

УДК 550.42:551.14

© Д. чл. УАГН Н.А. Григорьев

МАКСИМИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ ГОЛЬМИЯ И ЭРБИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

*Институт геологии и геохимии Уральского Отделения РАН
620151 Екатеринбург, Почтовый переулок, 7 E-mail: root@igg.e-burg.Su*

© N.A. Grigor'ev

MAXIMINERALS AS CARRIERS OF HOLMIUM AND ERBIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

Автореферат

Роль максиминералов в качестве носителей Ho и Er в верхней части континентальной коры определена по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на основе больше чем 3416 количественных минералогических анализов важнейших горных пород, опубликованных преимущественно в СССР. Установлено, что в максиминералах сконцентрировано 4,43 % массы Ho. В том числе: в ортите – 3,32, в ксенотиме – 0,89, в иттриалите – 0,1, в бастнезите – 0,05, в эвксените – 0,03, в фергусоните – 0,02, в гадолините – 0,02 %. В максиминералах сконцентрировано 4,51 % массы Er. В том числе: в ортите – 3,73, в ксенотиме – 0,47, в иттриалите – 0,18, в фергусоните – 0,06, в эвксените 0,04, в гадолините – 0,01, в блонстрандине – 0,01, в чевкините – 0,01 %. Эти цифры - минимально возможные.

Ключевые слова: максиминерал, носитель, гольмий, эрбий, верхняя часть континентальной коры.

Abstract

The role of maxminerals as carriers of Ho and Er in the upper continental crust's was been calculation by the model of A. B. Ronov et al.(1990). Calculation has been made by the base more than 3416 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published mainly in the USSR. It was established, that in the maxminerals concentration 4.43 % of masses Ho. In particular: in orthite – 3.32, in xenotime – 0.89, in yttrialite – 0.1, in bastnasite – 0.05, in euxenite – 0.03, in fergusonite – 0.02 in gadolinite – 0.02 %. In the maxminerals concentration 4.51 % of masses Er. In particular: in orthite – 3.73, in xenotime – 0.47, in yttrialite – 0.18, in fergusonite – 0.06, in euxenite – 0.04, in gadolinite – 0.01, in blomstrandite – 0.01, in chevkinite – 0.01 %. These figures a minimal from possible.

Key words: maximineral, carrier, holmium, erbium, upper continental crust.

Впервые определены доли масс Ho и Er, сконцентрированные в максиминералах континентальных горных пород и верхней части континентальной коры в целом. Эта статья из серии, характеризующей лантаноиды. Постановка вопроса, первоисточники материалов, методика расчетов, списки литературы опубликованы раньше. Здесь приведены: новые данные и их обсуждение. Средние содержания Ho в песках и песчаниках, в глинах и сланцах (табл.1) рассчитаны с учетом новых литературных данных (Маслов и др., 2004). Среднее содержание Ho в осадочных породах рассчитано с учетом новых величин, но соответствует опубликованному раньше. В парагнейсах и кристаллических парасланцах среднее содержание Ho, приведенное раньше, заменено на более вероятное – предполагаемое. Средние содержания Ho в параметаморфитах, в гранитно-гнейсовом слое, в верхней части континентальной коры также рассчитаны с учетом этой величины и несколько отличаются от опубликованных раньше.

Распределение масс Ho и Er в совокупности континентальных горных пород

Оба элемента «недостаточные». Их средние содержания в совокупности континентальных осадочных пород (Ho – $9,2 \cdot 10^{-5}$ и Er – $1,7 \cdot 10^{-4}$ %) меньше того, которое могло быть унаследовано от гранитно-гнейсового слоя современного состава (соответственно: $1,1 \cdot 10^{-4}$ и $2,4 \cdot 10^{-4}$ %, расчет изоалюминиевым методом). Главные концентраторы – сиениты (табл. 1). Коэффициенты концентрации незначительные: Ho – 1,5, Er – 1,6. Главные носители - метаморфические породы гранитно-гнейсового слоя (68,19 % массы Ho и 68 % массы Er).

Доли масс Ho и Er, сконцентрированные в максиминералах

Граничные для максиминералов содержания (Григорьев, 1999) соответственно: Ho – 0,02 и Er – 0,05 мас. %. Согласно полученным данным роль максиминералов как носителей Ho и Er существенна в гранитно-гнейсовом слое и верхней части континентальной коры в целом (табл. 2, 3). Из горных пород осадочного слоя изучены только пески, кислые и средние вулканиты. Роль максиминералов наиболее значительная в кислых вулканитах (табл. 4, 5). В гранитно-гнейсовом слое роль

максимимнералов максимальная в гранитах и сиенитах (табл. 6, 7). Среди метаморфических пород максимальной ролью максиминералов характеризуются гранито-гнейсы (табл. 8, 9).

