

УДК 550.42:551.14

© Д. чл. УАГН Н.А. Григорьев

**МАКСИМИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ ТЕРБИЯ И
ДИСПРОЗИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ
КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ**

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

© Grigor'ev N.A.

**MAXIMINERALS AS CARRIERS OF TERBIUM AND
DYSPROSIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S**

*Institute of Geology and Geochemistry,
Urals Branch of Russian Academy of Sciences*

Автореферат

Роль максиминералов в качестве носителей Tb и Dy 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 9,71 % массы Tb. В том числе: в ортите – 7,01, в монаците – 2,34, в ксенотиме – 0,21, в иттриалите – 0,1, в фергусоните – 0,02, в гадолините – 0,02, в эвксените – 0,01 %. В максиминералах сконцентрировано 5,42 % массы Dy. В том числе: в ортите – 4,5, в монаците – 0,43, в ксенотиме – 0,29, в иттриалите – 0,14, в фергусоните – 0,03, в эвксените 0,02, в гадолините – 0,01, %. Эти цифры - минимально возможные.

Ключевые слова: максиминерал, носитель, тербий, диспрозий верхняя часть континентальной коры.

Abstract

The role of maxminerals as carriers of Tb and Dy 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 9.71 % of masses Tb. In particular: in orthite – 7.01, in monazite – 2.34, in xenotime – 0.21, in yttrialite – 0.1, , in fergusonite – 0.02, in gadolinite – 0.02, in euxenite – 0.01 %. In the maxminerals concentration 5.42 % of masses Dy. In particular: in orthite – 4.5, in monazite – 0.43, in xenotime – 0.29, in yttrialite – 0.14, fergusonite – 0.03, in euxenite – 0.02, in in gadolinite – 0.01, %. These figures a minimal from possible.

Key words: maximineral, carrier, terbium, dysprosium, upper continental crust.

Впервые определены доли масс Tb и Dy сконцентрированные в максиминералах континентальных горных пород и верхней части континентальной коры в целом.

Эта статья относится к публикуемой в Уральском геологическом журнале серии посвященной лантаноидам. Постановка вопроса, исходные данные, методика расчетов даны в предыдущих работах. Поэтому здесь даны только: фактический материал и его обсуждение.

**Распределение масс Tb и Dy в совокупности
континентальных горных пород**

Оба элемента в верхней части континентальной коры «недостаточные». Их средние содержания в совокупности континентальных осадочных пород (Tb – $6,9 \cdot 10^{-5}$ и Dy – $3,6 \cdot 10^{-4}$ %) несколько меньше тех, которые могли быть унаследованы от гранитно-гнейсового слоя современного состава (Tb – $7,7 \cdot 10^{-5}$ и Dy – $4,2 \cdot 10^{-4}$ %, расчет изоалюминиевым методом). Главные концентраторы: Tb и Dy – сиениты (табл. 1). Главные носители - метаморфические породы гранитно-гнейсового слоя (64,3 % массы Tb и 68,2 % массы Dy).

Доли масс Tb и Dy, сконцентрированные в максиминералах

Граничные для максиминералов содержания соответственно: Tb – 0,01 и Dy – 0,06 мас. % (Григорьев, 1999). Главные максиминералы: ортит и монацит. Роль максиминералов существенна в гранитно-гнейсовом слое и в верхней части континентальной коры в целом (табл. 2, 3). В осадочном слое изучены только пески, кислые и средние вулканиты. Роль максиминералов значительная в кислых вулканитах (табл. 4, 5). В гранитно-гнейсовом слое роль максиминералов максимальная в сиенитах и гранитах (табл. 6, 7). Среди метаморфических пород максимальной их ролью характеризуются гранито-гнейсы и парасланцы (табл. 8, 9). В дополнение к данным таблицы 8 отметим, что в метабазитах в монаците сконцентрировано <0,01%. массы Dy.

