

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Н.А. Григорьев

Институт геологии и геохимии УрО РАН

620151, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7

Поступила в редакцию 13 марта 2007 г.

Распределение Al в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова и др. [1990]. Установлено, что 51,88 % массы Al находится в осадочных и парапетаморфических породах. Для каждой из этих пород определено распределение масс Al по участкам с его содержанием: низким ($< 5,3$), преобладающим (5,3-10,6), повышенным (10,6-15,87) и высоким ($> 15,87$). Массы Al распределены в этих участках, соответственно (%): 2,22-26,5, 71,5-75,59, 0,97-15,61 и 0-8. Алюминиевые максиминералы находятся преимущественно в участках с преобладающим, повышенным и высоким содержанием Al. Установлено, что в верхней части континентальной коры в алюминиевых максиминералах сконцентрировано 2,66 % всей массы Al. В том числе, в (%): силлиманите – 1,33, диаспоре – 0,33, андалузите – 0,27, гибbsite – 0,19, ставролите – 0,19, бемите – 0,11, шпинели – 0,11, дистене – 0,09, корунде – 0,03, сапфирине – 0,01.

Ключевые слова: *континентальная кора, осадочные породы, парапетаморфические породы, алюминий, гибbsite, бемит, диаспор, силлиманит, андалузит, ставролит, шпинель, дистен, корунд, сапфирин, содержание, массы.*

DISTRIBUTION OF ALUMINIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST

N.A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Aluminium distribution in the upper continental crust has been defined by the model of A.B. Ronov et al. [1990]. It has been found, that 51,88 % of Al localize in sedimentary and metasedimentary rocks. In each of these rocks it was determined the distribution of Al by its content in sections: low ($< 5,3$), predominant (5,3-10,6) enriched (10,6-15,87) and high ($> 15,87$ %). Aluminium distribution in such sections corresponds (%): 2,22-26,5, 71,5 – 75,59, 0,97-15,61 and 0-8,0. Aluminium maximinerals occur predominantly in areas with enriched and high Al content. It's been found that in the upper continental crust 2,66 % of a whole Al concentrates in aluminium maximinerals. In particular, sillimanite includes 1,33, diaspor – 0,33, andalusite – 0,27, gibbsite, – 0,19, staurolite – 0,19, boehmite – 0,11, spinel – 0,11, disthen – 0,09, corundum – 0,03, sapphirine – 0,01 % of Al.

Key words: *upper continental crust, sedimentary rocks, metasedimentary rocks, aluminium, gibbsite, boehmite, diaspor, sillimanite, andalusite, staurolite, spinel, disthen, corundum, sapphirine, content, masses.*

Введение

В работе рассматриваются: распределение массы Al в ассоциации горных пород, представляющих верхнюю часть континентальной коры, и роль алюминиевых максиминералов как носителей этой массы. Максиминералы – главная форма максимальной концентрации химических элементов в природе. Поэтому оп-

ределение роли максиминералов как носителей Al соответствует ориентировочной оценке горных пород как возможных заменителей традиционного алюминиевого сырья. Алюминиевые максиминералы наиболее характерны для осадочных и парапетаморфических пород. Эти породы изучены наиболее подробно. Основа расчетов – фрагмент модели химического строения земной коры А.Б. Ронова с коллегами

[1990], несколько детализированный автором [Григорьев, 2003а,б]. В этой модели верхняя часть континентальной коры состоит из двух слоев: осадочного и гранитно-гнейсового. Верхний слой сложен осадочными и вулканогенными породами, нижний – магматическими и метаморфическими. Слои разделены верхней границей нижнего протерозоя. Но значительная часть толщ, залегающих как выше так и ниже этой границы, представлена сложными комбинациями осадочных, магматических и метаморфических пород. Автор согласен, что их следует рассматривать как части осадочного слоя, включающие фрагменты гранито-гнейсового [Лутц, 1975]. Результаты анализов горных пород сгруппированы в соответствии с этим представлением. Но оно не вполне соответствует модели. Приходится считаться с тем, что А.Б. Роновым с коллегами в состав осадочных и вулканогенных пород включены существенные массы их метаморфических аналогов.

Среднее содержание и распределение Al в совокупности континентальных горных пород

Среднее содержание Al (табл. 1) в большинстве горных пород дается по А.Б. Ронову и др. [1990] с небольшими поправками; в гранитах и гранодиоритах – по А.А. Беусу [1981]; в гранито-гнейсах, метаандезитах, осадочном и гранито-гнейсовом слоях, а также в верхней части континентальной коры – авторские [Григорьев, 2003б]. Среднее содержание Al повышено в сиенитах, глинистых породах, средних вулканитах, гранодиоритах, метаандезитах. Но средние коэффициенты концентрации Al здесь минимальные – 1,1-1,29. В параметаморфических и осадочных и породах сосредоточено 51,88 % массы Al (табл. 1).

Вариации степени концентрации масс Al в осадочных и параметаморфических породах

Основа расчета – частота встречаемости проб с разным содержанием Al. Используются преимущественно опубликованные результаты изучения значительных массивов горных пород. Результаты специальных исследований участков горных пород с повышенным содержанием Al при решении данного вопроса, как правило, не учитывались. В выборки включены преимущественно результаты анализов кон-

кретных проб и средние по 2-5 анализам, редко – средние по 6-30 анализам одинаковых горных пород. Главные источники исходных данных по осадочным породам: [Розенбуш, 1934; Кузнецов, 1973; Шутов, 1975; Афанасьева, 1979, 1983; Пачаджанов, 1981; Петров, 1982; Ерофеев, Цеховский, 1983; Морозов и др., 1983, 1996; Парначев, 1987; Тейлор, Мак-Леннан, 1988; Анфимов, 1997; Gallet et al., 1998; Глухан, Серых, 2000; Condie et al., 2001; Di Leo, 2002; Маслов и др., 2004; Малиновский и др., 2005]; по параметаморфическим породам: [Розенбуш, 1934; Варганова и др., 1971; Ожогин, 1971; Белькова и др., 1972; Равич, Каменев, 1972; Шашкина, 1973; Головенко, 1976; Геология..., 1978; Тимонина, 1980; Горбачев, 1981; Макрыгина, 1981; Петров, 1982; Шванов, 1983; Парначев, 1987; Созинов и др., 1988; Тейлор, Мак-Леннан, 1988; Метаморфические..., 1990; Буданова, 1991; Кисин, 1991; Condie et al., 1991; Yang et al., 1998; Геохимия..., 2002; Сафронов, 2005; Дмитриева и др., 2006].

