,30	0,02	–	0,01	99,55	75
Шлиф К-1-6														
20	52,22	0,41	2,50	–	9,53	0,30	13,76	21,68	0,21	0,009	0,01	0,03	100,66	72
21	51,69	0,38	2,37	–	9,25	0,30	13,92	21,88	0,21	–	0,01	0,03	100,04	73
32	51,72	0,40	2,75	–	8,98	0,27	14,04	22,00	0,31	–	0,01	0,02	100,50	74
33	51,71	0,42	2,66	–	9,06	0,27	14,12	21,91	0,28	–	–	–	100,44	74
36	52,10	0,32	1,80	–	10,36	0,41	12,98	22,06	0,25	–	0,02	0,02	100,31	69
37	51,36	0,38	2,15	–	11,02	0,39	12,95	22,00	0,18	–	–	0,02	100,45	68
38	51,54	0,41	2,61	–	9,99	0,32	13,49	21,24	0,20	0,007	–	0,03	99,83	71
47	51,38	0,36	2,70	–	8,07	0,27	14,67	21,55	0,26	–	–	0,03	99,28	76
48	51,62	0,31	2,52	–	7,14	0,25	14,78	22,33	–	–	–	0,04	99,27	79
Шлиф К-1-8														
32	51,83	0,42	3,29	–	8,73	0,25	13,85	21,58	0,29	–	–	0,04	100,37	74
39	52,46	0,36	2,46	–	9,05	0,30	14,35	21,13	0,24	–	–	0,05	100,38	74

Примечание. En, % = 100*Mg/(Mg + Fe), формульные единицы.

Note. En, % = 100 * Mg / (Mg + Fe), formula units.

Таблица 4

Температуры химического равновесия орто- и клинопироксенов из оливинового габбронорита (препараты из бороздовой пробы К-1)

Table 4

Temperature chemical equilibrium ortho- and clinopyroxenes from the olivine of gabbronorite (preparations from K-1 trench samples)

№ анализа	T, °C		
	Nimis, Taylor, 2000	Brey, Kohler, 1990	Wells, 1977
Шлиф К-1-1			
К-1-1-1	880	968	969
К-1-1-2	912	906	1012
К-1-1-3	748	845	890
К-1-1-4	798	801	917
К-1-1-5	810	958	950
К-1-1-6	868	1017	1032
К-1-1-7	739	923	905

№ анализа	T, °C		
	Nimis, Taylor, 2000	Brey, Kohler, 1990	Wells, 1977
К-1-1-8	787	977	928
К-1-1-9	732	1 185	889
Шлиф К-1-6			
К-1-6-1	724	1 133	–
К-1-6-2	696	–	–
К-1-6-3	697	–	–
К-1-6-4	704	–	–
К-1-6-5	615	–	–
К-1-6-6	627	–	–
К-1-6-7	734	–	–
К-1-6-8	757	–	–
Среднее	760	970	940

Примечание. Значения температуры равновесия пироксенов получены с использованием компьютерных программ для трех геотермометров [Wells, 1977; Brey, Kohler, 1990; Nimis, Taylor, 2000] (исполнитель И.В. Ащепков). Средние значения температур округлены до десяти градусов.

Note. Temperature equilibrium pyroxenes obtained using computer programs for the three geothermometers [Wells, 1977; Brey, Kohler, 1990; Nimis, Taylor, 2000] (executor I.V. Ashchepkov). Average temperatures are rounded to ten degrees.

Более высокие и сравнимые средние оценки температуры были получены при расчетах на основе геотермометров Уэллса (940°С) и Брея–Кохлера (970°С). Почти на 200°С меньшее среднее значение получено с применением геотермометра Нимиса–Тэйлора (760°С). Эти оценочные значения температуры равновесия пироксенов являются весьма приближенными и не позволяют корректно определить, оценки по какому из этих геотермометров являются более близкими к реальным. Тем не менее выявленная значительная дисперсия значений температуры находится в согласии с предположением, основанным на данных двумерных диаграмм (см. рис. 8, *a, b*), что ортопироксены и клинопироксены из исследованного оливинового габбронорита не находятся в состоянии химического равновесия.

