

УДК 552.16-549.6

МЕТАСОМАТИТЫ ОСНОВНОГО И СРЕДНЕГО СОСТАВА ИЗ НЯШЕВСКОГО СЕРПЕНТИНИТОВОГО МАССИВА (ИЛЬМЕНСКИЕ ГОРЫ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© Е. В. Медведева*, А. Б. Немов*, В. А. Котляров**

**Ильменский государственный заповедник
456317, г. Миасс, Ильменский заповедник
E-mail: mev_62@inbox.ru*

***Институт минералогии УрО РАН
456317, г. Миасс, Ильменский заповедник*

Поступила в редакцию 14.04.2015 г.

Принята к печати 06.07.2015 г.

В статье приведены результаты изучения метасоматитов среднего и основного состава, пространственно совмещенных с мафит-ультрамафитовыми породами Няшевского массива. Тектурно-структурные особенности этих пород позволяют отнести их к тектонитам – милонитам и протомилонитам. Минералого-геохимические особенности пород фиксируют полицикличность процессов метаморфизма, сопровождающихся метасоматическими преобразованиями. Метасоматиты среднего состава (аподиоритовые) характеризуются первично магматической природой с последующим метаморфизмом, милонитизацией и метасоматическими преобразованиями (жедрит, куммингтонит (800–700°C, 2–5 кбар)). Метасоматиты основного состава (апогабброидные?) являются продуктами милонитизации и метасоматоза, сформировавшимися под влиянием флюида? инициирующего мобильность таких компонентов, как Al, Ti, K, Ba и ЛРЗЭ. На финальных этапах преобразования отчетливо фиксируется привнос магния из вмещающих их серпентинитов (жедрит и высокомагнезиальный энстатит). Эти метасоматиты обнаруживают петрогеохимическую связь с породами сиенит-карбонатитовой ассоциации.

Ключевые слова: *мафит-ультрамафитовая ассоциация, милониты, метаморфизм, метасоматоз, алюмоэнстатит, жедрит, куммингтонит.*

ВВЕДЕНИЕ

Массивы ультрабазитов занимают особое место в составе складчатых областей. Большинство исследователей считают, что эти породы внедряются на самой ранней стадии формирования складчатой системы (Кузнецов, 1964). Породы мафит-ультрамафитовой ассоциации, входящие в состав метаморфических комплексов, несут информацию о геодинамических условиях формирования и метаморфической истории, а также являются источниками платины и хрома. Концепция происхождения мафит-ультрамафитовой ассоциации ильменогорского комплекса изменялась на протяжении последних десятилетий от отнесения их к раннегеосинклинальной дунит-гарцбургитовой (офиолитовой) формации (Доминиковский, 1971) к рифтогенным мафит-ультрамафитовым массивам (Варлаков и др., 1998), а затем к части щелочно-ультраосновной интрузии центрального типа, сформировавшейся в краевой части платформы (Русин, 2006). Последнее предположение основано на минералого-геохимических особенностях по-

род вишнево-ильменогорского полиметаморфического комплекса.

Няшевский массив, сложенный породами мафит-ультрамафитовой ассоциации, расположен в средней части Ильменских гор, которые являются южным сегментом ильмено-вишневогорского полиметаморфического комплекса (рис. 1). Он образует тело овальной формы (1.6 × 0.8 км), сложенное серпентинитами и обрамленное с запада серповидным телом амфиболитов (рис. 2). Вмещающие породы – милонитизированные гнейсы. Внутреннее строение его осложняется тектоническими нарушениями и широким развитием тел пегматоидного облика, в том числе и гранитных пегматитов (Варлаков и др., 1998). Няшевский массив представляет особый интерес для исследования, так как содержит среди серпентинитов тела среднего (аподиоритового) и основного (апогабброидного?) состава. Породы среднего состава, приуроченные к восточному контакту массива, представляют собой “инъекционные тела, продуцированные гранитом” (Постоев, 1949), в северо-восточной части они располагаются среди серпентинитов. Дайкоподобное

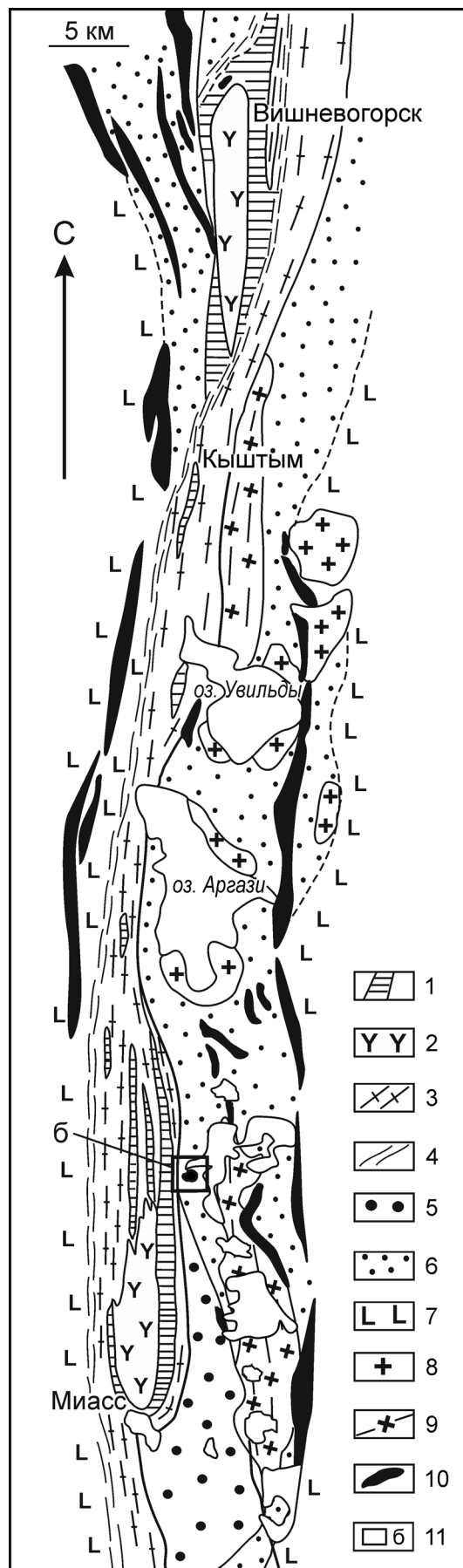


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ильмено-вишневогорского полиметаморфического комплекса по (Русин и др., 2006а).

1 – селяннинская амфиболит-гнейсово-плаггиомигматитовая серия (AR-PR₁); 2 – массивы миаскитов (O₂); 3 – милониты гранитоидного и сиенитового состава (P₂-T₁(?)); 4 – милониты Кыштымского сдвига-надвига; 5 – еланчиковская толща – тектониты гранитоидного состава; 6 – сайтовская серия, метатерригенная; 7 – зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 8 – Увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz₃); 9 – гнейсовидные граниты Кисегачского комплекса; 10 – метагипербазиты; 11 – участок работ.

Fig. 1. Schematic geological map Ilmeno-Vishnevogorsk polymetamorphic complex after (Русин и др., 2006а).

1 – Archean-Early Proterozoic Selyankino Group of amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks (AR-PR₁); 2 – Middle Ordovician miaskite; 3 – Middle Permian-Early Triassic (?) mylonites of granitoid and syenite composition; 4 – mylonites of the Kyshtym shear-thrust; 5 – Jelanchik sequence of granitoid tectonites; 6 – Saitovo sequence of metaterrigenous rocks; 7 – greenschist volcano-sedimentary complexes of the West Magnitogorsk and Aramil'-Sukhteli zones; 8 – Late Paleozoic Uvil'dy monzogranitic complex; 9 – gneissic granites of the Kisegach complex; 10 – metaultramafic rocks; 11 – studied area.

тело пород основного состава, описанное как “га-стингситовые сиениты” (Постоев, 1955)¹, расположено в центральной части массива (коп 214). В небольшом скальном обнажении близ юго-западного контакта массива располагаются коренные выходы дезинтегрированных “габброидов” (коп 213), описанных Ф.Н. Омельченко (1950)² как тела сиенитового состава.

Породы среднего и основного состава, находящиеся в пространственной близости от серпентинитов Няшевского массива или среди них, относятся к умеренно-щелочным разновидностям с различным соотношением Na/K (табл. 1). Изучение минералогическо-геохимических особенностей этих пород позволит решить вопрос генезиса, установить последовательность минеральных ассоциаций и определить роль процессов метасоматоза и флюида, образовавшегося, вероятно, при активизации регионального сдвига.

¹ Постоев К.И. Петрография кислых и изверженных горных пород Ильменского государственного заповедника // Рукопись. Фонды ИГЗ, 1955. 134 с.

² Омельченко Ф.Н. Отчет о минералогической съемке в средней и северной частях Ильменского заповедника // Фонды ИГЗ, 1950. 181 с.

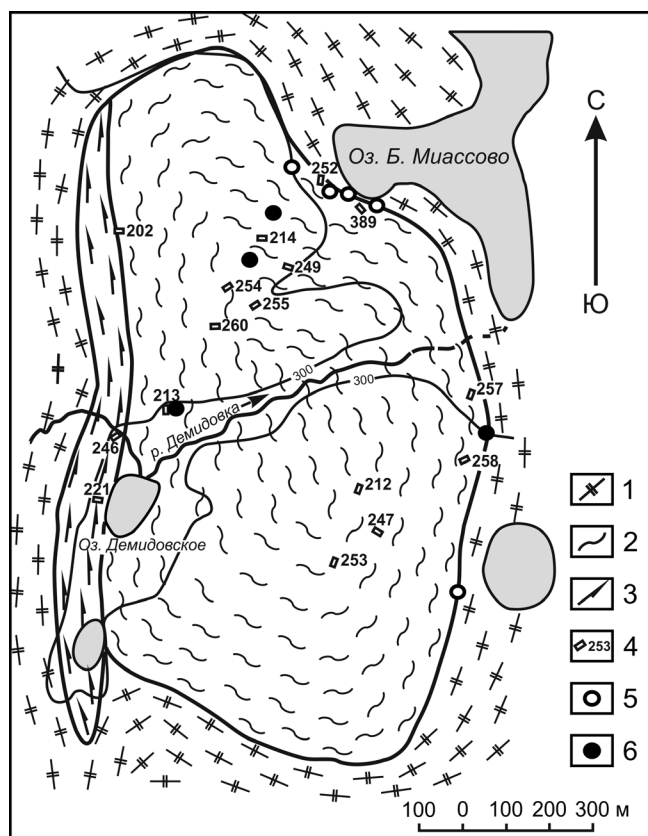


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Няшевского массива по данным (Кораблев, Крайнев, 2007) с дополнениями авторов.

