

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД УЛЬТРАОСНОВНОГО СОСТАВА В ВОСТОЧНОМ ЭКЗОКОНТАКТЕ ХАБАРНИНСКОГО ПОЛИФОРМАЦИОННОГО ГАББРО-ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА

© 2017 г. А. П. Бирюзова

Хабарнинский полиформационный габбро-гипербазитовый массив расположен в 30 км к западу от города Орск. Большая часть массива сложена сильно деплетированными гарцбургитами с подчиненным количеством дунитов (рис. 1). Перидотиты сопровождаются расслоенными интрузиями габбро, породами габбро-плагиигранитной серии, комплексом параллельных диабазовых даек и пиллоу-лавами, которые в совокупности можно рассматривать как фрагмент островодужного офиолитового комплекса. На востоке массива выделяется восточно-хабарнинский комплекс (ВХК), который обладает рядом особенностей состава, позволяющих отождествлять его с концентрически-зональными дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами Урало-Аляскинского типа [Варлаков, 1978; Балыкин и др., 1991]. Хабаровинский массив входит в аллохтонную структуру, в которую включены и метаморфические породы, подстилающие магматические комплексы пород [Херасков, 1971]. На поверхности метаморфические породы обнажаются в четырех блоках: Сучковском, Белошапкинском, Тонатарском и Восточном (см. рис. 1).

Объектом данного исследования являются метаморфические породы ультраосновного состава, обнаруженные в Восточном блоке. В составе Восточного блока метаморфических пород мы выделили две толщи [Пушкарев и др., 2004]. Нижняя представлена рассланцованными мелкозернистыми эпидотовыми амфиболитами мощностью 700–800 м, P - T параметры которых отвечают эпидот-амфиболитовой фации. Субстратом для них послужили вулканогенные породы [Бирюзова, Пушкарев, 2005]. Верхняя толща выражена массивными или тонкополосчатыми амфиболитами с многочисленными согласными прослоями и линзами гранатовых амфиболитов, гранатитов, двупироксеновых кристаллических сланцев, мелкозернистых кварцитов и кварцитогнейсов, мощность толщи 100–200 м. P - T параметры пород верхней толщи отвечают амфиболитовой и гранулитовой фациям. Субстратом для этой толщи послужили вулканогенно-осадочные породы [Бирюзова, Пушкарев, 2006].

Именно в верхней толще найдены метаморфические породы ультраосновного состава в ви-

де будин размером до 0.5 м среди массивных амфиболитов (51° 04.199 с.ш., 58° 10.155 в.д., Пулковская система координат). Состав пород варьирует от амфиболитов с содержанием амфибола до 85% до шпинель-оливин-ортопироксеновых пород с содержанием шпинели до 20%, оливи-

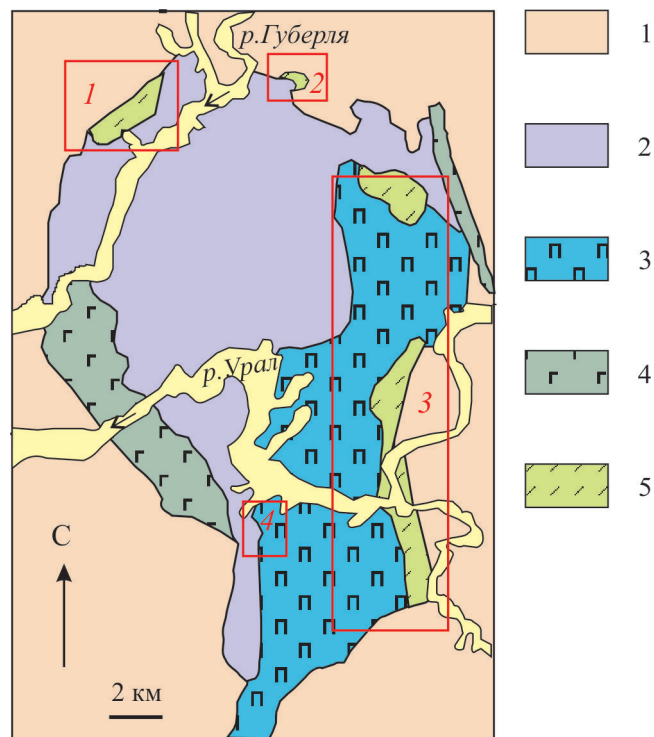


Рис. 1. Схема геологического строения Хабарнинского ультрамафит-мафитового аллохтона на Южном Урале (по данным ПГО «Оренбурггеология»).