Ортопироксены присутствуют в породе в количествах до 5%, однако на отдельных участках породы их содержание достигало 20%. Минерал представлен призматическими зернами размером около 2–3 мм, иногда он находится в виде очень мелких пойкилитовых включений в зернах клинопироксена. Совместно с магнетитом ортопироксены иногда присутствуют в симплектитовом агрегате, который в виде узкой (0,05–0,1 мм) каймы окружает зерна оливина. В отдельных зернах ортопироксена обнаружены пойкилитовые выделения плагиоклаза. Некоторые зерна минерала замещены частично или полностью тальком. Химический состав ортопироксенов охарактеризован в табл. 5. Среднее содержание минала En в ортопироксенах составило 68 ± 3,6%, что соответствует гиперстену, реже – бронзиту. Зависимость между значениями параметра Mg/Fe в ортопироксенах и клинопироксенах не обнаружена, что может указывать на отсутствие химического равновесия между этими минералами (см. рис. 8). Средние содержания элементов-примесей в ортопироксенах находятся в таких пределах (мас. %): Al_2O_3 (1,12 ± 0,24), CaO (0,88 ± 0,38), TiO_2 (0,14 ± 0,06), MnO (0,54 ± 0,07).

Амфиболы из-за темной окраски их зерен макроскопически отчетливо наблюдаются на выветрелой поверхности породы, подчеркивая ее параллельно-полосчатую текстуру. Под микроскопом минерал представлен буровато-зелеными призматическими или ксеноморфными выделениями в количестве 5–40%, которые частично или полностью замещают зерна клинопироксена. По химическому составу выделены две главные разновидности амфиболов (мас. %): а) магнезиальные (MgO 11,66–13,09) и б) железистые (MgO 6,67–10,60) (табл. 6), причем в тех зернах минерала, которые находились в непосредственной близости от прожилков скаполита, был обнаружен хлор в количестве 0,09–0,80 мас. %. Кроме того, в габбронорите были обнаружены выделения эденита, слагающие узкие оторочки вокруг зерен оливина. Эта разновидность амфиболов имеет следующий химический состав (мас. %): MgO (15,34–17,48), Al_2O_3 (8,07–10,66), CaO (12,09–12,23), Na_2O (1,37–1,63). В сотых долях процента в эдените обнаружены Cr_2O_3 и NiO.

Скаполиты впервые выявлены в породах Калбакдагского массива [Леснов и др., 2019б, в печати]. Они представлены в виде неправильной формы микрозернистых обособлений размером до 1 мм, которые совместно с выделениями хлорсодежащего амфибола слагают тонкие прожилки, секущие породу. Согласно результатам химических анализов минерала, содержание мейонитового компонента в нем изменяется в интервале от 31 до 46% при содержании хлора в количестве 1,30–2,73 мас. %, что позволяет диагностировать его как дипир (табл. 7).

Магнетиты представлены в виде неравномерно распределенных в породе ксеноморфных выделений размером от 0,01 до 4 мм, содержащихся в количестве 1–2%. Эти выделения обычно находятся в срастаниях с зернами оливина (см. рис. 6). В некоторых выделениях магнетита присутствуют вростки ильменита, образованные в результате распада титансодержащего твердого раствора. Содержание FeO в магнетитах находится в интервале 89,90–91,75 мас. %, среднее значение – 91,15 ± 0,68 мас. %. В минерале определены следующие содержания элементов-примесей (мас. %): TiO_2 (0,33–0,78), NiO (0,004–0,040), V_2O_5 (0,38–0,81), Cr_2O_5 (0,27–0,89), MgO (0,01–0,08), ZnO (0,01–0,02), Nb_2O_5 (0,01–0,07), MnO (0,01 и меньше) (табл. 8).

Ильмениты в габбронорите представлены пластинчатыми и короткопризматическими выделениями размером 10–100 мкм, которые, находясь в виде включений в зернах магнетита, образовались в результате распада твердого раствора (рис. 11).

Средние содержания главных компонентов в минерале (мас. %): FeO (45,85 ± 0,62), TiO_2 (51,94 ± 1,04). Элементы-примеси в них находятся в следующих пределах (мас. %): NiO (0,004–0,040), V_2O_5 (0,39–0,47), Cr_2O_5 (0,02–0,13), MgO (0,11–1,60), MnO (0,13–0,21), ZnO (0,02–0,06), Nb_2O_5 (0,03–0,08) (табл. 9).