1 – милонитизированные гранитогнейсы; 2 – нерасчлененные серпентиниты; 3 – амфиболиты (метагабброиды); 4 – копи и зачистки; 5, 6 – точки наблюдения пород: 5 – среднего, 6 – основного состава.

Fig. 2. Schematic geological map of Nyashevo massif after (Кораблев, Крайнев, 2007), modified by authors.

1 – mylonitic granite-gnaiss; 2 – unspecified serpentinites; 3 – amphibolites (methagabbro); 4 – mine; 5, 6 – observation point of rocks: 5 – medium, 6 – mafic compositions.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав пород был определен следующими методами: атомно-абсорбционным (аналитики: Л.Б. Лапшина, Н.В. Шаршueva) – петрогенные элементы, ICP-MS (аналитики К.А. Филипова, М.С. Свиренко) – редкоземельные редкие и рассеянные элементы. Микронзондовые анализы составов минералов выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой LZ Link Systems с Si-Li детектором (ИМин УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). Стандарты: амфибол № 111356 (ферримagneзиогорнблендит); слюда STD19 “Astimex scientific limited”, при разрешении детек-

тора 160 эВ, ускоряющем напряжении 20–30 кВ, силе тока 3×10^{-3} А, диаметре пучка 1–2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы “Magellanes”. Микроскопическое описание прозрачных шлифов проводилось на микроскопах Olympus BX 51 и Nikon Eclipse E200 POL.

Для определения минеральных видов отдельных групп минералов были применены классификации, утвержденные КНМ ММА (Лик и др., 1997; Никандров и др., 1999; Моримото и др., 1989; Риддер и др., 1998).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПОРОД СРЕДНЕГО И ОСНОВНОГО СОСТАВА

Породы среднего состава расположены на северо-восточном и восточном контактах Няшевского массива (см. рис. 2). Они образуют дайкоподобные тела, сложенные крупно-среднезернистыми светло-серыми породами, которые фрагментарно пронизаны пегматоидными кварц-полевошпатовыми жилами. Характер контакта этих пород с серпентинитами резкий, а с гранито-гнейсами – постепенный. Мощность тел 2–5 м, протяженность – первые десятки метров.

Породы основного состава обнажаются в центре серпентинитового массива (копь 214, рис. 3а). Они представлены серией тел имеющих северо-восточное простирание мощностью до первых метров общей протяженностью до первых сотен метров. Тела этих пород кулисообразно смещены относительно друг друга в широтном направлении (см. рис. 3б). Они характеризуются средне-мелкозернистой структурой, цвет их от темно-серого (биотитовые разновидности) до светло-серого с пятнистой текстурой (рис. 4а, б). Визуально их легко принять за сиениты, однако их минеральный и химический состав соответствует породам мафитовой группы. Часто в центральной части тел располагаются кварц-полевошпатовые жилы пегматоидного облика (рис. 4в).

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

Породы среднего состава по петрографическим особенностям строения относятся к классу тектонитов-милонитов и протомилонитов (Trouw et al., 2010), а по составу близки к диоритам (Петрографический кодекс..., 2008). Они состоят преимущественно из крупных зерен полевых шпатов – трещиноватых, деформированных порфиорокlastов, разбитых на обломки, и более мелких зерен матрикса, где кроме следов деформационных процессов проявлена рекристаллизация. Все минералы имеют деформационные признаки – волнистое погасание, изогнутые плоскости двойникования для плагиоклазов, мозаичное погасание и червеобразное удлинение зерен кварца, завальцовыва-

Таблица 1. Химический состав (мас. %) и элементы-примеси (г/т) пород Няшевского массива
Table 1. The chemical composition (wt %) and rare elements (ppm) of Nyashevo massif rocks

Компо- нент	I			II			III										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂	40.32	39.67	39.92	40.32	61.78	65.82	63.98	43.94	51.06	47.48	44.68	45.99	46.64	43.38	42.7	47.98	44.54
TiO ₂	0.29	0.17	0.05	0.05	0.45	0.64	0.84	2.28	1.42	1.52	2.08	1.45	1.43	1.85	1.86	1.62	1.86
Al ₂ O ₃	1.77	1.46	0.67	1.88	15.33	16.19	16.6	15.32	16.06	15.67	15.94	13.71	13.62	14.68	14.7	12.71	14.42
Fe ₂ O ₂	4.31	4.12	4.60	5.73	2.62	1.56	1.50	5.17	3.36	4.28	4.50	5.22	5.31	3.58	4.70	4.52	3.56
FeO	0.98	0.98	0.96	1.56	1.34	2.51	3.14	3.83	4.21	3.59	3.57	1.44	1.32	3.71	3.71	3.17	5.09
MnO	0.08	0.08	0.12	0.13	0.04	0.04	0.03	0.17	0.16	0.16	0.14	0.14	0.15	0.15	0.13	0.15	0.15
MgO	29.67	32.7	37.53	38.83	4.40	1.36	1.88	9.20	4.95	8.18	10.15	14.71	14.05	13.34	13.1	9.99	9.85
CaO	4.28	3.24	0.96	0.52	1.50	3.30	3.64	7.20	5.92	5.92	5.77	2.28	2.58	2.16	2.30	6.16	8.00
Na ₂ O	0.50	0.50	0.16	0.20	3.54	5.00	4.80	2.50	2.90	3.18	2.58	2.38	2.58	2.16	2.30	0.78	2.90
K ₂ O	0.08	0.07	0.02	0.04	5.34	1.66	1.70	4.42	6.68	4.56	3.94	4.30	3.90	3.38	3.62	6.60	3.62
H ₂ O	0.22	0.28	0.78	0.8	0.48	0.16	0.08	0.16	0.10	0.14	0.12	0.26	0.20	0.18	0.18	0.26	0.48
П.п.п.	16.44	16.62	13.56	9.16	0.24	0.58	0.88	3.78	1.78	3.94	4.60	7.54	7.74	5.78	4.62	1.40	3.24
P ₂ O ₅	0.31	0.13	0.09	0.09	2.20	0.25	0.32	1.48	0.76	0.92	1.22	0.80	0.58	1.08	1.22	3.92	1.68
Σ	99.25	100.11	99.34	99.26	99.26	99.32	99.39	99.45	99.36	99.54	99.29	100.21	100.27	99.39	99.38	99.26	99.39
La	103	4.81	2.37	1.20	158	289	46.6	103	82.5	H.o.	104	42.3	42.8	86.8	H.o.	2.18	96.1
Ce	239	5.48	1.19	0.81	261	501	76.2	239	202	H.o.	215	95.1	97.8	186	H.o.	3.39	220
Pr	27.3	0.84	0.22	0.153	24.19	46.1	6.89	27.3	24.1	H.o.	25.5	11.5	12.2	24.2	H.o.	0.349	24.8
Nd	107	3.08	0.93	0.70	72.6	140	23.6	107	93.2	H.o.	99.3	46.5	49.8	85.7	H.o.	1.10	101
Sm	17.5	0.68	0.179	0.172	8.67	15.5	3.25	17.5	15.4	H.o.	15.5	9.91	10.1	12.9	H.o.	0.18	16.4
Eu	4.07	0.121	0.063	0.073	1.77	2.52	1.05	4.07	3.67	H.o.	3.61	1.57	1.98	3.74	H.o.	0.37	3.95
Gd	13.2	0.69	0.149	0.129	7.61	13.6	3.09	13.2	12.3	H.o.	12.1	9.00	8.65	10.1	H.o.	0.165	12.5
Tb	1.17	0.074	0.016	0.012	0.51	0.83	0.26	1.17	1.20	H.o.	0.98	1.21	1.04	1.16	H.o.	0.02	1.04
Dy	5.12	0.45	0.115	0.132	2.06	3.08	1.17	5.12	5.51	H.o.	4.54	6.48	5.82	4.36	H.o.	0.11	4.69
Ho	0.95	0.093	0.038	0.024	0.37	0.53	0.27	0.95	1.08	H.o.	0.89	1.40	1.21	0.76	H.o.	0.02	0.90
Tm	0.30	0.050	0.021	0.010	0.120	0.144	0.100	0.30	0.37	H.o.	0.26	0.58	0.49	0.23	H.o.	0.01	0.27
Yb	1.83	0.28	0.163	0.088	0.70	0.93	0.71	1.83	2.37	H.o.	1.63	3.39	3.27	1.41	H.o.	0.04	1.54
Lu	0.25	0.050	0.029	0.017	0.108	0.125	0.125	0.25	0.34	H.o.	0.23	0.49	0.48	0.19	H.o.	0.01	0.21

Примечание. I – серпентиниты: 1–4 (214-1-14, 214-3-14, НШ: 4-14, 4а-14); II – породы среднего состава: 5–7 (НШ: 46-14, 5-14, 6а-14); III – породы основного состава: 8–17 (214-1, 214-2, 214-3, 214-4, 214-5, 214-6, 214-7, 214-8, Н 28-13, НШ 28-14).

Note. I – serpentinites: 1–4 (214-1-14, 214-3-14, НШ: 4-14, 4а-14); II – the rocks of medium composition: 5–7 (НШ: 46-14, 5-14, 6а-14); III – the rocks of mafic composition: 8–17 (214-1, 214-2, 214-3, 214-4, 214-5, 214-6, 214-7, 214-8, Н 28-13, НШ 28-14).

