

УДК 550.42:551.14

© Д. чл. УАГН Н.А. Григорьев

МАКСИМИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ НЕОДИМА И САМАРИЯ 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 NEODYMIUM AND SAMARIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

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

Автореферат

Роль максиминералов в качестве носителей Nd и Sm 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 9,13 % массы Nd. В том числе: в монаците – 5,38, в ортите – 3,48, в бастнезите – 0,25, в иттриалите – 0,01, в гадолините – 0,01%. В максиминералах сконцентрировано 7,43 % массы Sm. В том числе: в монаците – 3,88, в ортите – 3,2, в бастнезите – 0,28, в иттриалите – 0,03, в гадолините – 0,02, в эвксените 0,01, в фергусоните – 0,01%. Эти цифры - минимально возможные.

Ключевые слова: максиминерал, носитель, неодим, самарий, верхняя часть континентальной коры

Abstract

The role of maxminerals as carriers of Nd and Sm in the upper continental crust's has been definite 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 9.13 % of masses Nd. In particular: in monazite – 5.38, in orthite – 3.48, in bastnasite – 0.25 %, in yttrialite – 0.01, in gadolinite – 0.01. In the maxminerals concentration 7.43 % of masses Sm. In particular: in monazite – 3.88, in orthite – 3.2, in bastnasite – 0.28, in gadolinite – 0.02, in yttrialite – 0.03, in euxenite – 0.01, in fergusonite – 0.01 %. These figures a minimal from possible.

Key words: maxmineral, carrier, neodymium, samarium, upper continental crust.

Введение

Впервые определены доли масс Nd и Sm сконцентрированные в максиминералах континентальных горных пород и верхней части континентальной коры в целом. Nd и Sm максимально концентрируются в цериевых минералах. Но высокое их содержание характерно также для минералов: иттриевых, ниобиевых, танталовых, циркониевых, титановых, урановых, ториевых, некоторых кальциевых. Повышенное содержание Nd и Sm часто встречается в гидроксилсодержащих цепочечных и листовых силикатах Fe и Mg. Граничные для максиминералов содержания соответственно: Nd - 0,2 и Sm – 0,03 мас. % (Григорьев, 1999). В данной работе учтены только наиболее обычные неодимовые и самариевые максиминералы. Первоисточники материалов, методика расчетов, списки использованной литературы опубликованы в этом же журнале в статьях посвященных Nb и Ta, Y и La.

Распределение масс Nd и Sm в совокупности континентальных горных пород

Распределение Nd в верхней части континентальной коры почти соответствует требованиям геохимического баланса. Его среднее содержание в совокупности континентальных осадочных пород – 0,0024 % практически равно тому, которое могло быть унаследовано от гранитно-гнейсового слоя современного состава – 0,0025% (расчет изоалюминиевым методом). Sm – слабо избыточный элемент. Его среднее содержание в совокупности континентальных осадочных пород – $5,5 \cdot 10^{-4}$ % несколько больше того, которое могло быть унаследовано от гранитно-гнейсового слоя современного состава – $4,7 \cdot 10^{-4}$ %. Главные концентраторы: Nd и Sm – сиениты, а также граниты, гранодиориты, глины и глинистые сланцы (табл. 1). Главные носители - метаморфические породы гранитно-гнейсового слоя (68,1 % массы Nd и 60,3 % массы и Sm).

Доли масс Nd и Sm, сконцентрированные в максиминералах

Роль максиминералов как носителей Nd и Sm существенна в гранитно-гнейсовом слое и в верхней части континентальной коры в целом (табл. 2, 3). В осадочном слое изучены только