Таблица 5

Химический состав ортопироксенов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1, мас. %

Table 5

The chemical composition of orthopyroxene from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cr_2O_3	Сумма	En, %
Шлиф К-1-1														
По	0,03	0,01	0,02	–	0,01	0,01	0,03	0,009	0,02	0,007	0,01	0,01	–	–
14	53,28	0,11	1,26	–	20,15	0,42	24,20	0,73	0,04	–	–	0,03	100,22	68
15	53,46	0,05	1,15	–	20,66	0,44	24,07	0,55	–	–	0,01	0,04	100,43	67
24	54,76	0,11	0,77	–	18,38	0,59	25,47	0,41	0,03	–	–	–	100,52	71
25	54,77	0,10	0,63	–	18,97	0,61	24,91	0,32	–	–	0,02	–	100,33	70
37	54,84	0,09	0,81	–	17,78	0,55	25,55	0,71	0,06	–	–	–	100,39	72
39	54,55	0,11	0,93	–	17,97	0,52	25,34	0,91	0,05	0,011	–	0,02	100,41	72
49	52,95	0,11	1,29	–	23,24	0,62	21,66	0,59	–	–	0,01	0,05	100,52	62
50	52,76	0,14	1,23	–	23,26	0,60	21,53	0,75	0,05	0,012	0,01	0,01	100,35	62
Шлиф К-1-5														
14	53,69	0,20	1,28	–	19,38	0,46	23,85	1,24	0,05	–	–	0,01	100,16	69
20	54,17	0,13	1,18	–	19,36	0,54	24,11	0,81	–	–	–	–	100,30	69
21	52,88	0,11	0,99	–	23,73	0,65	20,52	0,67	–	–	–	–	99,95	61
Шлиф К-1-6														
30 Отор	53,09	0,21	1,39	–	18,49	0,52	24,47	1,63	0,02	–	0,01	–	99,83	70
31 Отор	53,27	0,13	1,15	–	18,32	0,50	25,21	1,38	0,02	–	0,01	–	99,99	71
Шлиф К-1-8														
24	53,65	0,25	1,37	–	20,72	0,52	23,24	1,25	–	–	–	–	101,00	67
25	53,39	0,26	1,36	–	20,64	0,53	22,55	1,26	–	0,01	–	–	99,99	66

Примечание. Отор – реакционная оторочка вокруг зерен оливина на контакте с зернами плагиоклаза. En, % = 100*Mg/(Mg + Fe), формульные единицы.

Note. Отор – reaction rim around grains of olivine at the contact with plagioclase grains. En, % = 100*Mg/(Mg + Fe), formula units.

Таблица 6

Химический состав амфиболов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 6

The chemical composition of amphibole from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cr_2O_3	Cl	H_2O	Сумма	Fs, %
Шлиф К-1-1																
Но	0,01	0,01	0,02	–	0,01	0,01	0,03	0,009	0,02	0,007	0,01	0,01	0,006	–	–	–
4	48,71	0,91	6,40	–	17,09	0,37	13,09	10,90	0,98	0,30	–	0,04	–	2,00	98,79	39
5	48,45	0,91	6,30	–	18,32	0,35	11,91	11,27	0,85	0,32	0,01	–	–	2,00	98,69	44
17	46,95	0,46	10,09	–	10,34	0,12	15,35	12,09	1,63	0,34	0,01	0,06	–	2,00	97,44	25
18	46,64	0,49	10,66	–	10,37	0,14	15,34	12,23	1,62	0,38	0,01	0,06	–	2,00	97,94	25
23	49,42	0,36	8,07	–	8,92	0,14	17,48	12,18	1,37	0,36	0,02	0,05	–	2,00	98,37	19
6	45,76	1,02	7,70	–	19,94	0,28	9,92	11,43	1,22	0,50	–	0,01	0,80	2,00	98,58	51
8	47,59	0,88	6,63	–	19,33	0,32	10,60	11,57	0,98	0,42	–	0,03	0,65	2,00	99,00	49
9	49,57	0,06	6,05	–	18,23	0,36	11,66	11,22	0,69	0,06	0,02	0,03	0,09	2,00	98,04	44
16	46,67	0,36	6,69		25,55	0,24	6,67	11,72	1,03	0,15	–	–	0,74	2,00	99,87	67

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cr_2O_3	Cl	H_2O	Сумма	Fs, %
Шлиф К-1-6																
56	48,67	0,84	6,73	–	15,96	0,29	13,43	11,42	0,86	0,41	0,005	0,025	0,12	2,00	98,76	37
57	48,73	0,88	6,90	–	15,79	0,28	13,41	11,58	0,85	0,47	–	0,029	0,15	2,00	99,07	37

Примечание. H_2O – стехиометрические значения. Fs, % = 100*Fe/(Fe + Mg), формульные единицы.

