

УДК 550.4 : 546.791/.841

© Д. чл. УАГН Н.А. Григорьев

МАКСИМИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ ТОРИЯ И УРАНА 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 THORIUM AND URANIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

Автореферат

Роль максиминералов в качестве носителей Th и U в верхней части континентальной коры определена по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на основе больше чем 2370 количественных минералогических анализов важнейших горных пород, опубликованных преимущественно в СССР. Установлено, что в максиминералах сконцентрировано 17,12 % массы Th. В том числе: в монаците - 8,11 %, в ортите - 5,68 %, в торите - 3,02%. В максиминералах сконцентрировано 5,73 % массы U. В том числе: в ортите - 2,11 %, уранините - 1,84 %, в монаците - 1,4 %. Эти цифры - минимально возможные.

Ключевые слова: максиминерал, носитель, торий, уран, верхняя часть континентальной коры.

Abstract

The role of maxminerals as carriers of Th and U in the upper continental crust's has been defenited by the model of A. B. Ronov et al.(1990). Calculation has been made by the base more than 2370 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published mainly in the USSR. It was established, that in the maxminerals concentration 17.12 % of masses Th. In particular: in monazite - 8.11 %, in orthite - 5.68 %, in thorite - 3.02 %. In the maxminerals concentration 5.73 % of masses U. In particular: in orthite - 2.11%, in uraninite - 1.84 %, in monazite - 1.4 %. These figures a minimal from possible

Key words: maxmineral, carrier, thorium, uranium, upper continental crust.

Базовые положения

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

Распределение масс химических элементов в совокупностях минералов, слагающих земную кору и ее фрагменты – важнейшая характеристика среды, в которой мы живем. Ее необходимо знать. Th и U образуют собственные минералы и входят в состав чужих. Собственных минералов у Th меньше, чем у U. В чужих минералах часть масс Th и U концентрируется в микровключениях. Часть их масс в чужих минералах связана относительно слабо. Повышенное содержание Th и U характерно для гидроксилсодержащих цепочечных и листовых силикатов Fe и Mg, высокое - для минералов: редкоземельных, ниобиевых, танталовых, циркониевых, титановых, урановых, ториевых и некоторых других аксессуарных. Граничные для ториевых и урановых максиминералов содержания соответственно: Th - 0,3, U - 0,1 мас. % (Григорьев, 1999а). Собственные минералы Th и U являются их максиминералами всегда, а некоторые чужие - часто или редко. Так, монацит является ториевым максиминералом часто, а циркон урановым - иногда. В данной работе учтены минералы, являющиеся ториевыми или урановыми максиминералами часто.

Главные результаты предшествующих исследований

Наибольший интерес представляют результаты двух направлений исследований.

Первое – определение минеральных балансов Th и U в конкретных горных породах. Оно наиболее корректное, но трудоемкое. Первые данные, достаточные для приблизительного определения минерального баланса U в кварцевом диорите из Южной Калифорнии получил Е. Ингерсон (Ingerson, 1954). Е.С. Ларсен с коллегами (1956) и Г.Р. Тилтон с коллегами (Tilton., а.о., 1955) определили минеральные балансы U в гранитах Южной Калифорнии и района озера Онтарио. Затем в СССР определили несколько десятков минеральных балансов Th и U в эндогенных горных породах (Леонова, Погиблова, 1961, Леонова, 1962, Леонова, Ренне, 1964, Осипов, Журавлев, 1965, Журавлев, Осипов, 1965, Поляков, Кот, 1965, Минеева, 1965, Геохимия варисских., 1966, Шатков, Шаткова, 1965, Журавлева и др., 1976, Уран и торий., 1983, Солодов и др., 1987). Оказалось, что доли масс Th и U, сконцентрированные в максиминералах варьируют в основном от 0 до 30 %, и зависят от валового со-

держания Th и U в горной породе, от минерального состава и генезиса последней (Григорьев, 1999а). Но для решения поставленного вопроса этого не достаточно.

Второе направление – определение содержаний акцессорных минералов в горных породах. Опубликованы результаты количественных минералогических анализов тысяч проб горных пород. Но использованные методики не всегда позволяли определять ториевые и урановые максиминералы. Первоначально автор собрал часть данных и рассчитал среднее содержание торита ($0,0002\%$) и уранинита ($6 \cdot 10^{-6}\%$) для верхней части земной коры. Им соответствуют доли масс Th 8% и U 2% (Григорьев, 1999б).

Исходные данные и методика расчетов

Основа расчетов - фрагмент модели химического строения земной коры А.Б. Ронова и др. (1990), несколько детализированный автором. Средние содержания Th и U: в магматических породах гранитно-гнейсового слоя (Овчинников, 1990), остальные (Григорьев, 2003). Среднее содержание Th и U в минералах определено приблизительно по литературным данным. Все разновидности торита кроме U-торита учтены вместе. Среднее содержание минералов в горных породах рассчитано по результатам больше чем 2370 количественных минералогических анализов: пески и песчаники >764, гранодиориты (включая другие гранитоиды повышенной основности) - 485, сиениты (включая щелочные граниты) - 461, граниты >407, парагнейсы >58, метапесчаники >47, гранито-гнейсы >47. Остальные горные породы изучены слабо (количество анализов не известно или < 50). Ниже перечислены главные источники данных.