Таблица 2

Роль максиминералов как носителей Но в верхней части континентальной коры

Минералы	Среднее содержание Но в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, мас. %	Доли массы Но, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Но, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Но, отн. %
Бастнезит	0,02	Н.опр.	Н.опр.	$4,2 \cdot 10^{-4}$	0,06	$3,2 \cdot 10^{-4}$	0,05
Ринколит	0,03	Н.опр.	Н.опр.	$6,9 \cdot 10^{-9}$	<0,01	$5,3 \cdot 10^{-9}$	<0,01
Чевкинит	0,045	Н.опр.	Н.опр.	$5,5 \cdot 10^{-7}$	<0,01	$4,2 \cdot 10^{-7}$	<0,01
Ортит	0,09	$6 \cdot 10^{-5}$	0,06	0,0063	4,05	0,0048	3,32
Бломстрандин	0,48	Н.опр.	Н.опр.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$9 \cdot 10^{-7}$	<0,01
Эвксенит	0,5	Н.опр.	Н.опр.	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,03	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,03
Гадолинит	0,67	Н.опр.	Н.опр.	$5,2 \cdot 10^{-6}$	0,02	$4 \cdot 10^{-6}$	0,02
Иттриалит	0,79	Н.опр.	Н.опр.	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,12	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,1
Фергусонит	1,2	Н.опр.	Н.опр.	$3,1 \cdot 10^{-6}$	0,03	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,02
Ксенотим	2,9	$1 \cdot 10^{-5}$	0,3	$4,6 \cdot 10^{-5}$	1,04	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,89
Сумма		$1,06 \cdot 10^{-4}$	0,36	0,0083	5,35	0,0064	4,43

Таблица 1
Распределение массы Но и Ег в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, отн. %	Среднее содержание, 10^{-4} %		Доли массы, отн. %	
		Но	Ег	Но	Ег
Пески и песчаники	5,11	1,5	2,3	5,9	4,39
Глины и глинистые сланцы	10,4	0,9	1,9	7,2	7,37
Карбонатные породы	3,85	0,35	0,75	1,04	1,08
Кремнистые породы	0,33	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Эвапориты	0,26	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Кислые вулканыты	0,44	1,7	3,6	0,58	0,59
Средние вулканыты	1,13	0,72?	2,1	0,63	0,89
Основные вулканыты	2,11	1,3	2,6	2,11	2,05
Граниты	8,21	1,3	3,1	8,21	9,5
Гранодиориты	3,38	1,9	3,8	4,94	4,79
Базиты	1,5	0,99	2,2	1,14	1,23
Сиениты	0,05	2	4,4	0,08	0,08
Ультрабазиты	0,05	0,16	0,35	0,01	0,01
Метапесчаники	2,92	1	2,7	2,25	2,94
Парагнейсы и парасланцы	30,56	1,7*	3,2	39,96	36,49
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	0,28	0,9	0,24	0,38
Железистые породы	0,38	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Гранито-гнейсы	23,21	1,3	2,9	23,21	25,12
Метариолиты	0,66	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Метаандезиты	1,03	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Метабазиты	3,29	1	2,5	2,53	3,07
Верхняя часть континентальной коры	100	1,3*	2,68	100,03	99,98
Осадочные породы	19,95	0,92	1,72	14,14	12,84
Вулканыты осадочного слоя	3,68	1,16	3,57	3,32	3,53
Осадочный слой	23,63	0,96*	1,86	17,46	16,37
Магматыты гранитно-гнейсового слоя	13,19	1,42	3,17	14,38	15,61
Параметаморфические породы	34,99	1,58*	3,05	42,45	39,81
Ортометаморфические породы	28,19	1,19	2,68	25,74	28,19
Гранитно-гнейсовый слой	76,37	1,4*	2,9	82,57	83,61

Примечание: * - величины предполагаемые, или рассчитанные с учетом предполагаемых.

Таблица 3

Роль максиминералов как носителей Ег в верхней части континентальной коры

Минералы	Содержание Ег в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, мас. %	Доли массы Ег, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Ег, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Ег, отн. %
Ринколит	0,06	Н.опр.	Н.опр.	$6,9 \cdot 10^{-9}$	<0,01	$5,3 \cdot 10^{-9}$	<0,01
Ортит	0,21	$6 \cdot 10^{-5}$	0,07	0,0063	4,55	0,0048	3,73
Гадолинит	0,66	Н.опр.	Н.опр.	$5,2 \cdot 10^{-6}$	0,01	$4 \cdot 10^{-6}$	0,01
Эвксенит	1,7	Н.опр.	Н.опр.	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,05	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,04
Бломстрандин	1,9	Н.опр.	Н.опр.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,01	$9 \cdot 10^{-7}$	0,01
Иттриалит	3,1	Н.опр.	Н.опр.	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,22	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,18
Ксенотим	3,4	$1 \cdot 10^{-5}$	0,18	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,54	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,47
Чевкинит	4,5	Н.опр.	Н.опр.	$5,5 \cdot 10^{-7}$	0,01	$4,2 \cdot 10^{-7}$	0,01
Фергусонит	6,5	Н.опр.	Н.опр.	$3,1 \cdot 10^{-6}$	0,07	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,06
Всего		$1,06 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,0083	5,55	0,0064	4,51