Песчаные породы (пески, песчаники, алевролиты; сюда же условно включены конгломераты и гравеллиты). Учтены 1639 анализов. Среднее содержание Al в выборке – 5,35 %, что несколько меньше среднего для таких пород – 5,99 %. Установлено, что повышенным и высоким содержанием Al ($> 10,63$ %) характеризуется только 0,79 % массы песчаных пород (табл. 2). В таких разновидностях сконцентрировано 2 % всей массы Al, имеющейся в песчаных породах. *Глинистые породы* (глины, глинистые сланцы, аргиллиты, аллиты, лесс). Учтены 1506 анализов. Среднее содержание Al в выборке – 8,84 %, что близко к среднему для глинистых пород – 8,9 %. Установлено, что повышенным и высоким содержанием Al характеризуется соответственно 11,16 и 3,05 % массы глинистых пород (табл. 2). В таких разновидностях сконцентрировано соответственно: 15,61 и 6,57 % всей массы Al, имеющейся в глинистых породах. *Карбонатные породы* (известняки, мергели, доломиты) имеют преимущественно низкое содержание Al, и роль их как носителей этого элемента мала. Актуально определение суммарной доли масс разновидностей этих пород с отношением содержаний $Al_2O_3/SiO_2 > 0,87$. Теоретически в них обязательно присутствие алюминиевых гидроксидов или корунда. Автором собраны результаты 637 анализов карбонатных пород от докембрийских до современных. Отношение содержаний

Таблица 1

Распределение массы Al в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, %	Содержание Al, %	Доли массы Al, %
Пески и песчаники	5,11	5,99	4,02
Глины и глинистые сланцы	10,4	8,9	12,16
Карбонатные породы	3,85	1,19	0,6
Кремнистые породы	0,33	2,48	0,11
Эвапориты	0,26	0,04	<0,01
Кислые вулканы	0,44	6,99	0,4
Средние вулканы	1,13	8,83	1,31
Основные вулканы	2,11	8,66	2,4
Граниты	8,21	7,36	7,94
Гранодиориты	3,38	8,6	3,82
Базиты	1,5	7,94	1,57
Сиениты	0,05	9,84	0,07
Ультрабазиты	0,05	3,03	0,02
Метапесчаники	2,92	5,33	2,05
Парагнейсы и парасланцы	30,56	8,13	32,65
Метакарбонатные породы	1,13	0,96	0,14
Железистые породы	0,38	3,02	0,15
Гранито-гнейсы	23,21	8,37	25,53
Метариолиты	0,66	7,28	0,63
Метаандезиты	1,03	8,35	1,13
Метабазиты	3,29	7,48	3,23
Верхняя часть континентальной коры	100	7,61	99,93
Осадочные породы	19,95	6,44	16,89
Вулканы осадочного слоя	3,68	8,51	4,11
Осадочный слой	23,63	6,77	21,00
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13,19	7,74	13,42
Параметаморфические породы	34,99	7,61	34,99
Ортотаморфические породы	28,19	8,24	30,52
Гранитно-гнейсовый слой	76,37	7,87	78,93

$Al_2O_3/SiO_2 > 0,87$ оказалось в 8 пробах из 30 проб карбонатных пород, отобранных в районах бокситовых месторождений Северного и Южного Урала [Шарова, Гладковский, 1958; Гуткин, 1964]. Отношением содержаний $Al_2O_3/SiO_2 > 0,87$ характеризуется 0,8 % массы карбонатных пород. В них сосредоточен 1 % имеющейся в карбонатных породах массы Al. *Метапесчаники* (включая метаконгломераты, метагравеллиты, кварцито-песчаники, метаалевролиты и кварциты). В выборке 792 анализа. Среднее содержание Al в выборке – 5,16 % при среднем для метапесчаников – 5,33 %. Повышенным и высоким содержанием Al характеризуется 0,39 % массы этих пород (табл. 3). Здесь сконцентрировано 0,97 % всей массы Al, имеющейся в метапесчаниках. *Парасланцы* (включая парагнейсы, кальцифиры с содержанием карбонатов < 50 % и кристаллические сланцы с признаками осадочного происхождения). В выборке 1796 анализов. Среднее содержание Al

в выборке – 8,64 %, при среднем для таких пород – 8,13 %. Повышенным и высоким содержанием Al характеризуется соответственно: 9,63 и 3,79 % массы парасланцев. Здесь сконцентрировано соответственно: 14,16 % и 8 % всей массы Al, имеющейся в парасланцах (табл. 3). *Метакарбонатные породы* (мраморы и кальцифиры с преобладанием карбонатов). В выборке 401 проба, в том числе 330 проб с содержанием Al < 2,65 %. Отношение содержаний $Al_2O_3/SiO_2 > 0,87$ установлено в 33 пробах. Это наиболее чистые кальцитовые мраморы, а также брусит-кальцитовые мраморы и мраморизованные доломиты.

Среднее содержание алюминиевых максиминералов в осадочных породах и их роль как носителей Al

В литературе относительно много данных о вариациях содержания ставролита, дис-

Таблица 2

Соотношение масс осадочных пород с разным содержанием Al
и распределение Al в этих породах

Содержание Al, %	Соотношение масс пород, %		Распределение Al, %	
	Песчаные, (1639 проб)	Глинистые, (1506 проб)	Песчаные	Глинистые
Низкое (< 5,3)	47,11	7,44	26,5	3,26
Преобладающее (5,3-10,6)	52,1	78,35	71,5	74,56
Повышенное (10,6-13,22)	0,55	9,23	1,22	12,44
Повышенное (13,22-15,87)	0,12	1,93	0,33	3,17
Высокое (15,87-18,51)	Не опр.	1,19	Не опр.	2,33
Высокое (18,51-21,16)	0,12	1,59	0,45	3,58
Высокое (> 21,16)	Не опр.	0,27	Не опр.	0,66
В горной породе	100	100	100	100

тена силлиманита и шпинели в осадочных породах. Поэтому здесь приняты средние арифметические величины их содержания, рассчитанные раньше [Григорьев, 2003а]. Данные о содержании алюминиевых гидроксидов и корунда в горных породах немногочисленны и получены в основном при изучении месторождений бокситов. Относительно хорошо изучены только вариации содержания гиббсита в глинистых породах (табл. 4). Средние содержания алюминиевых гидроксидов и корунда в осадочных породах рассчитаны вновь с учетом валового содержания Al в исследованных пробах.

Массы *песчаных пород*, содержащих алюминиевые гидроксиды и корунд значительны. Пример – меловые «бокситоносные» песчаники Туруханского района Красноярского края, площадь распространения которых 200 × 800 км [Ван, 1977]. Но данные о вариациях содержания гиббсита, бемита, диаспора в подобных породах автору не известны. Определений содержания корунда мало. Поэтому расчет (табл. 5) проведен на основе зависимости содержания этих минералов от валового содержания Al и в предположении о том, что закономерности распределения этих минералов аналогичны установленным для глинистых пород. Есть две главные крайние разновидности *глинистых пород* с повышенным и высоким содержанием Al: существенно каолиновые и не содержащие каолиновых минералов. Алюминиевые гидроксиды и корунд установлены в первых – при содержании Al > 17,7 %; во вторых – при содержании Al > 12 %. Но достаточно изучен только гиббсит. Его содержание определено в пробах глин, суглинков, аргиллитов и аллитов из месторождений бокситов, огнеупорных глин и проявлений досонитовой минерализации [Гончаров, 1952; Бетелев, 1960; Гуткин и др., 1969, 1975, 1976; Гладковский и др., 1975; Ситникова, 1975; Ушатинский, Боровский, 1977; Черкасов и др., 1977]. На основе этих данных вычислено среднее содержание гиббсита в глинистых породах при разном валовом содержании Al (табл. 4) и в целом (табл. 5). Среднее содержание других минералов в глинистых породах определено в предположении, что отношения содержаний бемита, диаспора, корунда и гиббсита здесь такие же, как в бокситах. *Карбонатные породы*. По данным К.Ф. Терентьевой и Н.С. Ильиной [1942], диаспор, гиббсит (гидраргиллит) и аморфное вещество с содержанием Al_2O_3 78,9 % первыми обнаружили в известняках Хорватии Тучан и Кришпатич в начале двадцатого века. К.Ф. Терентьева и Н.С. Ильина [1942] установили широкое распространение кристалликов диаспора и бемита во всех разновидностях силурийских и девонских известняков в районе бокситового месторождения «Красная Шапочка» на Северном Урале. В подобных же известняках Е.С. Гуткин [1964] обнаружил алюминиевые гидроксиды и корунд. Г.Н. Черкасов и коллеги [1977] кратко охарактеризовали содержащие гиббсит «суглинки», состоящие, судя по химическим анализам, на 60-95 % из доломита. Но определения содержания алюминиевых гидроксидов и корунда в карбонатных породах автору не известны. А.К. Шарова и А.К. Гладковский [1958] установили, что в некоторых пробах известняков, взятых вблизи уральских бокситовых месторождений, Al преобладает над Si. Пять проб по химическому составу близки к обычным карбонатным породам (Al_2O_3 – 0,1-6,11 %, SiO_2 – 0-2,68 %). Весь Si и часть Al этих проб пересчитаны на каолинит. Остаток Al

