

ДИНАМОМЕТАМОРФИЗМ ПОРОД АВЕРИНСКОГО ПЛУТОНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ВОСТОЧНАЯ ЗОНА СРЕДНЕГО УРАЛА)

© 2012 г. Е. В. Лобова, В. Н. Смирнов

Аверинский плутонический комплекс, выделенный в процессе региональных геологических исследований в южной части Восточной зоны Среднего Урала (Шиловско-Коневский район) [2], представлен широким спектром пород от габбро до бедных калием разновидностей гранитоидов при резком преобладании пород кислого состава (трондьемитов). Породы этого комплекса залегают в виде полосы северо-северо-восточного простирания шириной 5–7 км с многочисленными раздувами и пережимами, которая протягивается из района д. Щербаковка на юге до пос. Белореченский на севере (рис. 1). Расположение пород аверинского комплекса в зоне крупного разрывного нарушения сдвигового характера, ограничивающего Восточную зону с запада, обусловило их интенсивный дислокационный метаморфизм, в результате чего преобладающая часть пород превращена в бластомилониты, сланцы и амфиболиты, среди которых встречаются лишь отдельные небольшие по размерам блоки слабоизмененных разновидностей, сохранивших реликты магматических структур, что позволило установить первичную природу описываемых толщ. Цель настоящей публикации – дать характеристику наиболее распространенных разновидностей метаморфитов, возникших в результате преобразования интрузивных пород аверинского комплекса и оценить Р-Т условия метаморфических процессов.

Продукты метаморфизма гранитоидов, преобладающие в составе изученных толщ, представлены биотит-кварц-альбитовыми и мусковит-кварц-альбитовыми сланцами, бластомилонитами, альбитизированными и в разной степени перекристаллизованными трондьемитами (метатрондьемитами). Значительно реже встречаются и вследствие этого в меньшей степени изучены аподиоритовые и апобазитовые разновидности метаморфических пород: плагиоклаз-амфиболовые сланцы и амфиболиты.

Альбитизированные трондьемиты представляют собой серо-желтые мелко-среднезернистые в разной степени перекристаллизованные массивные породы (рис. 2а). При слабой степени изменений первичная структура исходных трондьемитов, в основном, сохраняется, метаморфические преобразования ограничиваются альбитизацией плагиоклаза. Более интенсивные преобразования приводят к дроблению и грануляции части зерен кварца и плагиоклаза, полной перекристаллизации биотита с образованием агрегата мелких чешуек, ино-

гда к появлению зерен новообразованных минералов – граната и мусковита, а также участков (полос) с бластомилонитовой структурой.