Пески, песчаники. Терригенные породы Русской платформы от четвертичных до нижне-рифейских (Ронов и др., 1963, Чельшев и др., 1965, Ильин, Сыромятина, 1972, Кузнецов, 1992, Сергеева, 1989), аркозовые песчаники Приверхоанского прогиба (Справочное..., 1958). **Глины и сланцы.** Суглинки района КМА от эоценовых до девонских (Кузнецов и др., 1972). **Вулканиды осадочного слоя.** Кавказские липариты, андезиты, базальты и порфириды: липарит-дацитовые андезитовые, долеритовые, диабазовые (Ляхович, Чирвинская, 1961, Ляхович, 1963, Држбашян, 1965, Мнацаканян, 1965). **Граниты и грано-**

диориты Южно-Калифорнийского батолита (Ларсен и др., 1956) и СССР (Гаусон, 1961, Леонова, 1962, Леонова, Ренне, 1964, Геохимия варисских..., 1966, Ляхович, 1967, Бартикян, 1968, Вигорова, Покровский, 1973, Бушляков, Соболев, 1976, Ипатьева, 1976, Бельков, 1979, Чашухина и др., 1989). **Сиениты** СССР (Леонова, Погиблова, 1961, Еськова и др., 1964, Поляков, Кот, 1965, Туровский, Кокарев, 1968, Фишман и др., 1968, Батиева, Бельков, 1984, 1985, Бельков и др., 1988). **Метапесчаники.** Докембрийские метапесчаники, конгломераты, кварциты Приполярного Урала (Фишман и др., 1966, Вигорова, Покровский, 1973), Тувы (Ляхович, 1966). **Парагнейсы.** Рифейские парасланцы Рудных Гор (Ермолаев и др., 1976). Докембрийские парасланцы Приполярного Урала (Вигорова, Покровский, 1973). Метаосадочные сланцы и парагнейсы Балтийского щита, Тувы, Урала (Ляхович, 1966, Вулканизм ..., 1987). Докембрийские кристаллические сланцы Украинского щита (Носырев и др., 1986). **Гранито-гнейсы** Уральские, Юго-Восточной Тувы (Ляхович, 1966, 1967), Северного Прибайкалья (Макрыгина и др., 1984), Украинского щита (Носырев и др., 1986), Кольского полуострова (Ляхович, 1966, Бельков и др., 1988). **Метариолиты.** Метаморфизованные кварцевые порфиры, кварцевые амфиболиты и метадациты Приполярного Урала (Фишман и др., 1966, 1968). **Метаандезиты.** Часть докембрийских амфиболитов Украинского щита (Носырев и др., 1986). **Метабазиты.** Аподиабазовые и апогнейсовые мигматиты Криворожской зоны (Трощенко, 1975).

Распределение масс тория и урана в совокупности континентальных горных пород

Данные автора о среднем содержании Th и U в совокупности континентальных горных пород (табл. 1) подробнее имевшихся раньше. Их часть, имеющая аналоги в литературе практически соответствует последним. Так, средние для верхней части континентальной коры содержания (Григорьев, 2003, Тейлор, Мак-Леннон, 1988, Wedepohl, 1995) $n \cdot 10^{-4}\%$: Th 9,3, 11, 10,7, U 2,5, 2,5, 2,8. По данным автора распределение Th в верхней части континентальной коры почти соответствует требованиям геохимического баланса. Его содержание в совокупности континентальных осадочных пород - $7,7 \cdot 10^{-4}\%$ близкое к

Таблица 1

Распределение массы Th и U в совокупности горных пород
верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, отн. %	Среднее содержание, 10 ⁻⁴ %		Доли массы, отн. %	
		Th	U	Th	U
Пески и песчаники	5,11	7,8	2,3	4,3	4,7
Глины и глинистые сланцы	10,4	10	4,5	11,2	18,6
Карбонатные породы	3,85	2,4	2,1	1	3,2
Кремнистые породы	0,33	3,4	5	0,1	0,7
Эвапориты	0,26	0,7	0,68	<0,1	0,1
Кислые вулканы	0,44	13	4,5	0,6	0,8
Средние вулканы	1,13	4,1	1,1	0,5	0,5
Основные вулканы	2,11	2,7	0,86	0,6	0,7
Граниты	8,21	18	3,9	15,9	12,8
Гранодиориты	3,38	9,9	2,7	3,6	3,6
Базиты	1,5	3,2	0,8	0,5	0,5
Сиениты	0,05	13	3	0,1	<0,1
Ультрабазиты	0,05	0,004	0,001	<0,1	<0,1
Метапесчаники	2,92	7,7	1,7	2,4	2
Парагнейсы и парасланцы	30,56	9,2	2,3	30,2	28
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	1,7	0,7	0,2	0,3
Железистые породы	0,38	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Гранито-гнейсы	23,21	10	2,4	25	22,2
Метариолиты	0,66	9,5	Н.опр.	0,7	Н.опр.
Метаандезиты	1,03	16	Н.опр.	1,7	Н.опр.
Метабазиты	3,29	3,9	0,9	1,4	1,2
Верхняя часть континентальной коры	100	9,3	2,51	100	99,9
Осадочные породы	19,95	7,74	3,43	16,6	27,3
Вулканы осадочного слоя	3,68	4,4	1,38	1,7	2
Осадочный слой	23,23	7,2	3,11	18,3	29,3
Магматы гранито-гнейсового слоя	13,19	14	3,22	20,1	16,9
Параметаморфические породы	34,99	8,72	2,17	32,8	30,3
Ортометаморфические породы	28,19	9,5	2,08	28,8	23,4
Гранито-гнейсовый слой	76,37	9,95	2,32	81,7	70,6

