

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
SHORT COMMUNICATIONS**

УДК 550.4:546.34

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТИЯ И ЛИТИЕВЫХ МАКСИМИНЕРАЛОВ
В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ**

Н.А. Григорьев

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620151, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7*

E-mail: root @ igg.E-burg.Su

Поступила в редакцию 29 декабря 2007 г.

Распределение Li в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Роннова и др. [1990]. Среднее содержание Li в верхней части континентальной коры – 0,0033 %. Среднее содержание Li в осадочных и параметаморфических породах – 0,0039 и 0,0036 %. Установлено, что 61,73 % массы Li находится в осадочных и параметаморфических породах. Для каждой горной породы определено распределение масс Li по участкам с его содержанием: низким (< 0,002 %), средним (0,002-0,005 %), повышенным (0,005-0,008 %) и высоким (> 0,008 %). Распределение масс Li в разных горных породах по таким участкам в % соответственно: 0,5-49,8, 33,9-93,2, 3,1-54,4 и 0,6-17,5 %. Установлено, что в верхней части континентальной коры в литиевых максиминералах сконцентрировано 8,34 % всей массы Li. В том числе (в %): в Li-биотите – 6,9, в Li-мусковите – 1,4, в сподумене – 0,01, лепидолите – 0,004, циннвальдите – 0,002, протолитионите – 0,0002. Эти цифры – минимально возможные.

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

**LITHIUM AND LITHIUM MAXIMINERALS DISTRIBUTION
IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST**

N.A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Lithium distribution in the upper continental crust has been defined accordingly the model of A.B. Ronov et al. [1990]. There is 0,0033 % Li in the upper continental crust on the average. In the sedimentary and metasedimentary rocks the average content Li is 0,0039 and 0,0036 %. It has been found, that 61,73 % of Li mass is localized in sedimentary and metasedimentary rocks. In each of rocks Li mass distribution was determined by Li content in sections: low (< 0,002 %), average (0,002-0,005 %), enriched (0,005-0,008 %) and high (> 0,008 %). Li mass distribution in such sections corresponds: 0,5-49,8; 33,9-93,2; 3,1-54,4 and 0,6-17,5 %. It was determined that 8.34 % of a whole Li mass concentrates in lithium maximinerals of the upper continental crust. In particular (in %): in Li-biotite – 6,9, in Li-muscovite – 1,4, in spodumene – 0,01, in lepidolite – 0,004, in zinnwaldite – 0,002, in protolithionite – 0,0002. These figures are minimal from possible.

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

Впервые определены распределение массы Li в ассоциации горных пород, представляющих верхнюю часть континентальной коры, и минимально возможная роль максиминералов

как носителей Li. Уточнено среднее содержание Li в верхней части континентальной коры и в слагающих ее горных породах. Приводимые данные – частный результат развития не-

сколько 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. И.А. Резановым [2002] предложена новая модель земной коры – комбинация данных А.Б. Ронова с коллегами [1990] и результатов геофизических исследований. Но А.А. Ярошевский [2006] показал, что средний химический состав верхней части континентальной коры по А.Б. Ронову и др. [1990] соответствует (с учетом возможных погрешностей) «наиболее современному» (хотя и не развернутому в достаточно подробную модель) данным К.Г. Ведеполья [Wedepohl, 1995]. Поэтому автор остался на прежних позициях. Расчеты проведены по литературным данным о горных породах в основном на территории бывшего СССР (> 8000 определений содержания Li, > 2500 определений содержания акцессорных минералов, около 70 минеральных балансов Li).