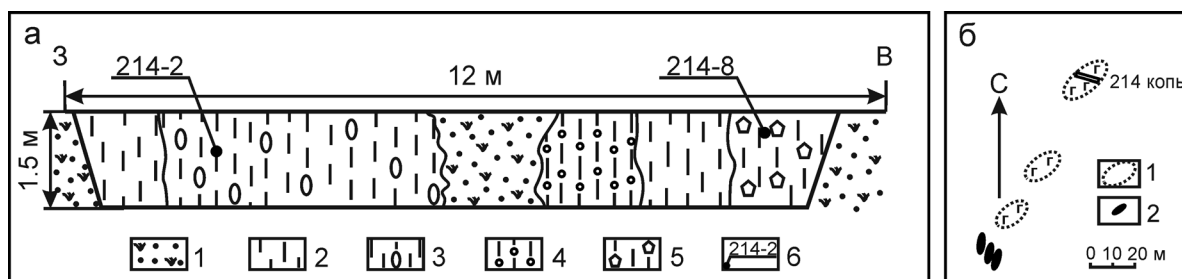


Рис. 3. Милонитизированные породы основного состава среди серпентинитов Няшевского массива.

а – разрез копи 214: 1 – элювиально-делювиальные отложения, 2 – биотитовый милонит, 3 – биотитовый протомилонит с порфирокластами полевых шпатов, 4 – амфибол-биотитовый милонит, 5 – амфибол-биотитовый милонит с реликтами клинопироксена, 6 – номера проб; б – расположение тел милонитизированных пород основного состава в районе копи 214: 1 – тела метасоматитов основного состава, 2 – гранитные пегматиты.

Fig. 3. Bodies of mylonitic rocks of mafic composition among serpentinites of the Nyashevo massif.

а – cross-section of mine 214: 1 – eluvial-deluvial sediments, 2 – biotite mylonite, 3 – biotite protomylonite with porphyroclasts of potassium feldspar, 4 – amphibole-biotite mylonite, 5 – amphibole-biotite mylonite with pyroxene relics, 6 – sample numbers; б – location of bodies of mafic composition mylonitic rocks in area of the mine 214: 1 – bodies of metasomatite mafic composition, 2 – granitic pegmatites.



Рис. 4. Породы основного состава.

а – амфибол-биотитовый милонит, б – биотитовый протомилонит, в – амфибол-биотитовый милонит с пегматоидной кварц-полевошпатовой жилой (копь 249)

Fig. 4. Rocks of mafic composition.

а – amphibole-biotite mylonite, б – biotite protomylonite, в – amphibole-biotite mylonite with pegmatoid quartz-feldspar vein of mine 249.

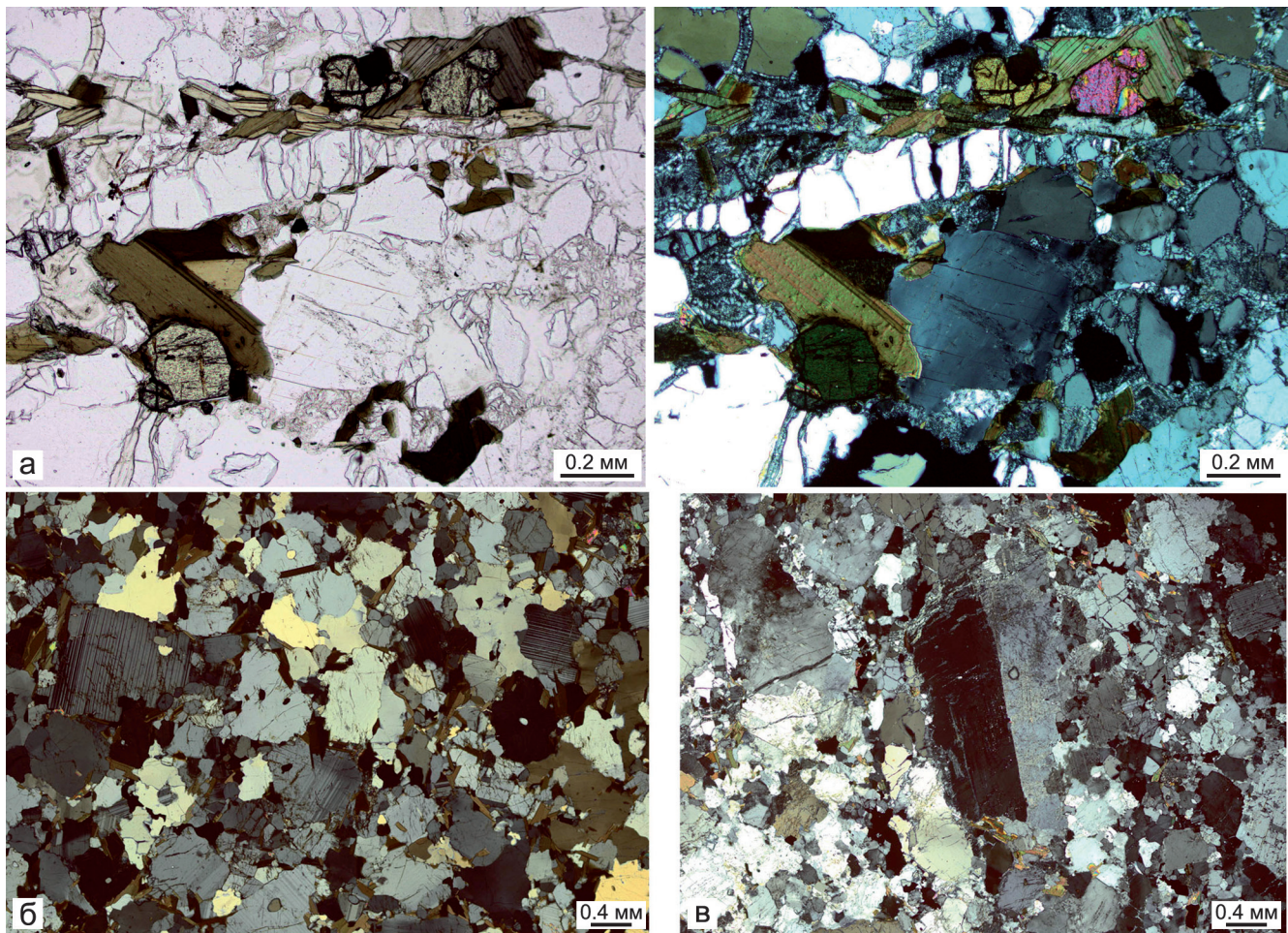


Рис. 5. Текстурно-структурные особенности пород среднего состава.

а – милонитизированный диорит с микротрещинами, выполненными опаловидным агрегатом (слева – без анализатора, справа – с анализатором); б – гранобластовая структура (с анализатором); в – протомилонит по диориту с порфирокластами полевых шпатов (с анализатором).

Fig. 5. Texture-structural features medium composition rocks.

а – mylonitic diorite with microfractures filled with opal (left image without analyzer, right image with analyzer); б – diorite with granoblastic texture (with analyzer); в – protomylonite after diorite with feldspar porphyroclasts (with analyzer).

ние чешуек биотита по краям порфирокластов. Более поздние хрупкие деформации обусловили появление многочисленных микро- и мезотрещин в индивидах минералов, залеченных опаловидным агрегатом (рис. 5а). В этих породах сохранились фрагменты слабodeформированных пород (рис. 5б). Состав породы (%): плагиоклаз 40–50, калиевый полевой шпат 20–30, кварц 5–10, биотит 5–10, амфибол 2–3, акцессорные минералы 1–2.

Плагиоклаз образует порфирокласты (рис. 5в), участвует в строении рекристаллизованного матрикса и кварц-полевошпатовых пегматоидных жил. В пегматоидных жилах образует индивиды размером до первых сантиметров с эффектом “лунного камня”. Порфирокласты по составу часто соответствуют олигоклазу (An_{24-28}), реже альбит-

олигоклазу (An_{10-15}) (рис. 6, табл. 2), в матриксе преобладает альбит (An_{5-8}). Иногда в нем отмечаются антипертитовые страдания.

Калиевый полевой шпат встречается в пертитовых срастаниях в порфирокластах плагиоклаза и в виде отдельных зерен, слагающих ткань матрикса. Его состав соответствует ортоклазу (Or_{87-94} , Ab_{6-13}) (см. рис. 6), часто содержит примесь ВаО (1.0–2.5 мас. %). Среди перекристаллизованных зерен матрикса иногда образует полигональные вытянутые индивиды.

Слюды представлены серией биотита и мусковитом. Темные слюды образуют уплощенные чешуйки светло-коричневого, бурого цвета в матриксе, ориентированные вдоль С-плоскости милонита или формируют разноориентированные индиви-

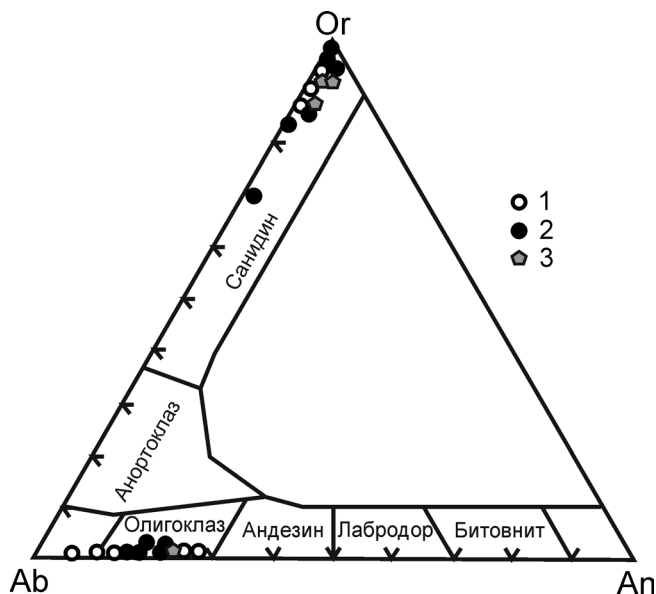


Рис. 6. Полевые шпаты из пород среднего (1) и основного (2) состава и из пегматоидной жилы (3).

Fig. 6. Feldspars from the rocks of medium (1) and mafic (2) composition, and from pegmatoid vein (3).

