

УДК 550.4:546.36

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ И ЦЕЗИЕВЫХ МАКСИМИНЕРАЛОВ
В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Н.А. Григорьев

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый переулок, 7
E-mail: root@igg.E-burg.Su*

Поступила в редакцию 5 июня 2008 г.

Распределение Cs в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова и др. [1990]. Среднее содержание Cs в верхней части континентальной коры – $5,5 \cdot 10^{-4}$ %. Среднее содержание Cs в глинистых и кислых вулканических породах – $1,3 \cdot 10^{-3}$ и $1,5 \cdot 10^{-3}$ %. Для каждой горной породы определено распределение масс Cs по участкам с его содержанием: низким ($< 5 \cdot 10^{-4}$ %), средним ($5 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ %), повышенным ($1 \cdot 10^{-3}$ – $5 \cdot 10^{-3}$ %), высоким ($5 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ %) и очень высоким ($> 1 \cdot 10^{-2}$ %). Распределение масс Cs в разных горных породах по таким участкам в %, соответственно: 2,28–75,15; 6,32–56,41; 11,42–85,6; 0–25,46 и 0–26,26 %. Установлено, что в верхней части континентальной коры в цезиевых максиминералах сконцентрировано 0,243 % всей массы Cs. В том числе, в %: Cs-биотите – 0,2, в берилле – 0,02, в Cs-стекле – 0,018, в лепидолите – 0,004, в протолитиионе – 0,001. Эти цифры минимально возможные.

Ключевые слова: *цезий, цезиевые максиминералы, содержание, массы, распределение, горные породы, верхняя часть континентальной коры.*

Впервые определены: распределение массы Cs в ассоциации горных пород, представляющих верхнюю часть континентальной коры и минимально возможная роль максиминералов как носителей Cs. Уточнено среднее содержание Cs в верхней части континентальной коры и в слагающих ее горных породах. Приводимые данные – частный результат развития несколько детализированного фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ронова, А.А. Ярошевского и А.А. Мигдисова [1990] в минералого-геохимическую модель верхней части континентальной коры.

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
МАССЫ CS В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ
КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Новый расчет среднего содержания Cs в горных породах выполнен по опубликованным результатам около 7000 количественных анализов. При расчете исключены результаты целенаправленного изучения участков горных пород с повышенным содержанием Cs, а также данные из таких публикаций, где осадочные и магматические породы не разделены с продуктами их метаморфизма. Главные источники данных: осадочные породы [Солодов и др., 1980; Лебедева, 1981; Gallet et al., 1998; Gotze, 1998; Huber, et al., 2001; Мизенс и др., 2006; Маслов и др., 2006, 2007]; вулканы осадочного слоя [Леонова, Удальцова, 1971; Леонова и др., 1971; Кременецкий и др., 1973; Леонова, Кирса-

нов, 1974; Солодов и др., 1980; Карапетян, Меликсетян, 1981; Чашин и др., 2007; Kay et al., 2007; Kobayashi et al., 2007; Krienitz et al., 2007, Marshesi et al., 2007; Toothill et al., 2007]; магматические породы гранитно-гнейсового слоя [Одикадзе, 1968; Корнев и др., 1974; Антипин, 1977; Грабежев, 1981; Ляхович, Гурбанов, 1992; Кузнецов и др., 2006; Костицын, 2007]; метаморфические породы [Ставров, 1978; Condie et al., 1991; Буданова, 1991; Yang et al., 1998; Петрова и др., 2000]. Некоторые новые значения среднего содержания Cs в горных породах (табл. 1) больше опубликованных раньше [Григорьев, 2003]. Среднее содержание Cs в верхней части континентальной коры по новым данным – $5,5 \cdot 10^{-4}$ %. Эта цифра близка к обычно приводимым другими авторами – $3,55 \cdot 10^{-4}$ – $7,3 \cdot 10^{-4}$ % [Wedepohl, 1995; Rudnik, Gao, 2004]. Среднее содержание Cs максимальное в кислых вулканитах и глинистых породах. Средние коэффициенты концентрации соответственно: 2,73 и 2,36. Затем следуют песчаные породы, граниты и сиениты. Средние коэффициенты концентрации соответственно: 1,53, 1,33 и 1,27. Больше $\frac{1}{2}$ массы Cs сконцентрировано в осадочных породах и почти половина – в метаморфических. Цезий избыточный элемент. Его среднее содержание в осадочных породах континентальной коры – $9,5 \cdot 10^{-4}$ %, вдвое больше соответствующего продуктам выветривания гранитно-гнейсового слоя современного состава – $4,5 \cdot 10^{-4}$ % (расчет изоалюминиевым методом).