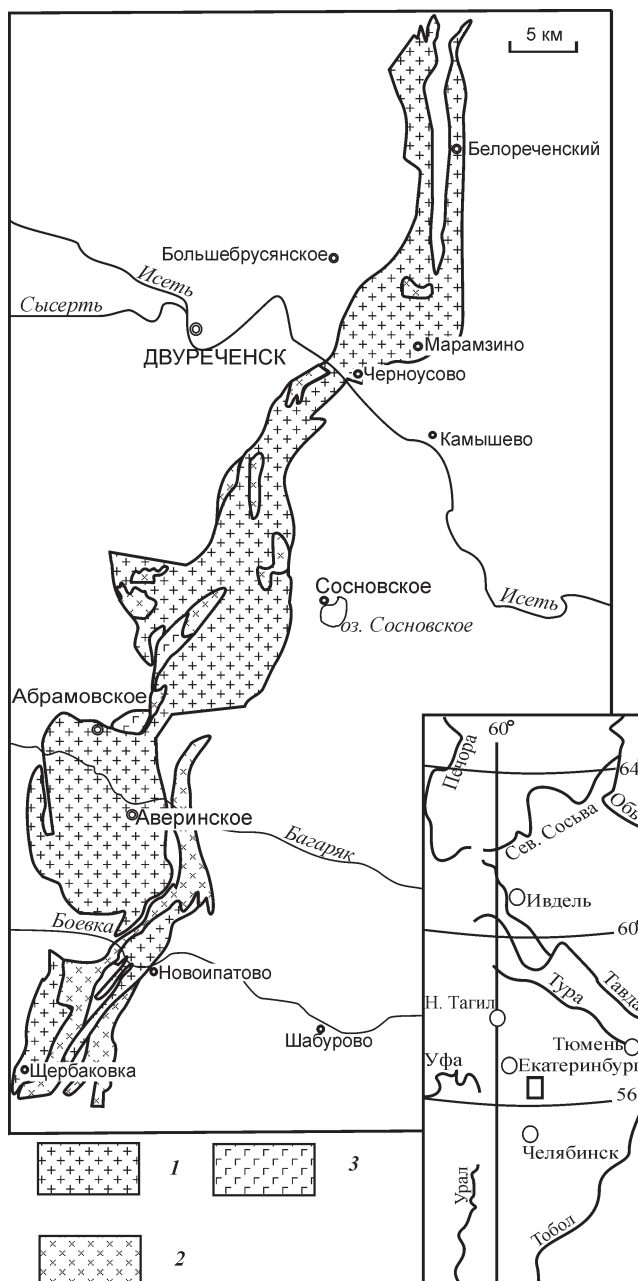


Рис. 1. Схема распространения пород аверинского комплекса.

1 – тоналиты, трондьемиты, 2 – диориты, кварцевые диориты, 3 – габбро.

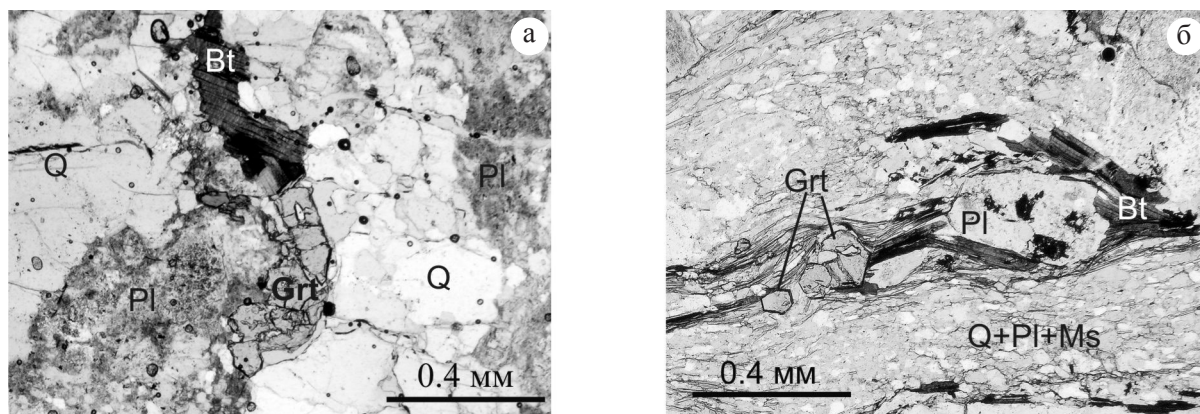


Рис. 2. Минеральный состав и структурно-текстурные особенности метаморфических пород аверинского комплекса.

а – альбитизированный трондземит, б – бластомилонит. Без анализатора.

Апотрондземитовые бластомилониты обладают отчетливо выраженной сланцеватостью и типичной бластомилонитовой структурой (рис. 2б), которая характеризуется присутствием деформированных зерен зонального плагиоклаза и кварца исходной породы (порфирокластов), а также идиоморфных недеформированных зерен граната (необластов), погруженных в более мелкозернистый лепидогранобластовый агрегат новообразованных зерен кварца, альбита, мусковита и биотита. Субпараллельно ориентированные элементы структуры мезостазиса (чешуйки слюды, их агрегаты, вытянутые зерна кварца и альбита) обтекают как порфирокласты, так и крупные зерна граната. Порфирокласты плагиоклаза представлены таблитчатыми зернами размером от 0.3 до 2 мм, порфирокласты кварца – ксеноморфными зернами субизометричной формы размером до 1.2 мм в поперечнике. Для некоторых зерен характерно блочное погасание. Зерна граната имеют размер от 0.25 до 1 мм. Мезостазис бластомилонитов также неоднороден по составу. Преобладающая его часть представляет собой однородный агрегат чешуек мусковита и субизометричных зерен кварца и альбита размером до 0.1 мм. Наряду с этим встречаются чешуи мусковита и биотита, достигающие 1.5 мм, которые обычно приурочены к участкам породы, содержащим порфирокласты и крупные зерна новообразованного граната.

