

УДК 549

**МИНЕРАЛОГИЯ ПИРОКСЕНИТОВ И АПОПИРОКСЕНИТОВЫХ РОДИНГИТОВ
И ХЛОРИТОЛИТОВ КУРТИНСКОГО ЭКЛОГИТ-СЛАНЦЕВОГО КОМПЛЕКСА
(УФАЛЕЙСКИЙ МЕТАМОРФИЧЕСКИЙ БЛОК, СРЕДНИЙ УРАЛ)**

А.И. Белковский

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, belk@mineralogy.ru

**MINERALOGY OF PYROXENITES AND APOPYROXENITE RODINGITES
AND CHLORITOLITES OF THE KURTA ECLOGITE-SCHIST COMPLEX
(UFALEY METAMORPHIC BLOCK, CENTRAL URALS)**

A.I. Belkovsky

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, belk@mineralogy.ru

Приведены оригинальные данные по минералогии, петрографии и онтогении гранатовых пироксенитов и продуктов их корового метаморфизма – родингитов, хлоритолитов и тальк-карбонатных пород.

Илл. 3. Табл. 6. Библ. 31.

Ключевые слова: Уфалейский метаморфический блок, пироксениты, родингиты, хлоритолиты.

Original data on mineralogy, petrography and ontogeny of garnet pyroxenites and products of their crustal metamorphism – rodingites, chloritolites and talc-carbonate rocks from the Ufaley metamorphic block, Central Urals, are described at the paper.

Figures 3. Tables 6. References 31.

Key words: Ufaley metamorphic block, pyroxenites, rodingites, chloritolites, talc-carbonate rocks.

Родингиты и лавсонитсодержащие породы, ассоциирующие с эклогитами и серпентинитами, обнаружены на Южном Урале в составе максютовского эклогит-глаукофан-сланцевого комплекса (Добрецов, 1974; Ленных, 1977; Ленных, Вализер, 1986; Вализер, 2002; Вализер и др., 2013). Было сделано предположение, что протолитом для их образования могли являться различные метагабброиды (Добрецов, 1974). Родингиты, ассоциирующие с эклогитами и серпентинитами, отмечены и на Среднем Урале в куртинском эклогит-сланцевом комплексе, входящем в состав Уфалейского метаморфического блока (Белковский, Локтина, 1975). Именно в этом районе ранее впервые для Урала было установлено широкое развитие процессов антигоритизации диаллаговых пироксенитов (Штукенберг, 1889; Мархилевич, 1933). Как было выяснено позднее, одно из таких тел (восточная половина трапеции N-41-1-Б, гора Высокая), является бескорневой пластиной (2.5 × 1.2 км), залегающей

среди палеозойских (300–290 млн лет) барических гранат-слюдяно-кварцевых бластомилонитов (рис. 1). Проведёнными горными работами установлено, что центральная и южная части пластины представлены ритмично-полосчатыми породами, стратификация которых обусловлена чередованием отдельных (3–2 и до 1 м) «ритмов» гигантозернистых и средне-мелкозернистых пироксенитов (Белковский, Локтина, 1974ф). Мелко-среднезернистые разности являются продуктами рекристаллизации гигантозернистого протолита (рис. 2а, б).

Макроскопически пироксениты представлены зелёными массивными породами, практически нацело сложенными низкоглинозёмистым хромдиопсидом (табл. 1, 2) и резко подчинённым пироксену хромтитаномagnetитом и гранатом альмандин-пиропового состава (Пир₅₃Альм₃₀Спесс₁Са-комп₁₆; N = 1.749–1.752; a₀ = 11.539–11.543 Å). Гранат и рудный минерал наблюдаются в пироксене в виде ламелл по {100} или изометричных каплевид-



Рис. 1. Тектоническая схема Уфалейского метаморфического блока:

1 – куртинский эклогит-сланцевый комплекс; 2 – высокоглинозёмистые гранат-ставролит-мусковит-кварцевые blastsмилониты зоны Главного Уральского глубинного разлома; 3 – гранатые пироксениты, апопироксенитовые серпентиниты, родингиты и хлоритолиты; 4 – егустинский амфиболит-габбровый комплекс. Разломы: 1 – Главный Уральский глубинный, 2 – Зюраткульский.

Fig. 1. Tectonic scheme of the Ufaley metamorphic block: 1 – Kurta eclogite-schist complex; 2 – garnet-staurolite-muscovite-quartz blastomylonite of the Main Ural fault zone; 3 – garnet pyroxenite, apopyroxenite serpentinite, rodingite, chloritolite; 4 – Egusty amphibolite-gabbro complex. Faults: 1 – Main Ural, 2 – Zyuratkul.