Таблица 1. Распределение массы Cs в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса горных пород, %	Среднее содержание Cs, $n \cdot 10^{-4}$ %	Доли массы Cs, %
Пески и песчаники	5,11	8,4	7,8
Глины и глинистые сланцы	10,4	13	24,58
Карбонатные породы	3,85	2,8	1,96
Кремнистые породы	0,33	3,8	0,23
Эвапориты	0,26	1,2	0,06
Кислые вулканыты	0,44	15	1,2
Средние вулканыты	1,13	6,7	1,38
Основные вулканыты	2,11	2,8	1,07
Граниты	8,21	7,3	10,9
Гранодиориты	3,38	3,6	2,21
Базиты	1,5	2,5	0,68
Сиениты	0,05	7	0,06
Ультрабазиты	0,05	0,1	< 0,01
Метапесчаники	2,92	2	1,06
Парагнейсы и парасланцы	30,56	3,9	21,67
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	2	0,41
Железистые породы	0,38	0,3	0,02
Гранито-гнейсы	23,21	5	21,1
Метариолиты	0,66	7*	0,84*
Метаандезиты	1,03	4*	0,75*
Метабазиты	3,29	3,4	2,03
Верхняя часть континентальной коры	100	5,5	100,01
Осадочные породы	19,95	9,5	34,63
Вулканогенные породы	3,68	5,4	3,65
Осадочный слой	23,63	8,9	38,28
Магматические породы гранито-гнейсового слоя	13,19	5,8	13,85
Параметаморфические породы	34,99	3,6	23,16
Ортометаморфические породы	28,19	4,8	24,72
Гранито-гнейсовый слой	76,37	4,4	61,73

Примечание. * – предполагаемые величины.

ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ МАСС CS В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Основа расчета – частота встреч проб с разным содержанием Cs. Главные источники данных перечислены выше. Использованы результаты количественных анализов отдельных проб горных пород и средние из 2–10 определений. Обобщения результатов более 10 анализов учитывались, как правило, только при наличии данных, позволяющих приблизительно определить количество проб с разным содержанием Cs. Цезий отличается крайне неравномерным распределением в горных породах. Больше половины масс большинства горных пород характеризуется низким его содержанием (табл. 2). Исключения: глинистые породы (глины, глинистые сланцы, аргиллиты, мергели с содержанием карбонатов < 50 %), песчаные породы (пески, песчаники, алевролиты) и кислые вулканыты. Больше половины их масс характеризуется средним и повышенным содержанием Cs. В большинстве горных пород масса Cs находится преимущественно в участках со средним и повышенным его содержанием. Наибольший интерес представляют кислые и средние вулканыты, а также парасланцы, где значительные доли масс Cs сконцентрированы в участках с очень высоким его содержанием (> 0,01 %).

