

КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.4:549.621.9:552.4

С. Г. Скублов, М. Хубер¹**ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ МИНЕРАЛАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ЛАПЛАНДСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА**

Введение. Ранее были рассмотрены закономерности распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в метаморфических гранатах из северо-западной части лапландского гранулитового комплекса [1]. Было установлено, что гранаты из основных кристаллических сланцев значительно отличаются по содержанию РЗЭ от гранатов из глиноземистых гнейсов и гранитоидов. Поэтому были исследованы сосуществующие минералы из основных ортопород, широко развитых в юго-восточной части лапландского комплекса (район г. Кандалакша). Определения РЗЭ и редких элементов в минералах выполнены на ионном микрозонде Cameca IMS-4f в ИМИ РАН, г. Ярославль (аналитики С. Г. Симакин и Е. В. Потапов), главных элементов – в тех же точках на электронном микроанализаторе М. Д. Толкачевым в ИГД РАН.

Состав минералов. Исследованные породы сохраняют структуры, характерные для магматических пород. Основными минералами являются средне- и крупнозернистые гранаты и буро-зеленая роговая обманка, которая развивается по клинопироксену. Также в породах присутствуют эпидот и плагиоклаз (№ 30–40), из аксессуарных минералов – сфен и рутил. Температуры и давления метаморфизма, рассчитанные для ассоциации гранат–амфибол–плагиоклаз [2, 3], для всех трех образцов были сходные: в интервале 800–900 °С и 11,5–12,5 кбар. Однако по соотношению содержания титана и железистости ($F = 43\%$) роговые обманки из образцов 1/00 и 15/02 относятся к полю амфиболов амфиболитовой фации. Роговая обманка из образца 22d/02 с наибольшими железистостью ($F = 61\%$) и количеством титана попадает на линию, разделяющую кальциевые амфиболы гранулитовой и амфиболитовой фаций [4], биотит из этого же образца по $F = 59\%$ и содержанию титана – в поле гранулитовой фации метаморфизма [5]. Сосуществующий с ними гранат, напротив, характеризуется минимальным содержанием пиропового минала (12%). В гранатах из двух других образцов количество пиропового минала несколько выше (21–25%). По соотношению главных миналов исследованные гранаты попадают в поле перекрытия гранулитовой и амфиболитовой фаций, что характерно для гранатов из высококальциевых ортопород [6]. Гранаты практически незональны по главным элементам, только для граната из образца 1/00 установлена слабая регрессивная зональность с повышением спессартинового и понижением пиропового минала к краю зерна (таблица).

Таким образом, наблюдается некоторое несоответствие между термобарометрическими определениями по парам гранат–амфибол и особенностями состава этих минералов.

Распределение РЗЭ в минералах. Спектры распределения РЗЭ в гранатах, нормированные к хондриту, демонстрируют плавное увеличение от легких к тяжелым РЗЭ с отсутствием Eu-аномалии (рис. 1), что свойственно высококальциевым гранатам [1]. Во всех трех гранатах проявлена незначительная зональность по тяжелым РЗЭ и Y. В двух гранатах концентрации этих элементов понижаются к краю зерна, в гранате из образца 22d/02 – повышаются (таблица, рис. 1). Ранее для высококальциевых гранатов амфиболитовой фации из нюрундуканского комплекса была установлена четко выраженная зональность, выраженная в понижении содержания тяжелых РЗЭ от центра к краю зерен при общем низком их количестве и повышенном титана [7]. Эта зональность не является прогрессивной, свойственной низкотемпературным низкокальциевым гранатам, кристаллизовавшимся на фоне роста температуры в отсутствие длительного наложенного высокотемпературного воздействия, которое могло эту зональность нивелировать. Отличием является отсутствие в гранате корреляции тяжелых РЗЭ и Y с четко выраженной прогрессивной ростовой зональностью по Mn. Для рассматриваемых высококальциевых гранатов из ортопород лапландского комплекса также свойственны высокая концентрация Ti и низкая сумма РЗЭ (не более 100 г/т). Разброс в содержании тяжелых РЗЭ (см. рис. 1) не коррелирует с количеством пиропового минала и температурой

¹ Горная Академия, г. Краков, Польша.