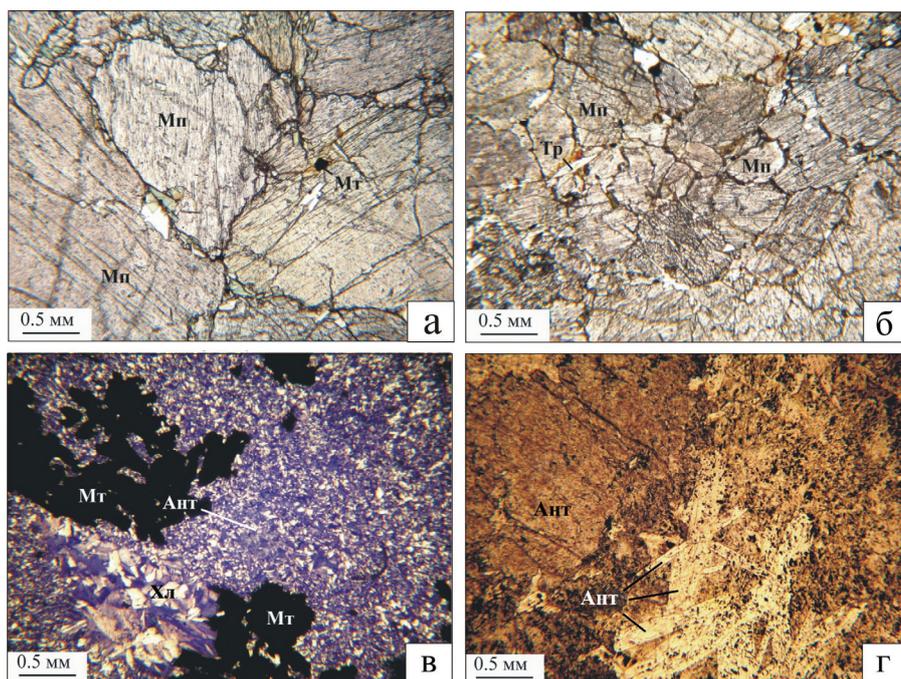


Рис. 2. Пироксениты и апопироксенитовые серпентиниты куртинского комплекса.

а – крупнозернистый пироксенит, гора Высокая, обр. 7707-1; б – рекристаллизованный мелкозернистый пироксенит, гора Высокая, обр. 7681; в – апопироксенитовый серпентинит, Большой Агардяш, обр. Н-287; г – апопироксенитовый серпентинит, Большой Агардяш, обр. Н-256.

Мп – хромдиопсид, Хл – клинохлор, Мт – хромтитаномагнетит, Тр – тремолит, Ант – антигорит. Шлифы: без анализатора (а, б, г) и с анализатором (в).

Fig. 2. Pyroxenite and apopyroxenite serpentinite of the Kurta complex:

а – coarse-grained pyroxenite, Mt. Vysokaya, sample 7707-1; б – recrystallized small-grained pyroxenite, Mt. Vysokaya, sample 7681; в – apopyroxenite serpentinite, Bol'shoy Agardyash, sample H-287; г – apopyroxenite serpentinite, Bol'shoy Agardyash, sample H-256.

Мп – chrome diopside, Хл – clinocllore, Мт – chrome titanomagnetite, Тр – tremolite, Ант – antigorite. Thin sections, × nicols (а, б, г), || nicols (в).

Таблица 1

Химический состав (мас. %) породообразующего хромдиопсида из пироксенитов горы Высокой

Table 1

Chemical composition of rock-forming chrome diopside from pyroxenite of the Mt. Vysokaya (wt. %)

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	Сумма	F _{общ}
Гигантозернистые пироксениты															
1	52.78	0.23	0.75	0.48	0.96	1.76	0.12	19.12	22.78	0.34	0.08	0.80	Не опр.	100.20	7.1
2	52.45	0.17	1.06	0.45	1.48	2.00	0.07	17.70	23.24	0.14	0.04	0.86	0.06	99.72	9.5
Мелко-среднезернистые пироксениты															
3	53.43	0.08	0.68	Не опр.	1.03	1.60	0.03	18.84	22.68	0.29	0.04	0.80	0.20	99.70	7.0
4	52.98	0.04	0.55	Не опр.	0.74	2.58	0.08	19.30	21.76	0.37	0.04	0.86	0.04	99.34	8.6
5	52.64	0.07	1.24	Не опр.	1.28	2.14	0.10	18.84	22.20	0.27	0.04	0.98	0.06	99.86	8.9
6	52.86	0.15	0.67	0.45	0.41	1.97	0.04	18.80	23.60	0.20	0.10	0.90	Не опр.	100.15	6.5
7	51.95	0.15	1.43	0.37	–	3.80	0.24	17.84	22.98	0.25	0.12	Не опр.	Не опр.	99.13	10.5
Реликтовый пироксен из тремолит-хлоритовых пород															
8	53.10	0.05	0.51	0.63	–	2.78	0.20	18.00	23.40	0.36	0.18	Не опр.	Не опр.	99.21	7.4

Примечание. Анализы 1–6 выполнены в Центральной химической лаборатории ПО «Уралгеология», аналитик Н.Ф. Колосова. Анализы 7, 8 – на микроанализаторе JXA–5a в Институте геологии и геохимии УрО АН СССР, аналитик В.Г. Гмыра. $F_{\text{общ}} = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$.

Note. Analyses 1–6, the Central Chemical Laboratory, «Uralgeologiya», analyst N.F. Kolosova; analyses 7, 8, JXA-5 microprobe, Institute of Geology and Geochemistry UB AS USSR, analyst V.G. Gmyra. $F_{\text{общ}} = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$.