Кристаллические (биотит-кварц-альбитовые и мусковит-кварц-альбитовые) сланцы, состоящие из альбита, кварца, биотита и мусковита, являются результатом более высокой по сравнению с бластомилонитами степени метаморфических преобразований исходных пород, когда никаких реликтов первичных минералов не сохраняется. Они характеризуются ярко выраженной сланцеватой текстурой, которая обусловлена строго параллельным расположением чешуек слюды, приуроченных к плоскостям сланцеватости. Микроструктура лепидогранобластовая, часто гетеробластовая или порфиробла-

стовая. Размер зерен лепидогранобластовой структуры, как правило, не более 0.15 мм. На фоне этой мелкозернистой массы выделяются порфиробласты, представленные изометричными зернами розового граната размером до 1 мм и чешуйками мусковита до 2.0–2.5 мм в поперечнике, размер которых увеличивается одновременно с ростом количества этого минерала в породе.

По минеральному составу все разновидности пород, возникших в результате преобразования трондземитов: альбитизированные трондземиты, бластомилониты и сланцы – близки между собой. Их главными породообразующими минералами являются кварц (25–35%), плагиоклаз (45–60%), биотит (5–7%) и мусковит. Количество последнего обычно не превышает 5% в альбитизированных трондземитах и резко возрастает в сланцах и бластомилонитах, местами достигая 25–30%, при соответствующем уменьшении количества биотита и плагиоклаза. Гранат в качестве второстепенного минерала присутствует практически во всех изученных породах, но его количество никогда не превышает 1%. Акцессорные минералы представлены преимущественно магнетитом, фторопагатом и цирконом, реже встречаются ильменит, ксенотим и монацит. По данным В.А. Чашухиной [3], в незначительном количестве и лишь в участках, претерпевших воздействие позднепалеозойских гранитоидов, встречаются флюорит, торит, ортит, монацит, халькопирит, сфалерит, молибденит и некоторые другие минералы. Микророндовое изучение состава минералов показало, что плагиоклаз из альбитизированных трондземитов, сланцев и мезостазиса бластомилонитов представлен альбитом ($An_{0.5-6}$), порфирокласты по составу аналогичны ядрам первичных зерен плагиоклаза в наименее измененных разновидностях трондземитов (An_{15-19}). Состав плагиоклаза из мезостазиса бластомилонитов и порфирокластов приведен в табл. 1. Кроме того, порфиро-

Таблица 1. Химический состав плагиоклазов (мас. %) из бластомилонита Ав-4-3

Эл-ты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	63.79	63.59	63.49	63.71	63.23	63.74	64.17	68	68.05	67.78	67.67	67.22	67.39	68.08
TiO ₂	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	22.43	22.38	22.35	22.41	22.14	21.92	21.72	19.74	20.11	19.88	20.04	20	19.87	19.52
FeO	0.03	0.04	0.02	0	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0.02	0.02	0.01
CaO	3.94	3.91	3.98	3.91	3.87	3.55	3.32	0.58	0.57	0.67	0.98	0.93	0.7	0.4
Na ₂ O	9.62	9.57	9.52	9.54	9.66	9.98	9.98	11.67	11.52	11.69	11.23	11.23	11.34	11.67
K ₂ O	0.15	0.14	0.13	0.12	0.13	0.13	0.11	0.06	0.05	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05
Сумма	99.96	99.64	99.5	99.69	99.05	99.33	99.31	100.07	100.31	100.09	100.00	99.46	99.38	99.73
коэффициенты кристаллохимических формул														
Si	2.81	2.82	2.82	2.82	2.81	2.82	2.84	2.97	2.96	2.96	2.96	2.96	2.97	2.98
Al	1.17	1.17	1.17	1.17	1.16	1.14	1.13	1.01	1.03	1.02	1.03	1.04	1.03	1.01
Ca	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02
Na	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.86	0.86	0.99	0.97	0.99	0.95	0.96	0.97	0.99
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
Сумма	5.00	5.01	5.01	5.01	4.99	5.00	5.00	5.00	4.99	5.00	4.99	5.00	5.00	5.00
миналы, %														
An	18.30	18.27	18.63	18.34	18.00	16.31	15.43	2.66	2.65	3.06	4.58	4.36	3.29	1.85
Ab	80.87	80.95	80.65	80.99	81.28	82.98	83.96	97.01	97.07	96.56	94.97	95.30	96.38	97.87
Or	0.83	0.78	0.72	0.67	0.72	0.71	0.61	0.33	0.28	0.38	0.45	0.34	0.33	0.28
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание: 1–14 плагиоклазы: 1–7 олигоклазовые порфиры; 8–14 альбит из мезостаза (ИГГ УрО РАН, Cameca SX-100, аналитик В.В. Хиллер).