1 – вмещающие вулканогенные, осадочные и метаморфические породы палеозоя; 2 – офиолитовый дунит-гарцбургитовый комплекс; 3 – восточно-хабарнинский дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитовый комплекс; 4 – аккермановский верлит-габбро-плагиигранитный комплекс, комплекс параллельных диабазовых даек; 5 – метаморфические породы основания аллохтона.

Метаморфические блоки, включенные в структуру Хабарнинского аллохтона: 1 – Сучковский, 2 – Белошапкинский, 3 – Восточный, 4 – Тонатарский.

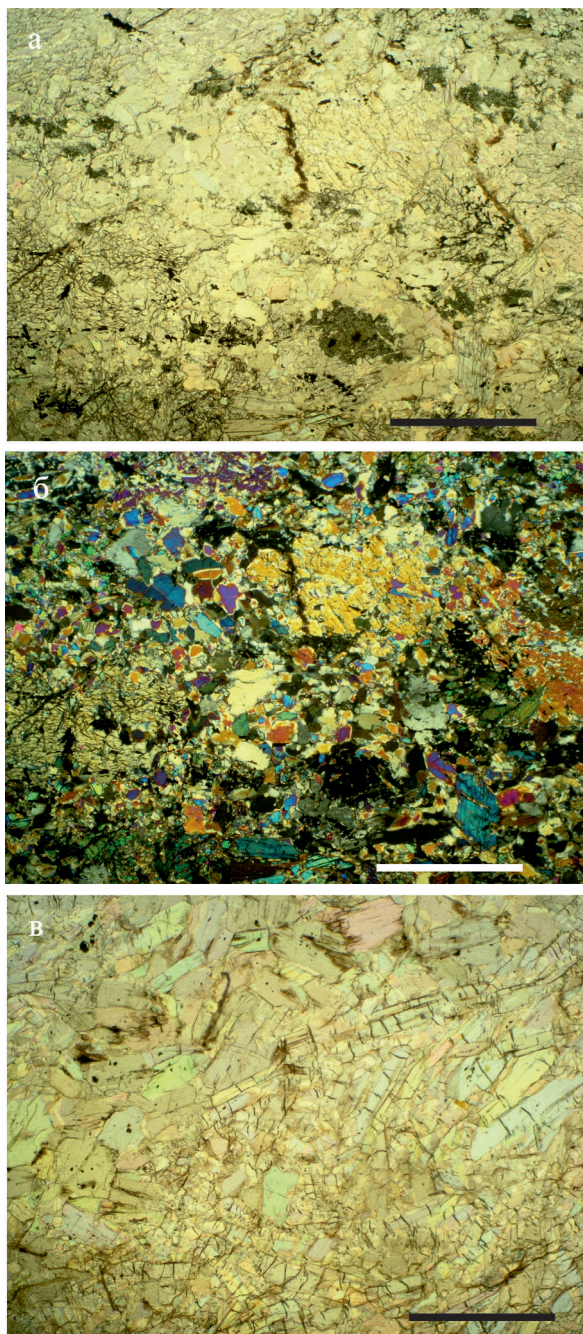


Рис. 2. Микроструктуры ультрамафитовых метаморфических пород в Восточном блоке Хабаровского массива.

а, б – Х6-2219 шпинель-оливин-ортопироксен-амфиболовая порода, порфиробластовая и гранобластовая структура основной ткани: а – бесцветные минералы – ортопироксены, амфиболы, оливины, голубовато-зеленоватая шпинель, внутри которой находится черная хромшпинель, рудный черный минерал ильменит, Ник. II; б – то же, что на А, крупные зерна с желтой интерференционной окраской – ортопироксены, в левом углу с яркой зеленой интерференционной окраской – оливин, мелкие зерна с синими и красными интерференционными окрасками – амфибол, Ник. X. в – Х6-2218 – амфиболит, нематогранобластовая структура, бесцветный минерал – амфибол, Ник. II. Длина масштабной линейки 1 мм.