Среднее содержание и распределение массы Li в верхней части континентальной коры

При расчете исключены результаты изучения рудных полей редкометалльных месторождений, а также данные из публикаций, где осадочные и магматические породы не разделены с продуктами их метаморфизма. Главные источники данных: осадочные породы [Солодов и др., 1980; Мизенс и др., 2006], вулканиды осадочного слоя [Нестеренко, Фролова, 1965; Леонова, Кирсанов, 1974; Лебедева, Шаткова, 1975; Солодов и др., 1980; Карапетян, Меликсетян, 1981; Лебедева, 1981; Пополитов, Волюнец, 1981; Хворостов, Зайцев, 1983]; магматические породы гранитно-гнейсового слоя [Залашкова, 1960; Злобин, Лебедев, 1960; Воронцов, Лин, 1966; Одикадзе, 1968; Коваленко, Пополитов, 1970; Корнев и др., 1974; Павленко и др., 1974; Антипин, 1977; Грабежев, 1981;

Таблица 1

Среднее содержание и распределение массы Li в верхней части континентальной коры и ее слоях

Горные породы	Масса пород, %	Содержание Li, %	Доли массы Li, %
Пески и песчаники	5,11	0,0029	4,49
Глины и глинистые сланцы	10,4	0,0054	17,02
Карбонатные породы	3,85	0,0018	2,1
Кремнистые породы	0,33	0,0004	0,04
Эвапориты	0,26	0,0008	0,06
Кислые вулканиды	0,44	0,0027	0,36
Средние вулканиды	1,13	0,0021	0,72
Основные вулканиды	2,11	0,0019	1,21
Граниты	8,21	0,0034	8,46
Гранодиориты	3,38	0,0023	2,36
Базиты	1,5	0,0015	0,68
Сиениты	0,05	0,0022	0,03
Ультрабазиты	0,05	0,00012	<0,01
Метапесчаники	2,92	0,0026	2,3
Парагнейсы и парасланцы	30,56	0,0038	35,19
Метакарбонатные породы	1,13	0,0015	0,51
Железистые породы	0,38	0,0002	0,02
Гранито-гнейсы	23,21	0,003	21,1
Метариолиты	0,66	0,0026	0,52
Метаандезиты	1,03	0,0026	0,81
Метабазиты	3,29	0,002	1,99
<i>Верхняя часть континентальной коры</i>	100	0,0033	99,97
Осадочные породы	19,95	0,0039	23,71
Вулканиды осадочного слоя	3,68	0,0021	2,29
<i>Осадочный слой</i>	23,63	0,0036	26,00
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13,19	0,0029	11,53
Параметаморфиты	34,99	0,0036	38,02
Ортометаморфиты	28,19	0,0029	24,42
<i>Гранитно-гнейсовый слой</i>	76,37	0,0032	73,97

Таблица 2

Соотношение масс горных пород с разным содержанием Li и распределение масс Li в этих породах

Горные породы	Среднее содержание Li, $\cdot 10^{-4}$ %	Кол-во проб	Доли масс горных пород (%) с содержанием Li:			Доли масс Li (%) в горных породах с его содержанием:				
			низким < 0,002 %	средним 0,002-0,005 %	повышенным 0,005-0,008 %	высоким > 0,008 %	низким < 0,002 %	средним 0,002-0,005 %	повышенным 0,005-0,008 %	высоким > 0,008 %
Глины и глинистые сланцы	0,0054	895	2,1	43,8	52	2,1	0,5	37,9	54,4	7,2
Парагнейсы и парасланцы	0,0038	993	24,4	41,2	32,6	1,8	6,6	33,9	51,3	8,2
Граниты	0,0034	915	40,9	38,2	16,5	4,4	12,1	39,4	31,6	16,9
Гранито-гнейсы	0,003	201	48,3	35,3	11,9	4,5	19,7	35,9	26,9	17,5
Пески и песчаники	0,0029	1307	6,1	92,1	1,6	0,2	2,9	93,2	3,3	0,6
Кислые вулканы	0,0027	516	40,9	52,3	5,1	1,7	20,9	57,6	12,1	9,4
Гранодиориты	0,0023	317	49,2	47	2,5	1,3	25,2	62,4	6,8	5,6
Средние вулканы	0,0021	372	38,7	60,8	не обн.	0,5	22,6	74	не обн.	3,4
Метапесчаники	0,0026	242	27,7	69	2,1	1,2	10,9	76,2	5,1	7,8
Метабазиты	0,002	978	51,6	46,1	1,9	0,4	36,7	54	6,7	2,6
Основные вулканы	0,0019	451	68,3	26,8	3,8	1,1	44,9	35,9	11,9	7,3
Карбонатные породы	0,0018	517	71,9	26,7	1	0,4	49,8	43,4	3,1	3,7