класты отличаются незначительно повышенными содержаниями калия, содержание ортоклазового минала в них составляет 0.61–0.83%, тогда как в альбите мезостаза не превышает 0.45%. Биотиты всех описываемых разновидностей пород имеют одинаковую железистость, величина которой колеблется в пределах 0, 39–0.43. Светлые слюды по химическому составу являются промежуточными между мусковитом и алюмоселадонитом с незначительным (5–7%) содержанием парагонитового компонента. Изученные зерна граната имеют спессартин-альмандинный состав со значительной примесью пиропового и гроссулярового компонентов (Py_{7–9}Alm_{47–49}Spess_{29–31}And_{1–3}Gr_{10–14} – в альбитизированных трондьемитах и Py_{4–5}Alm_{59–61}Spess_{24–25}And_{1–2}Gr_{9–10} – в бластомилонитах).

Плагиоклаз-амфиболовые сланцы и амфиболиты, возникшие в результате метаморфизма габбро и диоритов, представляют собой темные зеленовато-черные мелко-среднезернистые породы, состоящие из плагиоклаза и амфибола с незначительным количеством апатита, сфена, рутила, эпидота. Породы этого состава обладают гломеробластовой гетеробластовой микроструктурой с участками нематогранобластов (рис. 3) и, как правило, хорошо выраженной сланцеватостью. Реже встречаются массивные разновидности с реликтами гипидиоморфнозернистой структуры первичных пород. Преобладающим минералом является амфибол, количество которого достигает 70–75%. Зерна амфибола имеют короткопризматическую, призматическую или неправильную форму, их размер – от десятых долей мм до 2–3 мм. По химическому составу ам-

фибол соответствует эдениту с магнезиальностью от 0.55 до 0.61 (табл. 2). Содержание плагиоклаза в породах – до 25–30%. Размер зерен, образующих гранобластовый агрегат, не превышает 0.15 мм. По данным электронно-зондового микроанализа, плагиоклаз отвечает андезину (An_{31–45}).

При определении условий метаморфизма был использован комплекс геотермометров и геобарометров, что позволило установить P-T параметры кристаллизации разных по составу пород. Температуры образования альбитизированных трондьемитов и бластомилонитов были рассчитаны по гранат-биотитовому [4] и гранат-фенгитовому [1] термометрам, метадiorитовых пород – на основе содержания титана в амфиболах [7]. Оценка величины дав-

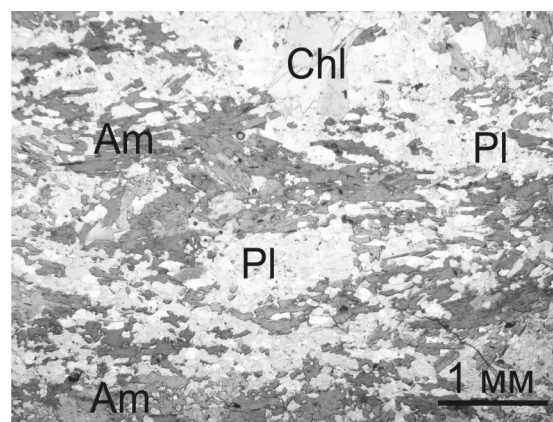


Рис. 3. Минеральный состав и структурно-текстурные особенности метадiorитовой породы (обр. Co-1546). Без анализатора.