ды в тенях давления порфирокласт. Состав их соответствует серии биотита ряду флогопит-аннит ($f = 38-55$) с повышенными содержаниями алюминия ($Al^{IV}_{1.13-1.29}$) (рис. 7). Биотит ($Bt_1 - Si^{IV}_{2.75} Al_{1.44} Ti_{0.26}$, $f = 55.4$) присутствует в породах среднего состава сохранивших фрагменты ненарушенной гипидиоморфнозернистой структуры и характеризуется высокими содержаниями титана (4.48 мас. %). Более широко биотит ($Bt_2 - Si^{IV}_{2.86} Al_{1.47} Ti_{0.15}$, $f = 38.7$) распространен в измененных породах, подвергшихся процессам милонитизации, он содержит пониженные концентрации титана (2.67 мас. %). Иногда индивиды такого биотита обрамлены каймой мусковита (Al^{IV} – до 1.0 к.ф., Al^{VI} – до 1.5 к.ф.). Реже встречается мусковит (Al^{IV} – до 1.0 к.ф., Al^{VI} – до 2.0 к.ф.), образующий собственные индивиды среди агрегата калиевого полевого шпата (см. табл. 2). Отмечается также замещение слюд группы биотита пикнохлорит-рипидолитом ($Si^{IV}_{2.79}$, $f = 0.41$) и магнетитом.

Амфиболы в породах среднего состава представлены двумя минеральными видами (рис. 8): магниальным жедритом ($Si^{+IV}_{6.78} Al^{+VI}_{0.65}$, $f = 2.0$) и магниокуммингтонитом ($Si^{+IV}_{7.40} Al^{+VI}_{0.76}$, $f = 0.19$), которые участвуют в строении матрикса. Жедрит образует индивиды светло-коричневого цвета призматического облика, а магниокуммингтонит-ксеноморфные зерна или слагает кайму зерен жедрита.

Акцессорные минералы. Апатит образует индивиды длиннопризматической формы или бочонко-

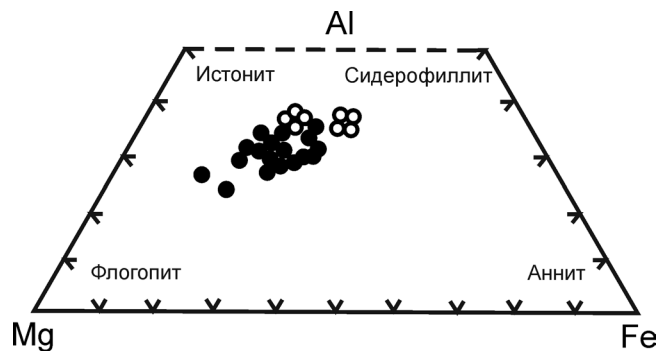


Рис. 7. Слюды группы биотита из пород среднего и основного состава.

Условные обозначения – см. рис. 6.

Fig. 7. Composition of micas of biotite group from medium and mafic rocks.

For legend – see Fig. 6.

видные размером до 0.02 мм, часто полностью раздробленные; циркон представлен в виде единичных мелких призматических кристаллов в матриксе или в виде включений в полевом шпате; титанит слагает бледно окрашенные изометричные зерна ромбовидной формы среди полевошпатового агрегата.

Породы основного состава по структурно-текстурным особенностям являются милонитами, среди них по составу выделяются амфиболовые, амфибол-пироксеновые и биотитовые разновидности. Порфирокласты, образованные амфиболом и пироксеном, имеют слегка уплощенную форму. Порфирокласты калиевого полевого шпата более изометричны. Матрикс сложен тонкочешуйчатыми зернами биотита, мелкими зернами амфибола или пироксена, перекристаллизованными зернами калиевого полевого шпата (реже плагиоклаза), которые образуют скопления и визуально выглядят как удлиненные лейкократовые индивиды. Минеральный состав (%): калиевый полевой шпат 40–60, биотит 10–15, амфибол 5–10, плагиоклаз 5–10, пироксен 2–3, кварц 2–3, акцессорные минералы 3–4.

Калиевый полевой шпат в матриксе образует мелкие удлиненные зерна с пильчатыми границами, изометричные порфирокласты представлены пертитом. Для порфирокластов калиевого полевого шпата характерна сигмоидная форма (рис. 9а) с внутренней структурой “ядро-оболочка”, характерной для милонитов амфиболитовой фации метаморфизма. Состав минерала соответствует ортоклазу (Or_{84-90}, Ab_{4-16}). В порфиробласти состав минерала имеет следующий состав: $Or_{84}, Ab_{15} - Kfs_1$, в нем фиксируется максимальное количество $BaO - 3.42$ мас. % и $Na_2O - 1.51$ мас. %. Ортоклаз ($Kfs_2 - Or_{95}, Ab_5$), слагающий наряду с альбитом матрикс породы, характеризуется минимальным содержанием

Таблица 2. Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из пород среднего и основного состава Няшевского массива (мас. % и к.ф.)
Table 2. Analyses of the minerals from the rocks of medium and mafic composition Nyashevo massif (wt % and k.f.)

Компонент	Породы среднего состава										Породы основного состава									
	Пробы																			
	5					7					9					15				
	Cum	Ged	Bt ₂	Kfs	Mu	Mu	Bt ₁	Kfs	Pl	En	Hbl	Phl	Pl	En ₁	Di	Phl	Kfs ₁	Pl		
SiO ₂	56.3	51.95	37.76	64.3	45.04	46.67	35.40	61.14	60.91	53.33	38.46	37.58	63.35	49.88	51.32	38.31	62.95	63.68		
TiO ₂	0.00	0.10	2.35	0.00	0.93	0.11	4.48	0.00	0.00	0.00	1.01	1.64	0.00	0.00	0.28	2.39	0.00	0.00		
Al ₂ O ₃	8.77	12.14	16.52	18.83	29.99	36.1	15.72	19.54	24.64	16.18	10.85	14.81	21.98	15.59	3.12	16.3	19.66	22.12		
FeO	0.11	1.16	15.42	0.00	5.62	1.01	21.54	0.11	0.06	1.08	23.67	19.88	0.00	0.26	9.78	13.15	0.01	0.33		
MnO	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.60	0.35	0.00	0.05	0.15	0.07	0.00	0.00		
MgO	31.2	31.56	13.67	0.00	2.95	0.45	9.85	0.00	0.16	27.48	7.45	16.83	0.00	32.7	11.95	16.77	0.00	0.00		
CaO	0.95	0.57	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	1.45	11.13	0.39	3.38	1.09	22.11	0.00	0.00	4.19		
Na ₂ O	0.27	0.33	0.00	1.34	0.24	0.35	0.00	1.12	8.22	0.00	2.63	0.00	9.97	0.16	1.21	0.00	2.96	8.72		
K ₂ O	0.15	0.17	9.63	14.47	9.94	10.37	9.10	13.62	0.28	0.00	2.42	5.02	0.24	0.00	0.00	9.18	10.89	0.33		
BaO	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.19	0.00		
Σ	97.75	97.97	96.13	99.62	94.7	95.05	96.49	99.36	99.82	99.51	98.21	96.5	99.89	99.72	99.91	96.18	99.67	99.37		
Si	7.40	6.78	2.86	2.99	3.00	3.08	2.75	2.94	2.71	1.84	6.00	2.68	2.80	1.68	1.91	2.81	2.97	2.85		
Ti	0.00	0.01	0.13	0.00	0.05	0.01	0.26	0.00	0.00	0.00	0.12	0.09	0.00	0.00	0.01	0.13	0.00	0.00		
Al	1.36	1.87	1.47	1.03	2.35	2.81	1.44	1.10	1.29	0.66	1.99	1.24	1.15	0.62	0.14	1.41	1.09	1.17		
Fe ³⁺	0.00	0.03	0.38	0.00	0.01	0.01	0.37	0.00	0.00	0.00	0.78	0.05	0.00	0.00	0.11	0.16	0.00	0.00		
Fe ²⁺	0.01	0.10	0.59	0.00	0.30	0.05	1.02	0.00	0.00	0.03	2.30	0.68	0.00	0.01	0.19	0.64	0.00	0.01		
Mn	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mg	6.10	6.13	1.54	0.00	0.29	0.04	1.14	0.00	0.01	1.41	1.73	1.79	0.00	1.64	0.66	1.83	0.00	0.00		
Ca	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.05	1.86	0.03	0.18	0.04	0.88	0.00	0.00	0.20		
Na	0.07	0.08	0.00	0.12	0.03	0.04	0.00	0.10	0.71	0.00	0.79	0.00	0.85	0.01	0.09	0.00	0.27	0.75		
K	0.03	0.03	0.93	0.86	0.84	0.87	0.90	0.83	0.02	0.00	0.48	0.46	0.01	0.00	0.00	0.86	0.65	0.02		
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
f	0.19	2.00	38.7	—	—	—	55.4	—	—	2.20	64.0	39.8	—	0.44	31.4	30.5	—	—		