Самаркин, Самаркина, 1981; Костин, 1985; Ляхович, Гурбанов, 1992]; метаморфические породы [Петров, Макрыгина, 1975; Петрова, Левицкий, 1984; Кременецкий, Овчинников, 1986; Кременецкий и др., 1990; Буданова, 1991; Макрыгина и др., 1992, 1994; Петрова, Макрыгина, 1994; Макрыгина, Петрова, 1996; Петрова и др., 2000]. Новые значения среднего содержания Li в горных породах (табл. 1) близки к опубликованным раньше [Григорьев, 2003]. Среднее содержание Li в верхней части континентальной коры по новым данным – 0,0033 %. Эта цифра больше цифр, приводившихся в последние годы другими авторами, – 0,002-0,0022 % [Wedepohl, 1995; Rudnik, Gao, 2004]. Но она близка к величине 0,003 %, приведенной автором раньше [Григорьев, 2003] и практически соответствует 0,0032 % – среднему содержанию Li в земной коре по А.П. Виноградову [1962]. Максимальное среднее содержание Li установлено в глинистых породах и продуктах их метаморфизма. Коэффициенты концентрации, соответственно, 1,64 и 1,15. Больше половины массы Li (61,73 %) сконцентрировано в осадочных и параметаморфических породах. Литий – избыточный элемент. Его среднее содержание в осадочных породах континентальной коры – 0,0039 % – в полтора раза больше того, которое должно быть в продуктах выветривания гранитно-гнейсового слоя современного состава – 0,0026 % (расчет изоалюминиевым методом).

Вариации концентрации масс Li в горных породах

Основа расчета – частота встречаемости проб с разным содержанием Li. Главные источники данных перечислены выше. Использованы результаты количественных анализов отдельных проб горных пород и средние из 2-10 определений. Обобщения результатов больше чем 10 анализов учитывались, как правило, только при наличии данных, позволяющих приблизительно определить количество проб с разным содержанием Li. Установлено, что больше половины масс большинства горных пород характеризуется средним и низким содержанием Li (табл. 2). Исключение – глинистые породы (глины, глинистые сланцы, аргиллиты, мергели с содержанием карбонатов < 50 %). Больше половины их масс характеризуется повышенным содержанием Li. По характеру распределения масс Li наиболее интересны две пары

Таблица 3

Минеральный баланс Li в гранитах

Минералы	25			А			349a/65			825/65		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	26,3	0,00018	4,7	33,9	0,0002	1,36	30	0,0008	1,8	25	0,0005	0,5
Мусковит	0	—	—	0,0	—	—	0	—	—	2	0,3523	27,8
Биотит	4,7	0,017	79,9	4,7	0,092	86,48	3	0,4262	84,3	10	0,1543	61
Плагиоклазы	50,6	0,0002	10,1	—	—	—	36	0,0029	7,7	30	0,007	8,3
Калиевые полевые шпаты	17,8	0,0001	1,8	61,4	0,00076	9,34	31	0,0018	4,1	31	0,00034	0,4
В граните	99,4	0,001	96,5	100	0,005	97,18	100	0,0132	97,9	98	0,0253	98

Примечание. 25 – гранит Карабутацкого массива на Южном Урале [Самаркин, Самаркина, 1981]; А – аплитовидный гранит Гиссарского плутона в Таджикистане [Могоровский, 1987]; 349a/65 и 825/65, граниты Биту-Джидинского массива в Прибайкалье [Косалс, Мазуров, 1968].

Здесь и в таблицах 4-6: 1 – содержание минерала, %; 2 – содержание Li в минералах и горных породах, %; 3 – доли массы Li, сконцентрированные в минералах и их сумма, %. Жирным шрифтом выделены данные о литиевых максиминералах.