© С. Г. Скублов, М. Хубер, 2005

Содержание главных (масс. %), редкоземельных и редких (г/г) элементов в минералах

Компонент	№ образца												
	1/00				15/02				22d/02				
	Гранат (центр)	Гранат (край)	Амфибол	Гранат (центр)	Гранат (край)	Амфибол	Гранат (центр)	Гранат (край)	Амфибол	Гранат (центр)	Гранат (край)	Амфибол	Клино- пироксен
SiO ₂	38,78	39,28	41,43	41,51	41,59	43,31	39,33	38,79	41,05	49,98	36,02		
TiO ₂	0,20	0,11	0,98	0,07	0,14	1,26	0,05	0,03	1,75	0,36	5,43		
Al ₂ O ₃	22,11	21,85	16,20	23,60	23,49	14,08	21,81	21,42	12,75	2,76	15,04		
FeO	20,78	21,72	15,42	17,55	17,52	14,45	24,48	26,75	19,75	13,96	21,87		
MnO	0,42	1,07	0,12	0,33	0,28	—	1,22	1,23	0,01	0,13	0,07		
MgO	5,47	4,96	9,30	5,99	5,94	10,60	2,90	2,80	7,18	10,86	8,65		
CaO	12,16	10,74	1,77	10,95	10,88	11,53	10,09	8,98	11,23	20,52			
Cr ₂ O ₃	0,08	0,27	0,07	—	0,16	0,06	0,12	—	0,56	0,20			
Na ₂ O	—	—	1,94	—	—	1,36	—	—	2,10	0,90	0,21		
K ₂ O	—	—	0,77	—	—	1,35	—	—	1,62	0,33	8,71		
Сумма	100,00	100,00	98,00	100,00	100,00	98,00	100,00	100,00	98,00	100,00	96,00		
La	0,01	0,01	0,13	0,01	0,01	0,24	0,03	0,02	2,95	0,49	4,11		
Ce	0,07	0,05	0,71	0,04	0,04	1,24	0,33	0,23	18,3	2,97	2,78		
Nd	0,15	0,17	1,29	0,12	0,09	2,52	2,14	2,73	37,8	5,61	3,59		
Sm	0,45	0,66	0,96	0,30	0,38	1,29	3,02	4,84	16,2	2,15	0,41		
Eu	0,37	0,49	0,44	0,31	0,19	0,66	1,23	1,67	2,80	0,50	He отп.		
Gd	2,95	3,31	1,68	1,14	1,15	1,37	7,12	10,9	15,6	2,14	—		
Dy	11,1	9,27	2,87	2,50	1,66	1,17	16,4	25,9	13,0	1,80	1,06		
Er	15,9	9,91	2,46	2,13	1,16	0,56	18,9	25,5	6,36	1,06	0,62		
Yb	17,4	9,77	2,40	2,30	1,22	0,38	24,0	31,5	4,61	0,95	0,28		
Ti	583	453	6945	289	309	8997	550	622	13 140	1060	39 677		
V	129	134	301	76,0	54,3	212	118	121	396	252	324		
Y	98,9	72,7	17,8	18,2	10,8	5,28	154	219	59,6	7,97	0,13		
Zr	8,19	5,27	10,5	10,6	13,7	20,8	3,83	5,14	22,8	14,1	0,47		
Nb	0,03	0,04	1,80	0,03	0,04	2,64	0,03	0,03	23,5	0,74	29,8		

образования граната, как было установлено для низкокальциевых гранатов из кислых пород [1], а отражает, скорее всего, особенности составов исходных пород.

Гранат/Хондрит

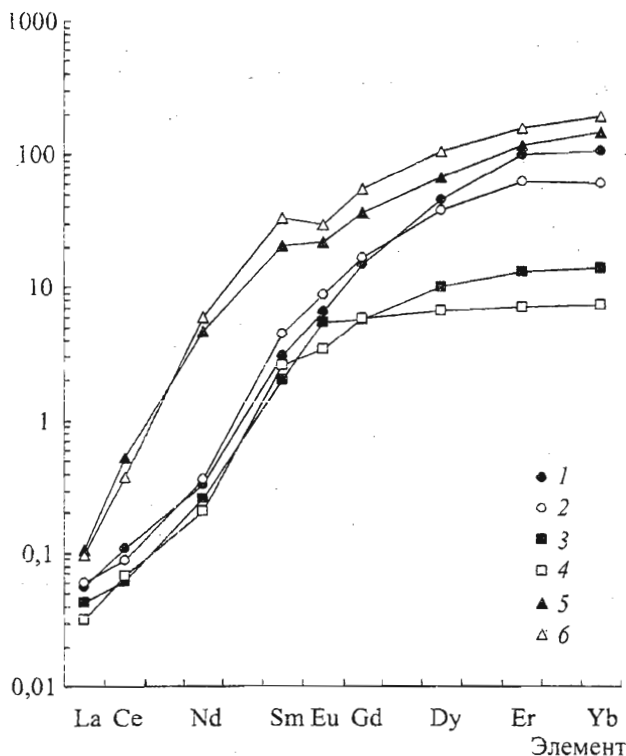


Рис. 1. Распределение РЗЭ в гранатах.