8,1·10⁻⁴% - тому, которое могло быть унаследовано от гранито-гнейсового слоя современного состава (расчет изоалюминиевым методом). Среднее содержание U в континентальных осадочных породах 3,4·10⁻⁴% больше расчетного - 1,9·10⁻⁴%. Такая разницы распределения Th и U маловероятна. Возможно это - результат неблагоприятного сочетания небольших погрешностей

определения средних содержаний Th и U в горных породах. Для выявления их необходима более корректная модель строения земной коры.

Главные концентраторы Th - граниты, сиениты и кислые вулканы (табл. 1). Но средние коэффициенты концентрации его здесь всего 1,4-1,9. Суммарная доля массы Th, сконцентрированная в этих горных породах 16,6 %. Главные носители Th: метаморфические и магматические породы гранито-гнейсового слоя.

Среднее содержание U максимальное в кремнистых породах, повышенное - в глинах, глинистых сланцах и кислых вулканах. Коэффициенты концентрации U в них 1,6-2. Больше половины U (57,6 %) находится в осадочных и параметаморфических породах.

Суммарные доли масс, сосредоточенные в горных породах наиболее изученных в минералогическом отношении Th - 81,9, U - 73,8.

Доли масс тория и урана, сконцентрированные в максиминералах

Установлено что, в верхней части континентальной коры в ториевых максиминералах сконцентрировано 17,13 % массы Th. В том числе: в монаците - 8,11 %, в ортите - 5,68 %, в торите - 3,02%. (табл. 2). Доля массы Th, сконцентрированная в максиминералах, в осадочном слое почти в шесть раз меньше чем в гранито-гнейсовом. В осадочных породах (табл. 3) главная роль принадлежит ториту и монациту. В кислых вулканах осадочного слоя главный ториевый максиминерал - монацит (табл. 3). В гранито- гнейсовом слое роль ториевых максиминералов повышенная. В гранитах, гранодиоритах, гранито-гнейсах в ториевых максиминералах сконцентрирована 1/4 массы Th, в метабазитах больше - 1/3, а в сиенитах - 2/3 (табл. 4, 5). Главные максиминералы: в гранитах, метапесчаниках, гранито-гнейсах - монацит и ортит, в гранодиоритах, сиенитах - торит и ортит, в парасланцах - ортит и монацит метабазитах – торит.

Таблица 2
Роль максиминералов как носителей Th в верхней части континентальной коры

Минералы	Содержание Th в минералах, мас. %	Осадочный слой		Гранитно-гнейсовый слой		Верхняя часть континентальной коры	
		Содержание минералов	Доли массы Th, отн. %	Содержание минералов	Доли массы Th, отн. %	Содержание минералов	Доли массы Th, отн. %
Циртолит	0,3	$1,6 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$2 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$1,9 \cdot 10^{-6}$	<0,01
Лопарит	0,57	Н.опр.		$1,3 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$1 \cdot 10^{-6}$	<0,01
Ортит	1,1	$6 \cdot 10^{-5}$	0,09	0,0063	6,93	0,0048	5,68
Пирохлор	1,1	Н.опр.	Н.опр.	$6,9 \cdot 10^{-6}$	0,01	$5,3 \cdot 10^{-6}$	0,01
Чевкинит	1,2	Н.опр.	Н.опр.	$5,5 \cdot 10^{-7}$	<0,01	$4,2 \cdot 10^{-7}$	<0,01
Эвксинит	1,9	Н.опр.	Н.опр.	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,02	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,01
Ксенотим	2,9	$1 \cdot 10^{-5}$	0,04	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,13	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,12
Уранинит	3,2	$9,3 \cdot 10^{-7}$	<0,01	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,03	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,02
Фергюссонит	3,4	Н.опр.	Н.опр.	$3,1 \cdot 10^{-6}$	0,01	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,01
Бломстрандин	3,8	Н.опр.	Н.опр.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	<0,01	$9 \cdot 10^{-7}$	<0,01
Монацит	5,8	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,37	0,0016	9,28	0,0013	8,11
Иттриалит	8	Н.опр.	Н.опр.	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,17	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,14
Торит	49,2	$4,3 \cdot 10^{-5}$	2,94	$6,1 \cdot 10^{-5}$	3	$5,7 \cdot 10^{-5}$	3,02
U-торит	52,4	Н.опр.	Н.опр.	$1,1 \cdot 10^{-7}$	0,01	$8,6 \cdot 10^{-8}$	<0,01
Торианит	62,1	Н.опр.	Н.опр.	$4,5 \cdot 10^{-8}$	<0,01	$3,4 \cdot 10^{-8}$	<0,01
Всего			3,44		19,59		17,12