Таблица 4

Минеральный баланс Li в гранодиоритах и сиенитах

Минералы	181			Б			Эд 167			125		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	8,8	0,0005	2,8	22,1	не опр.	не опр.	0	не опр.	не опр.	31	0,001	2,6
Эпидот	1	0,0037	2,3	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	0,0131	14,75	0	—	—
Пироксены	0	—	—	—	—	—	7,3	не опр.	не опр.	0	—	—
Амфиболы	30,4	0,0033	62,7	4,2	0,004	4	не опр.	не опр.	не опр.	7	0,009	5,3
Биотит	0	—	—	4,7	0,0426	45	5,4	0,0656	54,5	9	0,09	67,5
Нефелин	0	—	—	0	—	—	23,4	0,0043	15,55	0	—	—
Плагиоклазы	47,8	0,0011	32,9	38,7	0,003	26	62,5	0,00058	5,55	53	0,004	17,7
КШП	10,2	0,00015	0,9	30,1	0,0012	8	—	—	—	—	—	—
В граните	98,2	0,0016	101,6	99,8	0,0045	83	98,6	0,0065	90,35	100	0,012	93,1

Примечание. 181 – гранодиорит Еленовского массива на Южном Урале [Самаркин, Самаркина, 1981]; Б – гранодиорит Шахтинского массива в Восточном Забайкалье [Кузьмин, Антипин, 1972], Эд 167 – нефелиновый сиенит из Северо-Восточной Тувы [Коваленко, Пополитов, 1970], 125 – гранодиорит Дурулгуевского массива в Восточном Забайкалье [Залашкова, 1960].

Минеральный баланс Li в вулканогенных породах

Минералы, вещества	448			С-39			С-449		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	11,2	0,0017	7	8	0,0014	4	8	0,0012	3
Биотит	0	—	—	1	0,025	10	0	—	—
Полевые шпаты	17,3	0,0013	9	11	не обн.	0	14	не опр.	0
Стекло	66,5	0,0028	75	80	0,0025	80	74	0,004	87
В породах	95	0,0025	91	100	0,0025	94	96	0,0034	90

Примечания. 448 – витрокластический сваренный туф из позднеюрской-раннемеловой базальт-липаритовой формации Забайкалья [Лебедева, Шаткова, 1975]. С-39 и С-449 – гиалориолит и игнимбрит Харалгинского комплекса Забайкалья [Геохимия..., 1984].

главных горных пород (табл. 2). Первая – глинистые породы и продукты их метаморфизма. Здесь больше половины масс Li слабо сконцентрировано в участках с повышенным его содержанием. В участках с высоким содержанием Li сконцентрировано соответственно 7,2 и 8,2 % его масс. Роль же участков с низким содержанием Li мала. Вторая пара – граниты и гранито-гнейсы. Здесь распределение Li похожее, но более контрастное. Роль участков как с низким, так и с высоким содержанием Li здесь больше. В последних сконцентрировано соответственно: 16,9 и 17,5 % масс Li. Все остальные горные породы характеризуются локализацией основной массы Li в участках со средним и низким его содержанием.

О минеральном балансе лития и вероятной роли максиминералов как его носителей

Литиевые минералы – редкие. Вариации роли пороодообразующих минералов как концентраторов и носителей Li количественно определены только на примере некоторых магматических пород. В гранитах и гранодиоритах

главный концентратор и носитель Li – биотит (табл. 3, 4). Концентраторы Li: мусковит, хлориты, амфиболы, иногда – пироксены и эпидот, редко – турмалин, берилл. Но роль их как носителей Li значительна только в отдельных случаях. Важнейшие носители Li – полевые шпаты, обычно не являются его концентраторами. В сиенитах ситуация похожая (табл. 4), но здесь в целом больше Li находится в амфиболах и пироксенах. В кислых вулканогенных породах Li находится преимущественно в стекле и продуктах его раскристаллизации (табл. 5). В редкометальных гранитоидах при валовом содержании Li 0,11-0,77 % большая часть его масс сконцентрирована в собственных минералах (табл. 6).