заций [Гончаров, 1952; Бетелев, 1960; Гуткин и др., 1969, 1975, 1976; Гладковский и др., 1975; Ситникова, 1975; Ушатинский, Боровский, 1977; Черкасов и др., 1977]. На основе этих данных вычислено среднее содержание гиббсита в глинистых породах при разном валовом содержании Al (табл. 4) и в целом (табл. 5). Среднее содержание других минералов в глинистых породах определено в предположении, что отношения содержаний бемита, диаспора, корунда и гиббсита здесь такие же, как в бокситах. *Карбонатные породы*. По данным К.Ф. Терентьевой и Н.С. Ильиной [1942], диаспор, гиббсит (гидраргиллит) и аморфное вещество с содержанием Al_2O_3 78,9 % первыми обнаружили в известняках Хорватии Тучан и Кришпатич в начале двадцатого века. К.Ф. Терентьева и Н.С. Ильина [1942] установили широкое распространение кристалликов диаспора и бемита во всех разновидностях силурийских и девонских известняков в районе бокситового месторождения «Красная Шапочка» на Северном Урале. В подобных же известняках Е.С. Гуткин [1964] обнаружил алюминиевые гидроксиды и корунд. Г.Н. Черкасов и коллеги [1977] кратко охарактеризовали содержащие гиббсит «суглинки», состоящие, судя по химическим анализам, на 60-95 % из доломита. Но определения содержания алюминиевых гидроксидов и корунда в карбонатных породах автору не известны. А.К. Шарова и А.К. Гладковский [1958] установили, что в некоторых пробах известняков, взятых вблизи уральских бокситовых месторождений, Al преобладает над Si. Пять проб по химическому составу близки к обычным карбонатным породам (Al_2O_3 – 0,1-6,11 %, SiO_2 – 0-2,68 %). Весь Si и часть Al этих проб пересчитаны на каолинит. Остаток Al

Соотношение масс параметаморфических пород с разным содержанием Al
и распределение масс Al в этих породах

Содержание Al, %	Соотношение масс пород, %		Распределение масс Al, %	
	Метапесчаники (792 пробы)	Парасланцы (1796 проб)	Метапесчаники	Парасланцы
Низкое (< 5,3)	47,64 (2,62)*	5,51 (0,49)*	24,03	2,22
Преобладающее (5,3-10,6)	51,97 (2,49)	81,07 (5,01)	75	75,59
Повышенное (10,6-13,22)	0,26 (Не обн.)	6,68 (1,45)	0,63	9,22
Повышенное (13,22-15,87)	0,13 (Не обн.)	2,95 (0,95)	0,34	4,97
Высокое (15,87-18,51)	–	2,56 (1,41)	–	5,09
Высокое (18,51-21,16)	–	0,95 (0,62)	–	2,16
Высокое (> 21,16)	–	0,28 (0,16)	–	0,75
В горной породе	100 (5,11)	100 (10,09)	100	100

Примечание. В скобках доли масс метапесчаников и парасланцев, в которых есть алюминиевые максиминералы (по данным качественных и количественных минералогических анализов).

отнесен за счет алюминиевых гидроксидов и корунда. Результаты пересчитаны на всю выборку. Установлено, что в алюминиевых гидроксидах и корунде сконцентрировано 0,6 % массы Al, имеющейся в карбонатных породах (табл. 5). Соотношение масс этих минералов принято таким же, как в глинистых породах.

О возможной роли досонита (давсонита) как носителя Al в осадочных породах

Перспективный в технологическом отношении досонит не является алюминиевым максиминералом. Он установлен в песчаных и глинистых породах с содержанием Al > 6,03 % [Туркин, Выродова, 1977], в том числе в угленосных, нефтеносных и соленосных. Часто ассоциирует с алюминиевыми гидроксидами. Мощность пластов, содержащих досонит, местами > 100 м. [Ваухите..., 1967]. В Кузнецком Алатау в разрезе терригенных пород балахонской серии суммарная мощность пластов, содержащих досонит, составляет 900 м. Содержание досонита в тонких прослоях достигает 40 % [Волкова, Рекшинская, 1975]. Достаточно подробно охарактеризованы только образцы осадочных пород Припятской впадины. Здесь содержание досонита 39,6-87,6 % при валовом содержании Al в образцах – 12,93-19,59 % [Дмитриев и др., 1975]. Возможное среднее содержание досонита в песчаных и глинистых породах (0,001 %) определено приблизительно по этим результатам с учетом общего количества известных автору результатов количественных минералогических анализов проб осадоч-

ных пород. При этом предполагалось, что если досонит не упомянут, то в данной пробе его нет. По расчету в песчаных и глинистых породах доли масс Al, сконцентрированные в досоните, < 0,01 %.