Таблица 3
Доли массы Th (отн. %), сконцентрированные в ториевых максиминералах континентальных

Минералы	Осадочные породы			Вулканогенные породы		
	Пески и песчаники	Глины и сланцы	В целом	Кислые	Средние	В целом
Циртолит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,02 (0,0001)	Н.опр.	0,01 ($1 \cdot 10^{-5}$)
Ортит	<0,01 ($7 \cdot 10^{-8}$)	Н.опр.	<0,01 ($1,8 \cdot 10^{-8}$)	2,54 (0,003)	0,27 (0,0001)	1 (0,0004)
Ксенотим	0,15 ($4 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	0,04 ($1 \cdot 10^{-5}$)	0,07 ($3 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	0,02 ($3,6 \cdot 10^{-6}$)
Уранинит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,12 ($5 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	0,04 ($6 \cdot 10^{-6}$)
Монацит	0,94 ($1,3 \cdot 10^{-4}$)	Н.опр.	0,25 ($3,3 \cdot 10^{-5}$)	4,46 (0,001)	Н.опр.	1,58 ($1,2 \cdot 10^{-4}$)
Торит	0,88 ($1,4 \cdot 10^{-5}$)	4,43 ($9 \cdot 10^{-5}$)	3,2 ($5 \cdot 10^{-5}$)	1,89 ($5 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	0,67 ($6 \cdot 10^{-6}$)
Сумма	1,97	4,43	3,49	9,1	0,27	3,32

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

Таблица 4
Доли массы Th (отн. %), сконцентрированные в ториевых максиминералах магматических пород гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	Магматические породы в целом
Циртолит	<0,01 ($1,5 \cdot 10^{-6}$)	<0,01 ($1 \cdot 10^{-6}$)	0,21 (0,0009)	<0,01 ($4,6 \cdot 10^{-6}$)
Лопарит	<0,01 ($1,8 \cdot 10^{-6}$)	<0,01 ($6 \cdot 10^{-7}$)	0,75 (0,0017)	<0,01 ($7,7 \cdot 10^{-6}$)
Ортит	4,89 (0,008)	3,33 (0,003)	19,46 (0,023)	4,56 (0,0058)
Пирохлор	<0,01 ($5 \cdot 10^{-6}$)	<0,01 ($2 \cdot 10^{-6}$)	0,65 ($7,7 \cdot 10^{-4}$)	0,01 ($6,6 \cdot 10^{-6}$)
Чевкинит	<0,01 ($1,5 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	0,55 (0,0006)	<0,01 ($3,2 \cdot 10^{-6}$)
Эвксинит	0,08 ($8 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	<0,01 ($8 \cdot 10^{-8}$)	0,07 ($5 \cdot 10^{-5}$)
Ксенотим	0,32 (0,0002)	0,01 ($3 \cdot 10^{-6}$)	0,01 ($2,7 \cdot 10^{-6}$)	0,27 ($1,3 \cdot 10^{-4}$)
Уранинит	0,14 ($7,8 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	Н.опр.	0,11 ($4,9 \cdot 10^{-5}$)
Фергюссонит	0,03 ($1,5 \cdot 10^{-5}$)	0,11 ($3,2 \cdot 10^{-5}$)	0,01 ($3,8 \cdot 10^{-6}$)	0,04 ($1,8 \cdot 10^{-5}$)
Бломстрандин	0,02 ($8,7 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	0,96 ($3,3 \cdot 10^{-4}$)	0,02 ($6,7 \cdot 10^{-6}$)
Монацит	13,86 (0,0043)	2,34 (0,0004)	10,71 (0,0024)	11,6 (0,0028)
Иттриалит	0,89 (0,0002)	Н.опр.	Н.опр.	0,69 ($1,2 \cdot 10^{-4}$)
Торит	3,83 ($1,4 \cdot 10^{-4}$)	19,88 (0,0004)	26,49 (0,0007)	6,68 ($1,9 \cdot 10^{-4}$)
U-торит	0,01 ($5 \cdot 10^{-7}$)	0,05 ($1 \cdot 10^{-6}$)	0,92 ($2,3 \cdot 10^{-5}$)	0,02 ($6,5 \cdot 10^{-7}$)
Торианит	Н.опр.	Н.опр.	3,25 ($6,8 \cdot 10^{-5}$)	0,01 ($2,6 \cdot 10^{-7}$)
Всего	24,06	25,67	63,05	24,06

Таблица 5
Доли массы Th (отн. %), сконцентрированные в ториевых максиминералах в континентальных метаморфических пород