При количественных минералогических анализах горных пород некоторые исследователи учитывали сподумен. Его отмечали в вулканитах, гранитах, гранодиоритах и в гранито-гнейсах [Ляхович, 1967; Арсеньева и др., 1969; Руб, 1970]. К сожалению, данных мало и они не сопровождаются сведениями о содержании Li в исследованных пробах горных пород. Среднее содержание сподумена в этих горных породах (табл. 7) рассчитано с учетом общего количества проб, где было определено содержа-

Таблица 6

Минеральный баланс Li в редкометальных рудах [Солодов и др., 1980]

Минералы, вещества	Редкометальный гранит			Пегматит			Пегматит		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	25	0,0013	0,3	30	0,0025	0,1	30	0,003	0,1
Берилл	0	—	—	0,4	0,3	0,2	0	—	—
Сподумен	0	—	—	15	3	81,8	22	3,5	100
Мусковит	5	0,08	3,6	3	0,06	0,3	4	0,04	0,2
Лепидолит	5	2	90,1	4	2,5	18,2	0	—	—
Поллуцит	0	—	—	1	0,06	0,1	0	—	—
Альбит	45	0,004	1,6	25	0,01	0,5	30	0,005	0,2
Микроклин	20	0,028	5,1	20	0,005	0,2	12	0,004	0,1
Акцессорные	не опр.	—	—	1,6	0,05	0,1	2	0,03	0,1
В породах	100	0,11	100,7	100	0,55	101,5	100	0,77	100,7

ние аксессуарных минералов. Предполагалось, что если сподумен не упомянут, то в изученной пробе его не было. Данные о содержании литиевых минералов в редкометальных рудах, как правило, не сопровождаются данными о валовом содержании Li в исследованных пробах. Не всегда приводимые цифры валового содержания Li соответствуют минеральному составу проб. Исключений (табл. 6) мало. Однако, иногда возможно приблизительное определение валового содержания Li по данным о минеральном составе исследованных проб с учетом вероятных минеральных балансов этого элемента. Согласно расчету, литиевые слюды появляются в метасоматически измененных гранитоидах при валовом содержании Li не меньше 0,04 %. При валовом содержании Li 0,04-0,77 % среднее содержание литиевых слюд (в %): циннвальдит – 3, лепидолит – 1,6, криофиллит – 0,9. Экстраполяция по данным (табл. 2) показала, что масса участков с содержанием Li > 0,04 % составляет около 0,001 % массы гранитов и гранито-гнейсов. Отмеченные выше цифры – основа расчета вероятного среднего содержания литиевых слюд в гранитах и гранито-гнейсах (табл. 7).

Минимальное для литиевых максиминералов содержание Li – 0,09 % [Григорьев, 1999]. Согласно приведенным в литературе «кларкам» Li для породообразующих минералов [Иванов, 1994], к его максиминералам в масштабах земной коры можно было бы отнести наиболее распространенные слюды. Однако отмеченные «кларки» преувеличены. Закономерности вариаций содержания Li в породообразующих минералах изучены недостаточно. Главный недостаток большинства опубликованных данных – отсутствие сведений о содержании Li в тех пробах горных пород, откуда были выделены изученные минералы. Главное исключение – граниты. Основа приведенных ниже данных – 49 опубликованных минеральных балансов Li в гранитах [Залашкова, 1960; Злобин, Лебедев, 1960; Таусон, 1960; Воронцов, Лин, 1966; Косалс, Мазуров, 1968; Коваленко, Пополитов, 1970; Кузьмин, Антипин, 1972; Петрова, 1972; Косалс, 1976; Татаринев, Шмакин, 1976; Самаркин, Самаркина, 1981; Дворкин-Самарский и др., 1985; Могаровский, 1987]. Наиболее распространенные максиминералы здесь биотит и мусковит с содержанием Li $\geq 0,09$ %. Здесь они названы Li-биотитом и Li-мусковитом. Минимальное содержание Li в гранитах, при котором установлен Li-биотит, – 0,0045 %. В грани-

Таблица 7

Доли масс Li, сконцентрированные в максиминералах ($1,6 \cdot 10^{-5}$)