О МИНЕРАЛЬНОМ БАЛАНСЕ ЦЕЗИЯ И ВЕРОЯТНОЙ РОЛИ МАКСИМИНЕРАЛОВ КАК ЕГО НОСИТЕЛЕЙ

Вариации минеральных балансов Cs определены только на примере некоторых магматических пород и редкометалльных руд. В гранитах и гранодиоритах главные концентраторы и носители Cs: биотит и калиевые полевые шпаты (табл. 3, 4). Но концентрация Cs в последних незначительная. Концентраторы Cs: мусковит, хлориты, амфиболы, но роль их как носителей Cs существенна только в отдельных случаях. Важнейшие носители Cs – плагиоклазы,

Таблица 2. Соотношение масс горных пород с разным содержанием Cs ($n \cdot 10^{-4}$ %) и распределение масс Cs в этих горных породах

Горные породы	Количество проб	Доли масс горных пород с содержанием Cs					Доли масс Cs в участках горных пород с его содержанием				
		Низкое < 5	Среднее 5–10	Повышенное 10–50	Высокое 50–100	Очень высокое > 100	Низкое < 5	Среднее 5–10	Повышенное 10–50	Высокое 50–100	Очень высокое > 100
Пески, песчаники	867	15,11	59,22	25,66	Не обн.	Не обн.	4,21	56,41	39,38	Не обн.	Не обн.
Глины, сланцы	775	9,42	16,91	73,41	0,26	Не обн.	2,28	10,89	85,6	1,23	Не обн.
Кислые вулканыты	611	35,52	23,9	36,74	2,37	1,47	4,99	11,75	51,55	10,66	21,05
Средние вулканыты	520	65,39	20,86	12,6	0,38	0,77	16,84	22,9	29,75	4,25	26,26
Основные вулканыты	718	91,22	4,1	3,62	1,06	Не обн.	43,04	10,59	20,91	25,46	Не обн.
Граниты	904	50,22	29,92	18,53	1,33	Не обн.	15,41	29,24	42,51	12,84	Не обн.
Парасланцы	1046	78,57	18,41	2,73	Не обн.	0,29	45,15	32,17	11,42	Не обн.	11,27
Метабазиты	642	94,54	3,35	1,8	0,31	Не обн.	75,15	6,32	11,67	6,14	Не обн.

Таблица 3. Минеральный баланс Cs в гранитах

Минералы	25			376/65			Без номера		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	26,3	Не обн.	0	25	Не обн.	0	88,9*	< 2*	< 10*
Плагиоклазы	50,6	1,7	43	30	5	8,8			
КПШ	17,8	2,3	20,5	31	9	16,2			
Мусковит	Не обн.	Не опр.	0	2	100	11,8	8	190	84,4
Биотит	4,7	14,6	34,3	10	105	61,8	2,8	45	7
В породах	99,4	2	97,8	98	17	98,6	99,7	18	< 101,4

Примечание. 25 – Карабутацкий массив на Южном Урале [Самаркин, Самаркина, 1981] 376/65 – массив апогранитов [Косалс, 1976], без номера – Каракульский комплекс в Таджикистане по В.С. Луткову [Могаровский, 1987]. Здесь и в таблицах 4–7: 1 – содержание минерала, %; 2 – содержание Cs в минералах и горных породах, $n \cdot 10^{-4}$ %; 3 – доли массы Cs, сконцентрированные в минералах, и их сумма, %; КПШ – калиевые полевые шпаты. *Данные по совместным концентратам кварца и полевых шпатов.

Таблица 4. Минеральный баланс Cs в гранитоидах повышенной основности

Минералы	206			129			Без номера		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	15,5	Сл.	< 1,5	21,6	Не обн.	0	19,7	< 2	2
Роговая обманка	13,8	2,5	14,7	9,5	0,5	1,9	Не обн.	Не опр.	0
Биотит	Не обн.	Не опр.	0	9,4	10,4	39,1	10	82	68,3
Плагиоклазы	43,5	2	37,2	45,6	2,8	51,1	70,3*	3*	17,6*
КПШ	24,8	4,5	47,7	12,2	2,8	13,7			
В породах	97,6	2,34	101,1	98,3	2,5	105,8	100	12	87,9

Примечание. 206 – сиенито-диорит Еленовского массива на Южном Урале [Самаркин, Самаркина, 1981] 129 – гранодиорит Среднеушкатинского массива на Южном Урале [Самаркин, Самаркина, 1981], без номера – адамеллит Каракульского комплекса в Таджикистане по В.С. Луткову [Могаровский, 1987]. *Данные по совместным концентратам плагиоклазов и КПШ.

