

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХРОМШПИНЕЛИДА В ПРОЦЕССЕ РОДИНГИТИЗАЦИИ И НЕФРИТИЗАЦИИ НА АГАРДАГСКОМ ПРОЯВЛЕНИИ ЗОЛОТА (ЮЖНАЯ ТУВА)

© 2017 г. В. В. Мурзин, Д. А. Варламов*, Д. А. Замятина

Агардагский массив входит в состав Южно-Тувинского офиолитового пояса, разделяющего области докембрийской складчатости нагорья Сангилен и салаирских структур Центральной Тувы. Первичные породы массива, преимущественно дуниты и гарцбургиты, превращены в антигоритовые серпентиниты и в меньшей степени – в лизардитовые и хризотилитовые. Породы Агардаг-

ского массива прорываются мелкими дайко- и линзобразными телами плаггиогранитов, гранодиоритов (D₁₋₂), габбро, габбро-долеритов, долеритовых порфиритов (C₁₋₂), которые часто превращены в родингиты.

Среди многочисленных проявлений родингитов выделяются три генетические группы: апогабброидные, апопироксенитовые и апогипербазитовые

Таблица 1. Химический состав магнетита из антигоритового серпентинита Агардагского проявления, мас. %

№ обр./№ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	V ₂ O ₃	ZnO	NiO	Сумма
<i>Псевдоморфный магнетит</i>											
1479/22	0.14	0.12	0.00	3.98	89.14	0.22	0.44	0.20	0.00	0.12	94.36
1479/24	0.34	0.09	0.11	1.47	89.80	0.19	0.13	0.00	0.00	0.13	92.26
1479/28	0.11	0.00	0.10	2.42	91.65	0.11	0.27	0.00	0.30	0.44	95.40
1479/37	0.37	0.07	0.03	3.52	89.38	0.03	0.02	0.00	0.00	0.25	93.67
1483/4	0.00	0.04	0.72	1.76	89.55	0.15	0.25	0.01	0.00	0.76	93.20
1483/5	0.00	0.09	0.00	2.97	91.06	0.07	0.37	0.00	0.00	0.72	95.19
1483/6	0.00	0.15	0.29	2.23	88.52	0.27	0.00	0.00	0.00	0.28	91.59
1483/9	0.00	0.00	0.00	3.01	91.05	0.10	0.26	0.00	0.15	0.16	94.73
1483/13	0.00	0.00	0.00	2.68	86.77	0.00	0.51	0.25	0.45	0.52	91.18
1483/48	0.00	0.17	0.17	2.52	89.27	0.16	0.06	0.14	0.00	0.27	92.59
<i>Переотложенный магнетит</i>											
1483/10	0.00	0.14	0.36	0.92	90.92	0.46	0.60	0.12	0.00	0.60	93.98
1483/14	0.00	0.01	0.57	0.01	90.91	0.23	0.19	0.00	0.21	0.51	92.63
1483/15	0.00	0.00	0.22	0.00	89.86	0.00	0.00	0.26	0.32	0.41	91.07
1483/17	0.00	0.00	0.08	0.20	90.88	0.07	0.00	0.00	0.00	0.39	91.62
1483/26	0.00	0.00	0.14	0.25	90.98	0.12	0.28	0.00	0.00	0.31	92.08
1483/37	0.00	0.00	0.37	0.11	90.33	0.17	0.67	0.00	0.00	0.78	92.43
1483/38	0.00	0.00	0.24	0.80	89.57	0.00	0.36	0.06	0.29	0.34	91.66
1483/45	0.00	0.00	0.19	0.80	88.23	0.13	0.16	0.19	0.00	0.09	89.79
1483/51	0.00	0.20	0.22	0.83	89.50	0.12	0.52	0.09	0.24	0.39	91.91
1483/52	0.00	0.00	0.17	0.15	90.08	0.20	0.00	0.12	0.24	0.65	91.61
1483/53	0.00	0.06	0.10	0.16	90.95	0.27	0.33	0.00	0.35	0.50	92.66
1479/20	0.19	0.01	0.05	1.06	90.39	0.00	0.00	0.32	0.12	0.38	92.52
1479/21	0.02	0.11	0.33	0.13	91.27	0.15	0.08	0.07	0.33	0.59	93.08
1479/30	0.49	0.09	0.14	0.33	91.88	0.03	0.11	0.00	0.00	0.43	93.50
1479/31	0.25	0.02	0.24	0.09	92.37	0.08	0.25	0.07	0.04	0.36	93.77
1479/38	0.05	0.09	0.00	0.71	91.87	0.00	0.31	0.06	0.07	0.39	93.55
1479/39	0.38	0.00	0.00	0.31	91.03	0.34	0.00	0.00	0.18	0.58	92.82