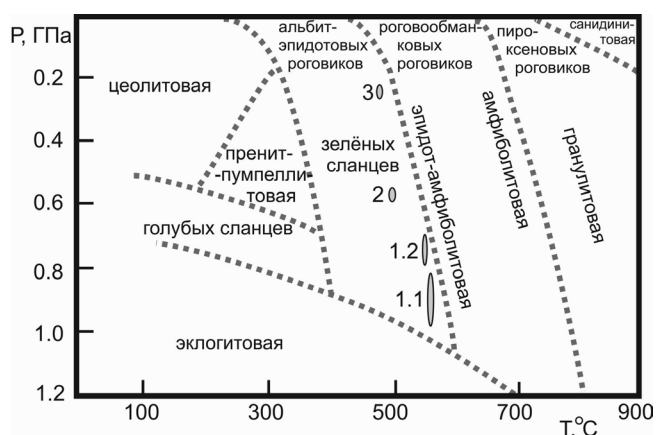
Таблица 2. Химический состав амфиболов (мас. %) из метадiorита (обр. Со-1546)

Эл-ты	1	2	3	4	5
SiO ₂	44.22	43.88	41.7	41.98	42.06
TiO ₂	0.11	0.08	0.12	0.13	0.09
Al ₂ O ₃	12.31	11.9	14.02	13.12	13.66
Cr ₂ O ₃	0.08	0	0.07	0	0.13
FeO	13.32	13.39	15.2	15.35	14.99
MnO	0.32	0.33	0.33	0.26	0.27
MgO	11.8	11.71	10.22	10.74	10.57
CaO	10.87	11.12	11.1	11.58	11.25
Na ₂ O	1.75	1.59	1.82	1.51	1.87
K ₂ O	0.13	0.14	0.23	0.26	0.18
Сумма	94.91	94.14	94.81	94.93	95.07
коэффициенты кристаллохимических формул					
Si	6.86	6.88	6.52	6.57	6.55
Ti	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Al ^{IV}	1.14	1.12	1.48	1.43	1.45
Al ^{VI}	1.11	1.08	1.10	0.99	1.06
Al ^T	2.25	2.20	2.58	2.42	2.51
Cr	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
Fe	1.73	1.76	1.99	2.01	1.95
Mn	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04
Mg	2.73	2.74	2.39	2.50	2.45
Ca	1.81	1.87	1.86	1.94	1.88
Na	0.53	0.48	0.55	0.46	0.56
K	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04
mg#	0.61	0.61	0.55	0.55	0.56

Примечание: 1–5 – эднит (ИГГ УрО РАН, Cameca SX-100, анализатор Д.А. Замятин).

ления при образовании плагиоклаз-амфиболовых сланцев выполнена с использованием геобарометра, основанного на содержании Al₂O₃ в амфиболох [5, 6, 9], для пород кислого состава использовался гранат-мусковит-плагиоклаз-кварцевый (GMPQ) эмпирический барометр [10]. Полученные данные сведены в табл. 3.

Согласно этим данным, температура образования плагиоклаз-амфиболовых сланцев (метадiorитов) составляла 555–565°C при давлении – 7.1–9.8 кбар. Наиболее высокие значения величины давления от 8.2 до 9.8 кбар получены по централь-

**Рис. 4.** Области P-T параметров формирования метаморфических пород аверинского комплекса, минеральные фации метаморфизма по А.Р. Филпоттсу [8].

1.1.–1.2. – метадiorитовые породы: 1.1. – P-T параметры для центральных частей зёрен, 1.2. – для краевых частей; 2 – бластомилониты; 3 – альбитизированные трондьемиты.

ным частям зёрен амфиболов, более низкие 7.1–9.8 кбар – по их краевым частям.

Для массивных альбитизированных и частично перекристаллизованных трондьемитов температура по гранат-биотитовому (Gr-Bt) термометру составила 365–370°C. Значительно более высокие значения – 470–480°C получены при использовании гранат-фенгитового (Gr-Ph) термометра. Давление в процессе образования этих пород имело величину 2.3–2.5 кбар. Для бластомилонитов разница в температурах, полученных по этим двум термометрам, не столь существенна: 450–475°C по Gr-Bt и 490–500° по Gr-Ph термометру. Величина давления достигала 5.6–5.9 кбар.