Таблица 2. Окончание
Table 2. Ending

Ком- по- нент	Породы основного состава																	Пегматоидная жила				
	Пробы																					
	16				17				18				19									
	<i>Bt</i>	<i>Kfs</i>	<i>Pl</i>	<i>Di</i>	<i>Hst</i>	<i>Ged</i>	<i>Hbl</i>	<i>Act</i>	<i>Bt</i>	<i>Kfs</i>	<i>Pl</i>	<i>Ged</i>	<i>Bt₂</i>	<i>Bt₃</i>	<i>Pl</i>	<i>En</i>	<i>Mu</i>	<i>Bt</i>	<i>Kfs</i>	<i>Pl</i>		
SiO ₂	38.44	64.6	63.27	52.92	40.35	48.25	46.23	52.19	39.16	62.1	61.82	48.19	38.47	38.8	63.67	59.49	46.24	37.89	64.5	63.17		
TiO ₂	3.54	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.30	0.05	1.92	0.00	.000	0.02	2.72	2.77	0.00	0.00	0.40	3.76	0.00	0.00		
Al ₂ O ₃	14.99	18.11	22.8	1.80	12.14	11.81	8.36	3.82	13.31	19.37	23.96	15.57	14.16	13.04	22.42	1.17	36.03	13.89	18.48	22.88		
FeO	16.06	0.37	0.01	7.60	19.07	2.31	16.71	12.58	17.23	0.12	0.08	0.41	17.3	17.12	0.14	0.10	0.52	19.07	0.07	0.05		
MnO	0.23	0.00	0.00	0.22	0.24	0.00	0.08	0.21	0.06	0.00	0.00	0.00	0.38	0.27	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00		
MgO	15.62	0.00	0.00	15.03	9.92	33.73	12.4	15.57	15.89	0.00	0.16	32.34	16.18	19.02	0.09	38.51	1.56	14.83	0.00	0.06		
CaO	0.21	0.28	3.45	21.51	11.8	0.46	12.07	12.67	0.00	0.11	4.97	0.56	0.00	0.20	3.71	0.54	0.04	0.38	0.10	3.84		
Na ₂ O	0.00	0.45	9.32	0.56	2.26	0.00	1.04	0.60	0.00	1.51	8.47	0.00	0.00	0.00	9.18	0.00	0.28	0.00	1.10	9.24		
K ₂ O	7.49	16.2	0.55	0.00	1.52	1.39	0.84	0.27	8.69	13.04	0.21	0.46	7.43	4.03	0.40	0.00	10.48	6.46	15.19	0.42		
Ba	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00		
Σ	96.71	99.97	99.39	99.64	98.33	97.95	98.04	97.96	96.26	99.68	99.67	97.72	96.82	95.37	99.62	99.81	95.55	96.61	99.77	99.64		
Si	2.81	3.00	2.81	1.96	6.12	6.30	6.82	7.52	2.90	2.96	2.75	6.24	2.81	2.74	2.83	2.00	3.02	2.78	2.99	2.80		
Ti	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	1.45	0.01	0.11	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	0.00	0.00	0.02	0.21	0.00	0.00		
Al	1.29	0.99	1.19	0.08	2.17	1.82	0.03	0.65	1.16	1.09	1.26	2.40	1.22	1.09	1.17	0.05	2.78	1.20	1.01	1.19		
Fe ³⁺	0.05	0.00	0.00	0.04	0.39	0.05	0.39	0.09	0.01	0.00	0.00	0.01	0.18	0.74	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00		
Fe ²⁺	0.93	0.01	0.00	0.19	2.03	0.20	1.67	1.42	1.06	0.00	0.00	0.03	1.24	1.75	0.01	0.00	0.03	1.16	0.01	0.00		
Mn	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00		
Mg	1.70	0.00	0.00	0.83	2.25	6.56	2.72	3.34	1.75	0.00	0.01	6.23	1.76	2.00	0.01	1.93	0.15	1.62	0.00	0.00		
Ca	0.02	0.01	0.16	0.85	1.93	0.06	1.91	1.95	0.00	0.01	0.24	0.08	0.00	0.02	0.18	0.02	0.00	0.03	0.00	0.18		
Na	0.00	0.04	0.80	0.04	0.66	0.00	0.30	0.17	0.00	0.14	0.73	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.04	0.14	0.10	0.79		
K	0.70	0.95	0.03	0.00	0.29	0.23	0.16	0.05	0.82	0.79	0.01	0.08	0.69	0.36	0.02	0.00	0.87	0.60	0.90	0.02		
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
f	36.6	—	—	22.1	51.9	3.70	43.0	31.2	37.8	—	—	0.7	37.5	33.5	—	0.14	—	41.9	—	—		

Примечание. *Hst* – гастинсит, *Hbl* – ферропаргасит, *Act* – актинолит, *Ged* – жедрит, *Cum* – куммингтонит, *Di* – диопсид, *En* – энстатит, *Bt* – биотит, *Mu* – мусковит, *Pl* – плагио-оклаз, *Kfs* – калишпар; f = FeO/(FeO + MgO).

Note. *Hst* – hastingsite, *Hbl* – ferropargasite, *Act* – actinolite, *Ged* – gedrite, *Cum* – cummingtonite, *Di* – diopside, *En* – enstatite, *Bt* – biotite, *Mu* – muskovite, *Pl* – plagioclase, *Kfs* – potash feldspar; f = FeO/(FeO + MgO).

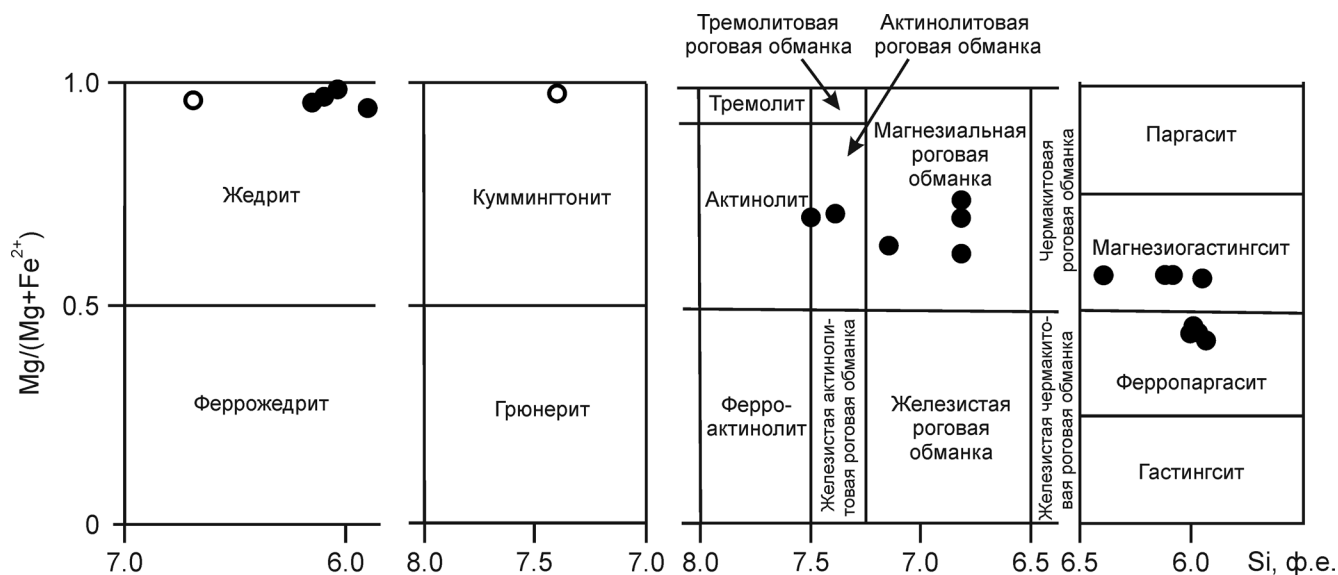


Рис. 8. Состав амфиболов из пород среднего и основного состава (Лик и др., 1997).

Условные обозначения – см. рис. 6.

Fig. 8. Composition of amphibole from the rocks medium and mafic composition (Лик и др., 1997).

For legend – see Fig. 6.

BaO – 0.13 мас. % и Na₂O – 0.45 мас. %. В пегматоидных жилах ортоклаз ($Kfs_3 - Or_{90}, Ab_{10}$), составляющий центральную часть, содержит малые количества BaO – 0.34 мас. % и значительные Na₂O – 1.1 мас. %. При процессах милонитизации и рекристаллизации в калиевых полевых шпатах отмечено увеличение калия и алюминия и снижение бария и натрия (см. табл. 2; пр. 15, 16, 17, 19). При образовании пегматоидных жил в минералах этой группы четко фиксируется рост натрия.

Амфибол представлен сигмоидными порфирокластами с игольчатыми вросками апатита и титанита, или индивидами со скелетовидной структурой, а также изометричными зернами в матриксе породы. Представители группы кальциевых амфиболов широко распространены во всех разновидностях милонитов, развитых по метасоматитам основного состава. Ксеноморфные образования магнезиогастингсита (см. табл. 2, пр. 17) обнаружены в виде реликтов среди крупных зерен диопсида (рис. 10а). Вдоль трещин и по периферии индивидов диопсида образуется агрегат ферропаргасита, который встречается и в виде самостоятельных образований в матриксе. Кроме того, по периферии зерен диопсида развивается тонкоигольчатый агрегат актинолита и ферропаргасит. Кальциевые амфиболы в матриксе нередко замещаются биотитом.

Магнезиальный жедрит (см. табл. 2, пр. 17, 18) образует мелкие зерна в матриксе породы и обрамляет в виде тонкой каймы индивиды диопсида и биотита.

Биотит широко распространен в милонитизированных метасоматитах основного состава и является одним из доминирующих минералов, составляющих матрикс, образуя чешуйки различного размера. Индивиды биотита замещают амфибол и пироксен (см. рис. 9б и в). По агрегатам биотита иногда развивается тонкозернистый агрегат магнетита, а при выветривании по нему развивается вермикулит. У отдельных индивидов биотита ($Bt_2 - Si^{IV}_{2.81}Al_{1.22}Ti_{0.15}$, $f = 37.5$) по ламелям фиксируется изменение состава ($Bt_3 - Si^{IV}_{2.74}Al_{1.09}Ti_{0.15}$, $f = 33.5$), выраженное в увеличении концентраций магния (16.2 → 19.0 мас. %) и снижении алюминия (14.1 → 13.0 мас. %) и калия (7.4 → 4.0 мас. %), часто по краям таких индивидов развивается жедрит (см. рис. 10б).

Пироксен представлен диопсидом и энстатитом. Диопсид ($Di_{91.0-95.5}Aeg_{4.5-9.0}$) составляет порфирокласты, которые замещаются амфиболами, или порфиробласты, пронизанные включениями игольчатого апатита. В диопсидах соотношения CaO/MgO = 1.5–1.8, а содержания Na варьируют от 0.40 до 0.09 к.ф. Диопсид замещается кальциевыми амфиболами и биотитом. Магнезиальный алюмоэнстатит (см. табл. 2, пр. 9, 15) образует изометричные мелкие (0.16–0.30 мм) зерна, срastaющиеся с амфиболом (ферропаргаситом). Высокомагнезиальный энстатит обнаружен среди индивидов кварцполевошпатового агрегата пегматоидных жил (см. табл. 2, пр. 19).