Образцы: 1 – 1/00 (центр), 2 – 1/00 (край), 3 – 15/02 (центр), 4 – 15/02 (край), 5 – 22d/02 (центр), 6 – 22d/02 (край).

Спектры распределения РЗЭ в амфиболах также отличаются между собой (рис. 2). Роговая обманка с повышенным Ti из образца 22d/02 отличается более высокой суммой РЗЭ (117 г/т), характерной для амфиболов гранулитовой фации метаморфизма [4]. Однако La/Yb-отношение для всех трех амфиболов меньше единицы, что отвечает высокотемпературной амфиболитовой фации. Спектры распределения РЗЭ для амфиболов из образцов 1/00 и 15/02 различаются только количеством тяжелых РЗЭ (рис. 2). Для амфибола из образца 1/00 наблюдается пологое увеличение содержания РЗЭ от легких к тяжелым РЗЭ, что не свойственно метаморфическим амфиболам и наблюдается только в амфиболах, развивающихся по гранатам и наследующих тренд распределения РЗЭ последних [4]. La/Yb-отношение для этого амфибола близко к нулю (0,06), как у кальциевых амфиболов из метасоматических пород.

Тренд распределения РЗЭ в клинопироксене из образца 22d/02 полностью повторяет профиль для сосуществующего амфибола, отличаясь более низким содержанием всех РЗЭ (рис. 2). Подобное совпадение профилей распределения РЗЭ между клинопироксеном и амфиболом и профилем для вмещающей породы было выявлено для основных гранулитов с установившимся равновесием между минералами из северо-западной части лапландского комплекса [8]. Тренд распределения РЗЭ в сосуществующем биотите также является типичным для высокотемпературных биотитов [5].

Анализ коэффициентов распределения K_D для РЗЭ в парах гранат–амфибол показал их сходство в области средних и тяжелых РЗЭ (рис. 3). Профиль K_D для РЗЭ в паре гранат–амфибол из образца 22d/02 представляет собой практически прямую линию с положительным наклоном от легких к тяжелым РЗЭ. Он свойствен для высокотемпературных пар из пород с установившимся равновесием между этими минералами. При наложенном диафторезе и метасоматических процессах происходит повышение K_D в области легких РЗЭ. Именно это и наблюдается в парах гранат–амфибол из образцов 15/02 и 1/00, особенно для последнего.

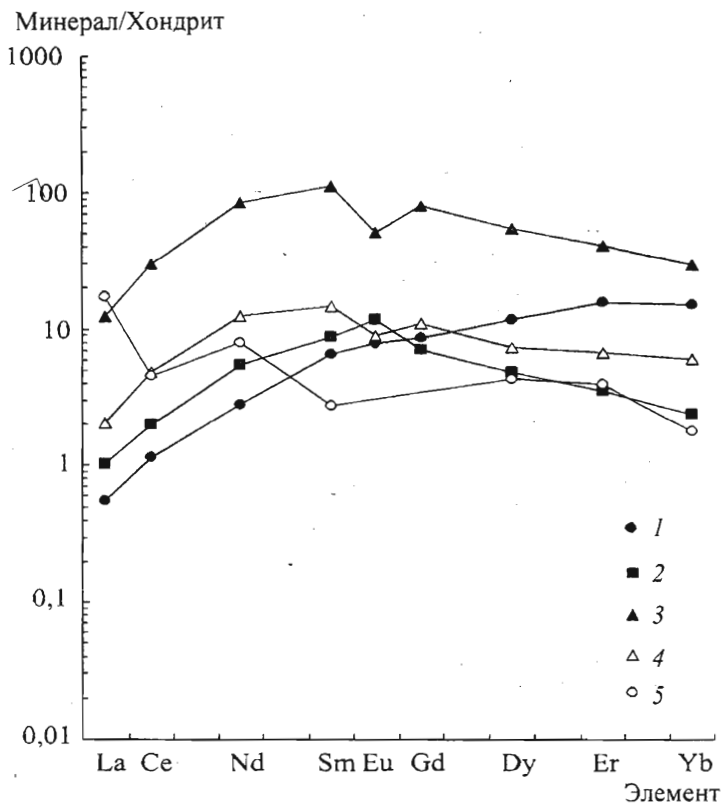


Рис. 2. Распределение РЗЭ в амфиболах, клинопироксене и биотите.
1-3 – амфибол, образцы 1/00, 15/02, 22d/02 соответственно; 4 – клинопироксен,
образец 22d/02; 5 – биотит, образец 22d/02.