Обсуждение полученных данных

Надежность большинства литературных данных о вариациях содержаний Tb и Dy в горных породах и минералах мини-

Таблица 1

Распределение массы Тб и Ду в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, отн. %	Среднее содержание, 10 ⁻⁴ %		Доли массы, отн. %	
		Тб	Ду	Тб	Ду
Пески и песчаники	5,11	0,7	2,9	4	3,1
Глины и глинистые сланцы	10,4	0,83	4,4	9,7	9,6
Карбонатные породы	3,85	0,38	2,9	1,6	2,3
Кремнистые породы	0,33	0,22	1,5	0,1	0,1
Эвапориты	0,26	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Кислые вулканыты	0,44	0,82	6	0,4	0,6
Средние вулканыты	1,13	0,71	3	0,9	0,7
Основные вулканыты	2,11	0,95	5,1	2,3	2,3
Граниты	8,21	1,1	5	10,2	8,6
Гранодиориты	3,38	1,3	5,2	5	3,7
Базиты	1,5	0,83	2,5	1,4	0,8
Сениты	0,05	1,6	7	0,1	0,1
Ультрабазиты	0,05	0,2	0,28	<0,1	<0,1
Метапесчаники	2,92	0,48	4,9	1,6	3
Парагнейсы и парасланцы	30,56	0,94	5,7	32,4	36,5
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	0,15	2,1	0,2	0,5
Железистые породы	0,38	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Гранито-гнейсы	23,21	0,94	5,2	24,6	25,3
Метариолиты	0,66	0,68	Н.опр.	0,5	Н.опр.
Метаандезиты	1,03	1,5	Н.опр.	1,7	Н.опр.
Метабазиты	3,29	0,88	4,2	3,3	2,9
Верхняя часть континентальной коры	100	0,887	4,77	99,9	100,1
Осадочные породы	19,95	0,689	3,62	15,4	15,1
Вулканыты осадочного слоя	3,68	0,861	4,56	3,6	3,6
Осадочный слой	23,63	0,716	3,77	19,0	18,7
Магматы гранито-гнейсового слоя	13,19	1,12	4,76	16,7	13,2
Параметаморфические породы	34,99	0,866	5,46	34,2	40
Ортометаморфические породы	28,19	0,947	4,77	30,1	28,2
Гранито-гнейсовый слой	76,37	0,94	5,08	80,9	81,4

мальная. Средние содержания Тб и Ду в континентальных породах по данным автора (Григорьев, 2003) в целом несколько больше литературных. Сравним средние содержания Тб и Ду в верхней части континентальной коры мас. %: $8,9 \cdot 10^{-5}$ и $4,8 \cdot 10^{-4}$ (Григорьев, 2003) $6,4 \cdot 10^{-5}$ и $3,5 \cdot 10^{-4}$; (Тейлор, Мак-Леннан, 1988); $5,1 \cdot 10^{-5}$ и $2,9 \cdot 10^{-4}$ (Wedepohl, 1995).

Исходные данные о вариациях содержания аксессуарных минералов в горных породах, как отмечалось в предшествую-

Таблица 2

Роль максиминералов как носителей Тб в верхней части континентальной коры

Минералы	Среднее содержание Тб в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранито-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, мас. %	Доли массы Тб, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Тб, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Тб, отн. %
Ринколит	0,01	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
Эвксенит	0,1	Н.опр.	Н.опр.	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,01	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,01
Ортит	0,13	$6 \cdot 10^{-5}$	0,11	0,0063	8,71	0,0048	7,01
Монацит	0,16	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,0016	2,72	0,0013	2,34
Бломстрандин	0,3	Н.опр.	Н.опр.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$9 \cdot 10^{-7}$	<0,01
Ксенотим	0,5	$1 \cdot 10^{-5}$	0,07	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,24	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,21
Гадолинит	0,5	Н.опр.	Н.опр.	$5,2 \cdot 10^{-6}$	0,03	$4 \cdot 10^{-6}$	0,02
Иттриалит	0,54	Н.опр.	Н.опр.	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,12	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,1
Фергусонит	0,8	Н.опр.	Н.опр.	$3,1 \cdot 10^{-6}$	0,03	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,02
Сумма		$1,16 \cdot 10^{-4}$	0,28	0,008	11,86	0,0062	9,71

Таблица 3

Роль максиминералов как носителей Ду в верхней части континентальной коры

Минералы	Содержание Ду в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранито-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, мас. %	Доли массы Ду, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Ду, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Ду, отн. %
Ортит	0,13	$6 \cdot 10^{-5}$	0,07	0,0063	5,56	0,0048	4,5
Монацит	0,16	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,02	0,0016	0,5	0,0013	0,43
Ринколит	0,23	Н.опр.	Н.опр.	$6,9 \cdot 10^{-9}$	<0,01	$5,3 \cdot 10^{-9}$	<0,01
Гадолинит	1,5	Н.опр.	Н.опр.	$5,2 \cdot 10^{-6}$	0,02	$4 \cdot 10^{-6}$	0,01
Эвксенит	1,7	Н.опр.	Н.опр.	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,03	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,02
Бломстрандин	2	Н.опр.	Н.опр.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$9 \cdot 10^{-7}$	<0,01
Ксенотим	3,7	$1 \cdot 10^{-5}$	0,1	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,33	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,29
Иттриалит	4,3	Н.опр.	Н.опр.	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,18	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,14
Фергусонит	6,1	Н.опр.	Н.опр.	$3,1 \cdot 10^{-6}$	0,04	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,03
Всего		$1,16 \cdot 10^{-4}$	0,19	0,008	6,69	0,0062	5,42