Среднее содержание алюминиевых максиминералов в параметаморфических породах и их роль как носителей Al

Метапесчаники и парасланцы. По данным качественных и количественных минералогических анализов, наличием алюминиевых максиминералов характеризуется 5,11 % проб метапесчаников и 10,03 % проб парасланцев. Первоначально были рассчитаны средние арифметические величины содержания этих минералов, за исключением диаспора [Григорьев, 2002]. Но в некоторых публикациях [Байраков и др., 1966; Горощенко, 1971; Виноградов, 1972] есть данные о содержании в изученных пробах этих минералов и Al. В других работах [Moore, 1949; Scotford, 1956; Равич и др., 1965; Равич, Соловьев, 1966; Равич, Каменев, 1972; Тимонина, 1980; Макрыгина, 1981] есть результаты количественных минералогических анализов, позволяющие приблизительно определить валовое содержание Al в изученных пробах. Таких данных достаточно в отношении ставролита, дистена, силлиманита, шпинели и корунда. Это дало возможность нового более корректного расчета их среднего содержания с учетом валового содержания Al в исследованных пробах. Расчет для парасланцев приведен в табл. 4. Данные по топазу, андалузиту, сапфиру

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Таблица 4

Среднее содержание алюминиевых максиминералов в глинистых породах и парасланцах, с разным валовым содержанием Al (в скобках – доли содержания в расчете на глинистые породы или парасланцы в целом)

Содержание Al, %	Глинистые породы		Парасланцы					
	n*	Гиббсит	n*	Ставролит	Дистен	Силлиманит	Шпинель	Корунд
< 5,3	0	0 (0)?	9	0	0	0,06 (<0,01)	0,33 (0,018)	0,05 (0,0027)
5,3-10,6	4	0 (0)	117	0,073 (0,059)	0,01 (0,008)	0,18 (0,15)	0,016 (0,013)	0,006 (0,0049)
10,6-13,22	6	0,5 (0,046)	51	0,32 (0,021)	0,11 (0,007)	0,74 (0,05)	0,063 (0,004)	0,005 (0,0003)
13,22-15,87	3	0,7 (0,014)	11	0,56 (0,017)	0	2,53 (0,08)	0,52 (0,016)	0,019 (0,0006)
15,87-18,51	8	8,4 (0,1)	12	0,93 (0,024)	0	9,73 (0,25)	0,18 (0,005)	0,051 (0,0013)
18,51-21,16	11	11,4 (0,18)	1	1,6 (0,015)**	0,47 (0,005)	27 (0,26)**	0,8 (0,008)**	0,12 (0,0011)**
> 21,16	4	17 (0,046)	2	2,8 (0,008)**	0	65 (0,18)**	1,5 (0,004)**	0,26 (0,0007)**
В породах в целом	36	0,39 (0,386)	203	0,14 (0,144)	0,02 (0,02)	0,97 (0,97)	0,068 (0,068)	0,012 (0,0116)

Примечание. n* – количество исследованных проб; ** – значения, полученные экстраполяцией.

Таблица 5

Среднее содержание гиббсита, бемита, диаспора, корунда в осадочных породах и доли масс Al, сконцентрированные в этих минералах

Минералы	Содержание Al в минералах, %	Песчаные 5,99		Глинистые 8,9		Карбонатные 1,19		Породы в целом	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Ставролит	27,8	0,007	0,03	0,01	0,05	Н.опр.	Н.опр.	0,0074	0,03
Дистен	32,4	0,002	0,01	0,004	0,01	Н.опр.	Н.опр.	0,0033	0,02
Силлиманит	32,73	0,024	0,13	0,0033	0,1	Н.опр.	Н.опр.	0,0082	0,04
Гиббсит	34,4	0,017	0,1	0,39	1,51	0,012	0,35	0,21	1,12
Шпинель	38	0,0026	0,02	0,0004	<0,01	Н.опр.	Н.опр.	0,0009	<0,01
Бемит	44,64	0,0074	0,06	0,17	0,85	0,0051	0,19	0,092	0,64
Диаспор	45	0,0021	0,02	0,049	0,25	0,0016	0,06	0,026	0,18
Корунд	52,9	1,3·10 ⁻⁴	<0,01	0,003	0,02	0,0001	< 0,01	0,0016	0,01
Сумма	–	0,06223	0,37	0,6297	2,79	0,0188	0,6	0,3494	2,04

Примечание. Здесь и в табл 6: 1 – содержание максиминералов, %; 2 – сконцентрированные в максиминералах доли массы Al, %.

приняты прежними [Григорьев, 2002]. Диаспор отмечен, в основном, в продуктах низкотемпературного метаморфизма глинистых сланцев и близких к ним осадочных пород. Имеющиеся данные основаны на результатах 311 количественных минералогических анализов. Они свернуты в 3 группы. При среднем валовом содержании Al 18,87, 19,89 и 26,36 %, среднее содержание диаспора составляет соответственно 5, 26 и 45 % [Ушатинский, Боровский, 1978].

Но эти данные представляют лишь небольшой фрагмент континентальной коры. Поэтому при расчете среднего арифметического содержания диаспора в парасланцах каждая из отмеченных групп приравнивалась к одному анализу. Расчет по всем отмеченным выше данным показал, что в метапесчаниках и парасланцах роль силлиманита как носителя Al больше суммарной роли остальных максиминералов (табл. 6). *Метакарбонатные породы.* В этих породах отно-

Таблица 6

Среднее содержание алюминиевых максиминералов в параметаморфических породах и доли масс Al, сконцентрированные в этих максиминералах

Минералы	Содержание Al в минералах, %	Метапесчаники		Парасланцы		Метакарбонатные		Породы в целом	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Ставролит	27,8	0,08	0,04	0,14	0,48	Н.опр.	Н.опр.	0,13	0,47
Топаз	29,3	Н.опр.	Н.опр.	0,0015	0,01	0,0009	0,03	0,0033	0,01
Дистен	32,4	0,003	0,02	0,02	0,08	Н.опр.	Н.опр.	0,018	0,08
Андалузит	32,4	0,05	0,3	0,2	0,8	Н.опр.	Н.опр.	0,18	0,77
Силлиманит	32,73	0,23	1,41	0,97	3,91	Н.опр.	Н.опр.	0,87	3,74
Сапфирин	33	0,003	0,02	0,007	0,03	Н.опр.	Н.опр.	0,0064	0,03
Шпинель	38	0,03	0,21	0,068	0,32	0,04	1,58	0,062	0,31
Диаспор	45	Н.опр.	Н.опр.	0,16	0,89	0,009	0,42	0,14	0,83
Корунд	52,9	Н.опр.	Н.опр.	0,012	0,08	0,01	0,55	0,01	0,07
Сумма	—	0,396	2	1,5785	6,6	0,0599	2,58	1,4197	6,31

Таблица 7

Вариации данных о среднем содержании важнейших алюминиевых минералов-носителей (%) в верхней части континентальной коры

Минералы	Мезонорма Канадского щита по D.M. Shaw [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]	Обнаженная часть континентальной коры по H.W. Nesbit, G.M. Yung [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]	Верхняя часть континентальной коры	
			[Григорьев, 1999]	Новые данные
Плагиоклазы	39,3	34,9	27,41	28,22
КПШ	8,6	11,3	8,3	9,81
Амфиболы	0	1,8	4,6	4,61
Пироксены	0	1,2	2,88	2,45
Биотит	11,2	7,6	5,5	7,49
Мусковит	7,6	4,4	7,2	1,99
Хлориты	3,3	1,9	4,1	3,52

Примечание. КПШ – калиевые полевые шпаты

сительно широко распространена шпинель, встречаются корунд, диаспор и топаз. Среднее содержание шпинели рассчитано по результатам количественных минералогических анализов [Равич, Соловьев, 1966; Салье и др., 1966; Равич, Каменев, 1972; Карбонатные..., 1975] с учетом общего количества анализов, выполненных методами, позволявшими учесть этот минерал. По расчету среднее содержание шпинели в метакрбонатных породах 0,04 %, в ней сконцентрировано 1,58 % всей имеющейся здесь массы Al. По остальным минералам количественных данных мало или нет. Основа расчета их среднего содержания – химический состав метакрбонатных пород. Разновидностями с отношением содержаний $Al_2O_3/SiO_2 > 0,87$ представлено 8,2 % массы этих пород. Весь Si и часть Al в таких разновидностях пересчитаны на мусковит (наиболее богатый Al кларкминерал). Остаток Al отнесен за счет алюми-

вых максиминералов. Результаты пересчитаны на всю массу метакрбонатных пород. Установлено, что суммарная доля массы Al, сконцентрированная в максиминералах, – 2,58 %. За вычетом шпинели остается 1 % массы Al. Эта величина условно разделена между корундом, диаспором и топазом соответственно частоте их упоминания в описаниях метакрбонатных пород. Таким образом, роль шпинели как носителя Al здесь больше суммарной роли остальных алюминиевых максиминералов (табл. 6).