Таблица 5. Минеральный баланс Cs в вулканогенных породах

Минералы, вещества	458			С-449			448		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	12,5	5	2	8	5	< 1	11,2	24	< 1
Полевые шпаты	11,2	12	4	18	12	1	17,3	170	1
Аксессуары	1,3	Не обн.	0	Не обн.	Не опр.	0	0,5	110	< 1
Стекло	69,4	47	86	74	220	81	66,5	3300	95
В породах	94,4	38	92	100	200	82	95,5	2300	96

Примечание. 448 и 458 – витрокластические сваренные туф липаритового состава из позднеюрской-раннемеловой базальт-липаритовой формации Забайкалья [Лебедева, Шаткова, 1975], С-449 – игнимбрит Харалгинского комплекса Забайкалья [Геохимия..., 1984].

Таблица 6. Минеральный баланс Cs в пегматитовых жилах: А и В [Солодов и др., 1980], Б [Коган и др., 1971]

Минералы	А			Б			В		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	30	0,001	3,7	28	0,000	0	30	0,002	0,2
Cs-берилл	0	-	-	0,3	1,035	17,2	0,4	2	2,3
Сподумен	22	0,005	13,7	5,7	0,007	2,2	15	0,03	0,4
Мусковит	4	0,05	25	6	0,048	16	3*	1,5	12,9
Cs-лепидолит	Не обн.	-	-	0,12	0,239	1,6	4	0,5	5,7
Поллуцит	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	1	30	85,7
Альбит	30	0,004	15	18	0,003	3	25	0,005	0,4
Микроклин	12	0,03	45	41,5	0,026	59,9	20	0,1	5,7
Прочие	2	0,005	1,3	0,38	0,0007	0,1	1,6	0,01	<0,1
В породах	100	0,008	103,7	100	0,018**	100	100	0,35	113,3

Примечание. * – Cs-мусковит, ** – содержание Cs определено пересчетом по остальным приведенным здесь данным.

Таблица 7. Минеральный баланс Cs в олигоклаз-флогопитовых жилах [Солодов и др., 1980]

Минералы	1	2	3
Кварц	2	0,001	0,1
Берилл	1,2	0,03	1,2
Актинолит	2	0,0005	<0,1
Тальк	2	0,0075	0,5
Мусковит	10	0,01	3,3
Флогопит	68	0,04	90,7
Маргарит	3	0,04	90,7
Хлорит	3	0,0006	0,1
Поллуцит		0,0007	0,1
Олигоклаз	6	0,001	0,2
Прочие	2,8	0,001	0,1
В жилах	100	0,03	96,3

обычно не являются его концентраторами. В кислых и средних вулканогенных породах Cs находится преимущественно в стекле и продуктах его раскristаллизации (табл. 5). В гранитных пегматитах, кроме отмеченных выше минералов, важнейшими носителями Cs иногда являются литиевые минералы, берилл и поллуцит (табл. 6). В существенно флогопитовых метасоматитах главный концентратор и носитель Cs – флогопит (табл. 7).

Практически ценный цезиевым минерал – поллуцит встречен только в гранитных пегматитах с содержанием Cs 0,35–1,9 % [Овчинников и др., 1972; Солодов и др., 1980]. Здесь он – главный носитель Cs (табл. 6). Вопрос о возможности наличия участков с таким высоким содержанием Cs в распространенных горных породах пока остается открытым.