Таблица 2

Кристаллохимические формулы (к. а. ф.) и компонентный состав (мол. %) хромдиопсида из пироксенитов горы Высокая

Table 2

Formula units (f. u.) and component composition (mol. %) of chrome diopside from pyroxenite of the Mt. Vysokaya

№	Кристаллохимические формулы (к. ф.)														
	Si	Cr	Al ^{IV}	Сумма	Al ^{VI}	Fe ⁺³	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	K	Сумма	O	ОН
1	1.92	0.01	0.03	1.96	–	0.03	0.05	1.04	–	0.90	0.02	–	2.04	5.91	0.09
2	1.94	–	0.05	1.99	–	0.04	0.06	0.98	–	0.92	0.01	–	2.01	5.98	0.02
3	1.95	–	0.03	1.98	–	0.03	0.05	1.03	–	0.89	0.02	–	2.02	5.96	0.04
4	1.94	–	0.02	1.96	–	0.02	0.08	1.05	–	0.86	0.03	–	2.04	5.89	0.11
5	1.94	–	0.05	1.99	–	0.04	0.07	1.01	–	0.87	0.02	–	2.01	5.95	0.05
6	1.93	0.01	0.03	1.97	–	–	0.06	1.02	–	0.93	0.01	–	2.02	5.90	0.10
7	1.88	–	0.07	1.95	–	–	0.16	0.96	–	0.89	0.02	0.01	2.04	5.80	0.20
8	1.96	–	0.02	1.98	–	–	0.08	0.98	0.01	0.92	0.02	0.01	2.02	5.99	0.01

№	Компонентный состав (мол. %)						
	Cr	Al	Эг	Йохан	Гед	Ди	Эн
1	1.0	0.8	1.9	–	5.1	80.5	10.7
2	1.0	1.3	1.7	–	6.2	82.1	7.7
3	–	1.0	2.0	–	4.8	82.4	9.8
4	–	0.8	1.3	–	7.9	75.6	14.4
5	–	2.0	2.0	–	6.5	77.2	12.3
6	1.3	0.6	1.6	–	3.9	84.7	7.9
7	0.6	1.9	2.0	0.4	11.5	73.8	9.8
8	1.6	0.8	2.0	0.6	8.6	78.0	8.4

Примечание. Компоненты: Cr – хромовый; Al – глинозём; Эг – эгирин; Йохан – йохансенит; Гед – геденбергит; Ди – диопсид; Эн – энстатит.

Note. Components: Cr – chromium, Al – aluminous, Эг – aegirine, Йохан – johannsenite, Гед – gedenbergite, Ди – diopside, Эн – enstatite.

Таблица 3

Химический состав (мас. %) и кристаллохимические формулы (к. а. ф.) хромтитаномагнетита и магнетита из пироксенитов (анализы 1–5) и родингитов (анализ 6)

Table 3

Chemical composition (wt. %) and formula units (f. u.) of chrome titanomagnetite and magnetite from pyroxenite (an. 1–5) and rodingite (an. 6)

№ п/п	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CoO	Сумма
1	1.45	11.25	0.49	76.13	He опр.	0.50	0.12	0.08	90.02
2	1.67	11.54	0.06	76.77	He опр.	0.50	0.12	0.08	90.74
3	2.00	15.05	0.38	73.17	He опр.	0.50	0.12	0.10	91.32
4	1.45	11.46	0.06	79.01	0.77	0.56	He опр.	He опр.	93.31
5	1.80	17.06	0.05	73.95	1.77	0.63	He опр.	He опр.	94.26
6	1.34	1.02	1.60	95.67	0.15	0.22	He опр.	He опр.	100.00

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Ti	Cr	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ni	Co	Сумма
1	0.479	2.836	0.077	12.608	7.722	-	0.230	0.029	0.019	24.000
2	0.401	2.906	0.019	12.674	7.723	-	0.229	0.029	0.019	24.000
3	0.475	3.762	0.153	11.610	7.724	-	0.228	0.029	0.019	24.000
4	0.334	2.784	0.018	12.864	7.536	0.204	0.260	-	-	24.000
5	0.404	4.120	0.147	11.329	7.430	0.294	0.276	-	-	24.000
6	0.286	0.232	0.630	14.942	7.862	0.037	0.011	-	-	24.000

Примечание. 1–3 – титансодержащий хроммагнетит в хромдиопсиде; 4, 5 – межзерновой титансодержащий хроммагнетит в хромдиопсиде; 6 – магнетит из родингитов, обр. 10714, гора Высокая. Размер зёрен, мкм: 1–3 (обр. 9): 1 – 170 × 180, 2 – 180 × 200, 3 – 220 × 300; 4–6 (обр. 10): 4 – 210 × 280, 5 – 150 × 150, 6 – 210 × 300. Анализы 1–5 выполнены на рентгеновском микроанализаторе JXA-5 (аналитик В.Г. Гмыра), 6 – в химической лаборатории Института геологии и геохимии УрО АН СССР (аналитик Д.П. Силантьева). Для обр. 6 – $a_0 = 8.399 \text{ \AA}$ (дифрактометр ДРОН-2, Ильменский заповедник, аналитик В.Ф. Жданов).

Note. 1–3 – Ti-bearing chrome magnetite in chrome diopside; 4, 5 – xenomorphic Ti-bearing chrome magnetite in chrome diopside; 6 – magnetite from rodingite, sample 10714, Mt. Vysokaya. Analyses 1–5 – JXA-5a microprobe, analyst V.G. Gmyra, 6 – chemical laboratory, analyst D.P. Silant'eva (Institute of Geology and Geochemistry UB AS USSR). For an. 6: $a_0 = 8.399 \text{ \AA}$ (DRON-2 diffractometer, analyst V.F. Zhdanov, Ilmeny State Reserve).

