Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552.3; 552.16 (234.851)

DOI: 10.19110/geov.2021.4.2

Мафит-ультрамафитовые породы (руч. Перидотитовый, Полярный Урал): минералогия, оценка Р–Т-параметров формирования

Н. С. Уляшева¹, О. В. Удоратина^{1, 2}, А. С. Шуйский¹¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар² Томский государственный университет, Томск

udoratina@geo.komisc.ru, nataliaulyashewa@yandex.ru

Изучены петрографические особенности и условия образования метаморфизованных мафит-ультрамафитовых пород ампельшорского комплекса, входящих в состав небольшого массива южной части Марункеуского блока Полярного Урала (руч. Перидотитовый) и контролируемых тектоническим нарушением надвигового типа. Описаны мусковит-альбит-клинозоизит-амфиболовые (метабазиты) и пироксен-амфибол-хлоритовые (метаультрамафиты) породы. Структурные, текстурные и минералогические особенности метамагматитов указывают на гипабиссальную природу метабазита и плутоническую — метаультрамафита. В метабазитах первичные минералы представлены реликтами амфиболов (паргасит, эденит), а в метаультрамафитах — оливином и, возможно, клинопироксеном (авгитом, диопсидом). Магнезиогастингсит и чермакит сформировались в метаультрамафите либо на позднемагматической, либо на метаморфической стадиях преобразования породы. Изучаемые образования претерпели низкотемпературные изменения ($t = 468\text{--}380\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}3\text{ кбар}$), соответствующие зеленосланцевой фации метаморфизма.

Ключевые слова: Р–Т-параметры, метабазиты, метаультрамафиты, Полярный Урал.

Mafite-ultramafites (Peridotitovy stream, Polar Urals): mineralogy, estimation of P–T-parameters of formation

N. S. Ulyasheva¹, O. V. Udoratina^{1, 2}, A. S. Shuisky¹¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar² Tomsk State University, Tomsk

The petrographic features and conditions of the formation of metamorphosed mafic-ultramafic rocks of the Ampelshor complex, which are part of a small massif in the southern part of the Marunke u block of the Polar Urals (Peridotitovy stream) and are controlled by tectonic thrust faults, have been studied. Muscovite-albite-clinzoisite-amphibole rocks (metabasites) and pyroxene-amphibole-chlorite (metautramafic) rocks are described. Structural, textural, and mineralogical features of metamagmatites indicate the hypabyssal nature of metabasite and plutonic nature of metautramaphite. In metabasites, primary minerals are represented by relics of amphiboles (pargasite, edenite), and in metautramaphites — by olivine and, possibly, clinopyroxene (augite, diopside). Magnesiohastingsite and chermakite in metautramafite were formed either at the late magmatic or metamorphic stages of rock transformation. The studied rocks underwent low-temperature changes ($t = 468\text{--}380\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}3\text{ kbar}$), corresponding to the green-schist metamorphic facies.

Keywords: P–T-parameters, metabasites, metautramafites, Polar Urals.

Введение

В западной и южной частях Марункеуского блока в Центрально-Уральской зоне Полярного Урала на поверхность выведены массивы измененных мафит-ультрамафитовых пород, контролируемых тектоническим нарушением надвигового типа и приуроченных к контакту между нижнепротерозойскими образованиями марункеуского эклогит-амфиболит-гнейсового комплекса с одной стороны и верхнерифейскими отложе-

ниями няровейской серии с другой стороны. Для мелких тел характерен аллохтонный характер залегания. Эти образования, а также мелкие интрузии и протрузии мафит-ультрамафитовых тел (серпентиниты, апоперидотиты, аподуниты) Собско-Нундерминской и Орангско-Осовейской зон отнесены к амельшорскому комплексу раннего–среднего ордовика [1, 2, 4]. Возраст пород принимается условно по залеганию петротипических массивов среди отложений малопа-

Для цитирования: Уляшева Н. С., Удоратина О. В., Шуйский А. С. Мафит-ультрамафитовые породы (руч. Перидотитовый, Полярный Урал): минералогия, оценка Р–Т-параметров формирования // Вестник геонаук. 2021. 4(316). С. 10–19. DOI: 10.19110/geov.2021.4.2.

For citation: Ulyasheva N. S., Udoratina O. V., Shuisky A. S. Mafite-ultramafites (Peridotitovy stream, Polar Urals): mineralogy, estimation of P–T-parameters of formation. Vestnik of Geosciences, 2021, 4(316), pp. 10–19, doi: 10.19110/geov.2021.4.2.

Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна р. Немурьеган (по [1]).

1 — марункеуская свита, 2 — ханмейхойская свита, 3 — верхнехарбейская свита, 4 — минисейшорская свита, 5 — немурь-юганская свита, 6 — нижняя подсвита сядатинской свиты, 7 — верхняя подсвита сядатинской свиты, 8 — орангская свита, 9 — габбро-гипербазитовый эклогитизированный плутонический слюдяногорский комплекс, 10 — плутонический метагаббродолеритовый гипабиссальный васькеуский комплекс, 11 — мигматит-плагиогрнатовый плутонический евюганский комплекс, 12 — плутонический минисейский комплекс измененных гипербазитов, 13 — габбро-гранодиоритовый харбей-собский комплекс, 14 — гранитовый плутонический сядатояхинский комплекс, 15 — плутонический ампельшорский комплекс измененных ультрамафитов, 16 — габбродолеритовый гипабиссальный орангюганско-лемвинский комплекс, 17 — дунит-гарцбургитовый плутонический сьумкеуский комплекс, 18 — войкаро-кемпирсый комплекс тектонитов, 19 — разрывные нарушения: а — сдвиги, б — неустановленной кинематики, с — взбросо-сдвиги второстепенные, d — взбросо-сдвиги главные, 20 — место отбора проб

Fig. 1. Schematic geological map of the Nemurjegan river basin (according to [1]). Legend:

1 — Marunkeu formation, 2 — Khanmeikhoy formation, 3 — Upper Kharbey formation, 4 — Miniseyshor formation, 5 — Nemuryugan formation, 6 — Lower subformation of the Syadatinsky formation, 7 — Upper subformation of the Syadatinsky formation, 8 — Orang formation, 9 — Slyudyanogor gabbro-hyperbasite eclogitized plutonic complex, 10 — Vaskeyu plutonic metagabbrodoleritic hypabyssal complex, 11 — Evyugan complex migmatite-plagiogrnaite plutonic, 12 — Minisey altered hyperbasic plutonic complex, 13 — Kharbey-Sobsk granite complex, 14 — Syadatoyakha complex granite plutonic, 15 — Ampelshor complex of altered ultramafic rocks plutonic, 16 — Orangyugansk-Lemva complex gabbrodoleritic hypabyssal, 17 — Syumkeu dunite-harzburgite plutonic complex, 18 — Voykar-Kempirsai complex of tectonites, 19 — faults: a — shear, b — undefined kinematics, c — secondary thrust faults, d — main thrust faults, 20 — sampling site

пудынской и орангской свит ордовика. Рассматриваемые породы остаются слабоизученными образованиями. Детальные петрографические, минералогические, изотопно-геохронологические и геохимические исследования мафит-ультрамафитов из отдельных массивов позволят типизировать их по составу, времени формирования и условиям метаморфизма.

Нами изучены измененные мафит-ультрамафиты небольшого массива (рис. 1) в южной части Марункеуского блока по руч. Перидотитовому. Петрографические и минералогические исследования этих пород позволят реконструировать первичный облик магматических образований и определить P-T-условия наложенных изменений.

Методы исследования

Отбор образцов и проб пород производился в 2017 г. в коренных обнажениях по правому борту руч. Перидотитового при тематических исследованиях маг-

матических образований Марункеуского блока. Минеральный состав, структурные и текстурные особенности пород изучены под поляризационным микроскопом. Химический состав минералов исследован на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (напряжение — 20 kV, интенсивность пучка — 12, WD — 15 mm, поглощающий ток — около 300 pA, стандарт по кобальту, погрешности: SiO₂ — 0.06–0.22; TiO₂ — 0.05–0.22; Al₂O₃ — 0.07–0.12; CaO — 0.09–0.12; MgO — 0.12–0.13; FeO — 0.08–0.27; Na₂O — 0.05–0.07; K₂O — 0.03; MnO — 0.05; ZnO — 0.11–0.12; Cr₂O₃ — 0.05–0.17) в ЦКП «Геонаука» в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Химический состав (табл. 1) пород получен с помощью силикатного анализа в ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

Для пересчета катионного состава амфиболов по кристаллохимическим позициям использовался метод, рекомендованный IMA [10] для кальциевых амфиболов и известный как 13eCNK. Расчет P-T-условий

Таблица 1. Содержания (в мас.%) породообразующих оксидов в пироксен-амфибол-хлоритовой (1) и мусковит-альбит-эпидот-амфиболовой (2) породах руч. Перидотитового

Table 1. The content (wt.%) of rock-forming oxides in pyroxene-amphibole-chlorite (1) and muscovite-albite-epidote-amphibole (2) rocks of Peridotitovy brook

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п / LOI	Сумма / Total
1	38.08	0.33	5.45	5.92	7.55	0.18	1.22	30.95	0.14	0.04	0.05	10.03	100.7
2	49.98	0.59	11.08	1.69	6.01	0.13	12.82	12.82	1.07	0.82	0.05	2.39	100.06

формирования клинопироксенов производился при помощи программы WinPyrox [15] с использованием пироксенового геотермометра [12] и геобарометра [14]. Для расчета температуры формирования низкотемпературных метаморфических парагенезисов применялось веб-приложение [3] с амфибол-плаггиоклазовым [8] и пироксеновым [13] геосенсором. Значения давления при образовании актинолита получены с помощью геобарометра Е. Х. Брауна [6].

Петрографические и минералогические особенности пород

Исследуемые породы вскрыты на ручье Перидотитовом и представлены пироксен-амфибол-хлоритовыми и мусковит-альбит-клиноцизит-амфиболовыми образованиями. По содержаниям породообразующих оксидов они соответствуют метаультрамафитам и метабазитам (табл. 1).

Пироксен-амфибол-хлоритовая порода характеризуется нематолепидобластовой, реликтовой пойкилитовой и кумулятивной микроструктурой, местами сланцеватой текстурой (рис. 2, а). Порода состоит в основном из хлорита и, в меньшей степени, тремолита, развивающихся по первичным минералам. Наблюдаются контуры идиоморфного субизометричного и удлиненного минерала размером до 1.5 мм, скорее всего оливина, занимающего 40–50 % от объема породы. Контуры этого минерала распознаются по наличию систем поперечных трещин, выполненных магнетитом.

Промежутки между трещинами заполнены мелко-чешуйчатым хлоритом и реже тремолитом. В пространстве между субизометричными контурами наблюдаются реликтовые зерна пироксена и зеленовато-бурого амфибола, образующие крупные кристаллы с включениями реликтовых оливинов (рис. 3, а). Местами пространство (10–15 об. %) между пироксеном и амфиболом заполнено бледно-зеленым чешуйчатым хлоритом, образующим сланцеватую текстуру породы. Рудные минералы (об. %) представлены магнетитом (4–5), хром-магнетитом (2–3), кобальтином (1) и пиритом (2).

Призматические и длиннопризматические кристаллы зеленовато-бурого амфибола размером до 3 мм представлены кальциевыми разновидностями согласно классификации Лика и др. [10]: магнезиогастинситом и редко — чермакитом (рис. 4, а; табл. 2), замещающимися тремолитом и хлоритом. В реликтовых частях зерен наблюдается плеохроизм от бледно-коричневого до зеленовато-бурого. Содержания титана и хрома в минералах сильно варьируется (TiO₂ — 0–0.54; Cr₂O₃ — 0–1.19 мас. %). Роговые обманки характеризуются высокой магнезиальностью (Mg# — 0.97–1). Нередко можно наблюдать контакты между пироксеном и магнезиогастинситом (рис. 3, б).