*Расчет на FeO по измеренному железу.

Примечание. Здесь и в табл. 2 курсивом выделены определения со значениями концентрации элемента ниже 2 θ (среднеквадратичной ошибки анализа).

* Институт экспериментальной минералогии РАН, dima@iem.ac.ru.

[Ойдуп, Кужугет, 1989]. Кроме того, родингиты, сложенные клиноцоизитом, эпидотом, тремолит-актинолитом, альбитом, выделены А.П. Секериным в отдельную группу [Секерин, 1982]. Для этой группы родингитов характерны приуроченность к тектоническим зонам, наличие ореольной антигоритизации и приконтактной амфиболизации, ассоциация с телами нефритов. К ней принадлежат, по видимому, изученные нами родингиты Агардагского проявления золота.

На Агардагском проявлении развиты родингиты альбит-амфибол-пироксенового состава, которые образуют линзовидные тела в субширотной зоне дробления серпентинитов [Кудрявцева, Кудрявцев, 2003]. На контакте родингитов с серпентинитом развиты также золотоносные сланцеватые нефритоиды, сложенные агрегатом волокнистого амфибола с небольшим количеством альбита. Волокнистый амфибол развивается преимущественно по

серпентиниту, однако участками его микропрожилки рассекают и родингит.

Объектом настоящего исследования стали зерна аксессуарного хромшпинелида в ряду пород антигоритовый серпентинит–нефритоид–родингит. Во всех породах хромшпинелид является реликтовым минералом исходных ультраосновных пород, в разной степени измененным вторичными метаморфическими и метасоматическими процессами. Задача исследований – выявление особенностей трансформации хромшпинелида в процессах антигоритовой серпентинизации, амфиболизации и родингитизации.

В антигоритовых серпентинитах вторичные изменения зерен хромшпинелида проявлены в сильной степени и заканчиваются образованием хромсодержащего магнетита (1.47–3.98 мас. Cr_2O_3) и кристаллов переотложенного “чистого” магнетита (до 1.06 мас. % Cr_2O_3) в ассоциации с антигоритом (табл. 1). Активная магнетитизация зерен хромшпи-