Note. H_2O – stoichiometric values. Fs, % = 100*Fe/(Fe + Mg), formula units.

Таблица 7

Химический состав скаполитов (дипиров) из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 7

The chemical composition of scapolite from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	NiO	Cl	S	Сумма
Шлиф К-1-1														
Но	0,01	0,01	0,02	–	0,01	0,01	0,03	0,009	0,02	0,007	0,01	–	–	–
1	53,00	0,03	24,17	–	0,058	0,03	–	10,58	8,22	0,12	0,01	2,04	–	98,77
2	52,04	–	24,57	–	0,068	0,04	–	11,66	7,77	0,12	0,02	1,66	–	98,55
3	52,61	0,01	24,13	–	–	–	–	10,83	8,20	0,13	–	1,93	–	98,38
4	52,94	–	23,73	–	0,011	0,006	–	10,35	8,32	0,13	–	2,16	–	98,13
5	52,31	–	24,22	–	0,044	–	–	11,20	7,40	0,12	–	2,03	–	97,83
13	55,91	–	22,84	–	0,051	0,01	–	7,70	9,36	0,16	0,01	2,73	–	99,11
14	54,48	0,02	23,85	–	0,040	0,02	–	8,96	8,26	0,14	0,02	2,43	–	98,63

Таблица 8

Химический состав магнетитов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 8

The chemical composition of magnetite from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	FeO	MnO	TiO_2	NiO	ZnO	V_2O_3	Cr_2O_3	MgO	Nb_2O_5	Сумма
Шлиф К-1-1										
2	90,58	0,01	0,78	–	0,01	0,38	0,85	–	–	92,61
3	89,90	0,01	0,33	–	–	0,81	0,89	0,01	0,04	91,99
4	91,31	–	0,49	0,03	–	0,50	0,47	0,17	0,07	93,04
Шлиф К-1-6										
11	91,20	–	0,37	0,03	0,02	0,79	0,28	0,05	0,01	92,75
12	91,64	0,01	0,50	0,04	–	0,76	0,27	0,06	–	93,28
14	91,75	–	0,61	0,02	0,02	0,65	0,39	0,08	–	93,52
15	91,69	–	0,69	0,04	0,02	0,68	0,43	0,07	–	93,62

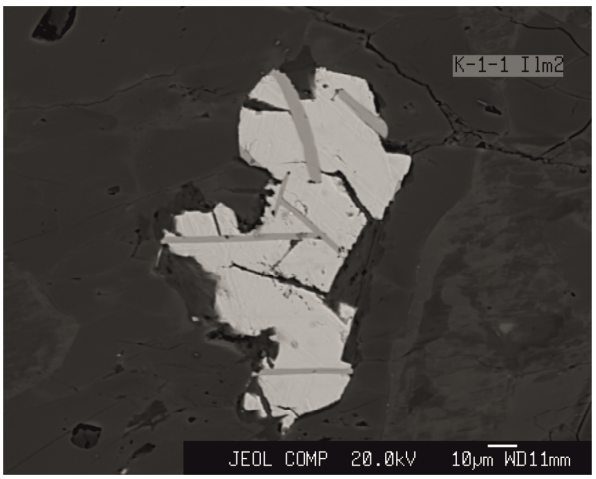

Рис. 11. Структура распада твердого раствора зерна магнетита (светло-серое), в котором находятся пластинчатые выделения ильменита (темно-серое)

Микрофотография выполнена в режиме обратно-рассеянных электронов с применением рентгеноспектрального микроанализатора JEOL JXA-8100

Fig. 11. The structure of the magnetite grain (light gray) solid exsolution where the lamellar ilmenite (dark gray) precipitates present

The micrograph was taken using a JEOL JXA-8100 X-ray microanalyzer in the backscattering electrons

Таблица 9

Химический состав ильменитов из оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1), мас. %

Table 9

The chemical composition of ilmenites from olivine gabbronorite (K-1 trench sample), wt. %