ных зёрен. Однородный по составу клинопироксен горы Высокой по содержаниям глинозёма, титана и хрома (Белковский и др., 1982) резко отличается от пироксенов основных мафитов дунит-гарцбургитовой (Малахов, 1983; Пинус и др., 1973; Штейнберг и др., 1972), дунит-клинопироксенитовой (Плошкина, Фоминых, 1963; Штейнберг, Фоминых, 1967), скарновой и щёлочно-ультраосновной (Кухаренко и др., 1965) формаций. Изученные образцы (табл. 1, 2) идентичны хромдиопсидам из включений гранатовых «зелёных» клинопироксенитов из ряда кимберлитовых трубок Якутии (трубка «Мир») и ЮАР (трубки «Ягерсфонтейн» и «Беллс-Бэнк») (Borley, Suddaby, 1975). Рудный минерал в пироксенитах представлен цинксодержащим высокожелезистым алюмохромитом (Cr₂O₃ 50.84; Al₂O₃

12.20; FeO 30.16; MnO 0.24; MgO 5.38; ZnO 1.18; сумма 100.18, мас. %) и продуктами его дезинтеграции – хромтитаномагнетитом (табл. 3), состав которого также отличен от состава хроммагнетитов из мафитов Среднего и Южного Урала.

По существующим классификациям (Trask, 1960), стратифицированные мафиты горы Высокой относятся к барическим (гранатовым) фациям вещества пироксенитового слоя верхней мантии (Белковский и др., 1982). Большинство тел хромдиопсидовых пироксенитов в куртинском комплексе замещено серпентинитами (табл. 4), в которых присутствуют два типа антигоритов: микрозернистый антигорит – $N_g 1.561\text{--}1.565$; $N_p 1.555\text{--}1.558$; $F_{\text{общ}} 2.7\text{--}2.8$; и высокожелезистый пластинчатый – $N_g 1.578$; $N_p 1.571$; $F_{\text{общ}} 9.1\text{--}9.4$ (табл. 5), – по составу

Таблица 4

Химический состав (мас. %) антигоритовых серпентинитов куртинского комплекса

Table 4

Chemical composition of antigorite serpentinite of the Kurta complex (wt. %)

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Сумма
1	41.06	0.05	2.09	3.44	3.74	0.11	37.36	0.23	0.15	0.10	Сл.	11.62	99.95
2	40.02	0.03	0.78	6.00	1.66	0.13	38.40	Не обн.	0.13	0.05	Сл.	12.27	99.47
3	43.44	0.05	1.13	3.03	3.50	0.06	37.24	0.08	0.16	0.10	0.02	11.35	100.16
4	35.67	0.01	0.27	4.13	2.61	0.01	39.03	0.01	0.10	0.10	0.01	18.04	99.99
5	38.59	0.01	0.16	3.47	5.63	0.01	43.76	0.01	0.10	0.10	0.01	8.10	99.95
6	40.56	0.01	2.58	3.08	5.51	0.01	35.69	0.01	0.10	0.10	0.01	12.46	100.12
7	38.82	0.08	2.25	6.07	3.05	0.01	36.67	0.03	0.10	0.10	0.01	13.08	100.27
Средний состав антигоритовых серпентинитов (n = 7)													
8	39.74	0.03	1.32	4.17	3.34	0.05	38.30	0.05	0.12	0.09	0.01	13.14	100.36

Примечание. Анализы выполнены в химической лаборатории Ильменского заповедника, аналитик Н.И. Галкина.

Note. Analyses were carried out in chemical laboratory of the Ilmeny State Reserve, analyst N.I. Galkina.

Таблица 5

Химический состав (мас. %), оптические и рентгеновские константы антигорита из серпентинитов и родингитов

Table 5

Chemical composition (wt. %), optical, and X-ray constants of antigorite from serpentinite and rodingite

№ п/п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	NiO	Сумма	F	N _g	N _p	a ₀ , Å	b ₀ , Å	c ₀ , Å	β
Антигорит серпентинитов по хромдиопсидовым пироксенитам														
1	42.42	3.56	0.12	1.94	38.61	0.12	86.77	2.7	1.561	1.555	43.44	9.253	7.263	90°23'
2	42.59	2.93	0.24	2.00	38.57	0.12	86.45	2.8	1.565	1.558	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Среднее	42.48	3.27	0.18	1.97	38.59	0.12	86.61	2.7	1.563	1.556	43.44	9.253	7.263	90°23'
Родингитовый антигорит														
3	44.07	0.68	0.26	6.48	36.15	0.09	87.73	9.3	1.578	1.571	43.60	9.481	7.229	91°31'
4	43.03	1.95	0.26	6.77	36.43	0.13	88.57	9.4	1.578	1.571	43.62	9.460	7.232	91°35'
Среднее	43.55	1.31	0.26	6.64	36.29	0.10	88.15	9.3	1.578	1.571	43.61	9.470	7.230	91°33'

Примечание. 1, 2 – микрозернистый антигорит из серпентинитов с реликтовым хромдиопсидом и цинксодержащим алюмохромитом; 3, 4 – пластинчатый антигорит из родингитов с тремолитом и магнетитом. Анализы выполнены на микроанализаторе EDAX-9100 (Санкт-Петербургский университет, аналитик А.Р. Нестеров); показатели преломления определены С.В. Непримеровой на кафедре кристаллографии СПбГУ (Белковский и др., 1995).