Роль алюминиевых максиминералов как носителей Al в магматических и оргометаморфических породах

Вулканогенные породы осадочного слоя изучены недостаточно. Среднее содержание корунда, досонита и топаза низкое [Григорьев, 2003а]. В кислых вулканитах суммарная доля

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

массы Al, сконцентрированная в этих минералах, – 0,01 %. В остальных вулканитах она еще меньше. Качественно установлен диаспор [Ко-

това, 1976]. Наиболее изучены *магматические породы гранито-гнейсового слоя*. При расчете учтено количественных минералогических ана-

Таблица 8

Средний минеральный баланс Al в верхней части континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Al	Минералы-носители Al	Содержание минералов, %	Содержание Al в минералах, %	Доли массы Al, %	
				В минералах	В группах минералов
Миниминералы 0-7,6 % Al	Роговая обманка	3,16	4,98	2,07	3,7
	Прочие			1,63	
	Всего			3,7	
Кларкминералы 7,6-21 мас. % Al	Стекло основное	0,31	7,7	0,31	0,31
	Биотит	7,49	9,3	9,15	32,99
	Тюрингит	0,12	9,35	0,15	
	Шамозит	0,55	9,74	0,7	
	КППШ	9,81	10	12,89	
	Санидин	0,061	10,32	0,08	
	Альбит	4	10,4	5,47	
	Клинохлор	0,69	10,7	0,97	
	Монтмориллонит	0,43	10,9	0,62	
	Эпидот	1,17	11,1	1,71	
	Альмандин	0,85	11,2	1,25	
	Олигоклаз	14,31	12,1	22,75	38,07
	Рипидолит	1,89	12,9	3,2	
	Пренит	0,17	13,1	0,29	
	Андезин	6,56	13,2	11,38	
	Бейделлит	0,16	13,8	0,29	
	Нагролит	0,088	14,23	0,16	
	Лабрадор	3,02	15,3	6,07	
	Гидробиотит	0,48	15,3	0,97	
	Гидромусковит	2,51	16,3	5,38	
	Фенгит	0,039	16,3	0,08	
	Цоизит и клиноцоизит	0,072	16,3	0,15	13,98
	Битовнит	0,3	16,5	0,65	
	Томсонит	0,06	17,1	0,13	
	Лосонит	0,24	17,2	0,54	
	Нефелин	0,0062	17,5	0,01	
	Анортит	0,033	19,1	0,08	
	Каолинит	0,26	20,4	0,7	7,69
	Мусковит	1,99	20,5	5,36	
	Парагонит	0,56	21	1,55	
	Всего	–	–	93,04	
ИНК 21-27 % Al	–	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Максиминералы > 27 % Al	Ставролит	0,051	27,8	0,19	0,19
	Дистен	0,022	32,4	0,09	1,7
	Андалузит	0,063	32,4	0,27	
	Силлиманит	0,31	32,73	1,33	
	Сапфирин	0,0022	33	0,01	
	Гиббсит	0,043	34,4	0,19	0,19
	Шпинель	0,022	38	0,11	0,11
	Бемит	0,018	44,64	0,11	0,44
	Диаспор	0,055	45	0,33	
	Корунд	0,0038	52,9	0,03	0,03
	Всего	–	–	2,66	
Сумма учтенных долей масс Al, %				99,33	99,4

Примечание. ИНК – интервал нехарактерной концентрации.

Таблица 9

Приблизительный минеральный баланс Al в содержащих силлиманит парасланцах и парагнейсах. Расчет по данным о минеральном составе проб с учетом валового содержания Al в пробах

Минералы	Среднее содержание Al в минералах, %	А		Проба 694		Проба 29-66		Б	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Кварц	0	46,9	0	34,6	0	38,5	0	52,5	0
Амфиболы	4,98	0,2	0,15	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Биотит	9,3	15,15	24,5	6,8	6,09	5,1	4,14	Н.опр.	Н.опр.
КПШ	10	5,6	8,58	10,7	10,31	10,2	8,89	Н.опр.	Н.опр.
Гранаты	11,2	1,6	2,74	23	24,82	32,9	32,13	16,5	13,49
Олигоклаз	12,1	29,1	53,92	10,3	12,01	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Андезин	13,2	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	5,5	6,33	Н.опр.	Н.опр.
Кордиерит	17,4	Н.опр.	Н.опр.	12,1	20,28	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Силлиманит	32,13	1,2	6,02	2	6,31	7	19,97	29	71,63
Сумма	–	99,75	95,91	99,5	79,81	99,2	71,46	98	71,63
Содержание Al в пробах, %		6,53		10,38		11,47		13,7	

Примечание. Здесь и в табл. 10: 1 – содержание минералов, %, 2 – сконцентрированные в минералах доли массы Al, %.

Расчет по данным: А – Урал, ильменогорский комплекс, среднее из 8 образцов [Левин, 1972]; Проба 694 – Порьегубско-Умбинская синклираль, Кольский п-ов [Виноградов, 1972]; 29-66 – гора Хеппимораст, Кольский п-ов [Горощенко, 1971]; Б – проба содержащего графит (1,9 %) метапесчаника («силлиманитового гнейса») Соломиевского алюминиевого месторождения, р. Южный Буг; при расчете учтено фактическое содержание Al в силлиманите – 33,84 % [Байраков и др., 1966].

Таблица 10

Приблизительный минеральный баланс Al в содержащих силлиманит слюдистых парасланцах, Манхеттен, Нью-Йорк [Scotford, 1956]. Расчет по минеральному составу проб

Минералы	Среднее содержание Al в минералах, %	Обр. 57		Обр. 97		Обр. 60		Обр. 59	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Кварц	0	42,7	0	40,9	0	25	0	Н.опр.	Н.опр.
Биотит	9,3	13,1	16,85	28,3	33,83	38,8	44,99	20	21,04
КПШ	10	11,5	15,91	Н.опр.	Н.опр.	25,2	31,42	30	33,94
Гранаты	11,2	2,8	4,34	Н.опр.	Н.опр.	1	1,4	10	12,67
Олигоклаз	12,1	24,9	41,67	21,4	33,28	2	3,02	2	2,74
Мусковит	20,5	Н.опр.	Н.опр.	3,7	9,75	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Силлиманит	32,13	4,7	21,28	5,5	23,14	4,7	19,18	8	29,62
Сумма	–	99,7	100	99,8	100	96,7	100	100	100
Содержание Al в пробах, %*		7,23		7,78		8,02		8,84	