Минералы	Параметаморфические породы			Ортоморфические породы			
	Метапесчаники	Парасланцы	В целом	Гранитно-гнейсы	Метарюниты	Метабазиты	В целом
Циртолит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01 ($4 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	<0,01 ($7 \cdot 10^{-7}$)	<0,01 ($3,4 \cdot 10^{-6}$)
Ортит	1,71 (0,0012)	9,57 (0,008)	8,98 (0,0071)	7,26 (0,0066)	9,26 (0,008)	Н.опр.	6,48 (0,0056)
Пирохлор	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,02 ($2 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	Н.опр.	0,02 ($1,6 \cdot 10^{-5}$)
Ксенотим	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,22 ($7,5 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	Н.опр.	0,19 ($6,2 \cdot 10^{-5}$)
Уранинит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01 ($6 \cdot 10^{-7}$)	Н.опр.	Н.опр.	<0,01 ($5 \cdot 10^{-7}$)
Монацит	2,26 (0,0003)	5,67 (0,0009)	5,33 (0,0008)	15,66 (0,0027)	0,01 ($2 \cdot 10^{-6}$)	<0,01 ($4 \cdot 10^{-8}$)	13,43 (0,0022)
Торит	1,6 ($2,5 \cdot 10^{-5}$)	1,87 ($3,5 \cdot 10^{-5}$)	1,87 ($3,3 \cdot 10^{-5}$)	1,97 ($4 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	37,85 (0,0003)	1,86 ($3,6 \cdot 10^{-5}$)
Всего	5,57	17,11	16,18	25,13	9,27	37,85	21,98

В урановых максиминералах в верхней части континентальной коры сконцентрировано 5,73 % массы U. В том числе: в ортите - 2,11 %, уранините - 1,84 %, в монаците - 1,4 % (табл. 6). Доля массы U, сконцентрированная в максиминералах, в осадочном слое в десятки раз меньше чем в гранитно-гнейсовом. Особенно мала она в осадочных породах (табл. 7). Здесь главная роль принадлежит ториту и монациту. В кислых вулканитах главный максиминерал - уранинит (табл. 7). В гранитно-гнейсовом слое роль максиминералов в целом повышенная. Особенно - в гранитах и сиенитах (табл. 8). Главные максиминералы: в гранитах – уранинит, в сиенитах – ортит. В метаморфических породах роль максиминералов близка к средней для верхней части континентальной коры. Главные максиминералы: ортит и монацит (табл. 9).

Таблица 6

Роль урановых максиминералов как носителей U в верхней части континентальной коры

Минералы	Среднее содержание U в минералах, мас. %	Осадочный слой		Гранитно-гнейсовый слой		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов, %	Доли массы U, отн. %	Содержание минералов, %	Доли массы U, отн. %	Содержание минералов, %	Доли массы U, отн. %
Ортит	0,11	$6 \cdot 10^{-5}$	0,02	0,0063	2,99	0,0048	2,11
Монацит	0,27	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,0016	1,86	0,0013	1,4
Торит	0,37	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0,05	$6,1 \cdot 10^{-5}$	0,1	$5,7 \cdot 10^{-5}$	0,08
Циртолит	1,5	$1,6 \cdot 10^{-6}$	0,01	$2 \cdot 10^{-6}$	0,01	$1,9 \cdot 10^{-6}$	0,01
Иттриалит	1,7	Н.опр.	Н.опр.	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,15	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,11
Фергюссонит	2,2	Н.опр.	Н.опр.	$3,1 \cdot 10^{-6}$	0,03	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,02
Бломстрандин	2,8	Н.опр.	Н.опр.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,01	$9 \cdot 10^{-7}$	0,01
Торианит	4	Н.опр.	Н.опр.	$4,5 \cdot 10^{-8}$	<0,01	$3,4 \cdot 10^{-8}$	<0,01
Эвксенит	5,8	Н.опр.	Н.опр.	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,22	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,15
U-торит	7,3	Н.опр.	Н.опр.	$1 \cdot 10^{-7}$	<0,01	$8,6 \cdot 10^{-8}$	<0,01
Метаторбернит	53,8	Н.опр.	Н.опр.	$9,7 \cdot 10^{-9}$	<0,01	$7,4 \cdot 10^{-9}$	<0,01
Уранинит	69,5	$9,3 \cdot 10^{-7}$	0,21	$8,6 \cdot 10^{-6}$	2,58	$6,6 \cdot 10^{-6}$	1,84
Сумма			0,33		7,95		5,73

Таблица 7

Доли массы U (отн. %), сконцентрированные в урановых максиминералах в горных породах осадочного слоя континентальной коры

Минералы	Осадочные породы			Вулканогенные породы		
	Пески и песчаники	Глины и сланцы	В целом	Кислые	Средние	В целом
Ортит	<0,01	Н.опр.	<0,01	0,73	0,1	0,32
Торит	0,02	0,07	0,05	0,04	Н.опр.	0,02
Монацит	0,15	Н.опр.	0,03	0,6	Н.опр.	0,24
Циртолит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,33	Н.опр.	0,11
Уранинит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	7,72	Н.опр.	3,02
Сумма	0,17	0,07	0,08	9,42	0,1	3,71