Таблица 1

Распределение массы Nd и Sm в совокупности горных пород
верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, отн. %	Среднее содержание, 10 ⁻⁴ %		Доли массы, отн. %	
		Nd	Sm	Nd	Sm
Пески и песчаники	5,11	16	3,8	2,8	3,4
Глины и глинистые сланцы	10,4	36	8	12,8	14,6
Карбонатные породы	3,85	6,6	1,9	0,9	1,3
Кремнистые породы	0,33	7	Н.опр.	0,1	Н.опр.
Эвапориты	0,26	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Кислые вулканыты	0,44	27	5,2	0,4	0,4
Средние вулканыты	1,13	20	4,3	0,8	0,9
Основные вулканыты	2,11	21	5,1	1,5	1,9
Граниты	8,21	31	7,5	8,7	10,8
Гранодиориты	3,38	23	8,2	2,7	4,9
Базиты	1,5	22	5,3	1,1	1,4
Сиениты	0,05	42	10	0,1	0,1
Ультрабазиты	0,05	4,8	0,83	<0,1	<0,1
Метапесчаники	2,92	24	3,4	2,4	1,7
Парагнейсы и парасланцы	30,56	36	6,4	37,7	34,4
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	23	2,4	0,9	0,5
Железистые породы	0,38	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Гранито-гнейсы	23,21	32	5,1	25,4	20,8
Метариолиты	0,66	11	2,7	0,2	0,3
Метаандезиты	1,03	Н.опр.	2,6	Н.опр.	0,5
Метабазиты	3,29	13	3,7	1,5	2,1
Верхняя часть континентальной коры	100	29,19	5,69	100	100
Осадочные породы	19,95	24,26	5,51	16,6	19,3
Вулканыты осадочного слоя	3,68	21,4	4,87	2,7	3,2
Осадочный слой	23,63	23,81	5,41	19,3	22,5
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13,19	27,87	7,41	12,6	17,2
Параметаморфические породы	34,99	34,19	5,95	41	36,6
Ортометаморфические породы	28,19	28,13	4,79	27,1	23,7
Гранитно-гнейсовый слой	76,37	30,86	5,77	80,7	77,5

пески, кислые и средние вулканыты. Роль максиминералов значительная в кислых вулканытах (табл. 4, 5). В гранитно-гнейсовом слое роль максиминералов максимальная в гранитах и сиенитах (табл. 6, 7). Среди метаморфических пород максимальной ролью максиминералов характеризуются гранито-гнейсы и метариолиты (табл. 8, 9). В дополнение к

113

Таблица 2

Роль максиминералов как носителей Nd в верхней части
континентальной коры

Минералы	Среднее содержание Nd в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, мас. %	Доли массы Nd, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Nd, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Nd, отн. %
Эвксенит	0,5	Н.опр.	Н.опр.	8,6·10 ⁻⁶	<0,01	6,6·10 ⁻⁶	<0,01
Бломстрандин	0,8	Н.опр.	Н.опр.	1,2·10 ⁻⁶	<0,01	9·10 ⁻⁷	<0,01
Иттриалит	1,41	Н.опр.	Н.опр.	2,1·10 ⁻⁵	0,01	1,6·10 ⁻⁵	0,01
Ортит	2,1	6·10 ⁻⁵	0,05	0,0063	4,27	0,0048	3,48
Бастнезит	2,3	Н.опр.	Н.опр.	4,2·10 ⁻⁴	0,31	3,2·10 ⁻⁴	0,25
Ринколит	2,7	Н.опр.	Н.опр.	6,9·10 ⁻⁹	<0,01	5,3·10 ⁻⁹	<0,01
Фергусонит	3,2	Н.опр.	Н.опр.	3,1·10 ⁻⁶	<0,01	2,4·10 ⁻⁶	<0,01
Чевкиннит	7,4	Н.опр.	Н.опр.	5,5·10 ⁻⁷	<0,01	4,2·10 ⁻⁷	<0,01
Гадолинит	8,5	Н.опр.	Н.опр.	5,2·10 ⁻⁶	0,01	4·10 ⁻⁶	0,01
Монацит	12	4,6·10 ⁻⁵	0,23	0,0016	6,19	0,0013	5,38
Сумма		1,06·10 ⁻⁴	0,28	0,0083	10,79	0,0064	9,13