Note. 1, 2 – micrograined antigorite from serpentinite with relict chrome diopside and Zn-bearing aluminochromite; 3, 4 – platy antigorite from rodingite with tremolite and magnetite. Analyses were carried out on EDAX-9100 microprobe, analyst A.R. Nesterov (St. Petersburg State University); optical constants are determined by S.V. Neprimerova (Department of Crystallography, St. Petersburg State University) (Belkovsky et al., 1995).

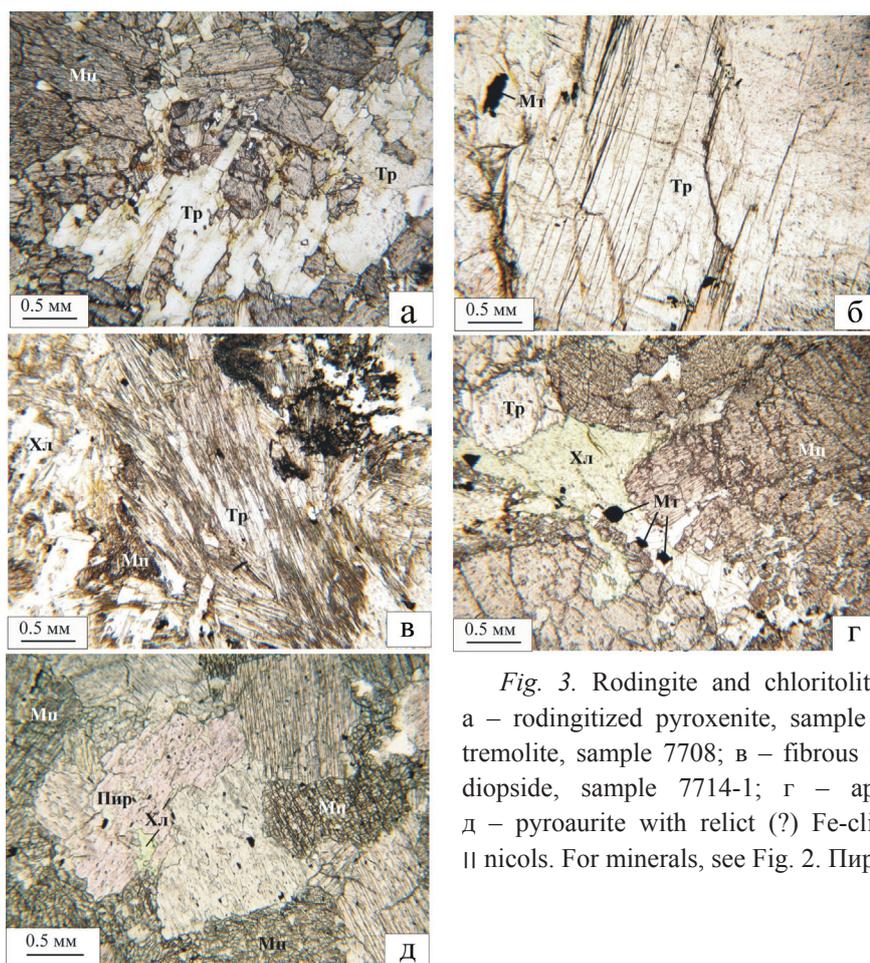


Рис. 3. Родингиты и хлоритолиты куртинского комплекса, гора Высокая.

а – родингитизированный пироксенит, обр. 7719; б – нефритовидный гигантокристаллический тремолит, обр. 7708; в – спутанно-волокнистый нефритовидный тремолит с реликтами хромдиопсида, обр. 7714-1; г – апопироксенитовые хлоритолиты, обр. 7706; е – пирроаурит с реликтами (?) железистого клинохлора, обр. 7687-1. Шлифы без анализатора. Обозначения минералов см. рис. 2. Пир – пирроаурит.

Fig. 3. Rodingite and chloritolite of the Kurta complex, Mt. Vysokaya. а – rodingitized pyroxenite, sample 7719; б – nephrite-like giant-crystalline tremolite, sample 7708; в – fibrous nephrite-like tremolite with relict chrome diopside, sample 7714-1; г – apopyroxenite chloritolite, sample 7706; д – pyroaurite with relict (?) Fe-clinochlore, sample 7687-1. Thin sections, || nicols. For minerals, see Fig. 2. Пир – pyroaurite.

ву близкий к дженкенситу, ранее установленному в магнетитовых породах рудника О'Нейл в США (рис. 2в–г). Кривые нагревания пластинчатого антигорита характеризуются эндотермическим эффектом в интервале 800–810 °С. Именно с зонами развития высокожелезистого антигорита генетически связаны родингиты тремолитового состава. Это нефритоподобные породы, сложенные белым и светло-зелёным тремолитом (табл. 6, ан. 2–7) и резко подчинёнными ему диопсидом, хлоритом, магнетитом (табл. 6, ан. 1, 8–9). Обе разновидности тремолита встречаются в виде крупнокристаллических и спутано-волокнистых агрегатов (рис. 3а–в). Отличия их заключаются лишь в различных содержаниях железа, глинозёма и натрия (к. а. ф.):

– белый тремолит $(Ca_{1.76}Na_{0.07}Mg_{4.47}Fe^{+2}_{0.36}Fe^{+3}_{0.08}Mn_{0.01}Al_{0.08}Si_{7.97})(OH)_2$; $F_{общ} = 8.1$ (n = 7); $N_g = 1.583$ – 1.586 ; $c : N_g = 16^\circ$; $-2V = 86^\circ$;

– светло-зелёный тремолит $(Ca_{1.81}Na_{0.17}Mg_{4.06}Fe^{+2}_{0.82}Fe^{+3}_{0.08}Mn_{0.02}Al_{0.02}Si_{7.62})(OH)_2$; $F = 18.1$; $N_g = 1.642$; $N_p = 1.615$; $N_g - N_p = 0.027$; $c : N_g = 18^\circ$; $-2V = 80^\circ$; $a_0 = 9.85 \pm 0.04$; $b_0 = 18.05 \pm 0.01$; $c_0 = 5.29 \pm 0.01$ Å; $\beta = 104.89^\circ$.