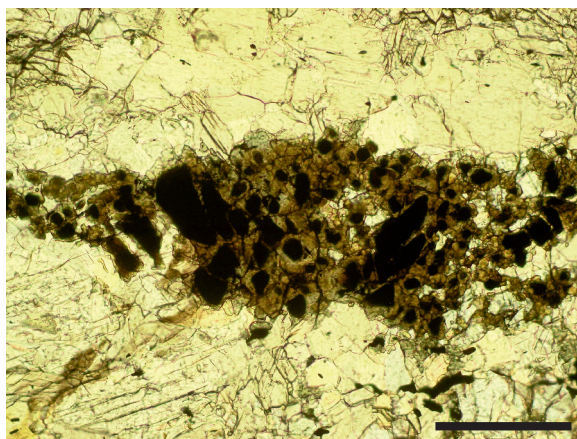


Рис. 3. Скопление зерен хромшпинели и шпинели в шпинель-оливин-ортопироксен-амфиболовой породе, Х6-2219.

Длина масштабной линейки 0.2 мм. Ник. II.

на – до 30, ортопироксена – от 30 до 50%. Второстепенные и акцессорные минералы представлены плагиоклазом, биотитом, хромитом, ильменитом, цирконом. Ультрамафитовые метаморфические породы характеризуются массивной и полосчатой текстурой, мелкозернистой и среднезернистой структурой. Полосчатая текстура возникает за счет чередования светлого амфибола со слоями темного пироксена. Микроструктура пород нематогранобластовая, гранобластовая и порфиробластовая (рис. 2).

Оливин и ортопироксен широко представлены в пробах Х6-2219, Х6-2220 и Х6-2222. Они образуют порфиробласты с неровными резорбированными краями размером от 1.0×1.5 до 2.0×3.0 мм. Зерна трещиноваты, по ним развивается амфибол. В шлифе оливин прозрачен, без спайности. Составы минералов приведены в табл. 1. Железистость оливина 0.19–0.20. Ортопироксены в шлифе бесцветны, обладают прямым погасанием, характеризуются невысокими содержаниями Al_2O_3 – от 1.50 до 3.03 мас. % – и CaO – от 0.18 до 0.47. Железистость ортопироксена (0.16–0.19) соответствует бронзиту (см. табл. 1).

Амфибол представлен бесцветной магнетиальной роговой обманкой, образует длиннопризматические зерна размером от 0.15×0.60 до 0.2×2.0 мм. Содержание Al_2O_3 в нем изменяется от 6.3 до 9.7 мас. %, TiO_2 – от 0.36 до 0.95 мас. % (см. табл. 1). Железистость 0.11–0.14.

В породах широко развита **синезеленая шпинель**, которая образует скопления зерен от 0.05×0.10 до 0.5×2.5 мм. Внутри этих скоплений иногда находятся черные зерна хромита с содержанием Cr_2O_3 – 51–54 мас. %, вокруг них развиваются зерна хромшпинели с содержанием Cr_2O_3 – от 12 до 7 мас. % (см. табл. 1, рис. 3).

Таблица 1. Состав главных породообразующих минералов и аксессуарных мафит-ультрамафитовых метаморфических пород, мас. %