Реликтовые зерна призматического бесцветного пироксена (рис. 4, с; табл. 3), размером до 2 мм, по составу отвечают авгиту и диопсиду (Wo_{44–47}En_{47–49}Fs_{4–9}) и имеют повышенную магнезиальность (Mg# — 0.85–0.91). Минерал замещается хлоритом и тремолитом (рис. 3, с). В виде включений пироксен изредка наблю-

Рис. 2. Фотографии шлифов метаультрамафита и метабазита, сделанные при одном никеле. Реликты кристаллов оливина и пойкилитовая структура в пироксен-амфибол-хлоритовой породе (а), фенокристалл паргасита (справа) в мусковит-альбит-клиноцизит-амфиболовой породе (б).

Условные обозначения [9]: Tlc-chl — тальк-хлорит, Mhs — магнезиогастингсит, Mag — магнетит, Czo — клиноцизит, Prg — паргасит, Act — актинолит, Ab — альбит, Mhb — магнезиальная роговая обманка, Ttn — титанит

Fig. 2. Photographs of thin sections of metaultramaphite and metabasite, taken with one nichols. Olivine crystal relics and poikilitic structure in pyroxene-amphibole-chlorite rocks (a), pargasite phenocryst (right) in muscovite-albite-epidote-amphibole rock (b). The photographs of the thin sections were taken with one nicol.

Legend [9]: Tlc-chl — talc-chlorite, Mhs — magnesiohastingsite, Mag — magnetite, Czo — clinzoisite, Prg — pargasite, Act — actinolite, Ab — albite, Mhb — magnesia hornblende, Ttn — titanite

Рис. 3. BSE изображения минералов в метаультрамафите (a–d) и метабазите (e, f). А — кристалл магнезиогастингсита с реликтовыми субизометричными включениями оливина, полностью замещенного тальк-хлоритом, b — контакт между магнезиогастингситом и клинопироксеном, c — замещение клинопироксена тремолитом, d — кристаллы хроммагнетита, e — фенокристалл паргасита, замещающегося титанитом, мусковитом, актинолитом и клиноцоизитом, f — магнезиальная роговая обманка с постепенным переходом в актинолит.

Условные обозначения [9]: Tlc-chl — тальк-хлорит, Mhs — магнезиогастингсит, Cpx — клинопироксен, Tr — тремолит, Mag — магнетит, Chr-mag — хроммагнетит, Czo — клиноцоизит, Prg — паргасит, Ms — мусковит, Act — актинолит, Ab — альбит, Mhb — магнезиальная роговая обманка, Ttn — титанит. 18 — порядковый номер актинолита в таблице 4; 1 — порядковый номер альбита в таблице 5

Fig. 3. BSE images of minerals in metaultramafic (a–d) and metabasite (e, f). A — crystal of magnesiohastingsite with relict subisometric inclusions of olivine completely replaced by talc-chlorite, b — contact between magnesiohastingsite and clinopyroxene, c — replacement of clinopyroxene with tremolite, d — crystals of chrommagnetite, e — phenocrystalline pargasite and titanite, f — actinolite with inclusions of magnesian hornblende.

Legend [9]: Tlc-chl — talc-chlorite, Mhs — magnesiohastingsite, Cpx — clinopyroxene, Tr — tremolite, Mag — magnetite, Chr-mag — chrommagnetite, Czo — clinozoisite, Prg — pargasite, Ms — muscovite, Act — actinolite, Ab — albite, Mhb — magnesian hornblende, Ttn — titanite. 18 — actinolite with the same serial number in table 4; 1 — albite with the same serial number in Table 5

дается в более крупных зернах амфибола — в магнезиогастингситах.

Тремолит представлен призматическими, длиннопризматическими и ромбовидными бесцветными зернами размером до 1 мм (табл. 2). Минерал развивается по оливину, пироксену и магнезиогастингситу.

В породе встречаются два вида хлорита: 1) бледно-зеленый низкоглиноземистый высокомагнезиальный (Al_2O_3 — 2.35–8.65; MgO — 32.79–34.17 мас. %) — тальк-хлорит (согласно классификации [7]) со слабым плеохроизмом и с серой интерференционной окраской в виде мелких чешуек (размером до 0.2 мм) развивается по оливину, пироксену и амфиболу, а также в межзерновом пространстве; 2) высокомагнезиальный хлорит (MgO — 31.18 мас. %) — пеннин с плеохроизмом от розовато-желтого до бледно-зеленого и с коричневой интерференционной окраской встречается реже и образует более крупные чешуйки размером до 1 мм (рис. 4, b).

Cr-Fe рудные минералы представлены магнетитом и хроммагнетитом (рис. 3, d; 4, d). Магнетит в виде мелкодисперсных частиц и мелких зерен (до 0.05 мм) развивается по реликтовому оливину и в межзерновом пространстве. Хроммагнетит более или менее равномерно распределен в породе в виде неправильных,

изометричных и кубической формы трещиноватых кристаллов и зерен размером до 0.1 мм. В хроммагнетитах (Cr_2O_3 — 20.45–23.56 мас. %) присутствуют примеси цинка, марганца и изредка титана (ZnO — 0.68–0.92; MnO — 1.51–1.88; TiO_2 — 0–0.18 мас. %). Пирит образует удлиненные измененные неправильной формы зерна размером до 0.3 мм. Кобальтин (CoAsS) встречается в виде кубических зерен размером до 1.5 мм. Минерал имеет примесь никеля и железа (Ni — 2.33–3.69; Fe — 1.96–2.53 мас. %) и замещается арсенатами кобальта, железа, магния и кальция.

Мусковит-альбит-клиноцоизит-амфиболовая порода имеет массивную текстуру и гранолепидонематобластовую, реликтовую порфировидную (?) микроструктуру (рис. 2, b). Породообразующие минералы в ней представлены (об. %) амфиболом (70), клиноцоизитом (15–20), альбитом (5–8) и мусковитом (5–8). Акцессорными минералами являются (об. %) титанит (2), апатит (до 1) и барит (менее 1), рудными — пирит (1–2), редкие зерна пирротина, халькопирита и галенита.