Очень большие вариации содержания Cs характерны для берилла, для калиевых и некоторых других минералов. Средним содержанием Cs больше минимального для максиминералов – 0,11 % [Григорьев, 1999] характеризуются: берилл (Cs от 0,0005 до 6,28, среднее – 0,33 %), протолиитонит (Cs от < 0,01 до 3,83, среднее 0,54 %) и лепидолит

(Cs от < 0,01 до 1,13, среднее 0,39 %). Они рассматриваются как цезиевые максиминералы в масштабах верхней части континентальной коры. Их содержание в горных породах (табл. 8) определено при изучении распределения в горных породах Be и Li [Григорьев, 2008а,б]. Содержание Cs 0,11 % и больше иногда встречается во многих листовых силикатах. Наибольший интерес представляют биотит и мусковит. Здесь они названы: Cs-биотит и Cs-мусковит. Вариации содержания Cs в слюдах изучены недостаточно. Главный недостаток большинства опубликованных данных – отсутствие сведений о содержании Cs в тех пробах горных пород, откуда были выделены слюды. Главные исключения – гранитоиды [Косалс, 1976; Самаркин, Самаркина, 1981; Могоровский, 1987]. В гранитоидах, содержащих до 0,0018 % Cs, его содержание во всех минералах < 0,11 %. В биотите коэффициенты концентрации (Кк) Cs – 4,4–18,2; средний – 10,2. В мусковите Кк Cs – 0,7–6,2, средний – 3,3. Следовательно, появления Cs-биотита и Cs-мусковита в гранитах можно ожидать при валовом содержании Cs соответственно: > 0,011 % и > 0,033 %. Экстраполяция показала, что содержанием Cs > 0,011 характеризуются около 0,25 % массы гранитов. Среднее содержание биотита в гранитах, по последнему расчету автора, – 4,8 %. Следовательно, вероятная величина среднего содержания Cs-биотита в гранитах – 0,012 %. Масса же участков с содержанием Cs > 0,033 % настолько мала, что определение её пока затруднительно.

Cs-стекло (включая продукты его раскristаллизации) встречено только как главный компонент вулканических пород кислого и среднего состава с содержанием Cs не меньше 0,1 % [Лебедева, Шаткова, 1975; Геохимия..., 1984]. Расчет, аналогичный приведенному выше, показал, что вероятное среднее содержание Cs-стекла (Cs > 0,11 %) в кислых

Таблица 8. Доли масс Cs, вероятно сконцентрированные в максиминералах, % (в скобках – содержание максиминералов, %)

Горные породы	Протолиитонит 0,54 % Cs	Лепидолит 0,39 % Cs	Берилл 0,33 % Cs	Cs-биотит 0,11 % Cs	Cs-стекло 0,11 % Cs	Суммарные доли масс Cs
Пески, песчаники	Не опр.	Не опр.	0,006 (1,5·10 ⁻⁵)	Не опр.	Не опр.	0,006
Вулканиды кислые	Не опр.	Не опр.	0,002 (9·10 ⁻⁶)	Не опр.	1,5 (0,02)	1,502
Вулканиды средние	Не опр.	Не опр.	0,001 (1,2·10 ⁻⁶)	Не опр.	Не опр.	0,001
Граниты	0,002 (2·10 ⁻⁶)	0,009 (1,6·10 ⁻⁵)	0,1 (2,2·10 ⁻⁴)	1,8 (0,012)	Не опр.	1,911
Гранодиориты	Не опр.	Не опр.	0,001 (8·10 ⁻⁷)	Не опр.	Не опр.	0,001
Парасланцы	Не опр.	Не опр.	0,037 (4,4·10 ⁻⁵)	Не опр.	Не опр.	0,037
Метакарбонатные	Не опр.	Не опр.	0,021 (1,3·10 ⁻⁵)	Не опр.	Не опр.	0,021
Гранито-гнейсы	0,002 (2·10 ⁻⁶)	0,012 (1,6·10 ⁻⁵)	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,014
Верхняя часть континентальной коры	0,001 (7,1·10 ⁻⁷)	0,004 (5,8·10 ⁻⁶)	0,02 (3,3·10 ⁻⁵)	0,2 (9,9·10 ⁻⁴)	0,018 (8,8·10 ⁻⁵)	0,243

вулканитах – 0,02 %. Для определения среднего его содержания в средних вулканитах данных пока недостаточно.