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	56.32	55.25	54.87	39.59	39.26	39.49	52.14	49.27
TiO ₂	0.10	0.11	0.16	0.00	0.00	0.00	0.47	0.55
Al ₂ O ₃	1.74	3.03	2.54	0.01	0.00	0.00	6.37	8.20
Cr ₂ O ₃	0.00	0.10	0.02	0.07	0.03	0.00	0.57	1.08
FeO*	11.56	11.12	11.26	18.24	18.37	17.72	4.78	4.70
MnO	0.50	0.39	0.47	0.39	0.46	0.43	0.21	0.19
MgO	29.76	29.41	29.71	41.31	41.48	42.60	19.91	19.55
CaO	0.26	0.21	0.27	0.03	0.01	0.02	12.14	11.96
Na ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.56	0.69
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.10	0.22
Сумма	100.24	99.62	99.31	99.68	99.62	100.27	97.26	96.40
	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	50.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.05
TiO ₂	0.79	0.00	0.06	0.06	0.08	0.05	51.41	55.62
Al ₂ O ₃	9.40	12.12	10.75	53.69	58.22	65.22	0.17	0.19
Cr ₂ O ₃	0.25	52.81	54.05	12.37	7.15	1.22	0.04	0.11
FeO*	5.01	29.45	30.10	18.70	17.09	15.30	41.37	39.13
MnO	0.17	0.46	0.49	0.24	0.18	0.23	2.34	1.16
MgO	18.26	4.76	4.78	14.61	15.77	17.37	2.03	3.43
CaO	12.23	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	1.73	0.21
Na ₂ O	0.83	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o
K ₂ O	0.15	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0.01	0.01
NiO	H/o	H/o	H/o	0.32	0.49	H/o	0.17	0.12
ZnO	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0.01	0.00
Сумма	97.18	99.62	100.26	100.28	99.36	99.46	99.44	100.18

Примечание. Проба ХБ-2219. 1–3 – ортопироксен, 4–6 – оливин, 7–9 – амфибол, 10–11 хромит, 12–13 – хромшпинель, 14 – шпинель, 15–16 – ильменит. FeO* – все железо в виде FeO. H/o – элемент не обнаружен. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Cameca SX-100 в ИГГ УрО РАН, аналитик А.В. Михеева.

Таблица 2. Геотермометры и геобарометры для определения *P-T* параметров

Геотермометры, геобарометры	Литература	<i>T</i> , °C; <i>P</i> , кбар
Оливин-шпинелевый геотермометр	[Ballhaus et al., 1991]	600–700 °C
Ортопироксен-амфиболовый геотермометр	[Перчук, 1970]	650 °C
Содержание CaO в ортопироксене, геотермометр	[Nickel, Brey, 1984]	600–650 °C
Роговообманковый геотермометр	[Otten, 1984]	600–650 °C
Амфиболовый геобарометр	[Hammastrom, Zen, 1986]	4.0–4.7 кбар
То же	[Johnson, Rutherford, 1989]	4.0–4.7 кбар
То же	[Schmidt, 1992]	4.0–4.7 кбар

Для определения *P-T* параметров сосуществующих минералов мафит-ультрамафитовых метаморфических пород мы использовали четыре геотермометра и три амфиболовых геобарометра (табл. 2).

На классификационной диаграмме “сумма щелочей–SiO₂” точки составов рассматриваемых пород попадают в поля базальтового андезита, базальта и пикробазальта (рис. 4). Все породы характеризуются высокими содержаниями MgO – от 23.5 до 27.0 мас. % – и низкой железистостью – 0.13–0.16. Также эти породы обладают близкими содержаниями SiO₂ – от 47.6 до 53.0 мас. % – и Al₂O₃ – от 5.5 до 7.4 мас. %, за исключением пробы ХБ-2220, в которой содержание SiO₂ составляет всего 41.5 мас. %, а Al₂O₃ достигает 12.7 мас. % (табл. 3). Содержание всех остальных петрохимических элементов у этих

пород сходны. Например, количество CaO изменяется от 4.5 до 7.6 мас. %, Na₂O – от 0.5 до 0.9, TiO₂ – от 0.30 до 0.85, P₂O₅ – от 0.02 до 0.32 мас. %. Содержание Rb и Sr в них низкое: 8–10 и 8–40 г/т соответственно. По составу эти породы сходны с магматическими ультраосновными породами – вебстеритами, но отличаются большим количеством Al₂O₃ и P₂O₅, а также низкими содержаниями Sr.