Таблица 8

Доли массы U (отн. %), сконцентрированные в урановых максиминералах в магматических породах гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Сиениты	В целом
Ортит	2,26	1,22	8,43	1,99
Монацит	2,98	0,4	2,16	2,36
Торит	0,13	0,55	0,86	0,22
Циртолит	0,01	0,01	4,5	0,02
Иттриалит	0,87	Н.опр.	Н.опр.	0,64
Фергюссонит	0,08	0,26	0,03	0,12
Бломстрандин	0,06	Н.опр.	3,08	0,06
Торианит	Н.опр.	Н.опр.	0,91	<0,01
Эвксенит	1,19	Н.опр.	<0,01	0,91
U-торит	0,01	0,03	0,56	0,01
Метаторбернит	0,01	Н.опр.	Н.опр.	0,01
Уранинит	13,9	Н.опр.	Н.опр.	10,64
Сумма	21,5	2,46	20,53	16,97

Таблица 9

Доли массы U (отн. %), сконцентрированные в урановых максиминералах в метаморфических породах

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы		
	Метапесчаники	Парасланцы	В целом	Гранитогнейсы	Метабазиты	В целом
Ортит	0,78	3,83	3,6	3,03	Н.опр.	2,96
Монацит	0,48	1,06	1	3,04	<0,01	2,86
Торит	0,05	0,06	0,06	0,06	1,23	0,06
Циртолит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,03	0,01	0,02
Уранинит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,17	Н.опр.	0,17
Сумма	1,31	4,95	4,66	6,33	1,24	6,07

Обсуждение полученных данных

Автору не известны данные о содержании максиминералов Th и U в горных породах: карбонатных, кремнистых, эвапоритах, основных вулканитах осадочного слоя, в базитах, ультрабазитах, метаандезитах. Но в них сосредоточено только 3,7 % массы Th и 3,1 % массы U (табл. 1). Кроме того, по (Журавлев, Осипов, 1965) в базитах урановых максиминералов практически нет. Вероятно более существенно отсутствие данных о содержании в осадочных породах экзогенных ториевых и урановых минералов.

Возможности сопоставления новых данных с опубликованными результатами изучения горных пород малы. При определении роли акцессорных минералов как носителей редких элементов в конкретных пробах горных пород погрешности могут быть соизмеримы с определяемыми величинами (Григорьев, 1999). Надежны только результаты расчетов минеральных балансов. Таких данных мало. Отметим наиболее корректные

В гранитах, плагиогранитах и тоналитах Средней Азии с повышенным содержанием Th (0,0014 - 0,0057 мас. %) в максиминералах (ортит, торит, U-торит) сконцентрировано 22 - 75 % его массы (Гаврилин и др., 1966, Леонова, 1962, Леонова, Ренне, 1964). В гранитах, содержащих 0,031-0,045 мас. % Th в максиминералах (циртолит, Fe-торит, торит, колумбит, пироклор) находится 56,6-78,9 % его массы (Солодов и др., 1987).

В нефелиновых сиенитах Ловозерского массива с околокловковым содержанием Th (0,00076 – 0,0033 мас. %) максиминерал - лопарит. В нем сконцентрировано 0-34 % массы Th (Поляков, Кот, 1965). В сиенитах и граносиенитах Северного Тянь-Шаня с повышенным содержанием Th (0,0049-0,006%) в максиминералах (торит, U-торит, ортит, торианит) сконцентрировано 9-70 % массы Th (Геохимия..., 1966).

В гранитах Южной Калифорнии (Ларсен и др., 1956), района озера Онтарио (Tilton. a.o., 1955), Средней Азии (Таусон, 1961, Леонова, Погиблова, 1961, Геохимия..., 1966) и Казахстана (Леонова, Ренне, 1964) урановые максиминералы: торит, U-торит, монацит, ксенотим, ортит, циркон. При содержании U в гранитах меньше среднего (0,0001-0,00028 мас. %) в максиминералах сконцентрировано 0 – 39 % его массы. При повышен-

ном содержании U (0,00042-0,0006 мас. %) эти доли 4 – 49 %. В.Н. Павловой (Солодов и др., 1987) изучены граниты с содержанием U 0,0069-0,0095 мас. %. Здесь в максиминералах (циртолит, колумбит, пироклор и ближе не определенные) находится 72,6-75,7 % массы U.

В сиенитах Горной Шории (Журавлев, Осипов, 1965) и ийолитах Заангарского щелочного массива (Жмодик, 1964) с малым содержанием U (0,00006-0,0002 мас. %), его максиминералы не установлены. В сиенитах и граносиенитах Средней Азии (Леонова, Погиблова, 1961, Геохимия..., 1966) с содержанием U (0,0005 - 0,001 мас. %) в максиминералах: торианите, U-торите, иногда цирконе сконцентрировано 0 – 19 % U.

Литературные данные характеризуют индивидуальные особенности массивов интрузивных пород. Но в общем виде прослеживаются и главные тенденции. Поэтому корректно сопоставление только суммарных долей масс Th и U, сконцентрированных в максиминералах. При этом необходимо учесть прямую зависимость сконцентрированных в максиминералах долей масс от валового содержания Th и U в горных породах (Григорьев, 1999). С учетом отмеченного, литературные данные в целом не противоречат нашим средним оценкам. Исключение - данные по Th в сиенитах. Возможно роль ториевых максиминералов в сиенитах автором преувеличена.