Таблица 4

Доли массы Tb (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)	4,76 (0,003)	0,18 (1·10 ⁻⁴)	0,6 (4·10 ⁻⁴)
Монацит	0,3 (1,3·10 ⁻⁴)	0,08 (3,3·10 ⁻⁵)	1,95 (0,001)	Н.опр.	0,22 (1,2·10 ⁻⁴)
Ксенотим	0,29 (4·10 ⁻⁵)	0,07 (1·10 ⁻⁵)	0,18 (3·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,02 (3,6·10 ⁻⁶)
Всего	0,59 (1,3·10 ⁻⁴)	0,15 (4,3·10 ⁻⁵)	6,89 (0,004)	0,18 (1·10 ⁻⁴)	0,84 (5,2·10 ⁻⁴)

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

Таблица 5

Доли массы Dy (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)	2,25 (0,003)	0,15(1·10 ⁻⁴)	0,39(4·10 ⁻⁴)
Монацит	0,07 (1,3·10 ⁻⁴)	0,02 (3,3·10 ⁻⁵)	0,27 (0,001)	Н.опр.	0,04(1,2·10 ⁻⁴)
Ксенотим	0,51 (4·10 ⁻⁵)	0,1 (1·10 ⁻⁵)	0,19 (3·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,03(3,6·10 ⁻⁶)
Всего	0,58 (1,3·10 ⁻⁴)	0,12 (4,3·10 ⁻⁵)	2,71 (0,004)	0,15(1·10 ⁻⁴)	0,46(5,2·10 ⁻⁴)

Таблица 6

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

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Чевкинит	<0,01 (1,5·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,17(6·10 ⁻⁴)	<0,01(3,2·10 ⁻⁶)
Эвксенит	0,07(8·10 ⁻⁵)	Н.опр.	<0,01 (8·10 ⁻⁸)	0,05 (5·10 ⁻⁵)
Ортит	9,45(0,008)	3(0,003)	18,7(0,023)	6,85(0,0058)
Монацит	6,25(0,0043)	0,49(4·10 ⁻⁴)	2,4(0,0024)	4,07(0,0028)
Бломстрандин	0,02(8,7·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,62(3,3·10 ⁻⁴)	0,02(6,7·10 ⁻⁶)
Ксенотим	0,91(2·10 ⁻⁴)	0,01 (3·10 ⁻⁶)	0,01 (2,7·10 ⁻⁶)	0,59 (1,3·10 ⁻⁴)
Гадолинит	0,23(5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,01(3·10 ⁻⁶)	0,14(3·10 ⁻⁵)
Иттриалит	0,98(2·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,59(1,2·10 ⁻⁴)
Фергусонит	0,11(1,5·10 ⁻⁵)	0,2(3,2·10 ⁻⁵)	0,02(3,8·10 ⁻⁶)	0,13(1,8·10 ⁻⁵)
Всего	18,02(0,013)	3,7(0,0034)	21,93(0,0263)	12,44(0,0091)

125

Таблица 7

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

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Ортит	7,2(0,008)	2,6(0,003)	14,8(0,023)	5,44(0,0058)
Монацит	1,38(0,0043)	0,12(0,0004)	0,55(0,0024)	0,93(0,0028)
Гадолинит	0,15(5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,01(3·10 ⁻⁶)	0,09(3·10 ⁻⁵)
Эвксенит	0,27(8·10 ⁻⁵)	Н.опр.	<0,01(8·10 ⁻⁸)	0,18(5·10 ⁻⁵)
Бломстрандин	0,03(8,7·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,94(3,3·10 ⁻⁴)	0,03(6,7·10 ⁻⁶)
Ксенотим	1,48(0,0002)	0,02(3·10 ⁻⁶)	0,01(2,7·10 ⁻⁶)	1(1,3·10 ⁻⁴)
Иттриалит	1,72(2·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	1,08(1,2·10 ⁻⁴)
Фергусонит	0,18(1,5·10 ⁻⁵)	0,38(3,2·10 ⁻⁵)	0,03(3,8·10 ⁻⁶)	0,23(1,8·10 ⁻⁵)
Всего	12,41(0,013)	3,12(0,0034)	16,38(0,026)	8,98(0,0091)