Для двух проб ХБ-2219 и ХБ-2218 сделаны геохимические анализы, распределение РЗЭ у них отличное от такового у вебстеритов ВХК. Шпинель-оливин-ортопироксен-амфиболовая порода ХБ-2219 характеризуется высоким La/Yb, равным 5.2, и отрицательной Eu-аномалией. Амфиболит ХБ-2218 имеет спектр РЗЭ, параллельный спектру распределения ХБ-2219, только более низкого уровня, и по-

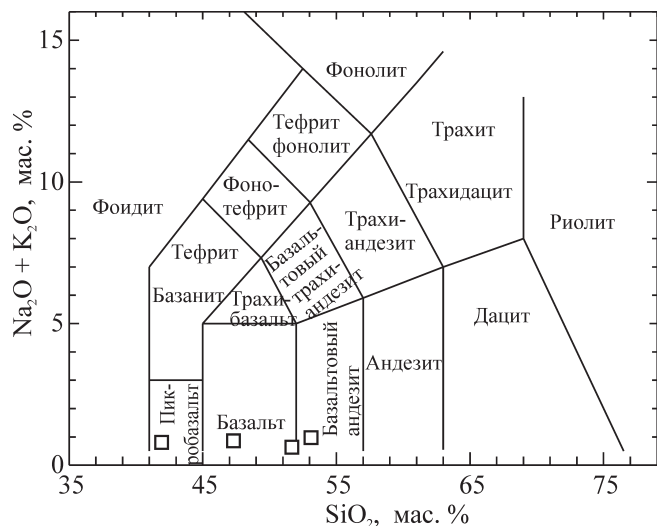


Рис. 4. Положение составов ультрамафитовых метаморфических пород на классификационной диаграмме «сумма щелочей– SiO_2 ».

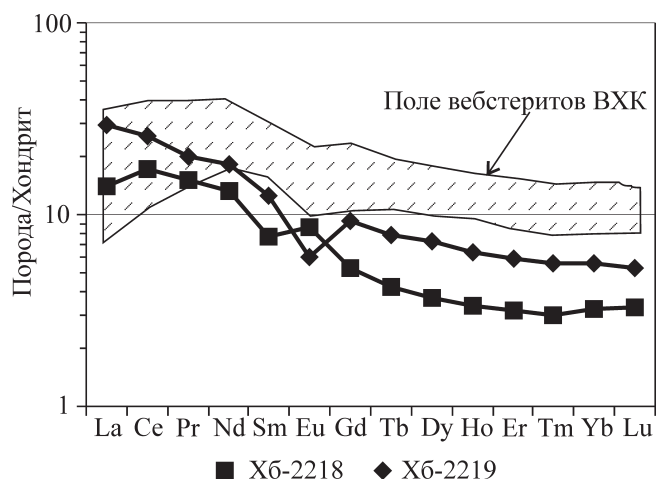


Рис. 5. Распределение РЗЭ в ультраосновных метаморфических породах, нормированных на стандартный углистый хондрит [Sun, 1982].

ложительную европиевую аномалию, $\text{La}/\text{Yb} = 4.3$ (рис. 5).

Таким образом, проведено первое исследование ультраосновных метаморфических пород в Восточном блоке Хабаровинского полиформационного габбро-гипербазитового массива. Определены P - T параметры равновесия сосуществующих минералов, которые соответствуют верхам амфиболитовой фации метаморфизма. Субстратом для данных пород могли послужить ультраосновные магматические породы – вебстериты, но составы изучаемых метаморфических пород отличаются от таковых предполагаемых субстратов по ряду признаков. Можно предположить, что метаморфизм не был изохимическим либо субстратом для них послужила смесь пород.

Таблица 3. Содержание в ультраосновных метаморфических породах петрогенных элементов, мас. %, и редких элементов, г/т