Порфировые выделения размером до 3 мм образуют зерна амфибола, имеющие неравномерную пятнистую окраску. Центральные буровато-коричневые

Таблица 2. Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты амфиболов из пироксен-амфибол-хлоритовой породы

Table 2. Chemical composition (wt %) and formula coefficients of amphiboles from pyroxene-amphibole-chlorite rock

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	45.80	50.32	45.91	44.12	44.58	44.94	44.80	45.71	45.47	45.78	45.46
TiO ₂	0.18	0.15	0.00	0.00	0.58	0.31	0.47	0.35	0.43	0.54	0.26
Al ₂ O ₃	12.51	7.73	13.08	13.11	11.53	11.03	12.29	10.22	11.80	11.79	10.97
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.34	1.00	1.19	0.79	1.24	1.16	0.84	0.92
FeO	6.24	5.34	5.96	6.56	6.37	6.10	6.46	6.55	6.52	6.53	5.91
MnO	0.16	0.25	0.19	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	18.03	19.76	18.11	17.65	17.02	17.56	17.06	18.11	17.77	17.88	18.18
CaO	11.75	12.11	11.75	10.42	11.42	11.37	11.52	11.24	11.57	11.63	11.17
Na ₂ O	3.15	2.40	3.30	3.64	3.04	2.85	2.72	2.99	2.34	2.72	2.25
K ₂ O	0.13	0.10	0.12	0.15	0.73	0.57	0.75	0.59	0.77	0.71	0.65
Сумма / Total	97.95	98.16	98.42	96.24	96.27	95.92	96.86	97.00	97.83	98.42	95.77
Si	6.41	6.98	6.39	6.24	6.43	6.46	6.39	6.50	6.39	6.41	6.47
Al	1.59	1.02	1.61	1.76	1.57	1.54	1.61	1.50	1.61	1.59	1.53
T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al	0.47	0.25	0.53	0.43	0.39	0.33	0.46	0.21	0.34	0.35	0.31
Ti	0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	0.03	0.05	0.04	0.05	0.06	0.03
Cr	0.00	0.00	0.00	0.04	0.11	0.14	0.09	0.14	0.13	0.09	0.10
Fe ³⁺	0.68	0.47	0.67	0.78	0.42	0.60	0.55	0.73	0.77	0.68	0.70
Fe ²⁺	0.05	0.15	0.02	0.00	0.35	0.13	0.23	0.05	0.00	0.09	0.00
Mn	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	3.76	4.09	3.76	3.72	3.66	3.76	3.63	3.84	3.72	3.73	3.86
C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Ca	1.76	1.80	1.75	1.58	1.77	1.75	1.76	1.71	1.74	1.74	1.70
Na	0.24	0.20	0.25	0.42	0.23	0.25	0.24	0.29	0.26	0.26	0.30
B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Na	0.62	0.45	0.64	0.58	0.62	0.55	0.51	0.54	0.38	0.48	0.32
K	0.02	0.02	0.02	0.03	0.13	0.10	0.14	0.11	0.14	0.13	0.12
A	0.64	0.46	0.66	0.61	0.75	0.65	0.65	0.64	0.52	0.61	0.44
#Mg	0.99	0.97	0.99	1	0.91	0.97	0.94	0.99	1	0.98	1

Продолжение таблицы 2 / Continuation of Table 2

Компоненты Components	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂	57.96	58.16	57.80	57.68	57.75	57.65	58.25	56.36	56.54	56.67
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	3.28	2.57	3.15	2.99	3.17	3.09	3.06	3.21	3.30	2.69
MnO	0.17	0.00	0.00	0.00	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	22.82	23.00	22.87	22.94	22.96	22.68	22.87	23.75	23.07	22.76
CaO	12.94	13.32	12.87	12.72	12.61	12.96	13.06	11.93	12.32	12.59
Na ₂ O	0.35	0.23	0.28	0.52	0.42	0.35	0.29	0.35	0.00	0.43
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.24	0.25	0.10	0.00	0.00	0.00	0.23
Сумма / Total	97.52	97.28	96.97	97.09	97.33	97.31	97.53	95.60	95.23	95.37
Si	7.94	7.99	7.95	7.94	7.92	7.94	7.98	7.76	7.85	7.93
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.22	0.03	0.24	0.18	0.30	0.16	0.13	0.37	0.38	0.20
Fe ²⁺	0.15	0.26	0.13	0.17	0.07	0.20	0.22	0.00	0.00	0.12
Mn	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	4.66	4.71	4.69	4.71	4.70	4.65	4.67	4.87	4.77	4.75
C	5.06	5.01	5.05	5.06	5.08	5.06	5.02	5.24	5.15	5.07
Ca	1.90	1.96	1.90	1.88	1.85	1.91	1.92	1.76	1.83	1.89
Na	0.09	0.04	0.07	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.00	0.11
B	1.99	2.00	1.97	2.00	1.96	2.00	1.99	1.85	1.83	2.00
Na	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
K	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04
A	0.00	0.02	0.00	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05

Примечание: 1–10 — магнезиогастингсит. 11 — чермакит. 12–21 тремолит. #Mg (магнезиальность) = Mg/Mg+Fe²⁺.

Note: 1–10 — magnesiogastingsite. 11 — chermakite. 12–21 tremolite. #Mg (magnesia) = Mg/Mg + Fe²⁺.

