МАГНЕТИТОВЫЙ ПЛАСТ В ЭКЗОКОНТАКТЕ МАССИВА НЮД МОНЧЕГОРСКОГО КОМПЛЕКСА: НОВЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО LA-ICP-MS ДАННЫМ О СОСТАВЕ МАГНЕТИТА

Грошев Н.Ю.¹, Малыгина А.В.¹, Абрамова В.Д.²

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, nikolaygroshhev@gmail.com

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

Введение

В районе участка Габбро 10-й аномалии Мончегорского интрузивного комплекса развиты породы экзоконтакта массива Нюд (рис. 1, а; а также рис. 1 в статье П.В. Припачкина и др. из этого сборника), происхождение которых связывается с различными метасоматическими процессами [1]. Метагаббро и метадiorиты экзоконтакта разделены пластом существенно магнетитовых пород (50–90 об. % Мт). Происхождение магнетитового пласта является предметом продолжающейся дискуссии, в которой метасоматическая модель [1] противопоставляется первично-магматическому механизму формирования [2 и ссылки там]. Как показала Дэр с коллегами [3], элементы-примеси в магнетите играют важную роль в вопросе разделения гидротермально-метаморфогенных и магматических условий образования этого минерала. В настоящей статье мы приводим LA-ICP-MS данные о содержании редких элементов в магнетите из метадiorитов и из руды.

Материалы и методы исследований

Для того, чтобы определить, является ли магнетитовый пласт магматическим или метаморфогенным (метасоматическим) образованием, был изучен магнетит из двух образцов керна скважины номер 1810. Образец 1810/18.3 отобран из массивных метадiorитов с акцессорным магнетитом, образец 1810/21.4 – из магнетитовой породы пласта, содержащей 50 об. % магнетита. Зерна магнетита с множественными ламелями ильменита, развитыми в обоих образцах (рис. 1, б и в), изучены на электронном микроскопе Hitachi S-3400N в РЦ «Геомодель» (г. Санкт-Петербург, аналитик В.В. Шиловских). Выделенные относительно однородные участки зерен исследованы на микрозондовом анализаторе MS-46 Cameca в Геологическом институте КНЦ РАН (г. Апатиты, аналитик Е.Э. Савченко). Анализ магнетита методом LA-ICP-MS выполнен на квадрупольном масс-спектрометре Thermo Xseries с лазерной приставкой New Wave 213 в ИГЕМ РАН (г. Москва, аналитик В.Д. Абрамова). Сканирование зерен магнетита проводилось линейными профилями шириной 40 мкм со скоростью 5 мкм/сек. Частота сканирования 15 Гц, энергия лазера 5–7 Дж/см². Каждому анализу предшествовала 30 секундная регистрация шумового сигнала. Содержания изотопов 23 элементов (табл. 1) рассчитаны в программе Iolite 2.5 путем установки переделов калькуляции на линейном профиле магнетита по спектрам элементов, характерных для свободного от включений минерала; всего сделано 26 расчетов. Для калибровки использовался международный стандартный образец состава GSE-1 G, в качестве внутреннего стандарта применялся ⁵⁷Fe.

Результаты исследований и обсуждение

Нормированные к континентальной коре спектры распределения редких элементов для акцессорного и рудного магнетита из пород экзоконтакта массива Нюд нанесены на мультиэлементную диаграмму (рис. 2), элементы на которой располагаются в порядке увеличения совместимости с магнетитом в магматической системе. Рудный магнетит в сравнении с акцессорным содержит большие концентрации совместимых элементов (Co, V, Ni, Cr), в то время как акцессорный обогащен умеренно несовместимыми элементами (Ta, Nb, Cu, Mo). Несмотря на различие в концентрациях некоторых элементов (Mg, Al, V, Nb, Mo, Ta), спектры акцессорного и рудного магнетита имеют одинаковый рисунок, что, наряду с распределением этого минерала в разрезе (рис. 1, а), свидетельствует о генетической связи метадiorитов и магнетитового пласта.

Рис. 1. а – Сводная геологическая колонка экзоконтакта массива Нюд по керну буровых скважин с вариациями магнитной восприимчивости пород. Штриховая линия показывает содержание магнетита в породе, равное 20 об. %. б – BSE изображение метадiorита с вкраплениями магнетита (обр. 1810/18.3). в – BSE изображение магнетитовой породы (обр. 1810/21.4). Сокращения минералов: Ab – альбит, Am – амфибол, Bi – биотит, Ilm – ильменит, Mt – магнетит, Qz – кварц.

Как аксессуарный, так и рудный магнетит по характеру рисунка спектра редких элементов резко отличается от магнетита известных гидротермально-метаморфогенных обстановок и наиболее близок к магматическому магнетиту. Это сходство наиболее заметно в области совместимых и умеренно несовместимых элементов. Изученный магнетит, подобно классическим магнетитам Бушвельда, обогащен Ti, Zn, Co, V, Ni и Cr, чего практически не наблюдается в гидротермально-метасоматических обстановках (рис. 2). Низкое отношение Ni/Cr (< 1) в магнетите из пород экзоконтакта также типично для магматических условий кристаллизации (рис. 3), при которых оба этих элемента являются совместимыми, в отличие от гидротермальных условий, где проявляются различия в растворимости и мобильности между Ni и Cr. Нетипичное для магматических систем обогащение магнетита экзоконтакта некоторыми несовместимыми элементами (Y, Pb, Zr, Hf), вероятно, объясняется поздней флюидной проработкой первично-магматических пород на завершающих этапах лапландско-кольской коллизионной орогении.