Горные породы	Сподумен 3,36 % Li*	Лепидолит 2,23 % Li	Циннвальдит 1,67 % Li	Протогитионит 0,83 % Li	Li-биотит 0,19 % Li	Li-мусковит 0,18 % Li	Суммарные доли масс
Вулканиды кислые	0,006 ($5 \cdot 10^{-6}$)**	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	0,006
Вулканиды средние	0,008 ($5 \cdot 10^{-6}$)	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	0,008
Вулканиды в целом	0,003 ($2,1 \cdot 10^{-6}$)	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	0,003
Граниты	0,086 ($8,7 \cdot 10^{-5}$)	0,01 ($1,6 \cdot 10^{-5}$)	0,015 ($3 \cdot 10^{-5}$)	0,0005 ($2 \cdot 10^{-6}$)	22,91 (0,41)	4,61 (0,087)	27,63
Гранодиориты	0,1 ($7 \cdot 10^{-5}$)	не опр.	не опр.	не опр.	8,3 (0,1)	1,5 (0,019)	9,9
Магматические в целом	0,083 ($7,2 \cdot 10^{-5}$)	0,008 ($1 \cdot 10^{-5}$)	0,011 ($1,9 \cdot 10^{-5}$)	0,0003 ($1,2 \cdot 10^{-6}$)	18,34 (0,28)	3,66 (0,059)	22,1
Гранито-гнейсы	0,0004 ($4 \cdot 10^{-7}$)	0,012 ($1,6 \cdot 10^{-5}$)	0,017 ($3 \cdot 10^{-5}$)	0,0006 ($2 \cdot 10^{-6}$)	22,8 (0,36)	4,62 (0,077)	27,45
Осадочный слой	0,0003 ($3 \cdot 10^{-7}$)	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	0,0003
Гранито-гнейсовый слой	0,014 ($1,3 \cdot 10^{-5}$)	0,005 ($7,7 \cdot 10^{-6}$)	0,002 ($4,5 \cdot 10^{-6}$)	0,0002 ($9,4 \cdot 10^{-7}$)	9,5 (0,16)	1,91 (0,034)	11,43
Верхняя часть континентальной коры	0,01 ($1 \cdot 10^{-5}$)	0,004 ($5,8 \cdot 10^{-6}$)	0,002 ($3,4 \cdot 10^{-6}$)	0,0002 ($7,1 \cdot 10^{-7}$)	6,9 (0,12)	1,42 (0,026)	8,34

Примечание. * – среднее содержание Li в максиминералах; ** – в скобках среднее содержание максиминералов, %.

тах, содержащих 0,002-0,005, 0,005-0,008 и 0,008-0,027 % Li, средние доли его массы, сконцентрированные в Li-биотите, соответственно равны: 5, 37 и 54 %. Среднее содержание Li в Li-биотите соответственно равно: 0,13, 0,16 и 0,24 %. Минимальное содержание Li в гранитах, при котором установлен Li-мусковит, – 0,009 %. В гранитах, содержащих 0,008-0,027 % Li, средняя доля его массы, сконцентрированная в Li-мусковите, – 27 % при среднем содержании Li в последнем – 0,18 %. Расчет с учетом данных табл. 2 показал, что в гранитах в Li-биотите сконцентрировано 22,8 % массы Li. Среднее содержание Li в Li-биотите – 0,19 %. В Li-мусковите сконцентрировано 4,6 % массы Li при среднем его содержании 0,18 % (табл. 7). Предполагалось, что в менее изученных гранодиоритах ситуация похожа на отмеченную выше. Расчет на этой основе показал, здесь в Li-биотите сконцентрировано в среднем 8,66 % массы Li, а в Li-мусковите – 1,51 %. Данные, полученные для гранитов, распространены на гранито-гнейсы. Основание – практически одинаковый характер распределения массы Li в гранитах и гранито-гнейсах (табл. 2). Сиениты и вулканогенные породы изучены только на примере разностей с содержанием Li < 0,005 %. Литиевые максиминералы здесь не установлены.

Расчет с использованием отмеченных данных показал, что в верхней части континентальной коры в литиевых минералах сконцентрировано всего 0,0162 % массы Li. В разностях породообразующих слюд, содержащих $\geq 0,09$ % Li, сконцентрировано 8,3 % его массы. Максимальной концентрацией массы Li в таких слюдах характеризуются граниты и, вероятно, гранито-гнейсы.