Рис. 4. Классификационные и идентификационные диаграммы для амфиболов (а), хлоритов (б), пироксенов (с) и хромшпинелидов (d) из мусковит-альбит-эпидот-амфиболовых (красные круги) и пироксен-амфибол-хлоритовых (синие круги) пород: а — $Si-Mg/Mg+Fe^{2+}$ [9]; б — $Si/O_{28}-Fe/O_{28}$ [6], в — $Enst-Woll-Fslt$ [10], d — $Al-Cr-Fe^{3+}$ [5]

Fig. 4. Classification and identification diagrams for amphibole (a), chlorites (b), pyroxenes (c) and chromspinelids (d) from muscovite-albite-epidote-amphibole (red circles) and pyroxene-amphibole-chlorite (blue circles) rocks: a — $Si-Mg/Mg+Fe^{2+}$ [9]; b — $Si/O_{28}-Fe/O_{28}$ [6], c — $Enst-Woll-Fslt$ [10], d — $Al-Cr-Fe^{3+}$ [5]

участки минерала соответствуют кальциевым амфиболам: паргаситу и эдениту (рис. 4, а). По краям минерал замещается светло-зеленой магнезиальной роговой обманкой и актинолитом. В межзерновом пространстве между порфировыми выделениями развиваются зерна клиноцоизита, актинолита и альбита размерами до 1–1.5 мм.

Фенокристаллы паргасита и эденита (рис. 3, е; табл. 4) имеют умеренную магнезиальность ($Mg\# = 0.64-0.69$). Паргасит характеризуется повышенным содержанием титана ($TiO_2 = 1.69-4.26$ мас. %) и хрома ($Cr_2O_3 = 0.23-0.49$ мас. %). В эдените этих элементов меньше ($TiO_2 = 1.51-2.44$; $Cr_2O_3 = 0-0.32$ мас. %). Минералы по трещинкам спайности замещаются титанитом и мусковитом.

Актинолит редко имеет примесь хрома ($Cr_2O_3 = 0-0.17$ мас. %) и не содержит титан, развивается по паргаситу и эдениту (табл. 4). Актинолит в централь-

ных частях зерен переходит в магнезиальную роговую обманку (рис. 3, f), которая имеет промежуточный состав между паргаситом и актинолитом ($TiO_2 = 0.27-1.54$; $Cr_2O_3 = 0.34-0.63$ мас. %).

Призматические зерна клиноцоизита ($FeO = 4.31-6.92$ %) размером до 0.2–0.3 мм образуют скопления между зернами амфибола и имеют микроскопические включения альбита. Иногда наблюдается зональное строение этого минерала: центральная часть зерен обогащена ванадием, хромом и титаном, а в краевых частях эти элементы отсутствуют.

Бесцветные чешуйки мусковита размером до 0.4–0.5 мм развиваются по трещинкам спайности в амфиболе, чаще в паргасите, а также между зернами эпидота, альбита и амфибола, имеют примесь хрома ($Cr_2O_3 = 0.25-0.66$ мас. %).

Альбит (1 % An , табл. 5) представлен табличками неправильной, вытянутой формы размером до 0.15–

Таблица 3. Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты пироксенов из пироксен-амфибол-хлоритовых пород**Table 3.** Chemical composition (wt %) and formula coefficients of pyroxenes from pyroxene-amphibole-chlorite rocks

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	51.46	52.93	51.78	53.26	51.50	53.60	52.50	52.18	52.46	54.85	53.86	51.66
TiO ₂	0.46	0.11	0.54	0.00	0.90	0.25	0.83	0.27	0.38	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	3.63	2.36	3.04	1.77	3.33	1.45	2.88	2.86	3.02	0.00	1.62	2.87
Cr ₂ O ₃	1.11	0.90	0.83	0.66	0.67	0.47	0.66	0.63	0.55	0.00	0.43	1.37
FeO	4.83	4.74	4.68	4.65	5.24	4.37	5.07	4.99	4.99	2.83	4.62	4.84
MnO	0.14	0.20	0.20	0.23	0.20	0.18	0.19	0.19	0.22	0.00	0.00	0.00
MgO	16.03	16.63	16.11	16.52	16.40	16.94	16.56	16.54	16.43	18.10	17.08	16.49
CaO	21.61	21.46	21.79	21.85	21.10	22.58	21.26	21.63	21.93	24.23	21.94	20.95
Na ₂ O	0.44	0.47	0.48	0.36	0.40	0.22	0.47	0.24	0.32	0.00	0.35	0.00
Si	1.89	1.94	1.90	1.96	1.89	1.96	1.91	1.92	1.91	1.99	1.97	1.93
Ti	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Al	0.16	0.10	0.13	0.08	0.14	0.06	0.12	0.12	0.13	0.00	0.07	0.13
Fe ³⁺	0.04	0.03	0.04	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00
Cr	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.04
Fe ²⁺	0.11	0.12	0.10	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.07	0.13	0.15
Mn	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Mg	0.88	0.91	0.88	0.91	0.90	0.92	0.90	0.91	0.89	0.98	0.93	0.92
Ca	0.85	0.84	0.86	0.86	0.83	0.88	0.83	0.85	0.86	0.94	0.86	0.84
Na	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00
#Mg	0.86	0.86	0.86	0.85	0.85	0.87	0.85	0.86	0.85	0.91	0.87	0.85
t (°C) [12]	1051	1041	1039	1042	1040	969	1042	1041	1058	763	1062	1093
t (°C) [13]	995	991	996	987	987	992	989	975	977	1026	988	990
P (кбар) [14]	4.5	5.6	7.3	5.8	7.1	4.9	5.4	6.0	7.7	4.6	4.8	6.2

Таблица 4. Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты амфиболов из мусковит-альбит-клиноцоизит-амфиболовых пород**Table 4.** Chemical composition (wt %) and formula coefficients of amphiboles from muscovite-albite-clinzoisite-amphibole rocks