Таблица 4

Доли массы Но (отн. %), сконцентрированные в максиминералах континентальных пород осадочного слоя

Минералы	Осадочные породы		Вулканогенные породы		
	Пески и песчаники	В целом	Кислые	Средние	В целом
Ортит	<0,01 (7·10 ⁻⁸)	<0,01 (1,8·10 ⁻⁸)	1,59 (0,003)	0,13 (1·10 ⁻⁴)	0,3(4·10 ⁻⁴)
Ксенотим	0,77 (4·10 ⁻⁵)	0,32 (1·10 ⁻⁵)	0,51 (3·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,1(3,6·10 ⁻⁶)
Всего	0,77 (4·10 ⁻⁵)	0,32 (1·10 ⁻⁵)	2,1 (0,003)	0,13 (1·10 ⁻⁴)	0,4(4·10 ⁻⁴)

Примечание. Здесь и в последующих таблицах в скобках – содержание минералов, %).

Таблица 5

Доли массы Ег (отн. %), сконцентрированные в максиминералах континентальных пород осадочного слоя

Минералы	Осадочные породы		Вулканогенные породы		
	Пески и песчаники	В целом	Кислые	Средние	В целом
Ортит	<0,01 (7·10 ⁻⁸)	<0,01 (1,8·10 ⁻⁸)	1,75 (0,003)	0,1(1·10 ⁻⁴)	0,32(4·10 ⁻⁴)
Ксенотим	0,59 (4·10 ⁻⁵)	0,2 (1·10 ⁻⁵)	0,28 (3·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,05(3,6·10 ⁻⁶)
Всего	0,59 (4·10 ⁻⁴)	0,2 (1·10 ⁻⁵)	2,03 (0,003)	0,1(1·10 ⁻⁴)	0,37(4·10 ⁻⁴)

Обсуждение полученных данных

Литературные данные о содержании Но и Ег в горных породах и минералах оставляет желать лучшего. Следствие – несовпадение опубликованных величин средних содержаний Но и Ег. Данные автора (Григорьев, 2003) наиболее подробные. Авторские средние содержания в целом несколько больше остальных. Сравним средние содержания Но и Ег в верхней части континентальной коры мас. %: 1,3·10⁻⁴ и 2,7·10⁻⁴ (Григорьев, 2003); 8·10⁻⁵ и 2,3·10⁻⁴ (Тейлор, Мак-Леннан, 1988); 6,2·10⁻⁵ и н. опр. (Wedepohl, 1995).

Таблица 6

Доли массы Но (отн. %), сконцентрированные в максиминералах магматических пород гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Бастнезит	0,07 (4,7·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,04(2,9·10 ⁻⁴)
Чевкинит	<0,01 (1,5·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,14(6·10 ⁻⁴)	<0,01(3,2·10 ⁻⁶)
Ортит	5,54 (0,008)	1,42 (0,003)	10,4(0,023)	3,73(0,0058)
Бломстрандин	0,03 (8,7·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,79(3,3·10 ⁻⁴)	0,02(6,7·10 ⁻⁶)
Эвксенит	0,31 (8·10 ⁻⁵)	Н.опр.	<0,01(8·10 ⁻⁸)	0,18(5·10 ⁻⁵)
Гадолинит	0,26 (5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,01(3·10 ⁻⁶)	0,14(3·10 ⁻⁵)
Иттриалит	1,22 (2·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,68(1,2·10 ⁻⁴)
Фергусонит	0,14 (1,5·10 ⁻⁵)	0,2(3,2·10 ⁻⁵)	0,02(3,8·10 ⁻⁶)	0,15(1,8·10 ⁻⁵)
Ксенотим	4,46 (2·10 ⁻⁴)	0,05(3·10 ⁻⁶)	0,04(2,7·10 ⁻⁶)	2,07(1,3·10 ⁻⁴)
Всего	12,03 (0,009)	1,67(0,003)	11,4(0,024)	7,01(0,0064)