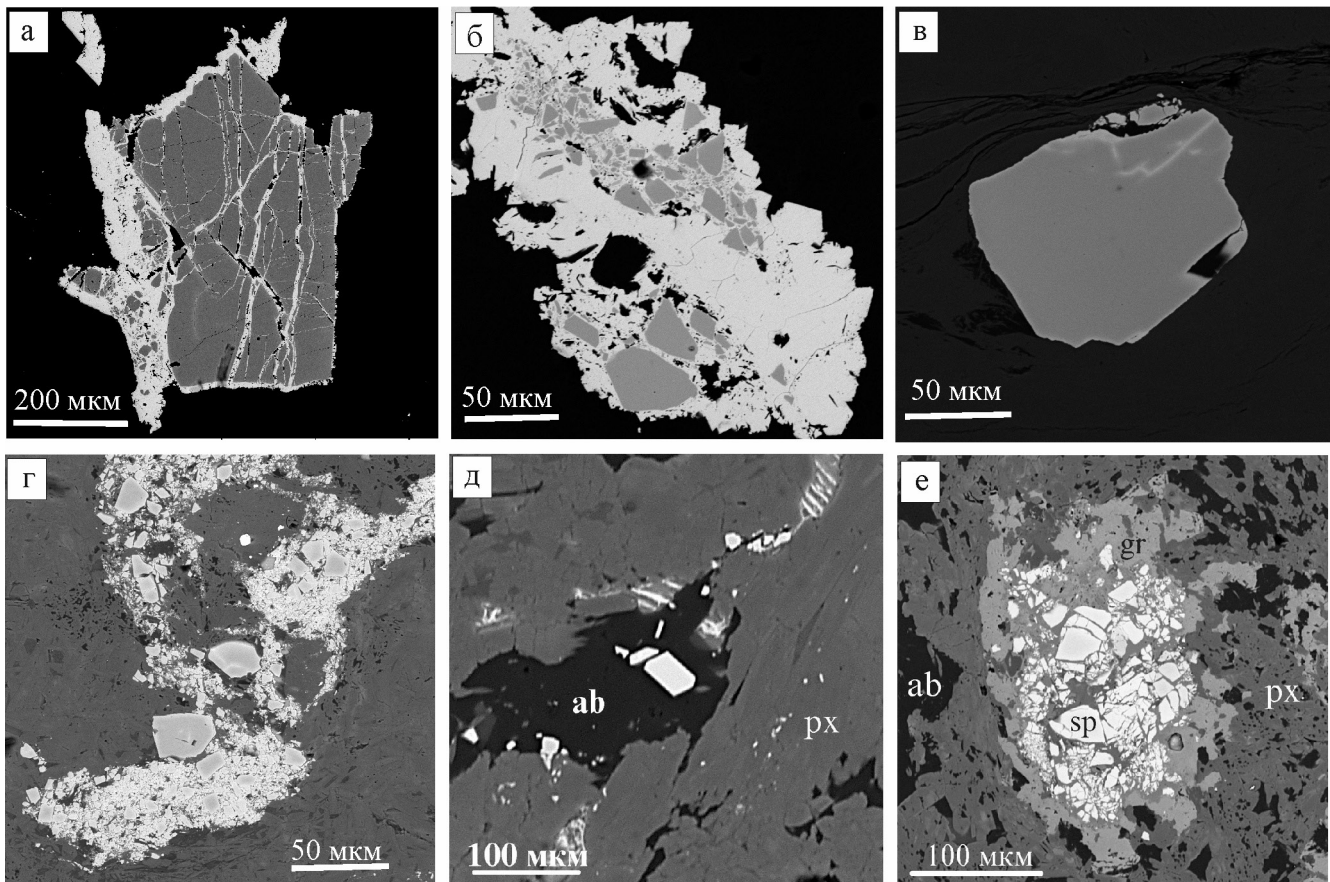


Рис. 1. Вторичные преобразование хромшпинелида в антигоритовом серпентините (а, б), нефритоиде (в) и альбит-пироксеновом родингите (г–е).

а – развитие псевдоморфного хромсодержащего магнетита (белый) по раздробленному кристаллу хромшпинелида; б – сильная степень замещения хромшпинелида псевдоморфным магнетитом и образованием кристаллов перекристаллизованного магнетита в оторочках; в – кристалл хромшпинелида с зонками привноса железа, марганца и цинка; г – сильно раздробленный агрегат хромшпинелида с перемещением микрообломков вдоль трещин в породе; д – новообразованный кристалл хромшпинелида (белый), заключенный в альбите (ab) среди пироксеновой (px) массы родингита; е – развитие граната (gr) по раздробленному хромшпинелиду в альбит (ab)-пироксеновой (px) массе родингита. Снимки выполнены в режиме обратнорассеянных электронов (BSE) на электронном сканирующем микроскопе CamScan MV2300 (ИЭМ РАН).

нелида начинает развиваться по сети микротрещин (рис. 1а), захватывая часто большую часть их объема. Переотложенный магнетит рассеян в массе породы или формирует оторочки на псевдоморфном магнетите (рис. 1б). В нем часто встречаются включения антигорита. Оба типа магнетита, кроме хрома, в значимых количествах содержат примеси NiO (до 0.76 мас. %), MgO (до 0.67) и ZnO (до 0.45 мас. %).