Размер отдельных тел родингитов впечатляющий: длина до 100 м при мощности 1–2 м. Диопсид, ассоциирующий с тремолитом (табл. 6, ан. 1), по всем характеристикам близок к диопсидам «родингитового» типа (Добрецов и др., 1971). Родингиты тремолитового состава также отмечены в составе нефритовой провинции Южного Урала (Архиреев и др., 2011; 2014).

Родингиты метасоматически замещаются клинохлоровыми хлоритолитами (рис. 3, обр. 7706). Постродингитовые образования представлены хлоритолитами с железистым клинохлором ($F_{общ} = 22$ – 28 ; $N_g = 1.598 \pm 0.003$; $N_p = 1.592 \pm 0.003$; $a_0 = 5.325 \pm 0.005$; $b_0 = 2.243 \pm 0.002$; $c_0 = 14.267 \pm 0.008$ Å; $\beta = 96.87^\circ$, табл. 6). С высокожелезистым клинохлором (рис. 3д) постоянно отмечается пирроаурит – $Mg_6Fe_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ ($n_0 = 1.564$; $n_c = 1.543$; межплоскостные расстояния – 7.764 (10); 3.927 (7); 2.573 (4); 2.397 (4); 1.971 (4); 1.671 (1); 1.560 (2); дебаграмма снята С.В. Непримеровой на кафедре кристаллографии СПбГУ (Белковский и др., 1995)). В хлоритолитах куртинского комплекса впервые для Урала обнаружена и изучена редкометальная

Таблица 6

Химический состав (мас. %) минералов родингитов, хлоритолитов и тальк-карбонатных пород горы Высокой

Table 6

Chemical composition of minerals from rodingite, chloritollite, and talc-carbonate rocks of the Mt. Vysoкая (wt. %)

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	Сумма	F _{общ}
Минералы родингитов																
1	52.83	0.12	1.02	—	3.71	Не опр.	17.41	24.34	Не опр.	Не опр.	—	—	—	—	99.95	10.7
2	57.20	0.06	0.63	0.68	2.14	<0.05	22.05	13.36	0.29	0.04	Не опр.	Не опр.	2.46	0.52	99.48	6.5
3	58.72	0.07	0.57	0.76	3.35	0.15	22.18	10.87	0.29	0.09	Не опр.	Не опр.	2.42	0.18	99.65	9.2
4	58.44	0.05	0.90	0.82	4.08	0.12	21.17	11.70	0.19	0.09	Не опр.	Не опр.	1.68	0.12	99.36	11.3
5	55.44	0.11	2.35	1.15	7.50	0.15	19.39	11.29	0.55	0.04	Не опр.	Не опр.	1.78	0.25	100.00	19.8
6	54.86	0.07	2.49	0.70	7.04	0.24	19.81	11.05	0.78	0.06	Не опр.	Не опр.	2.32	—	99.42	17.8
7	55.34	0.05	2.52	0.70	6.70	0.24	19.77	11.82	0.19	0.04	Не опр.	Не опр.	2.40	—	99.77	17.2
8	32.64	0.04	14.68	2.60	4.87	0.06	32.04	0.23	0.15	0.04	Не опр.	Не опр.	12.40	Не опр.	99.75	11.2
9	0.00	1.34	1.60	—	95.67	0.15	0.22	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—	—	100.00	—
Минералы хлоритолитов																
10	30.10	0.07	17.67	3.70	12.63	0.09	23.23	1.04	0.30	0.04	Не опр.	Не опр.	11.27	—	100.14	27.8
11	26.56	0.29	24.99	3.89	11.97	0.31	21.75	0.91	Сл	0.12	Не опр.	Не опр.	8.55	—	99.34	28.5
12	25.47	0.25	20.52	3.97	13.46	0.31	22.06	0.15	Сл	Не обн.	Не опр.	Не опр.	12.20	1.58	99.97	30.2
Минералы тальк-карбонатных пород																
13	63.58	Не опр.	Не опр.	Не опр.	1.48	0.00	30.34	0.00	0.00	0.00	0.11	0.10	—	—	95.61	—
14	63.95	Не опр.	Не опр.	Не опр.	1.60	0.00	29.95	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	—	—	95.65	—
15	0.00	Не опр.	Не опр.	Не опр.	8.27	0.31	40.56	0.42	—	—	0.00	51.17	—	—	100.73	—

Примечание. Минералы родингитов: 1 – диопсид; 2–7 – белый (ан. 2–4) и светло-зелёный (ан. 5–7) тремолит; 8 – клинохлор из хлоритолитов; 9 – магнетит. Минералы хлоритолитов: 10 – железистый клинохлор из редкометалльных хлоритолитов, гора Высокая; 11, 12 – то же с маргаритом, фергусонитом и монацитом, Маук (Левин и др., 1997; Попов, Губин, 2010). Минералы тальк-карбонатных пород: 13, 14 – тальк; 15 – брейнерит. Дополнительно в анализах 1 и 9 определено содержание Cr₂O₃ (мас. %) соответственно: 0.12 и 1.02. Анализы выполнены: 2–10 – Центральная химлаборатория ПО «Уралгеология», аналитик Н.Ф. Колосова; 11, 12 – Полевская химлаборатория (Левин и др., 1997); 1, 13–15 – микронд EDAX-9100, СПбГУ, аналитик А.Р. Нестеров (Белковский и др., 1995).