Расчет с использованием отмеченных данных показал, что в верхней части континентальной коры в максиминералах сконцентрировано около 0,25 % массы Cs (табл. 8). По расчету, в гранитах доля массы Cs, сконцентрированная в максиминералах, почти в 8 раз больше. Но не исключено, что эта разница – результат относительной изученности гранитов.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Среднее содержание Cs и распределение его массы в ассоциации горных пород континентальной коры определены на основе обширного фактического материала. Но для Cs характерны большие вариации содержания в горных породах при повышенной тенденции к концентрации в отдельных участках. Поэтому желательно уточнение установленных величин по мере накопления новых анализов горных пород, особенно осадочных, параметаморфических и вулканогенных. Данные, характеризующие роль цезиевых максиминералов – первое приближение к истине. Главный их недостаток – почти полное отсутствие прямых определений содержания цезиевых максиминералов в распространенных горных породах. Особенного внимания заслуживают в осадочные и параметаморфические породы. В них и в циркулирующих здесь подземных водах, возможно, находится основная и наиболее доступная часть потенциально извлекаемого Cs. Но получение данных о ней возможно только при специальных трудоемких исследованиях. Полученные цифры следует рассматривать как минимально возможные.

ВЫВОДЫ

Среднее содержание Cs в верхней части континентальной коры – $5,5 \cdot 10^{-4}$ %. Среднее содержание Cs в глинистых и кислых вулканических породах – $1,3 \cdot 10^{-3}$ и $1,5 \cdot 10^{-3}$ %. Распределение Cs в горных породах очень неравномерное. В кислых и средних вулканитах почти 1/4 масс Cs сконцентрирована в участках с его содержанием $> 1 \cdot 10^{-2}$ %. К цезиевым максиминералам отнесены его собственные минералы и те разновидности чужих, где содержание Cs не меньше 0,11 %. Данных о распределении цезиевых минералов в широко распространенных горных породах нет. Установлено, что в верхней части континентальной коры в цезиевых максиминералах сконцентрировано 0,243 % всей массы Cs. В том числе, в %: в Cs-биотите – 0,2, в берилле – 0,02, в Cs-стекле – 0,018, в лепидолите – 0,004, в протолитионите – 0,001. Эти цифры минимально возможные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипин В.С.* Петрология и геохимия гранитоидов различных фаций глубинности. Новосибирск: Наука, 1977. 157 с.
- Буданова К.Т.* Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1991. 336 с.
- Геохимия мезозойских латитов Забайкалья / Л.В. Таусон, В.С. Антипин, М.Н. Захаров, В.С. Зубков. Новосибирск: Наука, 1984. 215 с.
- Грабежнев А.И.* Ниобий, тантал, олово в гранитах различной степени редкометальной продуктивности (Восточно-Уральское поднятие) // Редкие элементы в гранитоидах Урала. Свердловск, 1981. С. 24–42.
- Григорьев Н.А.* Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 302 с.
- Григорьев Н.А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
- Григорьев Н.А.* Распределение бериллия и бериллиевых минералов в верхней части континентальной коры // Уральский геологический журнал. 2008а (в печати).
- Григорьев Н.А.* Распределение лития и литиевых максиминералов в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2008б. № 3. В печати.
- Карпетян С.Г., Меликсетян Б.М.* Геохимические особенности перлитов месторождений Армянской ССР // Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 97–114.
- Коган Е.И., Названова В.А., Солодов Н.А.* Рубидий и цезий. М.: Наука, 1971. 336 с.
- Корнев Т.Я., Даценко В.М., Бозин А.В.* Рифейский магматизм и колчеданно-полиметаллическое оруденение Енисейского кряжа. М.: Недра, 1974. 131 с.
- Косалс Я.А.* Геохимия амазонитовых апогранитов. Новосибирск: Наука, 1976. 190 с.
- Костицын Ю.А., Волков В.Н., Журавлев Д.З.* Редкие элементы и эволюция гранитного расплава (на примере Раумидского массива, Ю. Памир) // Геохимия. 2007. № 10. С. 1057–1069.
- Кременецкий А.А., Лебедева Л.И., Солодов Н.А.* Цезиеносность вулканогенных образований СССР // Геохимия. 1973. № 4. С. 504–515.
- Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В. и др.* Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Часть 1. Протоуралиды, тиманиды и доордовикские гранитоидные вулканогенно-плутонические ассоциации Севера Урала и Тимано-Печорского региона // Литосфера. 2006. № 4. С. 3–23.
- Лебедева Л.И.* Вулканические стекла Забайкалья // Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 51–70.
- Лебедева Л.И., Шаткова Л.Н.* Распределение лития, рубидия, цезия в вулканических породах кисло-