№ анализа	FeO	MnO	TiO_2	NiO	ZnO	V_2O_3	Cr_2O_3	MgO	Nb_2O_5	Сумма
Шлиф К-1-1										
5	45,82	0,15	52,60	0,01	0,06	0,46	–	0,73	–	99,83
6	46,03	0,16	52,55	–	0,05	0,42	–	0,74	–	99,95
7	45,91	0,19	52,68	0,01	–	0,44	–	0,86	0,08	100,17
8	44,70	0,18	53,23	–	0,02	0,47	–	1,60	–	100,20
Шлиф К-1-6										
10	45,90	0,13	51,79	–	0,02	0,43	0,02	0,72	0,03	99,04
13	45,32	0,19	51,79	0,01	–	0,43	0,13	0,75	–	98,62
16	46,43	0,20	50,39	0,01	–	0,39	0,04	0,30	0,07	97,83
18	46,70	0,21	50,51	–	–	0,45	0,06	0,11	–	98,04

Циркон в количестве 14 зерен размером менее 0,5 мм обнаружен в тяжелой фракции коллективной крупногабаритной пробы оливинового габбронорита, отобранной в том же обнажении, что и бороздовая проба К-1. В настоящее время проводятся исследования химического состава и определение их возраста U-Pb изотопным методом.

Обсуждение и заключение

На современном эрозионном срезе Калбакдагский массив представляет собой субвертикально залегающее тело, имеющее в плане линзовидную форму. Среди габброидов массива имеются разновидности с полосчатой текстурой, обусловленной струйчато-полосчатым распределением зерен темноцветных минералов и плагиоклаза. Судя по результатам замеров элементов залегания полосчатости в породах массива, выполненных [Поляков и др., 1984], он имеет концентрически зональное внутреннее строение с преимущественным наклоном полос в сторону его осевой зоны. Габброиды сложены вкрапленниками оливина, клинопироксена и более редких ортопироксена и плагиоклаза, которые погружены в основную массу, имеющую неотчетливо выраженную порфировидную структуру. Основная масса габброидов состоит из резко преобладающих лейстовидных выделений плагиоклаза, ориентированных субпараллельно и обусловливающих трахитоидную текстуру породы. Часто наблюдается «обтекание» порфировидных вкрапленников лейстами плагиоклаза. Подчиненную роль в основной массе играют мелкие выделения оливина и пироксенов. Детально исследованный нами образец оливинового габбронорита (бороздовая проба К-1) характеризуется порфировидной структурой, параллельно-полосчатой текстурой, значительными вариациями количественно-мине-рального состава. Химические составы оливинов, ортопироксенов, клинопироксенов и плагиоклазов, слагающих исследованный габбронорит, варьируют в сравнительно узких интервалах, при этом между ними не наблюдалась более или менее отчетливая корреляционная зависимость, указывающая на наличие химического равновесия между этими минералами. Выполненные с применением трех минеральных геотермометров расчеты также показали, что содержащиеся в габброидах орто- и клинопироксены не находятся в состоянии химического равновесия.

Вышеприведенные данные могут свидетельствовать о следующем: Калбакдагский массив представляет собой значительно эродированный подводящий канал вулканоплутонической структуры. Слагающие эту структуру габброиды кристаллизовались, вероятно, в процессе восходящего движения мафитового расплава, который представлял собой структурированную суспензию. Последняя состояла из перемешивающихся и приобретающих струйчатое расположение вкрапленников оливина, ортопироксена, клинопироксена и плагиоклаза, погруженных в основную массу, состоящую из субпараллельно ориентированных длинными осями и «обтекающих» порфировидные вкрапленники лейст плагиоклаза и благодаря этому имеющую трахитоидную текстуру. Следствием перемешивания порфировидных вкрапленников в процессе восходящего движения расплава-суспензии стало то, что в находящихся в непосредственно близости друг от друга вкрапленниках пироксена не выявлены свидетельства их химического равновесия, т.е. согласованности их составов. По этой причине находящиеся в этих габброидах в непосредственной близости друг от друга вкрапленники орто- и клинопироксена не могут быть названы сосуществующими фазами в принятом смысле этого понятия, поскольку они не кристаллизовались близко одновременно и при одних и тех же физико-химических параметрах.

Результаты нашего исследования указывают на то, что полосчатые текстуры габброидов Калбакдагского массива являются, скорее всего, следстви-

ем структурирования расплава-суспензии в процессе восходящего движения, а не с его внутрикамерной кристаллизационно-гравитационной дифференциацией.