Рис. 2. Нормированная к континентальной коре [4] мультиэлементная вариационная диаграмма для магнетита из метадиорита и магнетитовой породы экзоконтакта массива Нюд в сравнении с магнетитом из типовых обстановок [3]. * – настоящее исследование.

Рис. 3. Диаграмма в координатах концентрация Ti (ppm) против Ni/Cr в магнетите (Мт). Черно-белые символы отражают состав магнетита из метадиорита и магнетитовой породы экзоконтакта массива Нюд; цветными значками показан состав магнетита из магматических (красный) и метаморфогенно-гидротермальных (синий цвет) обстановок по данным [3]. Сокращения: IOCG – Iron Oxide-Copper-Gold; ПЖКФ – месторождения полосчатой железисто-кремнистой формации.

Таким образом, акцессорный и рудный магнетит из экзоконтакта массива Нюд имеет геохимические черты, свидетельствующие, вопреки доминирующим представлениям [1], об его образовании в магматической, а не метасоматической системе. Предлагаемая магматическая модель подразумевает формирование экзоконтактовой ассоциации пород в результате дополнительного внедрения эволюционированного расплава в придонную часть массива Нюд и его дифференциации с формированием массива Габбро 10-й аномалии со своей собственной краевой зоной, зонами метагаббро и метадиоритов с магнетитовыми рудами (рис. 1, а). С учетом полученных новых генетических ограничений интересным в металлогеническом плане представляется изучение концентраций элементов платиновой группы в метадиоритах (см. интрузив Стелла в ЮАР).

Таблица 1. Вариации содержания элементов-примесей (ppm) в магнетите из метадiorита (1810/18.3) и магнетитовой породы (1810/21.4) по данным LA-ICP-MS.

Элемент и изотоп		ПО		Метадиорит (8*)			Магнетитовая порода (18*)		
		min	max	средн.	min	max	средн.	min	max
Si	PCMA	500	–	952	НПО	1510	1030	630	1740
Ca	PCMA	300	–	664	НПО	1900	НПО	НПО	НПО
Mg	24	6.1	21.6	1791	42	4900	5739	440	22000
Al	27	12.8	41.0	3288	240	7300	8463	640	32000
P	31	195	2913	НПО	НПО	НПО	НПО	НПО	НПО
Sc	45	3.6	17.8	9.65	1.50	19.60	23.68	2.50	107.00
Ti	47	9.4	72.8	26693	514	55000	22422	1790	58000
V	51	0.8	5.4	593	243	711	1372	1000	1830
Cr	52	5.0	18.2	2738	250	6900	3172	477	21000
Mn	55	5.0	21.3	2302	246	4700	1338	150	3530
Co	59	0.5	2.1	29.8	7.3	38.3	37	26.0	68.0
Ni	60	8.9	40.4	10.2	0.3	27.0	129	80.0	270.0
Cu	63	7.2	32.4	810**	–	–	200**	–	–
Zn	66	10.5	36.8	72	25	136	62	17	130
Ga	71	0.9	5.5	42	35	52	67	42	108
Ge	74	1.1	10.8	2.85	0.80	4.60	1.83	0.41	5.60
Y	89	0.36	1.04	5.36	0.24	24.00	22.74	0.27	276.00
Zr	90	0.49	0.92	117	6	394	322	2	2 700
Nb	93	0.30	0.77	43.06	0.32	73.00	5.32	0.17	9.60
Mo	95	1.14	3.10	13.45	3.70	36.00	1.52	0.25	3.30
Sn	118	0.72	2.71	1.65	0.43	4.00	1.72	0.30	5.40
Hf	178	-	-	7.71	0.32	14.80	17.84	0.12	78.00
Ta	181	0.12	0.15	4.45	0.90	7.40	0.48	0.05	0.94
W	182	0.30	0.72	5.49	2.60	14.00	4.45	0.30	17.40
Pb	208	0.85	2.68	6.88	1.54	11.00	7.38	1.47	24.00

Примечание: PCMA – рентгеноспектральный микроанализ; НПО – ниже порога обнаружения (ПО); * – количество анализов; ** – приведено минимальное содержание меди из серии определений, в которой встречаются нехарактерные для магнетита концентрации (до 2.8 мас. %), возможно, связанные с присутствием остатков медного напыления после PCMA).

Работа частично поддержана из средств РФФИ (16-05-00367, 15-35-20501) и гранта SEGCF (Канада), присужденного А.В.М. Работа выполнена в рамках госзадания № 0231-2015-0002.

Литература

1. Козлов Е.К. Естественные ряды пород никеленосных интрузий и их металлогения. Л: Наука. 1973. 288 с.
2. Малыгина А.В., Грошев Н.Ю., Кариковски Б.Т. и др. О генезисе «магнетитового пласта» в массиве Габбро десятой аномалии Мончегорского плутона по данным U-Pb SHRIMP-II-датирования циркона и бадделеита из метадiorитов / Новое в познании процессов рудообразования: Сборник материалов. М.: ИГЕМ РАН. 2017. С. 187-190.
3. Dare S. A. S., Barnes S., Beaudoin G. et al. Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators // Mineralium Deposita. 2014. V. 49. P. 785-796.
4. Rudnick R. L. and Gao S. 3.01. Composition of the Continental Crust / Treatise on Geochemistry. 2003. V. 1. P. 1-64.