В нефритоиде и родингите вторичные изменения проявлены значительно слабее, нежели в серпентините. Магнетит для этих пород не характерен. В нефритоиде изменения проявлены только в виде маломощных каемок на обломках раздробленных зерен хромшпинелида (рис. 1в). Химический состав этих каемок отражает вынос хрома и магния, а также привнос железа, марганца, цинка.

В альбит-пироксеновых и амфибол-пироксеновых родингитах выделения хромшпинелида также

раздроблены, участками милонитизированы, а обломки перемещены вдоль микротрещин (рис. 1г). Как и в нефритоиде, по обломкам развиваются тонкие каемки и микропрожилки хромшпинели с повышенным содержанием цинка и марганца. Кроме того, в альбите родингита присутствуют редкие мелкие кристаллики (до 50 мкм) новообразованного Zn-хроммагнетита (рис. 1д). Последние характеризуются полным отсутствием Al и Mg и содержат до 5.7 мас. % ZnO и до 1.1 мас. % MnO. Некоторые зерна хромшпинелида в родингитах активно замещаются титансодержащим (до 2.7 мас. % TiO₂) гранатом уграндитового типа (рис. 1е), обладающим широким спектром составов от уваровита до гросуляра [Мурзин и др., 2006].

Химический состав реликтовых частей зерен хромшпинелида, а также продуктов его изменения приведен в табл. 2. Содержание TiO₂ в хромшпинелиде

Таблица 2. Химический состав типичных зерен хромшпинелида из серпентинита, нефритоида и родингита Агардагского проявления, мас. %

№ обр./№ анализа	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	V ₂ O ₃	ZnO	NiO	Сумма	Cr#	Fe#
<i>Серпентинит</i>												
1479/19	0.00	9.18	60.47	20.06	0.51	9.24	0.03	0.14	0.23	99.86	81.5	53.6
1483/3	0.00	9.56	58.17	22.76	0.41	8.40	0.50	0.12	0.00	99.92	80.3	58.0
1483/11	0.07	9.42	59.64	18.98	0.42	9.84	0.29	0.19	0.00	98.85	80.9	50.4
1483/18**	0.00	8.24	53.89	30.07	2.94	1.38	0.39	0.82	0.00	97.73	81.4	91.8
1483/36**	0.00	4.06	48.10	42.64	1.72	1.99	1.62	0.15	0.16	100.44	88.8	89.8
1483/39	0.04	13.92	49.36	28.88	0.32	6.08	0.05	0.59	0.00	99.24	70.4	69.9
1483/40**	0.00	4.53	49.20	41.00	3.02	1.45	0.56	0.37	0.00	100.13	87.9	92.2
1483/49	0.00	8.97	60.94	19.32	0.31	9.44	0.33	0.32	0.04	99.67	82.0	52.3
<i>Нефритоид</i>												
1482/32	0.07	10.60	58.32	19.75	0.21	9.42	0.39	0.19	0.06	99.01	78.7	52.7
386-2/1	0.00	14.08	55.17	18.92	0.52	11.09	0.25	0.00	0.00	100.03	72.4	46.6
386-2/2	0.00	13.38	53.87	21.68	0.77	8.84	0.25	0.49	0.00	99.28	73.0	55.6
1482/6**	0.09	10.03	50.01	31.72	1.65	0.61	0.26	4.41	0.00	98.78	77.0	96.2
1482/12**	0.09	9.49	53.33	29.82	0.29	4.26	0.41	0.97	0.13	98.79	79.0	77.7
1482/13**	0.00	9.53	52.59	31.38	0.50	3.35	0.48	0.47	0.00	98.30	78.7	82.4
1482/21**	0.03	8.74	50.83	31.57	1.46	1.62	0.27	3.53	0.00	98.05	79.6	90.4
1482/49**	0.00	9.09	52.78	25.72	1.25	0.48	0.29	8.73	0.10	98.44	79.6	96.5
386-2/15**	0.00	14.44	47.74	29.69	0.97	1.76	0.31	2.85	0.93	98.69	68.9	89.9
386-2/6**	0.00	13.38	47.85	30.71	1.11	1.11	0.00	2.33	0.59	97.08	70.6	93.6
<i>Родингит</i>												
1480/96	0.00	17.66	49.91	19.56	0.22	10.84	0.16	0.08	0.00	98.43	65.5	47.7
1484/7	0.08	14.65	54.09	18.08	0.50	11.27	0.28	0.43	0.13	99.51	71.2	45.0
386а/24***	0.05	0.05	57.98	35.99	1.08	0.00	0.00	5.67	0.00	101.18	99.9	100.0
1480/68**	0.12	17.88	43.30	32.07	1.20	1.38	0.37	1.38	0.16	97.86	61.9	92.4
1480/98**	0.12	18.37	43.66	32.00	1.27	2.33	0.13	0.87	0.08	98.83	61.4	87.6
1481/20**	0.17	13.69	50.14	28.55	1.17	3.81	0.28	1.41	0.19	99.41	71.1	79.5
1481/33**	0.32	8.16	40.99	37.68	1.26	1.85	0.78	6.25	0.20	97.49	77.1	88.8
1481/48**	0.00	13.51	48.31	29.45	1.09	0.90	0.43	4.60	0.19	98.48	70.6	94.5
1481/49**	0.00	9.89	55.89	26.21	0.88	4.84	0.52	0.21	0.00	98.44	79.1	74.2
1481/51**	0.00	10.05	54.52	30.32	0.52	2.48	0.21	0.34	0.17	98.61	78.4	86.7
1484/9**	0.00	13.51	50.87	28.20	0.86	2.90	0.35	2.44	0.27	99.40	71.6	83.8
1484/44**	0.14	11.91	49.46	31.15	1.39	0.71	0.31	3.93	0.10	99.10	73.6	95.7