- го состава // Геохимия. 1975. № 4. С. 576–583.
- Леонова Л.Л., Кирсанов И.И. Геохимия базальтов Ключевского вулкана (Камчатка) // Геохимия. 1974. № 6. С. 875–884.
- Леонова Л.Л., Удальцова Н.И. Редкие элементы в вулканических породах Курильских островов // Вулканизм и глубины Земли. Мат-лы III Всесоюз. вулканологического совещ. М.: Наука, 1971. С. 178–181.
- Леонова Л.Л., Удальцова Н.И., Иванов В.В. Радиоактивные (U, Th) и редкие щелочные элементы (Li, Rb, Cs) в породах Карымского вулкана (Камчатка) // Вулканизм и глубины Земли. Мат-лы III Всесоюз. вулканологического совещ. М.: Наука, 1971. С. 181–185.
- Ляхович В.В., Гурбанов А.Г. Геохимия и условия становления Эльджуртинского массива (Северный Кавказ) // Геохимия. 1992. № 6. С. 800–812.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Ронкин Ю.Л. и др. Пепловые туфы в отложениях сылвицкой серии верхнего венда (Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий, Средний Урал) // Литосфера. 2006. № 3. С. 45–70.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Петров Г.А. и др. Некоторые геохимические особенности и условия образования тонкозернистых терригенных пород Серебрянской и Сылвицкой серий Среднего Урала // Литосфера. 2007. № 2. С. 3–28.
- Мизенс Г.А., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Редкие и редкоземельные элементы в девонских обломочных комплексах Магнитогорской мегазоны Южного Урала // Геохимия. 2006. № 5. С. 501–521.
- Могаровский В.В. Геохимия редких элементов интрузивных пород Таджикистана. Душанбе: До-ниш, 1987. 295 с.
- Овчинников Л.Н., Полетаев И.А., Рябенко В.Е. и др. О цезиевом биотите как возможном источнике промышленного получения цезия и других щелочных металлов // Докл. АН СССР. 1972. Т. 206. № 3. С. 698–701.
- Одикадзе Г.Л. Некоторые особенности распределения редких и рудных элементов в Эльджуртинском интрузивном массиве Кабардино-Балкарской АССР // Геохимия. 1968. № 10. С. 1211–1217.
- Петрова З.И., Макрыгина В.А., Резницкий Л.З. Реконструкция источников и условий формирования протолита метатерригенных гнейсов по геохимическим данным (Слюдянская серия Юго-Западного Прибайкалья) // Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса. Т. 2. М.: ГЕОС, 2000. С. 113–117.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
- Самаркин Г.И., Самаркина Е.Я. Литий и цезий в гранитоидах главного гранитного пояса Южного Урала // Редкие элементы в гранитоидах Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. С. 54–68.
- Солодов Н.А., Балашов Л.С., Кременецкий А.А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра, 1980. 234 с.
- Ставров О.Д. Геохимия лития, рубидия, цезия в магматическом процессе. М.: Недра, 1978. 214 с.
- Чащин А.А., Мартынов Ю.А., Рассказов С.В. и др., Изотопно-геохимическая характеристика позднемиоценовых субщелочных и щелочных базальтов юга Дальнего Востока России как показатель роли континентальной литосферы в их происхождении // Петрология. 2007. Т. 15. № 6. С. 620–644.
- Condie K.C., Wilks M., Rosen D.M., Zlobin V.L. Geochemistry of metasediments from the Precambrian Harschan Series, eastern Anabar Shield, Siberia // Precambrian Research. 1991. V. 50. P. 37–47.
- Gallet S., Jahn B., Van Vliet Lanoe B. et al. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust. // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 156. P. 157–172.
- Gotze J. Geochemistry and provenance of the Altendorf feldspathic sandstone in the Middle Bunter of the Thuringian basin (Germany) // Chem. Geol. 1998. 150. H. 43–61.
- Huber H., Koeberl C., McDonald I., Reimold W.U. Geochemistry and petrology of Witwatersrand and Dwyka diamictites from South Africa: Search for an extraterrestrial component // Geochim. Cosmochim. Acta. 2001. V. 65. № 12. P. 2007–2016.
- Kay S.M., Ardolino A.A., Gorrington M.L., Ramos V.A. The Somuncura large igneous province in Patagonia: Interaction of a transient mantle thermal anomaly with a subducting slab // J. Petrol. 2007. V. 48. № 1. P. 43–77.
- Kobayashi K., Nakamura E. Geochemical evolution of Akagi Volcano, NE Japan: Implications for interaction between island-arc magma and lower crust, and generation of isotopically various magmas // J. Petrol. 2007. V. 42. № 12. P. 2303–2331.
- Krienitz M.S., Haase K.M., Mezger K., Shaikh-Mashail M.A. Magma genesis and mantle dynamics at the Harrat Ash Samah volcanic field // J. Petrol. 2007. V. 48. № 8. P. 1513–1542.
- Marshesi C., Garrido C., Bosch D. et al. Geochemistry of Cretaceous magmatism in Eastern Cuba: Recycling of North American continental sediments and implications for subduction polarity in Greater Antilles paleo-arc // J. Petrol. 2007. V. 48. № 9. P. 1813–1840.
- Rudnik R. L., Gao S. Composition of the continental crust. University of Maryland, College Park, MD, USA. 2004. Electronic version.
- Toothill J., Williams C.A., Macdonald R. et al. A complex petrogenesis for an arc magmatic suite, St Kitts, Lesser Antilles // J. Petrol. 2007. V. 48. № 1. P. 3–42.