Таблица 3

Роль максиминералов как носителей Sm в верхней части
континентальной коры

Минералы	Содержание Sm в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, мас. %	Доли массы Sm, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Sm, отн. %	Содержание минералов, мас. %	Доли массы Sm, отн. %
Ортит	0,38	6·10 ⁻⁵	0,04	0,0063	4,13	0,0048	3,2
Ринколит	0,5	Н.опр.	Н.опр.	6,9·10 ⁻⁹	<0,01	5,3·10 ⁻⁹	<0,01
Бастнезит	0,5	Н.опр.	Н.опр.	4,2·10 ⁻⁴	0,36	3,2·10 ⁻⁴	0,28
Эвксенит	0,7	Н.опр.	Н.опр.	8,6·10 ⁻⁶	0,01	6,6·10 ⁻⁶	0,01
Бломстрандин	0,9	Н.опр.	Н.опр.	1,2·10 ⁻⁶	<0,01	9·10 ⁻⁷	<0,01
Чевкиннит	1	Н.опр.	Н.опр.	5,5·10 ⁻⁷	<0,01	4,2·10 ⁻⁷	<0,01
Иттриалит	1,16	Н.опр.	Н.опр.	2,1·10 ⁻⁵	0,04	1,6·10 ⁻⁵	0,03
Монацит	1,7	4,6·10 ⁻⁵	0,15	0,0016	4,69	0,0013	3,88
Фергусонит	2	Н.опр.	Н.опр.	3,1·10 ⁻⁶	0,01	2,4·10 ⁻⁶	0,01
Гадолинит	2,27	Н.опр.	Н.опр.	5,2·10 ⁻⁶	0,02	4·10 ⁻⁶	0,02
Всего		1,06·10 ⁻⁴	0,19	0,0083	9,26	0,0064	7,43

114

Таблица 4

Доли массы Nd (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)	2,33 (0,003)	0,11 (1·10 ⁻⁴)	0,4 (4·10 ⁻⁴)
Монацит	0,98 (1,3·10 ⁻⁴)	017 (3,3·10 ⁻⁵)	4,44 (0,001)	Н.опр.	0,69 (1,2·10 ⁻⁴)
Всего	0,98 (1,3·10 ⁻⁴)	0,17 (3,3·10 ⁻⁵)	6,77 (0,004)	0,11 (1·10 ⁻⁴)	1,09 (5,2·10 ⁻⁴)

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

Таблица 5

Доли массы Sm (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)	2,19(0,003)	0,09(1·10 ⁻⁴)	0,31(4·10 ⁻⁴)
Монацит	0,58(1,3·10 ⁻⁴)	0,1(3,3·10 ⁻⁵)	3,27(0,001)	Н.опр.	0,42 (1,2·10 ⁻⁴)
Всего	0,58(1,3·10 ⁻⁴)	0,1(3·10 ⁻⁵)	5,46(0,004)	0,09(1·10 ⁻⁴)	0,73 (5·10 ⁻⁴)

Таблица 6

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

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Бломстрандин	<0,01(8,7·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,06(3,3·10 ⁻⁴)	<0,01(6,7·10 ⁻⁶)
Иттриалит	0,09(2·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,06(1,2·10 ⁻⁴)
Ортит	5,420,008	2,74(0,003)	11,5(0,023)	4,35(0,0058)
Бастнезит	0,35(4,7·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,24(2,9·10 ⁻⁴)
Фергусонит	0,02(1,5·10 ⁻⁵)	0,05(3,2·10 ⁻⁵)	<0,01(3,8·10 ⁻⁶)	0,02(1,8·10 ⁻⁵)
Чевкинит	<0,01(1,5·10 ⁻⁶)	Н.опр.	1,06(6·10 ⁻⁴)	0,01(3,2·10 ⁻⁶)
Гадолинит	0,14(5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,01(3·10 ⁻⁶)	0,09(3·10 ⁻⁵)
Монацит	16,6(0,0043)	2,09(4·10 ⁻⁴)	6,86(0,0024)	12(0,0028)
Всего	22,63(0,013)	4,88(0,0034)	19,48(0,0263)	16,69(0,0091)