Авторы благодарят Ш.Н. Ооржака и А.С. Шишкина за помощь в экспедиционных исследованиях, В.Н. Королюк (ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) – за аналитические исследования состава минералов, И.В. Ащепкова (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) – за выполненные расчеты температуры равновесия пироксенов.

Работа выполнена по государственным заданиям ИГМ СО РАН (№ 0330-2016-0014) и ТувИКОПР СО РАН, РФФИ (проект № 17-05-00190).

ЛИТЕРАТУРА

Бородина Е.В., Егорова В.В., Изох А.Э. Петрология ордовикских коллизионных перидотит-габбровых массивов // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 9. С. 1074–1091.

Бухаров Н.С. О стратиграфии венд-раннекембрийских отложений бассейна рек Тапса, Черби, Ондум (Центральная Тува) // Материалы по геологии Тувинской АССР. Кызыл: Тувин. книж. изд-во, 1981. Вып. V. С. 58–63.

Бухаров Н.С. Нижний кембрий Восточной Тувы (Стратиграфия, фации, условия формирование пород, металлогения) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск : СНИИГГиМС, 1983. 16 с.

Геологическая карта Тувинской АССР. Масштаб 1:500 000. Кызыл, 1983.

Дистанова А.Н. Строение плутонов и особенности состава раннепалеозойских гранитоидов Каахемского района Восточной Тувы // Магматические комплексы складчатых областей юга Сибири. Новосибирск : Наука, 1981. С. 24–62.

Ковалев П.Ф., Добрянский Г.И., Шнай Г.К., Бродская Р.Л. Чарашский комплекс – петротип высокоглиноземистых низкощелочных плагиогранитов // Отечественная геология. 1997. № 11. С. 38–42.

Ковалев П.Ф., Кужугет К.С., Монгуш А.А. Нижнепалеозойские интрузивные комплексы Центральной Тывы // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск : КНИИГиМС, 1999. С. 172–182.

Леснов Ф.П., Кужугет К.С., Монгуш А.А., Ойдуп Ч.К. Геология, петрология и рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов Республики Тыва. Новосибирск : ГЕО, 2019а. 270 с.

Леснов Ф.П., Ойдуп Ч.К., Монгуш А.А., Королюк В.Н. Проявление скаполитовой минерализации в габброидах Калбакдагского мафит-ультрамафитового массива (Тува) // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геологическое строение, рудный потенциал. Иркутск : Изд-во Ин-та геохимии СО РАН, 2019б. С. 189–192.

Монгуш А.А. Петрография и минералогия раннепалеозойских ультрамафит-мафитовых массивов Восточной Тувы : автореф. … дис. канд. геол.-минер. наук. Новосибирск : ИГМ СО РАН, 2002. 26 с.

Поляков Г.В., Богнибов В.И. Раннепалеозойский перидотит-пироксенит-габбро-норитовый комплекс салаирид Юго-Восточной Тувы // Базитовые и ультрабазитовые комплексы Сибири. Новосибирск : Наука, 1979. С. 118–126.

Поляков Г.В., Богнибов В.И., Изох А.Э., Кривенко А.П., Баярбилэг Л. Перидотит-пироксенит-габброноритовая формация Восточной Тувы и Северо-Западной Монголии // Плутонические формации Тувы и их рудоносность. Новосибирск : Наука, 1984. С. 4–57.

Руднев С.Н., Владимиров А.Г., Понамарчук В.А., Бибикова Е.В., Сергеев А.С., Матуков Д.И., Плоткина Ю.В., Баянова Т.Б. Каахемский полихронный гранитоидный батолит (Восточная Тува): состав, возраст, источники и геодинамическая позиция // Литосфера. 2006. № 2. С. 3–33.

Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Козаков И.К., Ойдуп Ч.К., Монгуш А.А., Яковлева С.З., Федосеенко А.М. Возраст и геодинамическая позиция перидотит-пироксенит-анартозит-габбрового мажалыкского комплекса, Восточная Тува // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 656–662.

Brey G.P., Kohler T.R. Geothermobarometry in four-phase lherzolites II, new thermobarometers and practical assessment of existing thermobarometres // J. Petrol. 1990. V. 31, № 6. P. 1353–1378.

Nimis P., Taylor W. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // Contr. Mineral. Petrol. 2000. V. 139, № 5. P. 541–554.