Note. Minerals of rodingite: 1 – diopside; 2–7 – white (an. 2–4) and light green (an. 5–7) tremolite; 8 – clinocllore from chloritollite; 9 – magnetite. Minerals of chloritollite: 10 – Fe-clinocllore from rare metal chloritollite; 11, 12 – the same with margarite, fergusonite, and monazite, Mauck (Levin et al., 1997; Popov, Gubin, 2010). Minerals of talc-carbonate rocks: 13, 14 – talc; 15 – breunnerite. Diopside (an. 1) and magnetite (an. 9) contain 0.12 and 1.02 wt. % Cr₂O₃, respectively. Analyses were carried out in the Central Chemical Laboratory, analyst N.F. Kolosova, PO Uralgeologiya, (2–10); Polevskaya Chemical Laboratory (11, 12) (Levin et al., 1997); EDAX-9100 microprobe, analyst A.R. Nesterov, St. Petersburg State University (1, 13–15) (Belkovsky et al., 1995).

минерализация – бадделеит, кальцитрит, цирконолит, циркон, перовскит, генетически связанная с карбонатами (Белковский, Нестеров, 1990а; 1990б; 1999). Позднее аксессуарная редкометальная и редкоземельная минерализация была установлена также и в хлоритолитах офиолитовых комплексов Урала (Левин и др., 1995; Попов, Губин, 2010). Некоторые проявления рассматриваемых пород (табл. 6, ан. 11–12) были выделены в составе Силачского лестиварит-(сиенит)-карбонатит-хлоритолитового комплекса (Левин и др., 1995, 1997). Абсолютный возраст редкометальных хлоритолитов, определённый уран-свинцовым методом по эшиниту и монациту, составляет 440 млн лет (Левин и др., 1997). Имеющийся фактический материал и опубликованные данные позволили автору выделить самостоятельную формацию редкометальных хлоритолитов, генетически связанную с карбонатами доломитовой и доломит-кальцитовой фаций (Белковский, Нестеров, 1999). Следует отметить, что серпентинизация офиолитовых пироксенитов с образованием по ним тремолит-хлоритовых и тальк-карбонатных пород (табл. 6, ан. 11–12) отмечена на примере ряда мафит-ультрамафитовых пород Байкальской горной области (Грудинин, 1979), Тувы, Монголии (Еремеева, 1965) и юго-восточной части Балтийского щита (Слюсарев, Куликов, 1973). Апопироксенитовые родингиты диопсид-гранат-цоизитового состава последними авторами обнаружены были в мафитовом массиве Пулоозеро–2.

В изученной автором ассоциации родингиты, хлоритолиты и пироксениты замещаются тальк-карбонатными породами, карбонат в которых представлен брейнеритом (табл. 6, ан. 13–15).

В заключение следует отметить:

- серпентинизация мантийных пироксенитов сопровождается сбрасыванием в зонах развития аномально высокожелезистого антигорита ($F_{\text{общ}} = 11.2$) больших объёмов оксида кальция в виде низкожелезистого тремолита ($F_{\text{общ}} = 6.1–11.3$);

- железистость минералов родингитов «копирует» железистость исходного хромдиопсида ($F_{\text{общ}} = 8–9$);

- продукты корового метаморфизма барических пироксенитов (хромдиопсид₈₋₉ ± цинксодержащий алюмохромит ± хроммагнетит ± гранат) представлены родингитами (тремолит₈₋₉ + антигорит₉ + диопсид₉₋₁₀ ± тремолит₁₈₋₁₉ ± магнетит), редкометальными хлоритолитами (хлорит₂₈ + пирроаурит₂₅ ± бадделеит ± кальцитрит) и тальк-карбонатными

породами (цифрами указана общая железистость минералов);

- куртинский эклогит-сланцевый комплекс является уникальным объектом, в котором сохранились редкие для Урала нефритовидные тремолитовые родингиты и апородингитовые редкометальные хлоритолиты, генетически связанные с карбонатами доломит-кальцитовой фации.

Литература

Архиреев И.Е., Макагонов Е.П., Котляров В.А., Кабанова Л.Я. Южноуральская нефритоносная провинция // Разведка и охрана недр. 2011. № 3. С. 18–22.

Архиреев И.Е., Макагонов Е.П., Котляров В.А. Минералого-геохимические особенности метасоматитов нефритового проявления «Факультетское», Южный Урал // Металлогения древних и современных океанов–2014. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. С. 203–207.

Белковский А.И., Локтина И.Н. Отчёт о результатах поисково-оценочных работ на железистые кварциты по восточной контактной зоне Уфалейского гнейсо-мигматитового комплекса, проведённых в 1972–1973 г. Челябинск: Геолфонды ЧКГРЭ, 1974ф. 232 с.