Таблица 7

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

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Бастнезит	0,31(4,7·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,2(2,9·10 ⁻⁴)
Эвксенит	0,07(8·10 ⁻⁵)	Н.опр.	<0,01(8·10 ⁻⁸)	0,05(5·10 ⁻⁵)
Бломстрандин	0,01(8,7·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,3(3,3·10 ⁻⁴)	0,01(6,7·10 ⁻⁶)
Чевкинит	<0,01 (1,5·10 ⁻⁶)	Н.опр.	0,6(0,0006)	<0,01(3,2·10 ⁻⁶)
Иттриалит	0,31(2·10 ⁻⁴)	Н.опр.	Н.опр.	0,19(1,2·10 ⁻⁴)
Монацит	9,75(0,0043)	0,83(0,0004)	4,08(0,0024)	6,43(0,0028)
Фергусонит	0,04 (1,5·10 ⁻⁵)	0,08(3,2·10 ⁻⁵)	0,01 (3,8·10 ⁻⁶)	0,05(1,8·10 ⁻⁵)
Гадолинит	0,15(5·10 ⁻⁵)	Н.опр.	0,01 (3·10 ⁻⁶)	0,09(3·10 ⁻⁵)
Всего	14,69(0,013)	2,3(0,0034)	13,7(0,026)	10(0,0091)

Таблица 8

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

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы		
	Метапесчаники	Пара-сланцы	В целом	Гранито-гнейсы	Метариолиты	В целом
Ортит	1,05 (0,0012)	4,67 (0,008)	4,39 (0,0071)	4,33 (0,0066)	15,3 (0,008)	4,2 (0,0056)
Бастнезит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,86 (0,0012)	Н.опр.	0,82 (0,001)
Монацит	1,5 (3·10 ⁻⁴)	3 (9·10 ⁻⁴)	2,82 (8·10 ⁻⁴)	10,1 (0,0027)	0,02 (2·10 ⁻⁶)	9,43 (0,0022)
Всего	2,55 (0,0015)	7,67 (0,0089)	7,21 (0,0079)	15,29 (0,0094)	15,32 (0,008)	13,63 (0,0079)

Таблица 9

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

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы		
	Метапесчаники	Пара-сланцы	В целом	Гранито-гнейсы	Метариолиты	В целом
Ортит	1,34 (0,0012)	4,75 (0,008)	4,5 (0,0071)	4,92 (0,0066)	11,3 (0,008)	4,43 (0,0056)
Монацит	1,5 (0,0003)	2,39 (0,0009)	2,27 (0,0008)	9 (0,0027)	0,01 (2·10 ⁻⁶)	7,79 (0,0022)
Бастнезит	Н.опр	Н.опр	Н.опр.	1,18 (0,0012)	Н.опр.	1,04 (0,001)
Всего	2,84 (0,0015)	7,14 (0,0089)	6,76 (0,0079)	15,1 (0,0105)	11,31 (0,008)	13,26 (0,0088)

данным таблиц 8 и 9 отметим, что в метабазах установлен монацит (среднее содержание $4 \cdot 10^{-8} \%$). Но сконцентрированные в нем доли масс Nd и Sm $< 0,01\%$.

Обсуждение полученных данных

Литературные данные о вариациях содержаний Nd в горных породах относительно надежны. Менее корректны данные по Sm. Средние содержания Nd и особенно Sm в континентальных породах по данным автора (Григорьев, 2003) в целом несколько большие чем по литературным. Особенно это относится к Sm. Сравним средние содержания Nd и Sm в верхней части континентальной коры мас. %: 0,0029 и $5,7 \cdot 10^{-4}$ (Григорьев, 2003); 0,0026 и $4,5 \cdot 10^{-4}$ (Тейлор, Мак-Леннан, 1988); 0,0026 и $4,7 \cdot 10^{-4}$ (Wedepohl, 1995). Заключение о некоторой избыточности Sm в континентальных осадочных породах требует проверки.

Исходные данные о вариациях содержаний акцессорных минералов в горных породах, как отмечалось в предшествующих статьях, преуменьшены. Поэтому приведенные здесь оценки роли максиминералов как носителей Nd и Sm следует считать минимально возможными.