Магнезиальный алюмоэнстатит был описан ранее как алюмобронзит из метакоматиитов (Баже-

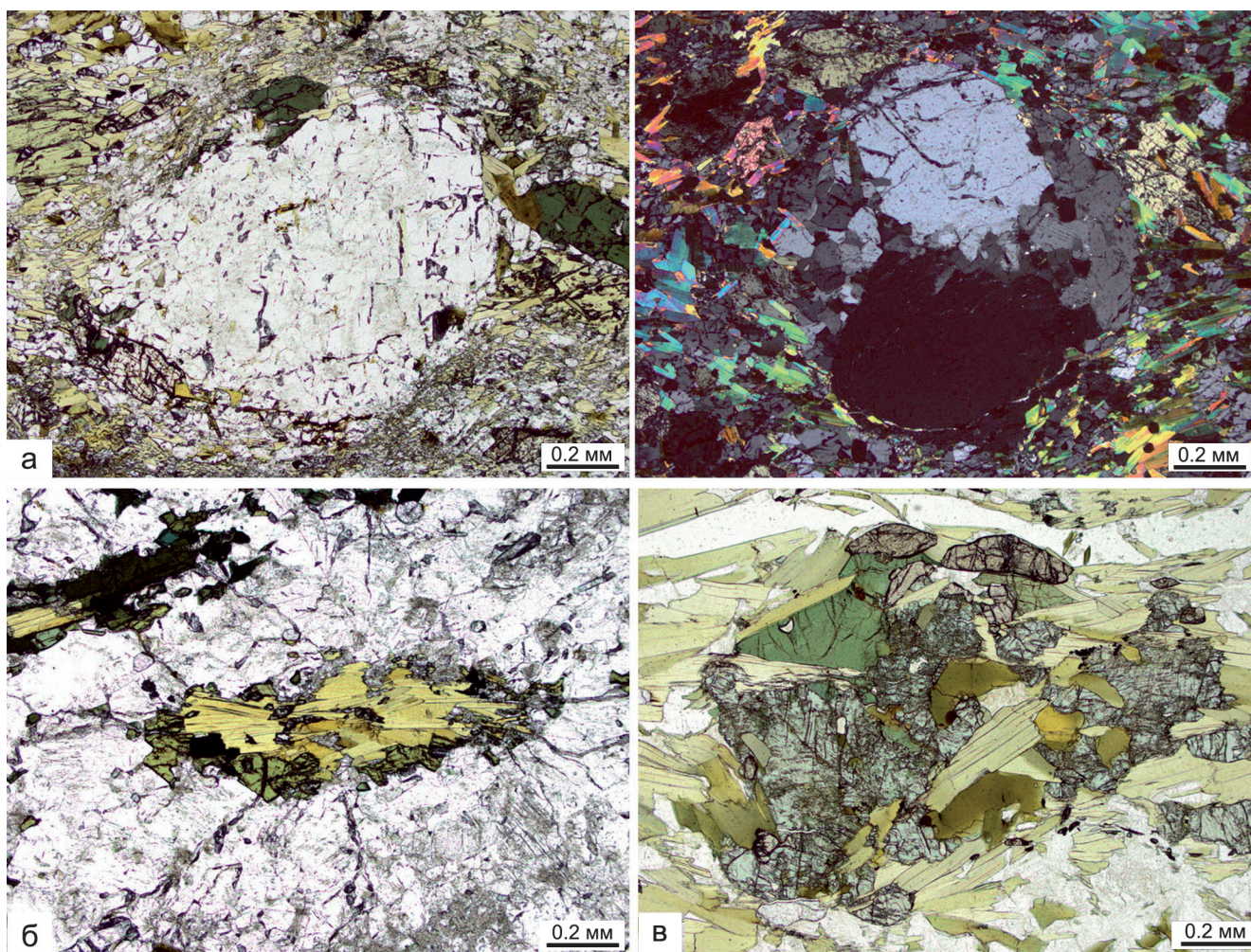


Рис. 9. Текстурно-структурные особенности пород основного состава.

а – сигмоидный порфирокласт калишпата в биотит-полевошпатовом матриксе (слева – без анализатора, справа – с анализатором); б – индивиды амфибола, замещенного биотитом (без анализатора); в – порфирокласт пироксена замещаемого амфиболом и биотитом (без анализатора).

Fig. 9. Texture-structural features of mafic composition rocks.

а – sigmoic porphyroblast of potassium feldspar in biotite-feldspar matrix (left image| without analyzer, right image with analyzer); б – amphibole individuals, replaced by biotite (without analyzer); в – porphyroblast of pyroxene replaced by amphibole and biotite (without analyzer).

нов и др., 1993), где он представлен как реликтовый минерал в преобразованных мантийных породах.

Плагноклаз слагает пертитовые вrostки или небольшие (0.5–1 мм) ксеноморфные зерна в матриксе, состав его соответствует олигоклазу (An_{15-21}). Крупные идиоморфные зерна с тонкой полисинтетической решеткой встречаются лишь в пегматоидных жилах (An_{18-25}). Они характеризуются однородным составом, однако в некоторых случаях появляется альбитовая оторочка, а в пегматоидных жилах образуются антипертитовые сростания.

Акцессорные минералы представлены апатитом, образующим редкие бочонковидные или игольча-

тые кристаллы от десятых долей мм до 0.5 см; титанитом, образующим крупные (0.2–1 мм) удлиненные клиновидные или таблитчатые зерна с составом $(Ca_{0.97}Y_{0.03})_{1.0}(Ti_{0.91}Fe_{0.05}Al_{0.03}Nb_{0.01})_{1.0}(Si_{0.96}Al_{0.04})_{10}O_5$, часто в соседстве или в сростании с амфиболом и биотитом; широко распространенными изометричными зернами монацита $(Ce_{0.4}La_{0.19}Ca_{0.24}Nd_{0.11}Pr_{0.06}Sr_{0.04})_{1.06}(P_{0.92}Si_{0.02}O)_4$ размером 10–200 мкм, образующими спорадические скопления; реже ксеноморфными зернами магнетита и ильменита.

Петрографические и минералогические особенности описанных выше пород позволяют отнести их к метасоматитам; далее мы будем называть их метасоматитами среднего и основного состава.

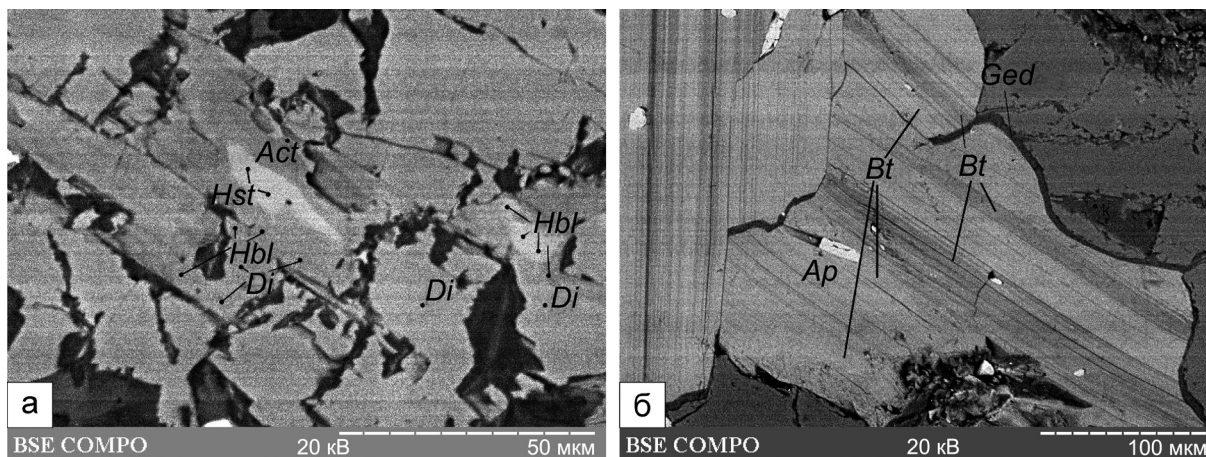


Рис. 10. Породы основного состава.

а – крупные индивиды диопсида (*Di*) с реликтами магнезиогастингсита (*Hst*) и актинолитом (*Act*); б – агрегат биотита (*Bi*) с каймой жедрита (*Ged*). В отраженных электронах.

Fig. 10. The rocks of mafic composition.

а – large diopside grain (*Di*) with relics of magnesiumhastingsite (*Hst*) and actinolite (*Act*); б – biotite (*Bi*) aggregate with gedrite (*Ged*) rim. SEM-image.

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Метасоматиты среднего состава по сочетанию химических элементов сходны с диоритами (SiO_2 – 60–65 мас. %) калиево-натрового умеренно-щелочного ряда (рис. 11, табл. 1), преобладание натрия над калием в них связано с развитием процессов альбитизации. На классификационной диаграмме TAS составы пород соответствуют полям гранодиоритов и монцодиоритов. Для них характерно низкое содержание (мас. %) кальция (CaO – 1.5–3.6), феррических элементов (FeO – 1.3–3.1, MgO – 1.4–4.4, MnO – 0.03–0.04) и титана (0.45–0.84). Они отличаются низкой или умеренной глиноземистостью для мезократовых пород: $\text{al}' = 1.86$ –3.60; коэффициент агайтности в них (0.59–0.76) отражает умеренную степень щелочности.

Метасоматиты основного состава соответствуют габброидам умеренно-щелочного натрово-калиевого ряда с широкими вариациями феррических компонентов (мас. %): FeO – 1.4–7.2, MgO – 4.95–14.7%, MnO – 0.13–0.17 и титана: TiO_2 – 1.4–2.2. Заметное преобладание калия над натрием ($\text{K/Na} = 1.4$ –2.3) свидетельствует о существенном влиянии на породы калиевого метасоматоза, выраженного в образовании ортоклаза, биотита, изменении составов амфиболов (увеличении калия в позиции А). Общая щелочность пород (0.52–0.75) в целом сопоставима с аподиоритовыми метасоматитами. Количество алюминия позволяет отнести большинство разновидностей к умеренно-глиноземистым ($\text{al}' = 0.75$ –1.0), а отдельные разно-

сти к высокоглиноземистым ($\text{al}' = 1.29$ –1.41). Химический состав пород близок к щелочным габброидам и монцогаббро (см. рис. 11).