Wells P.R.A. Pyroxene thermometry in simple and complex Systems // Contr. Mineral. Petrol. 1977. V. 62. P. 129–139.

Авторы:
Ойдуп Чойганмаа Кыргысовна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия. E-mail: oydup_ch@mail.ru
Леснов Феликс Петрович, доктор геолого-минералогических наук, академик РАЕН, ведущий научный сотрудник, лаборатория геодинамики и минералогии, Институт геологии и минералогии им. академика В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия. E-mail: felix@igm.nsc.ru; lesnovfp@list.ru
Монгуш Андрей Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия. E-mail:amongush@inbox.ru

Geosphere Research, 2019, 3, 20–34. DOI: 10.17223/25421379/12/2

Ch.K. Oydup[1], F.P. Lesnov[2], A.A. Mongush[1]

[1] Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia;
[2] V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

MINERALS COMPOSITION AND GENESIS OF THE BANDED GABBROIDS OF THE KALBAKDAG ULTRAMAFIC-MAFIC MASSIF (CENTRAL TUVA)

Presents the results of detailed studies of the chemical composition of the main (olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, plagioclase and amphibole) and secondary (scapolite, magnetite, ilmenite) minerals of channel samples of olivine gabbronorite Callbackmessage

array. The gabbroids of this massif crystallized, probably, during the upward motion of the mafic melt, which was a structured suspension. The latter consisted of mixing and acquiring a wavy arrangement of phenocrysts of olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, and plagioclase immersed in the bulk, consisting of subparallel oriented long axis and "streamlined" porphyritic phenocrysts of plagioclase laths and because of this, with trachytoid texture. The result of mixing porphyroid inclusions in the process of upward movement of the melt-suspension was that in being in close proximity to each other pyroxene inclusions evidence of their chemical equilibrium, that is, the consistency of their compositions. Banded texture gabbroids Callbackmessage array are likely the result of late-magmatic processes that are not associated with intra crystallization-gravitational differentiation of mafic melt.

Keywords: ultramafic-mafic massif, component distribution coefficient, gabbronorite, ophiolites, gabbroids, mineralogy, petrography, Tuva.

References

Borodina E.V., Egorova V.V., A.E. Izokh. Petrology of ordovician collision-related layered peridotite-gabbro intrusions (exemplified by the Mazhalyk intrusion, Southeastern Tuva) // Russian Geology and Geophysics, 2004. V. 45. № 9, pp. 1074–1091.

Bukharov N.S. *O stratigrafii vend-rannekembriyskikh otlozheniy basseyna rek Tapsa, CHerbi, Ondum (TSentral'naya Tuva)* [On the stratigraphy of the Vendian-Early Cambrian sediments of the basin of the Tapsa, Cherbi, Ondum rivers (Central Tuva)] // Materials on Geology of Tuva ASSR. V. V. Kyzyl: Tuvan book publishing house, 1981. pp. 58–63. In Russian.

Bukharov N.S. *Nizhniy kembriy Vostochnoy Tuvy (Stratigrafiya, fatsii, usloviya formirovaniye porod, metallogeniya)* [Lower Cambrian of Eastern Tuva (Stratigraphy, facies, rock formation conditions, metallogeny)] / Avtoreferat diss. na soisk. uch. st. k.g.-m.n. Novosibirsk, SNIIGGiMS, 1983. 16 p. In Russian.

Geologicheskaya karta Tuvinskoy ASSR [Geological map of the Tuva Autonomous Soviet Socialist Republic]. The scale of 1:500,000. Kyzyl, 1983. In Russian

Distanova A.N. *Stroyeniye plutonov i osobennosti sostava rannepaleozoyskikh granitoidov Kaakhemskogo rayona Vostochnoy Tuvy* [The structure of the plutons and the characteristics of the composition of Early Paleozoic granitoids Khaa-Khem district of East Tuva] // Magmatic complexes of folded areas in Southern Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1981, ph. 24–62. In Russian

Kovalev P.F., Dobryansky G.I., Snay G.K., Brodskaya R.L. *CHarashskiy kompleks – petrotip vysokoglinozemistykh nizkoshchelochnykh plagiogranitov* [Charashsky complex - petrotype of high alumina low alkaline plagiogranites] // Otechestvennaya Geologiya, 1997, No. 11. pp. 38–42. In Russian