Отметим, что данные о содержании максиминералов в горных породах преуменьшены. Не учтены частицы <10-50 мкм. Поэтому оценки - минимально возможные.

Выводы

Установлено, что в верхней части континентальной коры в ториевых максиминералах сконцентрировано 17,12 % массы Th. В том числе: в монаците - 8,11 %, в ортите – 5,68 %, в торите – 3,02%. В урановых максиминералах сконцентрировано 5,73 % массы U. В том числе: в ортите - 2,11 %, уранините – 1,84 %, в монаците – 1,4 % . Эти цифры - минимально возможные.

Полученные данные - очередное приближение к истине. Для их уточнения и детализации необходимы: разработка более совершенной модели верхней части континентальной коры и накопление дополнительных данных о составе горных пород. Особенно о содержании акцессорных минералов.

Литература

1. **Бартикян М.П.** Акцессорные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения) // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 108-115.
2. **Батиева И.Д., Бельков И.В.** Сахарйокский щелочной массив, слагающие его горные породы и минералы. Апатиты. 1984. 133 с.
3. **Батиева И.Д., Бельков И.В.** Закономерности концентрации рудных элементов в связи со щелочными гранитоидами Кольского полуострова. В кн.: «Закономерности концентрации рудных элементов в гранитоидных формациях Карело-Кольского региона». Апатиты, 1985. С. 62-72.
4. **Бельков И.В.** Акцессорные минералы гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука. 1979. 185с.
5. **Бельков И.В., Батиева И.Д., Виноградова Г.В., Виноградов А.Н.** Минерализация и флюидный режим контактовых зон интрузий щелочных гранитов. Апатиты, 1988. 110 с.
6. **Бушляков И.Н., Соболев И.Д.** Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М. Наука. 1976. 339 с.
7. **Вигорова В.Г., Покровский П.В.** Некоторые особенности акцессорной минерализации гранитоидов центральной и восточной части Приполярного Урала // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар, 1973. Т. 2. С. 334-340.
8. **Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита** / А.А.Предковский, В.А. Мележик, В.В. Болотов и др. Л. Наука. 1987, 185 с.
9. **Геохимия варисских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня** / Гаврилин Р.Д., Злобин Б.И., Леонова Л.Л. и др. М. Наука. 1966. 247 с.
10. **Григорьев Н.А.** Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург. 1999а. 302с.
11. **Григорьев Н.А.** Максимины как носители химических элементов в верхней части земной коры. Геохимия, № 12. 1999б. С. 1298-1303.
12. **Григорьев Н.А.** Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. Геохимия, № 7, 2003 г. С. 785-792.
13. **Држбашян Р.Т.** Акцессорные элементы и минералы эффузивных образований Базумского хребта как индикаторы их металлогенической специализации // Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов. М. Наука. 1965. С. 79-101.
14. **Ермолаев Н.П., Величкин В.И., Аверина А.С., Лактионова Н.В.** Геохимические особенности гранитизации в Рудных Горах. Геохимия, 1976, № 5. С. 696-707.
15. **Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.** Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых Гор. М. Наука. 1964. 319 с.
16. **Жмодик С.М.** Геохимия радиоактивных элементов в процессе выветривания карбонатитов, кислых и щелочных пород. Новосибирск, Наука, 1984. 143 с.
17. **Журавлев Р.С., Осипов Д.К.** Уран в основных породах Патына и Горной Шории. Геохимия, 1965. № 4. С.490-494.
18. **Журавлева Л.Н., Березина Л.А., Гулин Е.Н.** Особенности геохимии редких и радиоактивных элементов в апатит-магнетитовых рудах ультраосновных-щелочных комплексов. Геохимия. 1976. № 10. С. 1512-1532.
19. **Ильин В.А., Сыромятина Н.Д.** Минералогические особенности четвертичных отложений и их зависимость от подстилающих коренных пород // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. Л. Наука. 1972. С. 102-108.
20. **Ипатьева И.С.** Акцессорные минералы позднемезозойских гранитоидов северо-востока СССР. Новосибирск: Наука. 1976. 110 с.
21. **Кузнецов А.П.** Терригенная минералогия пород фанерозоя бассейна Курской Магнитной Аномалии // Литология и полезные ископаемые. 1992. №2. С. 90-1.
22. **Ларсен Е.С., Фейр Д, Готтфрид Д., Смит В.Л.** Уран в магматической дифференциации. Геология атомных сырьевых материалов. М. 1956. С. 53-72.
23. **Леонова Л.Л.** Распределение тория в минералах гранитоидов Су-самырского батолита (Ц. Тянь-Шань). Геохимия, 1962. № 6. С. 490-496.
24. **Леонова Л.Л., Ренне С.О.** О распределении урана, тория и калия в однородных гранитах. Геохимия, 1964. № 8. С. 788-794.
25. **Леонова Л.Л., Погиблова Л.С.** Уран в минералах пород интрузии гор Кызыл-Омпул (Северная Киргизия). Геохимия, 1961. № 10. С. 901-906.
26. **Ляхович В.В.** Акцессорные минералы эффузивных и субэффузивных пород. Известия АН СССР. Сер. геол. 1963. № 12. С. 80-90.
27. **Ляхович В.В.** Акцессорные минералы гнейсов // Минералогический сборник Львовского Государственного Университета. 1966. Вып. 2. № 20. С. 199-208.
28. **Ляхович В.В.** Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. М. Наука. 1967. 448 с.
29. **Ляхович В.В., Червинская А.Д.** Акцессорные минералы в гранитоидах Тырны-Ауза и их петрогенетическое значение. Труды ИМГРЭ. 1961. Вып. 7. С. 156-181.
30. **Макрыгина В.А., Смирнова В.В.** Редкоземельные элементы в минералах Миня-Абчадского мигматитового комплекса (Северное Прибайкалье) // Геохимия. 1984. № 9. С. 1293-1306.
31. **Минеева И.Г.** О «подвижной» форме урана и тория в щелочных породах и связанных с ними постмагматических образованиях // Геохимия. 1965. № 4. С. 443-455.
32. **Мнацаканян А.Х.** Акцессорно-минералогические и геохимические особенности меловых вулканических серий Северной Армении как индикаторы комагматичности и металлогенической специализации вулканических комплексов // Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов. М. Наука. 1965. С. 39-78.