Серпентиниты, вмещающие или контактирующие с вышеописанными породами, относятся к нормальным породам ультраосновного ряда с заметными содержаниями магния (29.7–38.8 мас. %). Присутствие среди серпентинитов метасоматитов среднего и основного состава умеренно-щелочного и щелочного ряда в виде линейных тел может быть обусловлено внедрением даек такого состава или же метасоматической проработкой зон повышенной проницаемости.

Распределение РЗЭ отражает увеличение их количества от вмещающих серпентинитов к метасоматитам среднего и основного состава, общей тенденцией распределения является значительное преобладание ЛРЗЭ над ТРЗЭ (рис. 12а), что обусловлено влиянием коровых компонентов. В серпентинитах Няшевского массива, вмещающих тела метасоматитов среднего и основного состава, соотношение La/Lu – 69–96, отмечается также скачкообразное повышение **La на фоне** высоких концентраций элементов группы ЛРЗЭ. В метасоматитах среднего состава соотношение La/Lu – 188–373, концентрации ЛРЗЭ превышают содержания их в хондрите в сотни, а ТРЗЭ – в десятки раз. В метасоматитах основного состава соотношение La/Lu – 244–544, общий характер распределения и концентрации РЗЭ сходны с такими характеристиками в метасоматитах среднего состава, а также сопоставимы с ними в миаскитах Ильмено-вишневогорского комплекса. Значительная разли-

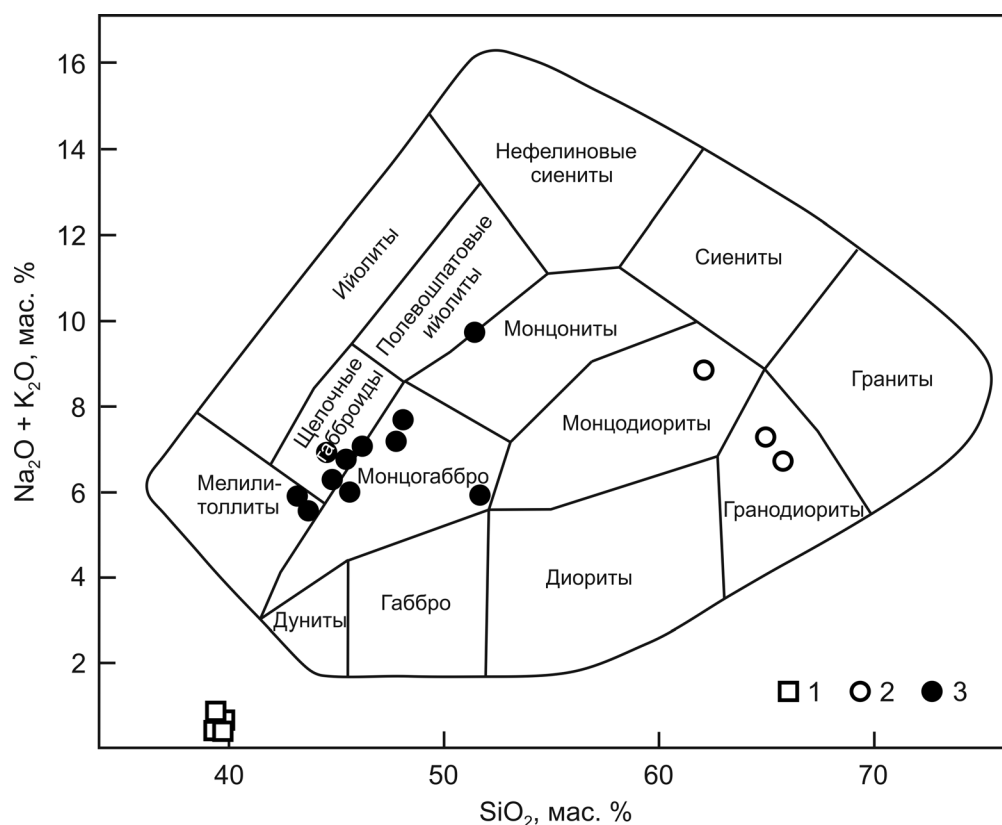


Рис. 11. Положение составов пород на классификационной диаграмме TAS.

1 – серпентиниты; 2, 3 – метасоматиты среднего (2) и основного (3) состава.

Fig. 11. Compositions of the rocks on the TAS plot.

1 – serpentinite; 2, 3 – metasomatites of medium (2) and mafic (3) composition.

ца в концентрациях РЗЭ между серпентинитами и метасоматитами среднего и основного состава, с одной стороны, и близкие значения с концентрациями в породах сиенит-карбонатитовой ассоциации, с другой, позволяют предположить, что источниками, обогатившими РЗЭ, могли быть дифференциаты сиенит-карбонатитовой магмы или высокотемпературный флюид, ремобилизованный из этих пород на уровне нижней коры. Среди мультиэлементов (рис. 12б) отмечены высокие концентрации бария и стронция, которые обнаруживаются в качестве примеси в полевых шпатах.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение метасоматитов среднего и основного состава Няшевского массива позволило определить их как продукты милонитизации, преобразованные метасоматически. Метасоматиты аподиоритового состава, сохранившие фрагментарно реликты магматических структур, являются будинированными и деформированными дайками. Минералогический состав свидетельствует о влиянии метасоматиче-

ских процессов, проявленных в развитии слюд ряда биотита Bt_1 , Bt_2 и мусковита. Биотит (Bt_1) первой генерации обнаружен в породах, сохранивших реликты магматической структуры, биотит (Bt_2) второй генерации широко распространен среди милонитового матрикса, отдельные его индивиды образуют тонкой оторочкой мусковита. Амфиболы, представленные единичными индивидами жедрита или куммингтонита среди мелкозернистого матрикса милонитизированных пород среднего состава, образованы при метаморфизме диоритовых даек, сопровождающемся привнесом магния из серпентинитов. Жедрит и куммингтонит устойчивы в поле высоких температур и низких давлений, соответствующих условиям амфиболитовой фации метаморфизма: куммингтонит – 800°C, 2–5 кбар, жедрит – 750–560°C, 0.5–2.0 кбар (Винклер, 1969; Минералы, 1981). Такие условия возможны при динамотермальном метаморфизме в сдвиговых зонах на завершающих этапах.

Метасоматиты основного состава представляют собой милониты с различным набором темноцветных минералов: биотитовых, пироксен-

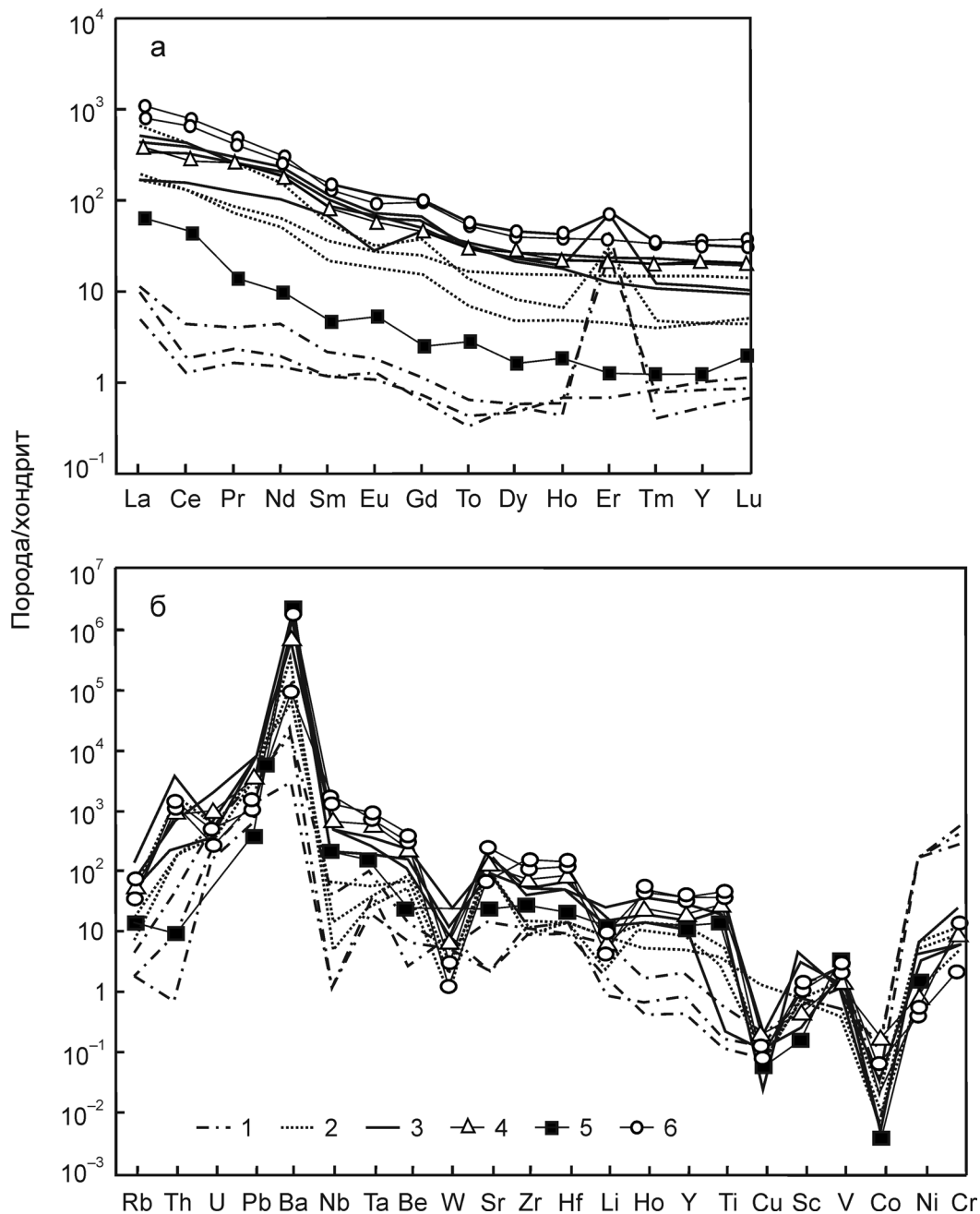


Рис. 12. Диаграмма распределения РЗЭ (а) и РЭ (б) в породах Ильменских гор.