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	42.94	42.33	42.76	43.82	44.10	43.46	43.53	43.17	42.64	47.06	44.54
TiO ₂	3.15	1.69	2.14	2.88	2.87	2.91	3.38	4.26	3.83	1.51	1.57
Al ₂ O ₃	11.56	12.05	12.20	11.73	11.76	12.58	12.58	12.31	11.54	9.81	10.11
Cr ₂ O ₃	0.00	0.49	0.28	0.41	0.42	0.28	0.34	0.23	0.38	0.32	0.00
FeO	11.46	11.42	11.04	10.75	11.42	11.72	11.65	11.26	11.22	10.90	10.78
MnO	0.00	0.00	0.28	0.00	0.30	0.00	0.23	0.24	0.19	0.30	0.30
MgO	11.78	11.82	11.47	12.82	12.15	12.17	11.76	11.83	11.94	13.42	12.84
CaO	10.96	11.63	10.78	11.55	11.25	11.23	11.16	11.02	11.01	11.57	10.95
Na ₂ O	2.21	2.44	2.40	2.33	2.40	2.43	2.68	2.41	2.27	2.12	2.18
K ₂ O	0.68	0.58	0.77	0.69	0.71	0.84	0.64	0.66	0.77	0.67	0.73
Сумма / Total	94.74	94.45	94.12	96.98	97.38	97.62	97.95	97.39	95.79	97.68	94.00
Si	6.48	6.43	6.49	6.45	6.48	6.37	6.37	6.34	6.38	6.83	6.73
Al	1.52	1.57	1.51	1.55	1.52	1.63	1.63	1.66	1.62	1.17	1.27
T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al	0.53	0.59	0.67	0.48	0.52	0.55	0.54	0.47	0.41	0.51	0.53
Ti	0.36	0.19	0.24	0.32	0.32	0.32	0.37	0.47	0.43	0.16	0.18
Cr	0.00	0.06	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.00
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
Fe ²⁺	1.45	1.45	1.40	1.32	1.40	1.41	1.43	1.38	1.40	1.32	1.30
Mn	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04
Mg	2.65	2.68	2.59	2.81	2.66	2.66	2.56	2.59	2.66	2.91	2.89
C	4.98	4.96	4.98	4.98	4.98	5.00	4.97	4.97	4.98	4.98	5.00
Ca	1.77	1.89	1.75	1.82	1.77	1.76	1.75	1.73	1.76	1.80	1.77
Na	0.23	0.11	0.25	0.18	0.23	0.24	0.25	0.27	0.24	0.20	0.23
B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Na	0.42	0.61	0.46	0.48	0.45	0.46	0.51	0.42	0.42	0.40	0.41
K	0.13	0.11	0.15	0.13	0.13	0.16	0.12	0.12	0.15	0.12	0.14
A	0.55	0.72	0.61	0.61	0.59	0.61	0.63	0.54	0.57	0.52	0.55
#Mg	0.65	0.65	0.65	0.68	0.65	0.65	0.64	0.65	0.65	0.69	0.69

Продолжение таблицы 4 / Continuation of table 4

Компоненты Components	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SiO ₂	44.50	43.12	47.84	52.03	52.56	57.15	55.71	52.49	56.13	54.56	53.95
TiO ₂	2.29	2.44	1.33	0.23	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	10.70	11.08	6.83	5.11	5.04	0.71	2.17	3.93	0.00	2.27	3.64
Cr ₂ O ₃	0.24	0.31	0.63	0.33	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	10.77	10.94	10.02	8.78	8.76	7.68	7.17	6.43	7.27	7.23	6.84
MnO	0.31	0.25	0.00	0.17	0.00	0.00	0.16	0.60	0.15	0.00	0.27
MgO	12.69	12.39	14.55	16.83	16.96	19.23	18.79	16.77	19.06	18.61	17.98
CaO	11.15	11.22	11.92	11.84	12.17	13.05	12.56	11.19	13.02	12.17	11.72
Na ₂ O	2.14	2.08	1.39	1.44	1.24	0.00	0.61	1.00	0.00	0.57	1.12
K ₂ O	0.64	0.85	0.53	0.30	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
Сумма / Total	95.43	94.68	95.04	97.06	98.47	92.59	97.17	92.41	95.63	95.41	95.63
Si	6.63	6.51	7.10	7.43	7.42	7.66	7.84	7.75	8.03	7.79	7.71
Al	1.37	1.49	0.90	0.57	0.58	0.12	0.16	0.25	0.00	0.21	0.29
T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.79	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al	0.51	0.48	0.29	0.29	0.26	0.00	0.20	0.43	0.03	0.17	0.32
Ti	0.26	0.28	0.15	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.03	0.04	0.07	0.04	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	0.39	0.01	0.00	0.00	0.15	0.05
Fe ²⁺	1.33	1.37	1.24	0.92	1.03	0.56	0.83	0.79	0.87	0.71	0.76
Mn	0.04	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.08	0.02	0.00	0.03
Mg	2.82	2.79	3.22	3.58	3.57	4.24	3.94	3.69	4.06	3.96	3.83
C	5.00	5.00	4.98	5.00	5.00	5.21	5.00	4.99	4.98	5.00	5.00
Ca	1.78	1.82	1.89	1.81	1.84	2.07	1.89	1.77	1.99	1.86	1.79
Na	0.22	0.18	0.11	0.19	0.16	0.00	0.11	0.23	0.00	0.14	0.21
B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.07	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00
Na	0.40	0.42	0.29	0.21	0.18	0.00	0.06	0.06	0.00	0.02	0.10
K	0.12	0.16	0.10	0.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
A	0.52	0.59	0.39	0.26	0.26	0.00	0.06	0.06	0.00	0.02	0.12
#Mg	0.68	0.67	0.72	0.79	0.78	0.88	0.83	0.82	0.82	0.85	0.83
t (°C) [8]	Не опр. n/d	Не опр. n/d	Не опр. n/d	Не опр. n/d	Не опр. n/d	–	434	404	380	445	468

Примечание: 1–10 — паргасит, 11–13 — эденит, 14–16 — магнезиальная роговая обманка, 17–22 — актинолит. #Mg (магнезиальность) = Mg / (Mg + Fe²⁺).

Note: 1–10 — pargasite, 11–13 — edenite, 14–16 — magnesian hornblende, 17–22 — actinolite. #Mg (magnesia) = Mg / (Mg + Fe²⁺).