Kovalev P.F., Kuzhuget K.S., Mongush A.A. *Nizhnepaleozoyskiye intruzivnyye kompleksy TSentral'noy Tyvy* [Lower Paleozoic Intrusive complexes of the Central Tuva] // Geology and mineral resources of the Krasnoyarsk territory. Krasnoyarsk: Knierim, 1999, pp. 172–182. In Russian

Lesnov F.P., Kuzhuget K.S., Mongush A.A., Oydup Ch.K. *Geologiya, petrologiya i rudonosnost' mafit-ul'tramafitovykh massivov Respubliki Tyva* [The Geology, Petrology and Ore potential of mafic-ultramafic massifs of Tuva Republic] // Novosibirsk: Publishing house "GEO", 2019a. *in press*. In Russian

Lesnov F.P., Oydup Ch.K., Mongush A.A., Korolyuk V.N. *Proyavleniye skapolitovoy mineralizatsii v gabbroidakh Kalbakdagskogo mafit-ul'tramafitovogo massiva (Tuva)* [Scapolite mineralization occurrence in gabbroids Kalbackdag mafic-ultramafic massif (Tuva)] // Ultramafite-mafite complexes: geological structure, ore potential. Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geochemistry SB RAS. 2019б. *in press*. In Russian

Mongush A.A. *Petrografiya i mineralogiya rannepaleozoyskikh ul'tramafit-mafitovykh massivov Vostochnoy Tuvy* [Petrography and Mineralogy of Early Paleozoic ultramafite-mafite massifs of East Tuva]// Avtoreferat diss. na soisk. uch. st. k.g.-m.n. Novosibirsk: IGM SB RAN. 2002. 26 p. In Russian

Polyakov G.V., Bognibov V.I. *Rannepaleozoyskiy peridotit-piroksenit-gabbro-noritovyy kompleks salairid YUgo-Vostochnoy Tuvy* [Early Paleozoic peridotite-pyroxenite-gabbro-norite complex Salair rock of Southeast Tuva] // Ultrabasite and Mafic complexes of Siberia. Novosibirsk: Science. 1979. pp. 118–126. In Russian

Polyakov G.V., Bognibov V.I., Izokh A.E., Krivenko A.P., Batbileg L. *Peridotit-piroksenit-gabbronoritovaya formatsiya Vostochnoy Tuvy i Severo-Zapadnoy Mongolii* [Peridotite-pyroxenite-gabbronorite formation of East Tuva and Northwestern Mongolia] // Plutonic formations of Tuva and their ore potential. Novosibirsk: Publishing House Nauka. Siberian Branch. 1984. pp. 4–57. In Russian

Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Ponomarchuk V.A., Bibikova E.V., Sergeev S.A., Matukov D.I., Plotkina Yu.V., Bayanova T.B. *Kaakhemskiy polikhronnyy granitoidnyy batolit (Vostochnaya Tuva): sostav, vozrast, istochniki i geodinamicheskaya pozitsiya* [The Kaakhem polychromous granitoid batholith (eastern Tuva): composition, age, sources, and geodynamic position] // Litosfera, 2006. № 2. pp. 3–33. In Russian

Sal'nikova E.B., Kovach V.P., Kozakov I.K., Yakovleva S.Z., Fedoseenko A.M., Oidup Ch.K., Mongush A.A. Age and geodynamic setting of the Mazhalyk peridotite-pyroxenite-anorthosite-gabbro complex, Eastern Tuva // Petrology, 2004. V. 12. № 6. pp. 583–588.

Brey G.P., Kohler T.R. Geothermobarometry in four-phase lherzolites II, new thermobarometers and practical assessment of existing thermobarometres // J. Petrol. 1990. V. 31. No 6. pp. 1353–1378.

Nimis P., Taylor W. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // Contr. Mineral. Petrol. 2000. V. 139. No 5. pp. 541–554.

Wells P.R.A. Pyroxene thermometry in simple and complex Systems // Contr. Mineral. Petrol. 1977. V. 62. pp. 129–139.

Authors:

Oydup Choyganmaa K., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Scientific Collaborator, Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia. E-mail: oydup_ch@mail.ru

Lesnov Felix P., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Academician RANS, Leading Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: felix@igm.nsc.ru; lesnovfp@list.ru

Mongush Andrey A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Scientific Collaborator, Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia. E-mail: amongush@inbox.ru