Обсуждение полученных данных

Среднее содержание Li и распределение его массы в ассоциации горных пород континентальной коры определены на основе обширного фактического материала. На настоящей стадии исследований эту часть данных можно считать корректной. Ее уточнение возможно после разработки более совершенной геохимической модели верхней части континентальной коры и может быть доступно исследователям, имеющим первичные результаты геохимического опробования значительных территорий.

Согласно полученным данным, роль литиевых минералов как носителей Li – мала.

Специфика Li – низкое его содержание в литиевых минералах. Этим предопределяется малая величина граничного содержания Li в максиминералах. Следствие последнего – относительно большая роль некоторых разностей породообразующих минералов как литиевых максиминералов. Данные, характеризующие их роль как носителей Li – первое приближение к истине. Они нуждаются в дополнении и уточнении. Главный их недостаток – отсутствие сведений о вариациях содержания литиевых максиминералов в осадочных породах и продуктах их метаморфизма. В этих породах и в циркулирующих в них подземных водах вероятно находится основная и наиболее доступная часть потенциально извлекаемого Li. Но получение данных о ней возможно только при специальных трудоемких исследованиях. Уже только поэтому полученные цифры следует рассматривать как минимально возможные.

Выводы

Главные концентраторы Li: глинистые и параметаморфические породы, они же – и главные носители массы Li. Но наиболее контрастное распределение Li имеет место в гранитах и гранито-гнейсах.

Роль литиевых минералов как носителей массы Li в верхней части континентальной коры мала. Главный резерв потенциально извлекаемого Li заключен в тех разностях биотита и мусковита, где содержание этого элемента > 0,18 %. В них сконцентрировано 8,3 % всей массы Li, имеющейся в верхней части континентальной коры.

Список литературы

- Антипин В.С. Петрология и геохимия гранитоидов различных фаций глубинности. Новосибирск: Наука, 1977. 157 с.
- Арсеньева А.Д., Брусницына Н.В., Ляхович В.В., Руб М.Г. Акцессорные минералы в породах вулканоплутонических комплексов Балыгычано-Сугойского района (Северо-восток СССР) // Акцессорные минералы в решении вопросов металлогении и происхождения магматических комплексов. М.: ИМГРЭ, 1969. С. 67-80.
- Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1991. 336 с.
- Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.

Воронцов А.Е., Лин Н.Г. Рубидий и литий в гранитоидах Бугульминского комплекса (Восточный Саян) // Геохимия. 1966. № 11. С. 1377-1384.

Грабежев А.И. Ниобий, тантал, олово в гранитах различной степени редкометальной продуктивности (Восточно-Уральское поднятие) // Редкие элементы в гранитоидах Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 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.

Дворкин-Самарский В.А., Козулина И.М., Каперская Ю.Н. Эволюция постмагматических процессов в гранитоидах Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1985. 118 с.

Залашкова Н.Е. Закономерности распределения бериллия, лития и рубидия в гранитах Восточного Забайкалья // МГК. XXI сессия. Докл. советских геологов. Геохимические циклы. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 110-120.

Злобин Б.И., Лебедев В.И. Геохимические связи Li, Na, K, Rb, Tl в щелочной магме и их некоторое петрогенетическое значение // Геохимия. 1960. № 2. С. 87-103.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 1. М.: Недра, 1994. 305 с.

Карапетян С.Г., Меликсетян Б.М. Геохимические особенности перлитов месторождений Армянской ССР // Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 97-114.

Коваленко В.И., Пополитов Э.И. Петрология и геохимия редких элементов щелочных и гранитных пород Северо-Восточной Тувы. М.: Наука, 1970. 258 с.

Корнев Т.Я., Доценко 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.

Косалс Я.А., Мазуров М.П. Поведение редких щелочей, бора, фтора и бериллия при становлении Биту-Джидинского гранитного массива (ю.-з. Прибайкалье) // Геохимия, 1968. № 10. С. 1238-1249.

Костин В.А. Геолого-геохимические особенности верхнеархейской вулканоплутонической плагиогранитной формации (Восточная Карелия) // Закономерности концентрации рудных элементов в гранитоидных формациях Карело-Кольского региона. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1985. С. 45-52.

Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н. Геохимия глубинных пород. М.: Наука, 1986. 262 с.

Кременецкий А.А., Латидус А.В., Скрябин В.Ю. Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. М.: Наука, 1990. 223 с.

Кузьмин М.И., Антипин В.С. Геохимическая характеристика мезозойских гранитоидов Восточно-

го Забайкалья // Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири. М.: Наука, 1972. С. 132-185.

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 кислого состава // Геохимия. 1975. № 4. С. 576-583.

Леонова Л.Л., Кирсанов И.И. Геохимия базальтов Ключевского вулкана (Камчатка) // Геохимия. 1974. № 6. С. 875-884.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. М.: Наука, 1967. 448 с.

Ляхович В.В., Гурбанов А.Г. Геохимия и условия становления Эльджуртинского массива (Северный Кавказ) // Геохимия. 1992. № 6. С. 800-812.

Макрыгина В.А., Петрова З.И., Конева А.А. Геохимия основных кристаллических сланцев Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье) // Геохимия. 1992. № 6. С. 771-786.

Макрыгина В.А., Петрова З.И., Конева А.А. Геохимия метакarbonатных пород Приольхонья и острова Ольхон (Западное Прибайкалье) // Геохимия. 1994. № 10. С. 1437-1450.

Макрыгина В.А., Петрова З.И. Геохимия мигматитов и гранитоидов Приольхонья и острова Ольхон (Западное Прибайкалье) // Геохимия. 1996. № 7. С. 637-649.

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: Дониш, 1987. 295 с.

Нестеренко Г.В., Фролова Л.П. Литий и рубидий в траппах // Геохимия. 1965. № 3. С. 343-347.

Одикадзе Г.Л. Некоторые особенности распределения редких и рудных элементов в Эльджуртинском интрузивном массиве Кабардино-Балкарской АССР // Геохимия. 1968. № 10. С. 1211-1217.

Павленко А.С., Геворкян Р.Г., Асланян Р.Т. и др. К вопросу об алмазоносности гипербазитовых поясов Армении // Геохимия. 1974. № 3. С. 366-379.

Петров Б.В., Макрыгина В.А. Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Новосибирск: Наука, 1975. 342 с.

Петрова З.И. Петролого-геохимическая характеристика Джидинского интрузивного комплекса // Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири. М.: Наука, 1972. С. 5-47.

Петрова З.И., Левицкий В.И. Петрология и геохимия гранулитовых комплексов Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1984. 200 с.

Петрова З.И., Макрыгина В.А. Геохимия гранат-биотитовых и биотитовых плагиогнейсов Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье) //

Геохимия. 1994. № 5. С. 659-670.

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.

Пополитов Э.И., Вольнец О.Н. Геохимические особенности четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и некоторые вопросы петрогенезиса. Новосибирск: Наука, 1981. 182 с.

Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре. М.: Наука, 2002. 299 с.

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

Руб М.Г. Особенности вещественного состава и генезиса рудоносных вулканоплутонических комплексов. М.: Наука, 1970. 363 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., Балашиов Л.С., Кременецкий А.А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра, 1980. 234 с.

Татаринов А.В., Шмакин Б.М. Средний состав, особенности распределения элементов-примесей и геохимическая специализация миароловых пегматитов (Восточная Сибирь) // Геохимия. 1976. № 2. С. 272-282.

Таусон Л.В. Геохимия лития, рубидия и таллия в магматическом процессе // МГК. XXI сессия. Докл. советских геологов. Проблема № 1. Геохимические Циклы. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 93-100.

Хворостов В.П., Зайцев В.П. Рудоносные магматические комплексы Ичигин-Уннэйваямского района // Тихоокеанская геология. 1983. № 2. С. 42-48.

Ярошевский А.А. Распространенность химических элементов в земной коре // Геохимия. 2006. № 1. С. 54-62.

Rudnik R. L., Gao S. Composition of the continental crust. University of Maryland, College Park, MD, USA. 2004.

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

Рецензент доктор геол.-мин. наук А.А. Ярошевский