Заключение. Особенности распределения РЗЭ в сосуществующих минералах из основных ортопород юго-восточной части лапландского гранулитового комплекса отражают процесс диафореза в условиях амфиболитовой фации, не фиксируемый методами стандартной термобарометрии. О понижении температуры метаморфизма и нарушении равновесия между минералами свидетельствуют как индивидуальные тренды распределения РЗЭ в амфиболах, так и изменение профилей K_D в области легких РЗЭ для пар гранат-амфибол. Зональность по тяжелым РЗЭ и ряду редких элементов, а также различия в их содержании в высококальциевых гранатах обусловлены скорее влиянием состава вмещающей породы, чем параметрами метаморфизма.

Summary

Skublov S. G., Huber M. The peculiarities of REE geochemistry in metamorphic minerals from Lapland granulite complex (the south-eastern part).

The peculiarities of REE distribution in co-existing minerals of metabasic rocks from the south-eastern part of Lapland granulite complex show the process of amphibolite facies retrograde metamorphism which is not recorded by standard thermobarometry.

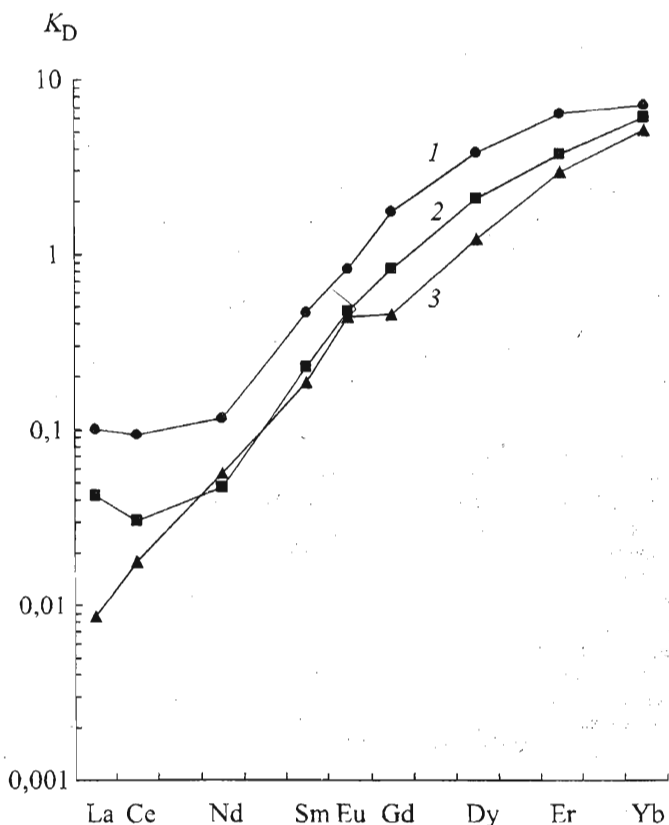


Рис. 3. Коэффициенты распределения РЗЭ (K_D) между гранатом и амфиболом. Образцы: 1 – 1/00; 2 – 15/02; 3 – 22d/02.

Литература

1. Другова Г. М., Скублов С. Г., Вревский А. Б., Козлов Н. Е. Распределение редкоземельных элементов в гранатах Лапландского гранулитового пояса и сопредельных территорий // Геохимия. 2001. № 2.
2. Graham C. M., Powell R. A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, Southern California // J. Metam. Geol. 1984. Vol. 1, N 1.
3. Kohn M. J., Spear F. S. Two new geobarometer for garnet amphibolites with applications to southeastern Vermont // Amer. Miner. 1990. Vol. 75, N 1.
4. Другова Г. М., Скублов С. Г. Геохимия редкоземельных элементов в метаморфических амфиболах // Геохимия. 2003. № 2.
5. Скублов С. Г., Другова Г. М. Геохимия редкоземельных элементов в метаморфических биотитах // Геохимия. 2004. № 1.
6. Другова Г. М., Щеглова Т. П., Скублов С. Г. и др. К геохимии гранатов в метаморфических породах // Зап. Всерос. минер. об-ва. 1998. № 2.
7. Скублов С. Г., Другова Г. М. Редкоземельные элементы в зональных метаморфических минералах // Геохимия. 2004. № 3.
8. Другова Г. М., Скублов С. Г. Особенности распределения редкоземельных элементов между метаморфическими минералами и вмещающими породами // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2002. Вып. 3 (№ 23).

Статья поступила в редакцию 15 марта 2005 г.