Таблица 7

Доли массы Ег (отн. %), сконцентрированные в максиминералах магматических пород гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Ортит	5,41(0,008)	1,66(0,003)	10,97(0,023)	3,81(0,0058)
Гадолинит	0,11(5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	<0,01(3·10 ⁻⁶)	0,06(3·10 ⁻⁵)
Эвксенит	0,44(8·10 ⁻⁵)	Н.опр.	<0,01(8·10 ⁻⁸)	0,27(5·10 ⁻⁵)
Бломстрандин	0,05(8,7·10 ⁻⁶)	Н.опр.	1,43(3,3·10 ⁻⁴)	0,04(6,7·10 ⁻⁶)
Иттриалит	2(2·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	1,16(1,2·10 ⁻⁴)
Ксенотим	2,19(0,0002)	0,03(3·10 ⁻⁶)	0,02(2,7·10 ⁻⁶)	1,38(1,3·10 ⁻⁴)
Чевкинит	0,02(1,5·10 ⁻⁶)	Н.опр.	6,14(0,0006)	0,05(3,2·10 ⁻⁶)
Фергусонит	0,31(1,5·10 ⁻⁵)	0,55(3,2·10 ⁻⁵)	0,06(3,8·10 ⁻⁶)	0,37(1,8·10 ⁻⁵)
Всего	10,53(0,0085)	2,24(0,003)	18,62(0,024)	7,14(0,006)

Таблица 8

Доли массы Но (отн. %), сконцентрированные в максиминералах континентальных метаморфических пород

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы	
	Мета-песчаники	Пара-сланцы	В целом	Гранито-гнейсы	В целом
Бастнезит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,18(0,0012)	0,17(0,001)
Ортит	1,08(0,0012)	4,24(0,008)	3,99(0,0071)	4,57(0,0066)	4,2(0,0056)
Ксенотим	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	1,78(7,5·10 ⁻⁵)	1,45(6,2·10 ⁻⁵)
Всего	1,08(0,0012)	4,24(0,008)	3,99(0,0071)	6,53(0,0079)	5,82(0,0067)

Таблица 9

Доли массы Ег (отн. %), сконцентрированные в максиминералах континентальных метаморфических пород

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы		
	Мета-песчаники	Пара-сланцы	В целом	Гранито-гнейсы	Мета-риолиты	В целом
Ортит	0,93 (0,0012)	5,25 (0,008)	4,97 (0,0071)	4,78 (0,0066)	5,8 (0,008)	4,36 (0,0056)
Ксенотим	Н.опр	Н.опр	Н.опр	0,88 (7,5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,78 (6,2·10 ⁻⁵)
Всего	0,93 (0,0012)	5,25 (0,008)	4,97 (0,0071)	5,66 (0,0067)	5,8 (0,008)	5,14 (0,0057)

Приведенные выше доли масс Но и Ег, сконцентрированные в максиминералах, надо рассматривать как минимально возможные по причинам, отмеченным раньше. Возможности сопоставления их с результатами изучения конкретных горных пород практически нет. В большинстве случаев не достаточно данных для расчета минеральных балансов и велики погрешности определения содержаний: как аксессуарных минералов так и лантаноидов в последних. Суммы учтенных долей масс Но и Ег в минералах составляют 69 – 139 % от масс установленных в исследованных горных породах непосредственным анализом. Некоторый интерес представляют два баланса, рассчитанные автором по литературным данным.

Гольмий. В теновом мигматите (проба АБ-7) из Северного Прибайкалья (Макрыгина, Смирнова, 1984) содержание Но 7,6·10⁻⁴%. Максиминерал – титанит. В нем сконцентрировано

59% массы Но. В остальных минералах-концентраторах: апатите, ортите, цирконе, магнетите, Fe-гастингите сконцентрировано еще 25 % массы Но. Сумма минерального баланса 84 отн. %.

Эрбий. В гранодиорите из батолита Восточный Пенинсуляр Ренджес (Gromet, Silver, 1983) содержание Ег 1,3·10⁻⁴ %. Максиминералы не обнаружены. Сумма минерального баланса 138 отн. %. Из них 137 % приходится на минералы-концентраторы: роговую обманку, эпидот, титанит, апатит, ортит, циркон.

Выводы

Установлено, что в максиминералах сконцентрировано 4,43 % массы Но. В том числе: в ортите – 3,32, в ксенотиме – 0,89, в иттриалите – 0,1, в бастнезите – 0,05, в эвксените – 0,03, в фергусоните – 0,02, в гадолините – 0,02 %. В максиминералах сконцентрировано 4,51 % массы Ег. В том числе: в ортите – 3,73, в ксенотиме - 0,47, в иттриалите – 0,18, в фергусоните – 0,06, в эвксените 0,04, в гадолините – 0,01, в блонстрандине – 0,01, в чевкините – 0,01 %. Эти цифры - минимально возможные. Роль максиминералов максимальная в гранитах и сиенитах.

Литература

1. Макрыгина В.А., Смирнова В.В. Редкоземельные элементы в минералах Миня-Абчадского мигматитового комплекса (Северное Прибайкалье) // Геохимия. 1984. № 9. С. 1293-1306.
2. Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Нижнерифейские тонкозернистые, алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия, 2004, № 6, с. 648-669.