1 – серпентинит; 2, 3 – метасоматиты среднего (2) и основного (3) состава; 4 – амфиболовый миаскит; 5 – биотитовый миаскит; 6 – малиньит. Спектры нормализованы по хондриту по (Sun, 1982).

Fig. 12. Chondrite-normalized (Sun, 1982) REE (a) and trace element (b) patterns for the rocks from Ilmeny Mountains.

1 – serpentinite; 2, 3 – metasomatites of medium (2) and mafic (3) composition; 4 – amphibole miaskite; 5 – biotite miaskite; 6 – malignite.

амфиболовых, амфиболовых. Кальциевые амфиболы характеризуются последовательной сменой минеральных видов: магнезиогастингсит (реликты в диопсиде) → ферропаргасит → актинолит. Магнезиальные амфиболы (куммингтонит и жедрит) об-

разуются на финальной стадии формирования пород, слагая оторочки у биотита или мелкие индивиды в милонитовом матриксе. Биотит имеет неоднородный состав: по ламелям множества индивидов развивается оптически различимая разновид-

ность (Bt_3), характеризующаяся меньшим количеством алюминия и калия, но большим магния, что также свидетельствует о привносе магния из серпентинитов. Пироксены представлены двумя минеральными видами, диопсидом и энстатитом. Диопсид в этих породах является продуктом метасоматического процесса, который, сохраняя реликты первичного магнезиогастингсита, подвергается позже амфиболитизации с образованием феррочермакита и актинолита. Минералы группы энстатита образуют две генерации. Магнезиальный алюмоэнстатит (Al_2O_3 – до 12, MgO – до 31–32 мас. %) (En_1) присутствует в милонитизированных метасоматитах основного состава, где образуется при влиянии флюида высокого давления, обогащенного алюминием и магнием, что возможно в глубинном уровне сдвиговой зоны. Минералы такого состава характерны для хондритовых метеоритов и глубинных пород Луны (Назаров и др., 2011) в ассоциации со шпинелью, анортитом и оливином. Экспериментальные данные образования алюмоэнстатита с содержанием Al_2O_3 от 5 до 16% предполагают условия в 30 кбар и интервал температур 1100–1650°C (Минералы, 1981). Высокомагнезиальный энстатит (En_2), обнаруженный в пегматоидных жилах, расположенных в центральной части пород основного состава, формируется позже за счет привноса магния из вмещающих серпентинитов.

Текстурно-структурные характеристики и особенности химического состава метасоматитов основного состава свидетельствуют о формировании их при влиянии флюида, способного сделать подвижными Al, Ti, K, Ba и привести к формированию новых минеральных парагенезисов в зонах милонитизации. Геохимические особенности этих пород фиксируют обогащение их крупноионными литофильными и высокозарядными (ЛРЗЭ) элементами, которые отражают влияние коровых процессов. Теоретически средой, в которой становятся подвижными все перечисленные элементы, может быть флюид, обогащенный водородом (Терехов, 2007). Такой флюид может образоваться при вовлечении в процессы сдвиговой тектоники и ремобилизации масс щелочных пород Ильменогорского миаскитового массива.

Минеральные ассоциации метасоматитов основного состава и их петрогеохимические особенности позволяют предположить, что формирование среди серпентинитов Няшевского массива пород с минералами, содержащими высокие концентрации алюминия и значительные количества щелочей, происходило при привносе этих компонентов.

ВЫВОДЫ

Метасоматиты среднего состава (аподиоритовые) являются милонитами, сохранившими реликты магматических структур, что свидетельству-

ет об их первичной магматической дайковой природе. В минеральных парагенезисах этих пород фиксируется эволюция минералов группы слюд: $Bt_1 \rightarrow Bt_2 \rightarrow Mu$. В них широко развиты реакции замещения: биотит–мусковит, биотит–хлорит, жедрит–куммингтонит, слабо отражающие калиевый метасоматоз и четко фиксирующие привнос магния из серпентинитов.

Породы, описанные К. И. Постоевым в 1955 г. как “гастингситовые сиениты”, расположенные среди серпентинитов Няшевского массива, являются милонитами основного состава, в которых отсутствуют реликты магматических структур. Эти породы характеризуются широкими вариациями петрохимических компонентов и концентрациями РЗЭ, сопоставимыми с их содержанием в породах сиенит–карбонатитовой ассоциации Ильменогорского комплекса.

Минеральные парагенезисы в метасоматитах основного состава свидетельствуют об активном влиянии флюида, инициирующего подвижность таких компонентов как Al, Ti, K, Ba и ЛРЗЭ и позволяющего сформировать среди серпентинитов (Al_2O_3 – до 2, TiO_2 – 0.17 мас. %) линейные тела основного состава (Al_2O_3 – до 16, TiO_2 – 2.8 мас. %) с высоким содержанием ЛРЗЭ, приуроченные к зонам повышенной проницаемости.

Особенности химического состава алюмоэнстатита позволяют предположить, что начальное формирование линейных тел милонитов, сложенных метасоматитами основного состава, происходило на границе мантия–нижняя кора. Последующая эксгумация и влияние флюида вызвали активное развитие метасоматических процессов на завершающих этапах формирования этих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баженов А.Г., Вализер Н.И., Рассказова А.Д. (1993) Алюмобронзит из метамоматитов Ильменогорского метаморфического комплекса. *Урал. минер. сб. № 1*. Екатеринбург: УИФ «Наука» УрО РАН, 53–55.
- Варлаков А.С., Кузнецов Г.П., Кораблев Г.Г., Муркин В.П. (1998) Гипербазиты Вишневогорско-Ильменогорского метаморфического комплекса (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 195 с.
- Винклер Г. (1969) Генезис метаморфических пород. М.: Мир, 246 с.
- Доминиковский Г.Г. (1971) Петрография кристаллических сланцев средней части Ильменских гор. *Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород. Т. 1. Метаморфические толщи. Вып. IX*. Свердловск, 130–148.
- Кораблев Г.Г., Крайнев Ю.Д. (2007) К вопросу о формационной принадлежности Няшевского массива. *Минералогия Урала-2007: мат-лы V Всерос. совеща.* Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 264–267.
- Кузнецов Ю.А. (1964) Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 388 с.

- Лик Б.Е., Никель Э., Мандарино Д. (1997) Номенклатура амфиболов: доклад подкомитета по амфиболам комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА). *Записки ВМО*. (6), 82-102.
- Минералы. Т. 3. (1981) М.: Наука. Вып. 2, 611 с. Вып. 3, 396 с.
- Моримото М., Гинзбург И.Ф., Зайферт Ф.А. и др. (1989) Номенклатура пироксенов. Доклад комиссии подкомитета КНМ ММА. *Минерал. журн.* Ч. 11, № 5, 67-84.
- Назаров М.А., Аранович Л.Я., Демидова С.И., Нтафлос Т., Брандштеттер Ф. (2011) Алумоэнстатиты лунных метеоритов и глубинные породы луны. *Петрология*. **19**(1), 14-26.
- Недосекова И.Л. (2012) Возраст и источники вещества Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Урал, Россия): геохимические и изотопные Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf данные. *Литосфера*. (5), 77-95.
- Никандров С.Н., Вализер П.М., Кобяшев Ю.С. (1999) Матричная модель номенклатуры амфиболов. *Изв. Челяб. науч. центра. Вып. 1*, 40-47.
- Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. (2008) СПб.: ВСЕГЕИ, 200 с.
- Постоев К.И. (1949) Ультраосновные и основные горные породы Ильменского государственного заповедника. Т. 4. Фонды ИГЗ. Челябинск., 192 с.
- Риддер М., Гавазини Г., Дьяконов Ю.С. и др. (1998) Номенклатура слюд: Заключительный доклад подкомитета по слюдам комиссии по новым минералам и названиям минералов международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА). *Зап. ВМО*. (5), 55-65.
- Русин А.И., Краснобаев А.А., Вализер П.М. (2006а) Геология Ильменских гор: ситуация, проблемы. *Геология и минералогия ильменогорского комплекса: ситуация и проблемы*. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 3-19.
- Русин А.И., Краснобаев А.А., Русин И.А., Вализер П.М., Медведева Е.В. (2006б) Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских-Вишневых гор. *Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: мат-лы Всерос. совещ.* Миасс: ИМин УрО РАН, 222-227.
- Терехов Е.Н. (2007) Особенности распределения редкоземельных элементов в корундосодержащих и других метасоматитах периода подъема к поверхности метаморфических пород беломорского пояса (Балтийский щит). *Геохимия*. (4), 411-428.
- Sun S.S. (1982) Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **46**, 179-192.
- Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J. (2010) Atlas mylonites and related microstructures. Springer. Berlin, Heidelberg.

Рецензент Н.С. Бородина

Metasomatites of medium and mafic composition from Nyaschevo massif (Ilmeny Mountains, South Urals)

E. V. Medvedeva*, A. B. Nemov*, V. A. Kotlyarov**

*Ilmeny State Reserve

**Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

The results of the study of mediosiliceous and mafic metasomatites located in ultramafic and mafic rocks of Nyaschevo massif presents in the paper. The textural and structural features of these rocks allow to attribute them to tectonites – protomylonites and mylonites. Mineralogical and geochemical characteristics of the rocks indicate to polycyclic process of metamorphism accompanied by metasomatic transformation. The metasomatites of medium composition have been characterized the primary of magmatic origins followed by metamorphic and regional deformation processes associated with metasomatic transformation (gedrite, cummingtonite ($T = 800-700^{\circ}\text{C}$, $P = 2-5 \text{ kbar}$)). The metasomatites of mafic composition are the result of mylonitization and metasomatism under the influence of fluid induced the mobility of elements, such as Al, Ti, K, Ba and LREE. The input Mg from host serpentinites on the final stages of conversion is clear recorded in the forming of gedrite and high-magnesium enstatite. The metasomatites of mafic composition is showed the petrogeochemical connection with the rocks of syenite-carbonatite association.

Key words: mafic-ultramafic association, mylonites, metamorphism, metasomatism, aluminoenstatite, gedrite, cummingtonite.