*Расчет на FeO по измеренному железу.

**Измененные части зерен хромшпинелида.

***Новообразованный кристалл хромшпинелида.

Примечание. Cr# – Cr/(Cr + Al), ат. %; Fe# – Fe²⁺/(Fe²⁺ + Mg), ат. %.

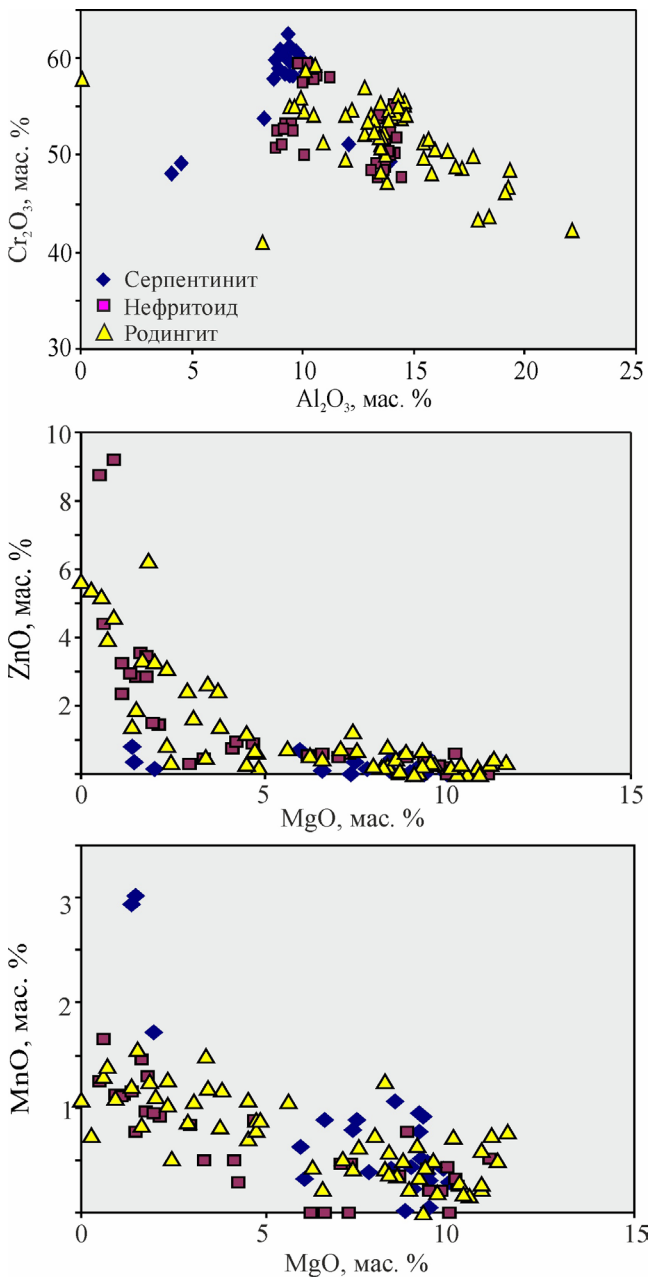


Рис. 2. Соотношения оксидов в хромшпинелидах из разных пород.

лиде всех пород очень редко превышает 0.1 мас. %, достигая в отдельных зернах 0.2–0.3 мас. %. Такие уровни содержания титана отражают принадлежность хромшпинелидов к офиолитовым гипербазитам. Тренд метасоматических и метаморфических преобразований состава хромшпинелида направлен в сторону увеличения содержания цинка и марганца и уменьшения содержания магния и алюминия. Цинк и марганец изоморфно замещают магний, что отражается в отчетливо проявленной обратной корреляции этих элементов (рис. 2).

На диаграмме железистость–хромистость $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})\text{--}\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ (рис. 3) реликтовые

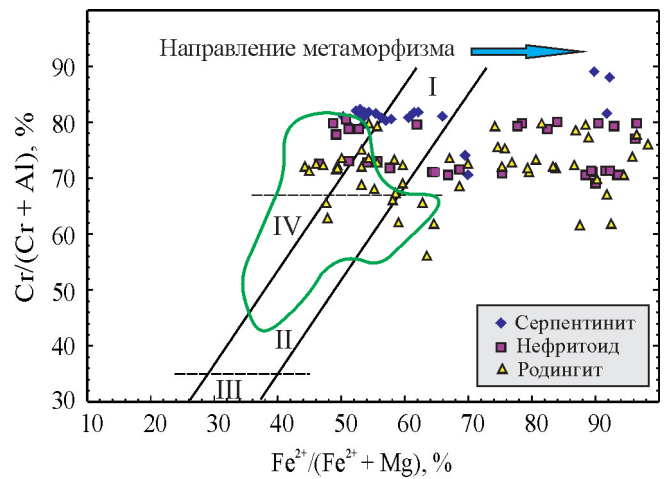


Рис. 3. Положение состава хромшпинелида из разных пород на диаграмме $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})\text{--}\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$.

Показаны поля акцессорного хромшпинелида продуктов магматического деплетирования дунит (I) – гарцбургит (II) – лерцолит (III) [Чашухин и др., 2004], а также поле состава офиолитовых хромшпинелидов, оконтуренное при 50% плотности анализов (IV) [Barnes, Roeder, 2001].

части зерен из всех изученных пород отвечают акцессорному хромшпинелиду из дунитов. При этом уровень хромистости хромшпинелов из антигоритовых серпентинитов на 10–20% выше, чем из родингита. Хромшпинелид из нефритоида на диаграмме фиксируется двумя разобщенными трендами, охватывающими как неизменные части зерен, так и измененные. Эти тренды отражают развитие нефритизации по разным породам – серпентинитам и родингитам. В апосерпентинитовых нефритоидах уровень хромистости хромшпинелида отвечает таковой из серпентинита, а в апородингитовых нефритоидах – из родингита. Аналогичные различия составов хромшпинелида из разных пород, в том числе дискретности их в нефритоидах, отражает и диаграмма соотношений содержания Al_2O_3 и Cr_2O_3 (см. рис. 2).