Таблица 8

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

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы		
	Метапесчаники	Парасланцы	В целом	Гранито-гнейсы	Метабазиты	В целом
Ортит	3,25- (0,0012)	11,1 (0,008)	10,61 (0,0071)	9,13 (0,0066)	Н.опр.	7,66 (0,0056)
Монацит	1 (3·10 ⁻⁴)	1,53 (9·10 ⁻⁴)	1,47 (8·10 ⁻⁴)	4,6 (0,0027)	<0,01 (4·10 ⁻⁸)	3,71 (0,0022)
Ксенотим	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,4 (7,5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,33(6,2·10 ⁻⁵)
Всего	4,25 (0,0015)	12,63 (0,0089)	12,08 (0,0079)	14,13 (0,0094)	<0,01 (4·10 ⁻⁸)	11,7 (0,0079)

Таблица 9

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

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы		
	Метапесчаники	Парасланцы	В целом	Гранито-гнейсы	Метариолиты	В целом
Ортит	1,1 (0,0012)	6,32 (0,008)	5,81 (0,0071)	5,71 (0,0066)	6,92 (0,008)	5,25 (0,0056)
Монацит	0,1 (0,0003)	0,25 (0,0009)	0,23 (0,0008)	0,83 (0,0027)	<0,01 (2·10 ⁻⁶)	0,73 (0,0022)
Ксенотим	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,5 (7,5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,48 (6,2·10 ⁻⁵)
Всего	1,2 (0,0015)	6,57 (0,0089)	6,04 (0,0079)	7,07 (0,0105)	6,92 (0,008)	6,46 (0,0088)

126

щих статьях, преуменьшены. Поэтому приведенные здесь оценки роли максиминералов как носителей Tb и Dy следует считать минимально возможными.

Возможности сопоставления полученных данных с результатами изучения распределения Tb и Dy по минералам горных пород практически нет. В большинстве случаев или данных не достаточно для расчета минеральных балансов, или велики погрешности определения содержаний Tb и Dy в минералах. Некоторый интерес представляет минеральный баланс Tb во включениях шпинелевых перидотитов из вулканических шлаков Западной части ФРГ (Stosch, Seck, 1980). Содержание Tb здесь $2,3 \cdot 10^{-6}$ %. Максиминералы не установлены. Минерал-концентратор – клинопироксен. В нем сконцентрировано 62 % массы Tb. Сумма учтенных долей масс Tb в минералах – 85 % от его массы установленной в отмеченных шлаках непосредственным анализом. Интересен также результат изучения гранодиорита из батолита Восточный Пенинсуляр Ренджес (Gromet, Silver, 1983). В нем содержание Dy $2,6 \cdot 10^{-4}$ %. Максиминералы: титанит – главный и ортит - второстепенный. В них находится почти вся масса Dy. Но более точная оценка роли максиминералов затруднительна, поскольку сумма всех долей масс Dy в минеральном балансе 138 отн. %.

Выводы

Установлено, что в верхней части континентальной коры в максиминералах сконцентрировано 9,71 % массы Tb. В том числе: в ортите – 7,01, в монаците – 2,34, в ксенотиме – 0,21, в иттриалите – 0,1, в фергусоните – 0,02, в гадолините – 0,02, в эвксените – 0,01 %. В максиминералах сконцентрировано 5,42 % массы Dy. В том числе: в ортите – 4,5, в монаците – 0,43, в ксенотиме – 0,29, в иттриалите – 0,14, в фергусоните – 0,03, в эвксените 0,02, в гадолините – 0,01, %. Эти цифры - минимально возможные.

Роль максиминералов как носителей Tb и Dy максимальная в сиенитах и гранитах. Новые данные нуждаются в уточнении. Пока же приведенные цифры следует рассматривать как минимально возможные.

Литература

1. Gromet L.P., Silver L.T. Rare earth element distribution among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications // Geoch. et Cosmoch. Acta, V. 47, № 5. 1983. P. 925-939.

2. Stosch H.G., Seck H.A. Geochemistry and mineralogy of two spinel peridotite suites // Geoch. et Cosmoch. Acta. 1980. V. 44. № 3. P. 457-470.