лизов: в гранитах – 715, в гранодиоритах – 544, в базитах – 103. Определения содержания алюминиевых максиминералов в щелочных и ультраосновных породах автору не известны. Данные о содержании алюминиевых максиминералов в магматических породах имеются в [Ляхович, 1967; Бартикян, 1968; Соболев, 1968; Туровский, Кокарев, 1968; Вигорова, Покровский, 1973; Бельков, 1979; Недашковский, 1982; Чернышов, Плаксенко, 1982]. Средние суммарные доли масс Al, сконцентрированные в максиминералах, варьируют от $9 \cdot 10^{-5}$ % в базитах до 0,002 % в гранитах. В магматических поро-

дах в целом в максиминералах сконцентрировано $0,001$ % массы Al, в том числе: по $3 \cdot 10^{-4}$ % – в дистене, силлиманите и корунде, $2 \cdot 10^{-4}$ % – в ставролите, $1 \cdot 10^{-4}$ % – в топазе, $5 \cdot 10^{-5}$ % – в андалузите, $2 \cdot 10^{-5}$ % – в шпинели. В расчетах, относящихся к *ортометаморфическим породам*, учтено количественных минералогических анализов: в гранитогнейсах – 302, в метариолитах – 55, в метаандезитах – 13, в метабазитах – 211. Данные о содержании алюминиевых максиминералов в ортометаморфических породах взяты из [Ляхович, 1966, 1967; Арутюнов, 1971; Fisher, 1971; Kovisars, 1971; Равич, Каме-

нев, 1972; Носырев и др., 1986; Бельков и др., 1988; Гурбанов и др., 1999]. Средние суммарные доли масс Al, сконцентрированные в максиминералах, варьируют от 0,007 % в метартиолитах до 0,44 % в гранитогнейсах. В ортометаморфических породах в целом в максиминералах сконцентрировано 0,38 % массы Al, в том числе: в дистене – 0,22, в силлиманите – 0,11, в ставролите – 0,05 %. Роль остальных максиминералов не существенна.

**Среднее содержание
алюминиевых максиминералов
и средний минеральный баланс Al
в верхней части континентальной коры**

Первый расчет среднего минерального баланса Al [Григорьев, 1999] был выполнен на основе первых подробных данных о среднем минеральном составе верхней части континентальной коры. Эти данные (учтено 90 минералов и других компонентов) были подробнее литературных (учтено 9-20 компонентов), но не противоречили последним (табл. 7). Сейчас получены новые, еще более подробные и корректные данные. В них учтены опубликованные в литературе результаты количественных минералогических и фазовых анализов больше чем 3000 проб горных пород. Уточнено или вычислено впервые среднее содержание в горных породах 265 минералов, их разновидностей и других веществ. Среднее содержание 80 главных минералов скорректировано в соответствии со средним химическим составом горных пород. Метод – синхронный расчет минеральных балансов химических элементов. Корректировка считалась удовлетворительной при суммах учтенных долей масс O, Na, K, Mg, Ca, Al, Si, Fe – 100 ± 5 %, S, Ti < 100 %, C < 105 %, H < 110 %. По этим данным был рассчитан средний минеральный состав верхней части континентальной коры. Установлено, что при первом расчете среднее содержание мусковита было преувеличено, а биотита – преуменьшено (табл. 7). Результат – неправильное определение интервала нехарактерной концентрации Al в минералах и ошибочное включение в число алюминиевых максиминералов мусковита, каолинита и анортита. Согласно новому расчету, 93,04 % всей массы Al находится в кларкминералах. В максиминералах сконцентрировано 2,66 % массы Al. Причем роль силлиманита как носителя Al соизмерима с суммарной ролью

всех остальных максиминералов (табл. 8). Таким образом, полученные данные свидетельствуют в пользу прогнозируемой переориентации алюминиевой промышленности на использование силлиманита [Коротеев, Лепезин, 2006].

**Минеральный баланс Al в парасланцах
и парагнейсах, содержащих силлиманит**

Этот вопрос представляет повышенный интерес в связи с определением отдаленных перспектив наметившейся переориентации алюминиевой промышленности на использование силлиманита. Судя по имеющимся данным, в содержащих силлиманит парасланцах и продуктах их выветривания, считающихся алюминиевыми рудами, доля массы Al, сконцентрированная в силлиманите, может быть близкой к 50 %. Пример – проба из Кяхтинского месторождения с валовым содержанием Al 11,64 % ($22 \% \text{Al}_2\text{O}_3$). Здесь распределение массы Al в %: силлиманит (фибrolит) – 46, глинистые минералы – 27, полевые шпаты – 18, слюды – 9 [Ли, Брадинская, 1959]. Благоприятнее минеральный баланс Al в рудах, представленных содержащими силлиманит кварцитами и существенно кварцевыми метапесчаниками. Пример – проба «силлиманитового гнейса» (вероятно метапесчаника) Соломиевского месторождения с валовым содержанием Al 13,7 % ($25,9 \% \text{Al}_2\text{O}_3$). Расчет по опубликованным данным о вещественном составе этой пробы [Байраков и др., 1966] показал, что в силлиманите сконцентрировано не меньше 71,63 % массы Al (табл. 9). Недостаток суммы учтенных долей масс Al – 14,88 %, вероятно, обусловлен недооценкой содержания силлиманита и полевых шпатов в хвостах и шламах (количественный минеральный состав пробы определен по результатам её обогащения гравитационным методом).

Горные породы, содержащие силлиманит и < 12 % Al, изучены недостаточно. В лучших случаях в них определен количественный минеральный состав проб и валовое содержание Al_2O_3 в них. Причем только в работе [Левин, 1972] эти данные удовлетворительно согласуются (табл. 9). Однако, вариации содержания Al в важнейших алюминиевых минералах относительно малы. Поэтому приблизительный расчет минерального баланса Al, как правило, возможен по одним только количественным данным о минеральном составе проб. Расчеты показали, что роль силлиманита как носителя Al за-

висит как от валового содержания этого элемента в горных породах, так и от генезиса последних (табл. 9, 10). Но в целом эта роль относительно мала, что придется учитывать как при оценке подобных пород в качестве алюминиевого сырья, так и при разработке рациональных способов их использования. В связи с этим заметим, что концентрация Al в алюминиевых максиминалах относительно мала. Например, среднее содержание Al в силлиманите всего в 1,6 раза больше, чем в мусковите или каолините. Поэтому для Al выделение максиминалов имеет существенно меньшее практическое значение, чем для абсолютного большинства химических элементов.

Выводы

Алюминиевые максиминалы наиболее характерны для осадочных и параметаморфических пород. В этих породах находится 51,88 % всей массы Al, имеющейся в верхней части континентальной коры. Алюминиевые максиминалы встречаются преимущественно в участках с валовым содержанием Al > 10,6 %. В них сконцентрировано 2,66 % Al, содержащегося в верхней части континентальной коры. В том числе, в силлиманите – 1,33, в диаспоре – 0,33, в андалузите – 0,27, в гибbsite – 0,19, в ставролите – 0,19, в бемите – 0,11, в шпинели – 0,11, в дистене – 0,09, в корунде – 0,03, в сапфирине – 0,01 %.