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.

Yang H., Kyser K., Ansdell K. Geochemistry and Nd isotopic compositions of the metasedimentary rocks

in the La Ronge Domain, Trans-Hudson Orogen, Canada: implications for evolution of the domain // *Precambrian Research.* 1998. V. 92. P. 37–64.

Рецензент академик Н.П. Юшкин

DISTRIBUTION OF CESIUM AND CESIUM MAXIMINERALS IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST

N.A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Cesium distribution in the upper continental crust has been defined by the model of A.B. Ronov et al. [1990]. Average content Cs in upper continental crust – $5,5 \cdot 10^{-4}$ %. Average content Cs in clay rocks and acid volcanic rocks – $1,3 \cdot 10^{-3}$ and $1,5 \cdot 10^{-3}$ %. In each of rocks Cs mass distribution is determined by Cs content in sections: low ($< 5 \cdot 10^{-4}$ %), average ($5 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ %), enriched ($1 \cdot 10^{-3}$ – $5 \cdot 10^{-3}$ %), high ($5 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ %) and very high ($> 1 \cdot 10^{-2}$ %). Cs mass distribution in such sections corresponds: 2,28–75,15; 6,32–56,41; 11,42–85,6; 0–25,46 and 0–26,26 %. It's been found that in the upper continental crust in cesium maximinerals concentration 0,243 % of a whole Cs mass. In particular in %: in Cs-biotite – 0,2, in beryl – 0,02, in Cs-glass – 0,018, in lepidolite – 0,004, in protolithionite – 0,001. These figures are minimal from possible.

Key words: *cesium, cesium maximinerals, content, masses, distribution, rocks, upper continental crust.*