Белковский А.И., Локтина И.Н. Эклогиты восточного обрамления Уфалейского гнейсо-мигматитового комплекса // Доклады АН СССР. 1975. Т. 255. № 4. С. 920–923.

Белковский А.И., Нестеров А.Р. Новый тип редкометальной минерализации в ультрамафитах эклогитовых комплексов // Матер. XII Росс. совещ. по металлогении докембрия. Киев: Наукова Думка, 1990а. С. 77.

Белковский А.И., Нестеров А.Р. Бадделеит и титанклиногумит из хлоритовых пород Среднего Урала // Информ. материалы XI Всесоюзн. совещ. по рентгенографии минерального сырья. Т. 2. Свердловск: ИМин УрО РАН, 1990б. С. 17.

Белковский А.И., Нестеров А.Р. TR–REE хлоритолиты и серицитолиты Урала // Труды конф. «100 лет изучения карбонатитов Кольского полуострова». СПб: СПбГУ, 1999. С. 110–112.

Белковский А.И., Нестеров А.Р., Непримерова С.В. Минералогия штурбахитов Уфалейского метаморфического блока // Уральский минералогический сборник. № 5. Миасс: УрО РАН, 1995. С. 175–182.

- Белковский А.И., Царицын Е.П., Локти-на И.Н.* Кристаллохимия и структурный типоморфизм клинопироксенов глубинных мафитов Урала // XII Съезд Международ. минералог. ассоц. Варна, 1982. С. 83.
- Вализер П.М.* Верхняя серия максютовского комплекса // Уральский минералогический сборник. № 12. Миасс: УрО РАН, 2002. С. 191–203.
- Вализер П.М., Русин А.И., Краснобаев А.А., Лиханов И.И.* Гранат-пироксеновые и лавсонитсодержащие породы максютовского комплекса (Южный Урал) // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 11. С. 1754–1765.
- Грудинин М.И.* Базит-гипербазитовый магматизм Байкальской горной области. Новосибирск: Наука СО, 1979. 156 с.
- Добрецов Н.Л.* Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука СО, 1974. 428 с.
- Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутолин В.А.* Породообразующие пироксены. М.: Наука, 1971. 453 с.
- Еремеева В.П.* О гипербазитах Тувы и Монголии и связанных с ними габброидных породах // Соотношение магматизма и метаморфизма в генезисе ультрабазитов. М.: Наука, 1965. С. 101–111.
- Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г., Багдасаров Э.А., Римская-Корсакова О.М., Нефёдов Е.И., Ильинский Г.А., Сергеев А.С., Абакумова Н.Б.* Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М.: Недра, 1965. 772 с.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С. и др.* Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 272 с.
- Левин В.Я., Сергеев Н.С., Телегин П.В.* Силачский лестиварит-карбонатит-хлоритолитовый комплекс // Горный журнал. Уральское горное обозрение. Изв. ВУЗов. 1995. № 10. С. 82–85.
- Ленных В.И.* Эклогит-глаукофановый пояс Южного Урала. М.: Наука, 1977. 160 с.
- Ленных В.И., Вализер П.М.* Лавсонитовые ролдингиты максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса // Ежегодник–1985. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 73–76.
- Малахов И.А.* Петрохимия главных формационных типов ультрабазитов. М.: Наука, 1983. 224 с.
- Мархилевич И.И.* Петрографическое описание Верхне-Уфалейской дачи. Вып. 52. М.: НКТП СССР, 1933. 52 с.
- Пинус Г.В., Велинский В.В., Леснов Ф.П., Банников О.Л., Агафонов Л.В.* Альпинотипные гипербазиты Анадырско-Каряжской складчатой системы. Новосибирск.: Наука, 1973. 320 с.
- Плошкина Е.Я., Фоминых В.Г.* О составе моноклиновых пироксенов некоторых пород Урала // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Т. I. Свердловск: ГТИ УФАН СССР, 1963. С. 463–466.
- Попов В.А., Губин В.А.* К минералогии карбонатитов и хлоритолитов Маука (Южный Урал) // Уральский минералогический сборник. № 17. Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 51–56.
- Слюсарев В.Д., Куликов В.С.* Геохимическая эволюция базит-ультрабазитового метаморфизма протерозоя. Л.: Наука ЛО, 1973. 156 с.
- Штейнберг Д.С., Фоминых В.Г.* Клинопироксены из пироксенитов Качканара // Записки ВМО. 1967. Ч. 96. Вып. 2. С. 133–140.
- Штейнберг Д.С., Чащухин И.В., Царицын Е.П.* Закономерности состава альпинотипных гипербазитов // Ежегодник–1981. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1972. С. 48–51.
- Штукенберг А.А.* Геологический очерк дачи Верхне-Уфалейского завода // Материалы для геологии России. Т. XIII. СПб: Изд. СПб. Минерал. о-ва, 1889. С. 52–94.
- Borley J.D., Saddaby P.* Stressed pyroxenite nodules from the Jagerfontein kimberlite // Mineralogical Magazine. 1975. V. 40. № 309. P. 6–12.
- Trask U.J.* Ultramaphic xenoliths in basalt, New County, Nevada // U. S. Geol. Surv., Prof. Paper. 1960. № 650-D. P. 43–48.

Поступила в редакцию 16 августа 2014 г.