Помимо описанных альбит-пироксеновых родингитов и нефритоидов в Агардагском массиве **Zn- и Mn-содержащие хромшпинелиды зафиксированы** во многих массивах офиолитовых гипербазитов Урала – Карабашском, Шабровском, Баженовском и др. Здесь они ассоциируют с магнетит-аваруит-лизардитовыми апогарцбургитовыми серпентинитами и отнесены к метаморфогенным, а источником марганца и цинка являются массы базитов, метаморфизующихся совместно с гипербазитами [Спиридонов и др., 1997; Спиридонов, Плетнев, 2002]. В Карабашском массиве они характерны также для хлорит-гранат-пироксеновых родингитов, хлоритолитов и магнетит-хлорит-доломитовых пород [Мурзин и др., 2013, 2017]. В Каганском массиве

ве Zn- и Mn-содержащие хромшпинелиды обнаружены в магнетитовых рудах среди антигоритовых серпентинитов [Мурзин и др., 2007], а в Круглогорском массиве – среди скарново-магнетитовых руд [Нечкин, Мурзин, 2010].

Таким образом, эпигенетическое обогащение реликтового хромшпинелида цинком и марганцем является индикатором многих гидротермально-метасоматических процессов в ультраосновных породах.

Авторы благодарны первооткрывателю Агардагского проявления В.И. Кудрявцеву за предоставленную в наше распоряжение коллекцию образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 16-05-00407а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кудрявцева А.И., Кудрявцев В.И.* Проявление медистого и серебристого золота в благороднометалльном оруденении Южно-Тувинского гипербазитового пояса // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2003. С. 45–48.
- Нечкин Г.С., Мурзин В.В.* Метаморфизм хромшпинелида альпинотипных ультрабазитов в Круглогорском скарново-магнетитовом месторождении (Южный Урал) // Вестн. Урал. отд. Рос. минералогического о-ва. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. № 7. С. 116–121.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Пальянова Г.А.* Условия образования золотоносных магнетит-хлорит-карбонатных пород Карабашского массива гипербазитов (Южный Урал) // Геология и геофизика. 2017. № 7. С. 1006–1020.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Шанина С.Н.* Новые данные о золотоантигоритовой формации Урала // Докл. РАН. 2007. Т. 417, № 6. С. 810–813.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Ронкин Ю.Л., Шанина С.Н.* Происхождение золотоносных родингитов Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55, № 4. С. 320–341.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Кудрявцев В.И.* Особенности минерального состава проявления золотоносных родингитов в Агардагском массиве гипербазитов (Ю. Тува) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. Вып. 9. Пермь: Пермский ун-т, 2006. С. 21–28.
- Ойдун Ч.К., Кужугет К.С.* О генезисе родингитов Агардагского гипербазитового массива // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. Вып. 5. Петрохимия, минералогия, геохимия. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1989. С. 100–111.
- Секерин А.П.* Петрология родингитов Саяно-Байкальской горной области // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262, № 1. С. 175–177.
- Спиридонов Э.М., Плетнев П.А.* Месторождение медистого золота Золотая Гора (о золотородингитовой формации). М.: Научный мир, 2002. 220 с.
- Спиридонов Э.М., Барсукова Н.С., Бакшеев И.А., Плетнев П.А., Середкин М.В.* Процессы преобразований первичных хромшпинелидов гипербазитов Баженовского, Карабашского, Шабровского, Сарановского, Нуралинского массивов, мелких тел Березовского и Гумбейского месторождений Урала // Уральская летняя минералогическая школа – 97: мат-лы всерос. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1997. С. 23–27.
- Чащухин И.С., Мамина В.М., Сурганов А.В., Чащухина В.А., Булькин Л.Д., Гмыра В.Г.* Закономерности состава аксессуарной и рудообразующей хромшпинели в ультрамафитах Первомайского массива // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 206–217.
- Barnes S.J., Roeder P.L.* The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks // J. Petrology. 2001. V. 42, no. 12. P. 2279–2302.