Элемент	X6-2218	X6-2219	X6-2220	X6-2222
SiO_2	53.000	47.630	41.450	51.460
TiO_2	0.310	0.850	0.690	0.520
Al_2O_3	6.260	7.420	12.740	5.480
Fe_2O_3	2.770	5.280	6.320	5.450
FeO	4.300	3.800	3.800	2.400
MnO	0.150	0.200	0.160	0.170
MgO	23.550	24.670	27.000	26.350
CaO	6.960	7.630	4.510	6.090
Na_2O	0.900	0.800	0.750	0.500
K_2O	0.060	0.090	0.070	0.060
P_2O_5	0.020	0.320	0.150	0.140
П.п.п.	1.100	0.800	2.200	0.800
Сумма	99.390	99.480	99.830	99.420
$\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$	0.140	0.160	0.160	0.130
Rb	8.000	10.000	12.000	10.000
Sr	8.000	40.000	37.000	14.000
Li	15.599	2.072	—	—
Be	0.324	0.465	—	—
Sc	12.561	15.209	—	—
Ti	1579.422	4298.101	—	—
V	61.439	114.779	—	—
Cr	895.595	772.338	—	—
Co	75.328	71.538	—	—
Ni	916.682	1052.160	—	—
Cu	33.301	34.643	—	—
Zn	38.789	39.920	—	—
Zr	14.298	51.757	—	—
Nb	2.253	11.175	—	—
Ag	0.062	0.243	—	—
Cd	0.126	0.150	—	—
Sn	0.546	0.420	—	—
Sb	0.060	0.040	—	—
Te	0.038	0.009	—	—
Ba	5.128	41.788	—	—
La	4.599	9.587	—	—
Ce	14.856	22.235	—	—
Pr	1.979	2.628	—	—
Nd	8.424	11.533	—	—
Sm	1.573	2.539	—	—
Eu	0.659	0.467	—	—
Gd	1.450	2.579	—	—
Tb	0.210	0.388	—	—
Dy	1.256	2.478	—	—
Ho	0.258	0.490	—	—
Er	0.715	1.336	—	—
Tm	0.104	0.196	—	—
Yb	0.713	1.229	—	—
Lu	0.110	0.180	—	—
Hf	0.601	1.482	—	—
Ta	0.083	0.584	—	—
W	22.520	44.120	—	—

Примечание. Силикатные анализы пород выполнены рентгенофлуоресцентным методом на VRA-30, определения Rb и Sr – рентгенофлуоресцентным методом на CHV-18, остальные редкие элементы определяли методом ICP-MS на приборе ELLAN-9000 в ИГТ УрО РАН, аналитики Г.М. Ятлук, Н.П. Горбунова, Л. Татаринова, Д. Киселева.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 16-05-00202-а, 16-05-00508-а и инициативного проекта УрО РАН № 15-18-5-24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балыкин П.А., Конников Э.Г., Кривенко А.П., Леснов Ф.П. и др.* Петрология постгарибуржитовых интрузивов Кемпирсайско-Хабарнинской офиолитовой ассоциации (Южный Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 160 с.
- Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В.* О химическом составе амфиболитов восточного обрамления Хабарнинского массива на Южном Урале // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 106–112.
- Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В.* Метаморфические породы гранулитовой фации в составе Хабарнинского мафит-ультрамафитового аллохтона // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 133–142.
- Варлаков А.С.* Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. М.: Наука, 1978. 238 с.
- Перчук Л.Л.* Равновесия породообразующих минералов. М.: Наука, 1970. 392 с.
- Пушкарев Е.В., Готтман И.А., Бирюзова А.П.* Особенности геологического строения комплекса метаморфических пород в восточном экзоконтакте Хабарнинского массива на Южном Урале // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 189–193.
- Херасков Н.П.* Эбетинский шарьяж на Южном Урале // Геотектоника. 1971. № 4. С. 26–30.
- Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H.* High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contrib. Mineral. Petrol. 1991. V. 107. P. 27–40.
- Hammastrom J.M., Zen E.* Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // Mineralogist. 1986. V. 71. P. 1297–1313.
- Johnson M.C., Rutherford M.J.* Experimental calibration of the aluminium in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks // Geology. 1989. V. 17. P. 837–884.
- Nickel K.G., Brey G.* Subsolidus orthopyroxene-clinopyroxene systematics in the system CaO–MgO–SiO₂ to 60 kbar: A re-evaluation of the regular solution model // Contrib. Mineral. Petrol. 1984. V. 87. P. 35–42.
- Otten M.T.* The origin of brown hornblende in the Artssjallet gabbros and dolerites // Contrib. Mineral. Petrol. 1984. V. 86. P. 185–199.
- 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. V. 110. P. 304–310.
- Sun S.S.* Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle // Geochim. Cosmochim. Acta. 1982. V. 46. P. 179–192.