Таблица 5. Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты плагиоклазов из мусковит-альбит-клинозоизит-амфиболовых пород

Table 5. Chemical composition (wt %) and formula coefficients of plagioclases from muscovite-albite-clinozoisite-amphibole rocks

№ п/п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	Сумма / Total	Si	Al	Fe	Ca	Na
1	66.43	19.17	0.21	0.21	10.51	96.52	2.9	1.02	0.01	0.01	0.92
2	68.3	19.49	0	0.18	10.7	98.67	3.01	1.01	0	0.01	0.91

0.3 мм в межзерновом пространстве, а также мелкими включениями в эпидоте. Он не имеет полисинтетических двойников.

Пирит встречается в виде зерен неправильной формы размером до 1 мм и мелких изометричных образований (в этом случае имеет примесь Со) размером до 0.03 мм с включениями минерала алтаита (PbTe) с примесью серебра или в сростании с самородным серебром.

Обсуждение результатов

Петрографические и минералогические исследования показали, что в изучаемых породах можно распознать образования магматического происхождения, а также минеральные парагенезисы, сформировавшиеся при метаморфических процессах.

Наиболее проблематичным минералом является амфибол, который широко распространен в метаморфических породах и реже встречается в магматических образованиях.

На рис. 4, а точки составов амфиболов из изучаемых пород разделены на три группы в зависимости от генезиса. Паргаситы и эдениты (I группа) мусковит-альбит-клинозоизит-амфиболовых пород, встречающиеся в виде сильно измененных реликтовых зерен, имеют коричневую окраску и высокую титанистость, поэтому могут иметь магматическое происхождение. Магнезиогастингситы и чермакиты (II группа) пироксен-амфибол-хлоритовых пород имеют низкую титанистость и являются либо позднематматическими, либо метаморфическими образованиями. Магнезиальная

роговая обманка в обоих типах пород занимает промежуточный состав между высокоглиноземистыми кальциевыми амфиболами и актинолитом, а также тремолитом (III группа). Составы их, возможно, получены в точках замещения одних другими или же этот амфибол означает собой метаморфические изменения.

В мусковит-альбит-эпидот-амфиболовой породе паргасит и эденит образуют реликтовую порфировидную структуру, что может указывать на гипабиссальную природу формирования измененного магматита. Альбит, клиноцоизит, актинолит, мусковит и титанит характеризуют поздние метаморфические процессы. Альбит с низким содержанием анортитового компонента, клиноцоизит и низкоглиноземистый актинолит являются индикаторными минералами фации зеленых сланцев и, скорее всего, сформировались в один этап низкотемпературного преобразования пород. Альбит и клиноцоизит с мелкими включениями альбита могли сформироваться за счет первичного магматического основного плагиоклаза. Вычисленные значения температур по альбиту и актинолиту согласно плагиоклаз-амфиболовому геотермометру [8] составляют 468–380 °C (табл. 4). Давление оценено при помощи барометра Брауна [6], разработанного для кальциевых амфиболов низких и средних ступеней метаморфизма (рис. 5). Точки составов актинолитов соответствуют значениям давления 2–3 кбар.

В пироксен-амфибол-хлоритовой породе в качестве магматических минералов выступают оливин и, возможно, клинопироксен. Заполненность всего пространства породы этими минералами (в том числе и магнезиогастингситом), т.е. предположительно отсутствие стекловатой массы, может являться свидетельством плутонической природы метаультрамафита. Идиоморфный оливин, скорее всего, представлял собой раннюю кумулятивную фазу.

Если принять, что клинопироксен является минералом, кристаллизовавшимся из расплава, то можно использовать пироксеновые геотермометры для вы-

явления Р–Т-условий его формирования. Согласно пироксеновому геотермометру Р. Л. Нильсона и М. Дж. Дрейка [13], в котором при расчетах учитываются составы пироксена и расплава (породы), значения температур (табл. 3) составляют 1026–975 °C (t_{cp} — 991 °C). Геобарометр П. Нимиса и П. Улмера [14] применим к широкому спектру природных клинопироксенов в основных и ультраосновных породах. По этому геобарометру значения давления кристаллизации клинопироксенов из метаультрамафита составляют 4.5–7.7 кбар (P_{cp} — 6 кбар). Значения температур, полученные при помощи пироксенового геотермометра П. Нимиса и В. Р. Тейлора [12] при фиксированном давлении 5 кбар (табл. 3), соответствуют значениям — 1093–763 °C (t_{cp} — 1030 °C), что согласуется с результатами геотермометра [13].

Метаморфические парагенезисы в пироксен-амфибол-хлоритовых породах представлены тремолитом, тальк-хлоритом, пеннином, хроммагнетитом и магнетитом, которые характеризуют низкотемпературные изменения. Хроммагнетит и магнетит — это вторичные хромшпинелиды, которые сформировались, скорее всего, по первичным хромшпинелидам в результате выноса из них алюминия и хрома. Реликты первичных хромшпинелидов и сульфидов не сохранились в породе. Хлорит является характерным минералом фации зеленых сланцев. Тремолит, тальк-хлорит и пеннин, скорее всего, находятся в парагенезисе, так как совместно замещают более ранние минералы. Повидимому, минеральная ассоциация альбит-актинолит-клиноцоизит в метабазите и тремолит-хлорит в метаультрамафите сформировались в один этап низкотемпературного преобразования пород.

Выводы

Изучение петрографических и минералогических особенностей пироксен-амфибол-хлоритовых (метаультрамафит) и мусковит-альбит-клиноцоизит-амфиболовых (метабазит) пород показало, что в них реконструируются ранние магматические парагенезисы и поздние — метаморфические. Структурные, текстурные и минералогические особенности метаматитов свидетельствуют о плутонической природе метаультрамафита и гипабиссальной — метабазита. В метабазите реликтовыми магматическими минералами являются, скорее всего, паргасит и эденит. Актинолит, клиноцоизит и альбит представляют парагенезис минералов, сформировавшихся при низкотемпературном метаморфизме зеленосланцевой фации (t — 468–380 °C, P — 2–3 кбар). В метаультрамафите ранними магматическими минералами выступает оливин, полностью замещенный тремолитом и хлоритом, и, возможно, клинопироксен. Магнезиогастингсит мог образоваться на позднемагматическом или метаморфическом этапе преобразования пород. Тремолит, хлорит и магнетит являются низкотемпературными метаморфическими образованиями, сформировавшимися, скорее всего, в один этап с актинолитом, клиноцоизитом и альбитом из метабазита.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (проект № АААА-А17-117121270035-0).