Список литературы

- Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегаантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 289 с.
- Арутюнов Г.М. Новые данные по геохимии продуктивных гнейсов Чупино-Лоухского района (Северная Карелия) // Минералогия и геохимия докембрия Карелии. Л.: Наука, 1971. С. 48-53.
- Афанасьева И.М. Петрохимические особенности флишевой формации южного склона советских Карпат. Киев: Наукова Думка, 1979. 242 с.
- Афанасьева И.М. Литогенез и геохимия флишевой формации северного склона советских Карпат. Киев: Наукова Думка, 1983. 183 с.
- Байраков В.В., Быков Ю.А., Горошиников Б.И. и др. Минеральный состав и обогатимость силлиманитовых гнейсов Соломиевского месторождения // Разведка и охрана недр. 1966. № 7. С. 17-20.
- Бартиян М.П. Акцессорные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения) // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 108-115.
- Бельков И.В. Акцессорные минералы гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука, 1979. 185 с.
- Бельков И.В., Батиева И.Д., Виноградова Г.В., Виноградов А.Н. Минерализация и флюидный режим контактовых зон интрузий щелочных гранитов. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1988. 110 с.
- Белькова Л.Н., Огнев В.Н., Кангро О.Г. Докембрий Южного Тянь-Шаня и Кызылкумов. М.: Недра, 1972. 132 с.
- Бетелев Н.П. О находке бемита в сухарных каолиновых глинах Сталиногорского района нижнего карбона Татарии // Докл. АН СССР. 1960. Т. 133. № 4. С. 928-932.
- Беус А.А. Геохимия литосферы. М.: Недра, 1981. 335 с.
- Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1991. 336 с.
- Ван А.В. Происхождение меловых бокситоносных песчаников Туруханского района (Красноярский край) // Проблемы геологии алюминиевого сырья Сибири. Новосибирск: СНИИГТИМС, 1977. С. 71-75.
- Варганова Р.С., Нестеренко Э.В., Райкова М.И. Сборник химических анализов метаморфических горных пород Урала. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1971. 223 с.
- 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. Т. 2. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1973. С. 334-340.
- Виноградов А.Н. Минеральные парагенезисы и особенности метаморфизма гнейсов района устья реки Умбы // Мат-лы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1972. С. 51-56.
- Волкова А.Н., Рекишнская Л.Г. Эпигенетический давсонит в угленосной формации Кузбасса // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 303-309.
- Геология и петрология архейского гранитно-зеленокаменного комплекса Центральной Карелии. Л.: Наука, 1978. 664 с.
- Геохимия древних толщ Северного Урала / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис, И.В. Швецова и др. Сыктывкар: Геопринт, 2002. 333с.
- Гладковский А.К., Огородников О.Н., Анфимов Л.В. Проблема происхождения геосинклинальных месторождений бокситов на Урале // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 168-177.
- Глухан И.В., Серых В.И. Кларки алевролитов и аргиллитов Центрального Казахстана // Геохимия. 2000. № 9. С. 922-940.
- Головенко В.К. Литолого-геохимические осо-

бенности и условия образования Тепторгинской серии Байкальской горной области. М.: Недра, 1976. 144 с.

Гончаров В.В. Огнеупорные глины Боровичско-Любытинского района. М.: Metallurgizdat, 1952. 235 с.

Горбачев О.В. Параамфиболиты и амфиболовые сланцы в карбонатных толщах докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 6. М.: Наука, 1981. С. 62-70.

Горощенко Л.Г. Некоторые особенности минералогии пород гранулитовой формации Кольского полуострова в связи с их происхождением // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 3. 1971. С. 56-79.

Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 302 с.

Григорьев Н.А. Средний минеральный состав параметаморфических пород континентальной коры // Уральский геологический журнал. 2002. № 5. С. 43-53.

Григорьев Н.А. Средний минеральный состав осадочного слоя континентальной коры литосфера. 2003а. № 6. С. 43-53.

Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры геохимия. 2003б. № 7. С. 785-792.

Гурбанов А.Г., Бубнов С.Н., Гольцман Ю.В. и др. Петрогенезис и возраст вулканических образований именновской свиты в разрезе Уральской сверхглубокой скважины по изотопным и геохимическим данным (интервал 0-4617 м) // Научное бурение в России. Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Вып. 5. Ярославль, 1999. С. 132-168.

Гуткин Е.С. Карбонатные вмещающие толщи Петропавловского бассейна и их связь с бокситами // Закономерности формирования и размещения полезных ископаемых на Урале. Т. 3. Свердловск: УФАН СССР, 1964. С. 109-126.

Гуткин Е.С. О геохимии галлия в бокситах // Геология палеозоя и мезозоя Урала и Зауралья. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1975. С. 186-196.

Гуткин Е.С., Добровольская Т.И., Сапронова З.Д. Некоторые особенности геологии и геохимии бокситов горного Крыма // Геология и геохимия бокситов, латеритов и генетически связанных с ними пород. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1976. С. 108-142.

Гуткин Е.С., Хрусталева А.Д., Можжгерин И.Г. Мугойское месторождение бокситов на Урале // Советская геология. 1969. № 4. С. 82-96.

Дмитриев Ф.Л., Курочка В.П., Маевская Н.Д. и др. Давсонит в нижекаменноугольных отложениях Припятской впадины в Белоруссии // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 291-302.

Дмитриева Н.В., Туркина О.М., Ножкин А.Д. Геохимические особенности метатерригенных пород

Арзыбейского и Дербинского блоков неопротерозойского аккреционного пояса юго-западного обрамления Сибирского кратона: реконструкция источников сноса и условий образования осадков // Литосфера. 2006. № 3. С. 28-44.

Ерофеев В.С., Цеховский Ю.Г. Парагенетические ассоциации континентальных отложений. М.: Наука, 1983. 193 с.

Карбонатные породы Украинского щита / Н.И. Половко, Р.И. Сироштан, Н.М. Бондарева и др. Киев.: Наукова Думка, 1975. 151 с.

Кисин А.Ю. Месторождения рубинов в мраморах (На примере Урала). Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 130 с.

Коротеев В.А., Лепезин Г.Г. Принципиально новые пути решения минерально-сырьевой базы алюминиевой промышленности России и технологии процессов производства алюминия // Матлы девятого горно-промышленного съезда. Екатеринбург, 2006. Электронная версия.

Котова Л.Н. Диаспоровые конкреции в вулканических породах // Рудные конкреции и конкреции рудоносных формаций. Л.: ВСЕГЕИ, 1976. С. 53-54.

Кузнецов В.А. Геохимия аллювиального литогенеза. Минск: Наука и Техника, 1973. 208 с.

Левин В.Я. Петрология Ильменогорского комплекса // Вопросы петрологии гранитоидов Урала. Сб. 2. Свердловск: ИГГ УФАН СССР, 1972. С. 130-154.

Ли А.Ф., Брадинская Е.М. Методика минералогического анализа силлиманитсодержащих проб // Сб. научных трудов Иргередмета. Вып. 8. Иркутск: Metallurgizdat, 1959. С. 64-73.

Лутц Б.Г. Химический состав континентальной коры и верхней мантии Земли. М.: Наука, 1975. 167 с.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы гнейсов // Минералогический сборник Львовского госуниверситета. 1966. Вып. 2. № 20. С. 199-208.