33. Носырев И.В., Робул В.М., Голуб П.Я. и др. Акцессорные минералы метаморфических пород Украинского Щита // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука. 1986. С. 34-45.

34. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М. Недра. 1990. 248 с.

35. Осипов Д.К., Журавлев Р.С. Распределение урана и тория в щелочных магматических породах Кузнецкого Алатау. В кн.: «Геохимия и минералогия радиоактивных элементов Сибири. Новосибирск. Наука. 1970. С. 72-104.

36. Поляков А.И., Кот Г.А. Распределение тория по минералам в нефелиновых сиенитах Ловозерского массива. Геохимия 1965. № 1. С. 73-85.

37. Ронов Б.А., Михайловская М.С., Солодкова И.И. Эволюция химического и минерального состава песчаных пород // Химия земной коры, т.1. М. Изд. АН СССР. 1963. С. 201-252

38. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М. Наука. 1990. 182 с.

39. Сергеева Н.Д. Акцессорные минералы терригенных толщ. В кн.: Нижний рифей Южного Урала / Козлов В.И., Краснобаев А.А., Ларионов Н.Н. и др. М. Наука. 1989, С. 148-166.

40. Солодов Н.А., Семенов Е.И., Бурков В.В. Геологический справочник по тяжелым литофильным редким элементам. М.: Недра. 1987. 439 с.

41. Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Т. 2. Л.: Гостоптехиздат. 1958. 519 с.

42. Таусон Л.В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М.: Издательство Академии наук СССР. 1961. 231 с.

43. Тейлор С.Р., Мак-Леннон С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, с. 379.

44. Трощенко И.Н. Геохимические признаки унаследованности состава мигматитов (на примере обрамления Криворожской зоны). Геохимия. №10. 1975. С. 1552-1567.

45. Туровский С.Д., Кокарев Г.Н. Акцессорные минералы палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука. 1968. С. 130-141.

46. Уран и торий в магматическом и метаморфическом петрогенезисе / Ковалев В.П., Мельгунов С.В., Ножкин А.Д., Митропольский А.С. и др., Новосибирск : Наука. 1983. 181 с.

47. Фишман М.В., Юшкин Н.П., Голдин Б.А., Калинин Е.П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана Л.: Наука. 1968. 251с.

48. Фишман М.В., Голдин Б.А., Юшкин Н.П., Калинин Е.П. Акцессорные минералы в горных породах южной части Печорского Урала // Петрография и минералогия Приполярного Урала и Тимана. Л.-М. Наука. 1966. С. 3-63.

49. Чашухина В.А., Вигорова В.Г., Траянова М.В. Роль акцессорных минералов в балансе ниобия // Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Свердловск. 1989. С.80-85.

50. Чельшев В.И., Мельникова Е.М., Беляев В.В. Минералогические особенности бызовской свиты Северного Приуралья // Геология северо-востока Русской платформы и Приполярного Урала. Сыктывкар. Коми книжное издательство. 1965.С. 41-52.

51. Шатков Г.А., Шаткова Л.Н. Особенности распределения урана и тория в вулканических породах// Радиоактивные элементы в горных породах. Новосибирск: Наука. 1975. С. 106-112.

52. Ingerson E. Geochemical work of the Geochemistry and Petrology Branch U.S. Geological Survey // Geoch. Cosmoch. Acta. 1954. V. 5, № 1. P. 20-39.

53. Tilton G.P., Patterson C., Brown H., a.o. Isotopic composition and distribution of lead, uranium and thorium in a precambrian granite. Bull. Geol. Sos. Amer., 1955. V. 66. PP. 1131-1148.

54. Wedepohl K.H. The Composition of the Continental Crust. Geochimica et Cosmochimica Acta № 7, v. 59. 1995. P. 1217-1232.