Рис. 5. Положение точек составов актинолитов из мусковит-альбит-эпидот-амфиболовой породы на диаграмме $Na^{M4}-Al^{IV}$ [6]

Fig. 5. Position of points of composition of actinolites from muscovite-albite-epidote-amphibole rock on the $Na^{M4}-Al^{IV}$ diagram [6]

Литература

1. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-I, II (Лаборова). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 372 с.
2. Зылёва Л. И., Коновалов А. Л., Казак А. П., Жданов А. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 (Салехард). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014, 396 с.
3. Иванов С. Д. Интерактивный реестр геосенсоров на основе веб-приложения // Компьютерные исследования и моделирование, 2016. Т. 8. № 4. С. 621–632.
4. Шишкин М. А., Файбусович Я. Э., Шкарубо С. И., Назаров Д. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист R-42 (п-ов Ямал). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 366 с.
5. Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Геологического института РАН, 1949. Вып. 103. 91 с.
6. Brown E. H. The crosstie-content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism // J. Petrol. 1977. V. 18. N. 1. P. 53–72.
7. Hey M. H. A new review of chlorites // Min. Mag., 1954. V. 30, P. 277–292.
8. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // Contrib. Mineral. Petrol., 1994. V. 116. P. 433–447.
9. Kretz R. Symbols for rock-forming minerals // Amer. Miner., 1983.
10. Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names // Canadian Mineralogist, 1997. V. 35, P. 219–246.
11. Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K. et al. Nomenclature of Pyroxenes // American Mineralogist, 1988. V. 73. P. 1123–1133.
12. Nimis P. and Taylor W. R. Single Clinopyroxene Thermobarometry for Garnet Peridotites. Part I. Calibration and Testing of the Cr-in-Cpx Barometer and an Enstatite-in-Cpx Thermometer // Contributions to Mineralogy and Petrology, 2000. V. 139. P. 541–554. doi: 10.1007/s004100000156.
13. Nielsen, R. L., Drake M. J. Pyroxene — melt equilibria // Geochim. Cosmochim. Acta, 1979. V. 43. P. 1259–1272. doi:10.1016/0016-7037(79)90117-0.
14. Nimis, P., and Ulmer, P. Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks Part 1: An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems // Contributions to Mineralogy and Petrology, 1998. V. 133. P. 122–135.
15. Yavuz F. WinPyrox A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry. American mineralogist, 2013. V 98. P. 1338–1359. DOI: 10.2138/am.2013.4292

References

1. Dushin V. A., Serdjukova O. P., Maljugin A. A. et al. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Izdanie vtoroe. Serija Poljarno-Ural'skaja.

List R Q-42-I, II (Laborovaja). Objasnitel'naja zapiska (State Geological Map of the Russian Federation, scale 1: 200,000. Second edition. The Polar-Ural series. Sheet Q-42-I, II (Labor). Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2009, 372 pp.

2. Zyljova L. I., Konovalov A. L., Kazak A. P., Zhdanov A. V. i dr. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Serija Zapadno-Sibirskaja. List Q-42. Objasnitel'najazapiska. (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (third generation). West Siberian Series. Sheet Q-42. Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2014, Salekhard, 396 pp.

3. Ivanov S. D. Interaktivnyj reestr geosensorov na osnove veb-prilozhenija. Kompjuternye issledovanija i modelirovanie. (Interactive register of geosensors based on a web application. Computer Research and Modeling) 2016, V. 8, No. 4, pp. 621–632.

4. Shishkin M. A., Fajbusovich Ja. Je., Shkarubo S. I., Nazarov D. V. i dr. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Zapadno-Sibirskaja. List R-42 — p-ov Jamal. Objasnitel'naja zapiska (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (third generation). Series West Siberian. Sheet R-42 — Yamal Peninsula. Explanatory note). St. Petersburg: Kartograficheskaja fabrika VSEGEI, 2015, 366 pp.

5. Pavlov N. V. Himicheskij sostav hromshpinelidov v svjazi s petrograficheskim sostavom porod ul'traosnovnyh intruzivov. Trudy Geologicheskogo instituta RAN (Chemical composition of Cr-spinels in connection with the petrographic composition of rocks of ultrabasic intrusions. Transactions of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences), 1949, 103, 91 pp.

6. Brown E. H. The crosstie-content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. E. H. Brown. J. Petrol., 1977, V. 18, No. 1, pp. 53–72.

7. Hey M. H. A new review of chlorites: Min. Mag., 1954, V. 30, pp. 277–292.

8. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. Contrib. Mineral. Petrol., 1994, V.116, pp. 433–447.

9. Kretz R. Symbols for rock-forming minerals. Amer. Miner., 1983.

10. Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. Canadian Mineralogist, 1997, V. 35, pp. 219–246.

11. Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K. et al. Nomenclature of Pyroxenes. American Mineralogist, 1988, 73, pp. 1123–1133.

12. Nimis P. and Taylor W. R. Single Clinopyroxene Thermobarometry for Garnet Peridotites. Part I. Calibration and Testing of the Cr-in-Cpx Barometer and an Enstatite-in-Cpx Thermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2000, V. 139, pp. 541–554. doi: 10.1007/s004100000156.

13. Nielsen, R. L., Drake M. J. Pyroxene?melt equilibria, Geochim. Cosmochim. Acta, 1979. V. 43, 1259–1272, doi: 10.1016/0016-7037(79)90117-0.

14. Nimis, P., and Ulmer, P. Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks Part 1: An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1998, V. 133, pp. 122–135.

15. Yavuz F. WinPyrox A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry. American mineralogist, 2013, V 98, pp. 1338–1359. Doi: 10.2138/am.2013.4292.

Received / Поступила в редакцию 17.03.2021