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

Макрыгина В.А. Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма умеренных и низких давлений. Новосибирск: Наука, 1981. 199 с.

Малиновский А.И. Состав и обстановка накопления нижнемеловых терригенных пород бассейна р. Кемы (Восточный Сихотэ-Алинь) // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 5. С. 495-514.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Нижнерифейские тонкозернистые алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия. 2004. № 6. С. 648-669.

Метаморфические комплексы восточной окраины и склона Украинского щита / В.В. Закруткин, Е.А. Кулиш, А.В. Зайцев и др. Киев.: Наукова Думка, 1990. 252 с.

- Морозов О.А., Ростовцева Ю.В., Шапиро М.Н.* Верхнемеловые песчаники полуострова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) – продукты размыва континентальной коры: новые данные // Литология и полезные ископаемые. 1996. № 3. С. 301-313.
- Морозов С.Г., Иванова Т.В., Андреев Ю.В.* Особенности химического состава и генезис осадочных пород верхнего протерозоя востока Русской плиты // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. М.: Наука, 1983. С. 40-48.
- Недашковский П.Г.* Акцессорные минералы разнотипных гранитоидов Дальнего Востока // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука, 1982. С. 73-83.
- 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.
- Ожогин В.А.* Некоторые литологические особенности метаморфических толщ, вмещающих верхнепояские щелочные граниты (Кольский полуостров) // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 3. М.: Недра, 1971. С. 44-55.
- Парначев В.П.* Магматизм и осадконакопление в позднедокембрийской истории Южного Урала. Докт. дисс. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1987. 519 с.
- Пацаджанов Д.Н.* Геохимия красноцветных меловых отложений Таджикской депрессии. М.: Наука, 1981. 244 с.
- Петров В.Г.* Докембрий западного обрамления Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1982. 206 с.
- Равич М.Г., Каменев Е.Н.* Кристаллический фундамент Антарктической платформы. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 656 с.
- Равич М.Г., Климов Л.В., Соловьев Д.С.* Докембрий Восточной Антарктиды. М.: Недра, 1965. 470 с.
- Равич М.Г., Соловьев Д.С.* Геология и петрология центральной части гор Земли Королевы Мод (Восточная Антарктида). Л.: Недра, 1966. 290 с.
- Розенбуш Г.* Описательная петрография. Л., М., Грозный, Новосибирск: Горгеонефтеиздат, 1934. 720 с.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.* Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
- Салье М.Е., Дук В.Л., Бугрова В.Д.* Некоторые вопросы геологии, внутреннего строения и петрологии флогопитовых месторождений Алдана // Ультраметаморфизм и метасоматоз докембрийских формаций СССР. М., Л.: Наука, 1966. С. 25-62.
- Сафронов В.Т.* Исходный минеральный состав и геохимические особенности глиноземистых гнейсов Чупинской свиты Беломорской серии Балтийского щита // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 5. С. 541-552.
- Ситникова З.И.* Состав и условия образования бокситов Мугайского месторождения // Геология палеозоя и мезозоя Урала и Зауралья. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1975. С. 161-185.
- Соболев С.Ф.* Акцессорные минералы ультраосновных и основных пород Урала // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 236-248.
- Созинов Н.А., Чистякова Н.Н., Казанцев В.А.* Металлоносные черные сланцы Курской Магнитной Аномалии. М.: Наука, 1988. 149 с.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 379 с.
- Терентьева К.Ф., Ильина Н.С.* О минералах моногидрата глинозема в силурийских и девонских известняках в районе месторождения «Красная Шапочка» // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1942. № 4. С. 23-24.
- Тимонина Р.Г.* Петрология метаморфических пород Приполярного Урала. Л.: Наука, 1980. 101 с.
- Туркин В.А., Выродова М.Н.* Условия образования давсонита в угленосных отложениях балахонской серии Кузбасса // Советская геология. 1977. № 6. С. 75-88.
- Туровский С.Д., Кокарев Г.Н.* Акцессорные минералы палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 130-141.
- Ушатинский И.Н., Боровский В.В.* Бокситы Щучинского синклиория (Полярный Урал) // Советская геология. 1977. № 6. С. 57-74.
- Ушатинский И.Н., Боровский В.В.* Бокситы Карско-Усинского синклиория (Полярный Урал) // Советская геология. 1978. № 12. С. 42-52.
- Черкасов Г.Н., Шаламов И.В., Шевцов А.П., Чеха В.П.* Новые данные по бокситоносности Юго-Западного Прианбарья // Проблемы геологии алюминиевого сырья Сибири. Новосибирск: СНИИГ-ГИМС, 1977. С. 20-26.
- Чернышов Н.М., Плаксенко А.Н.* Акцессорные минералы дифференцированных габбро-норит-гипербазитовых интрузий Воронежского кристаллического массива // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука, 1982. С. 96-111.
- Шарова А.К., Гладковский А.К.* К вопросу о корреляции известняков и ее значении при поисках и разведке девонских бокситов на Урале // Мат-лы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып. 6. М.: Госгеолтехиздат, 1958. С. 103-110.
- Шапкина В.П.* Петрохимическая характеристика метаморфических пород Сахалина // Метаморфические комплексы Востока СССР. Владивосток: ДВГИ ДНЦ АН СССР, 1973. С. 142-160.
- Шванов В.Н.* Литоформационные корреляции терригенных и метаморфических толщ. Южный Тянь-Шань. Л.: Ленинградский госуниверситет. 1983. 216 с.
- Шутов В.Д.* Минеральные парагенезисы граувакковых комплексов. М.: Наука, 1975. 110 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Bauxite Reserves and Potential Aluminum Resources of World // Geol. Surv. Bull. 1228. Washington. 1967. 176 p.

Condie K.C., Lee D., Farmer G.L. Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Uinta Mountain and Big Cottonwood groups, northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes // Sedimentary geology. 2001. V. 141-142. P. 443-464.

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.

Di Leo P., Dinelli E., Mondelli G., Schiattarella M. Geology and geochemistry of Jurassic pelagic sediments, *Scisti silicei* Formation, southern Apennines, Italy // Sedimentary geology. 2002. V. 150. P. 229-246.

Fisher G.W. Kyanite-, staurolite- and garnet-bearing schists in the Setters Formation, Maryland Piedmont // Bul. Geol. Soc. Amer. 1971. V. 82. № 1. P. 229-232.

Gallet S., Jahn B., Van Vliet Lanoë B. et al. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust // Earth Planet. Sc. Lett. 1998. V. 156. P. 157-172.

Kovisars L. Geology of a Portion of the North-Central Venezuelan Andes // Geol. Soc. Am. Bull. 1971. V. 82. № 11. P. 3111-3138.

Moore G.E. Structure and metamorphism of the Keene-Brattleboro Area, New Hampshire-Vermont // Geol. Soc. Am. Bull. 1949. V. 60. № 10. P. 1613-1670.

Scotford D.M. Metamorphism and axial-plane folding in the Poundridge area, New York // Geol. Soc. Am. Bull. 1956. V. 67. № 9. P. 1155-1198.

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 доктор геол.-мин. наук В.П. Кривовичев