Возможности сопоставления полученных данных с результатами изучения распределения Nd и Sm по минералам горных пород - минимальные. В большинстве случаев или данных не достаточно для расчета минеральных балансов, или велики погрешности определения содержаний Nd и Sm в минералах. Суммы учтенных долей масс Nd и Sm в минералах составляют 26 – 128 % от масс установленных в исследованных горных породах непосредственным анализом. Автором учтено всего 9 минеральных балансов (Nd – 7 и Sm – 2). Это в основном балансы, где суммы учтенных долей масс Nd и Sm не выходят за пределы 90 – 110 % от масс этих элементов, установленных при анализах горных пород. Исключение сделано для не достаточно точных, но зато подробных данных о распределении Nd и Sm в совокупности минералов гранодиорита из батолита Восточный Пенинсуляр Ренджес (Gromet, Silver, 1983). Здесь суммы учтенных долей масс соответственно: 128 и 111 отн. %.

Неодим. В гиалориолите (Геохимия., 1984), и латите (Таусон и др., 1982) из Забайкалья, содержащих Nd 0,0024 и

0,004%, его максиминералы не обнаружены. В шошоните с острова Стромболи, содержащем 0,005 % Nd максиминералы тоже не обнаружены (Francalanci, 1989). В гранодиорите из батолита Восточный Пенинсуляр Ренджес (Gromet, Silver, 1983) содержание Nd 0,0025 %. Максиминералы здесь титанит и ортит. Доли масс Nd в них соответственно: 70 и 50 отн. %. В диопсид-плагиоклазовом и диопсид-скаполит-плагиоклазовом плагиосланцах из Алданской флогопитоносной провинции (Петрова, Смирнова, 1982) содержание Nd 0,0045 и 0,0039 %. В первом максиминерал – титанит. В нем сконцентрировано 58 % массы Nd. Во втором максиминералы не установлены. В плагиогнейсе из Северного Прибайкалья (Макрыгина, Смирнова, 1984) содержание Nd 0,012 %. Максиминералы: ортит (главный) и титанит (второстепенный). В них сконцентрировано 68 % массы Nd.

Самарий В шошоните с острова Стромболи, содержащем $9,5 \cdot 10^{-4} \%$ Nd максиминералы не обнаружены (Francalanci, 1989). В гранодиорите из батолита Восточный Пенинсуляр Ренджес (Gromet, Silver, 1983) содержание Nd $4,3 \cdot 10^{-4} \%$. Максиминерал – титанит. В нем сконцентрировано 98 % массы Sm.

Сопоставление минеральных балансов позволяет предполагать, что значительная роль максиминералов характерна для горных пород с повышенным суммарным содержанием всех лантаноидов. В целом же очевидно, что немногочисленные минеральные балансы отражают в основном индивидуальные особенности изученных горных пород.

Выводы

Установлено, что в верхней части континентальной коры в максиминералах сконцентрировано 9,13 % массы Nd. В том числе: в монаците – 5,38, в ортите – 3,48, в бастнезите – 0,25 %, в иттриалите – 0,01, в гадолините – 0,01. В максиминералах сконцентрировано 7,43 % массы Sm. В том числе: в монаците – 3,58, в ортите – 3,2, в бастнезите – 0,28, в иттриалите – 0,03, в гадолините – 0,02, в эвксените 0,01, в фергусоните – 0,01. Роль максиминералов как носителей Nd и Sm максимальная в гранитах, сиенитах и гранитогнейсах. Она значительна также в парасланцах и в кислых вулканитах. Новые данные нуждаются

в уточнении. Пока же приведенные цифры следует рассматривать как минимально возможные.

Литература

1. Francalanci L. Trace element partition coefficients for minerals in shoshonitic and calc-alkaline rocks from Stromboli Island (Aeolian Arc) // Neues Jahrbuch für Mineralogie. Stuttgart, 1989/ B. 160. H. 3. S. 229-247.

2. 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.