Полученные данные показывают, что метаморфические преобразования пород аверинского комплекса протекали в широком интервале давлений (от 2.3–2.5 до 8.2–9.8 кбар) при умеренных температурах (от 470–480° до 555–565°C). Выявленные разли-

Таблица 3. Температуры и давления для метаморфических пород аверинского комплекса

Геотермобарометры	Минерал геотермобарометр	Метадiorитовая порода обр. Со-1546		Альбитизированный трондьемит обр. Ав-4	Бластомилонит обр. Ав-4-3
		Центр зерна	Край зерна		
Барометры:					
$P(\pm 3 \text{ кбар}) = -3.92 + 5.03 \text{ Al}^T$ [5]	Hbl	8.2–9.1	7.1–7.4	2.3–2.5	5.6–5.9
$P(\pm 1 \text{ кбар}) = -4.75 + 5.64 \text{ Al}^T$ [6]	Hbl	8.9–9.8	7.6–7.9		
$P(\pm 6 \text{ кбар}) = -3.01 + 4.76 \text{ Al}^T$ [9]	Hbl	8.5–9.3	7.5–7.7		
$P(\pm 1 \text{ кбар})$ [10]	Grt-Ms-Pl				
Термометры:					
$T_{\text{H}} = 1204 \times \text{Ti} + 545, \text{ °C}$ [7]	Hbl	558–565	555–560		
[1], °C	Gt-Ph			470–480	490–500
[4], °C	Gt-Bt			365–370	450–475

Примечание: содержание Al^T и Ti в амфиболов представлены в табл. 2.

чия в Р-Т условиях образования разных пород согласуются с результатами петрографических наблюдений. Минимальные величины температуры и давления получены для недеформированных и слабоперекристаллизованных разновидностей – альбитизированных трондjemитов с массивной текстурой. Максимальные значения зафиксированы в кристаллических сланцах, полностью преобразованных в процессе метаморфизма. Сомнения вызывают не согласующиеся с другими данными значения температур, полученные для альбитизированных трондjemитов с использованием Gr-Vt геотермометра, которые, по-видимому, либо недостаточно точны, либо соответствуют регрессивному этапу метаморфизма. Согласно выполненным оценкам температур и давлений, метаморфические преобразования пород аверинского комплекса соответствуют зеленосланцевой фации (рис. 4). Характерной чертой изученных толщ является существенное изменение Р-Т условий метаморфизма (особенно величины давления), часто на относительно небольшом расстоянии. Очевидно, что фиксируемые в этих породах значительные вариации величины давления, так же как и высокие абсолютные значения (до 10 кбар), не могут быть объяснены влиянием нагрузки вышележащих толщ. По-видимому, они являются результатом резкого повышения давления флюида в зонах максимальных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авченко О.В. Минеральные равновесия в метаморфических породах и проблемы геобаротермометрии. М.: Наука. 1990. 182 с.
2. Корреляция магматических комплексов Среднего Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 76 с.
3. Чашухина В.А. Акцессорные минералы гранитоидов Шилово-Коневской группы массивов. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1973. 30 с.
4. Bhattacharya A., Mohanty L., Maji A. et al. Non-Ideal mixing in the phlogopite-annite binary: constraints from experimental data on Mg-Fe partitioning and a reformulation of the biotite-garnet geothermometer // Contribution to Mineralogy and Petrology. 1992. V. 111. P. 87–93.
5. Hammarstrom J.M., Zen E. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // Am. Mineralogist. 1986. V. 71. P. 1297–1313.
6. Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K. et al. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons // Am. Mineralogist. 1987. V. 72. P. 231–239.
7. Otten M.T. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1984. V. 86. P. 189–199.
8. Philpotts A.R. Principles of igneous and metamorphic petrology. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall. 1990. 498 p.
9. Schmidt M.W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer // Contrib. Mineral. Petrol. 1992. 110. P. 304–310.
10. Wu, C. M., Zhao, G. Recalibration of the garnet-muscovite (GM) geothermometer and the garnet-muscovite-plagioclase-quartz (GMPQ) geobarometry for metapelitic assemblages // Journal of Petrology. 2006. V. 47, № 12. P. 2357–2368.