

УДК 550.4:546.631

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКАНДИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

© 2011 г. Н. А. Григорьев

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

Поступила в редакцию 27.11.2009 г.

Распределение Sc в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова с соавторами. Среднее содержание Sc в верхней части континентальной коры – 0.0015%. Среднее содержание Sc в базитах – 0.0039%. Определено распределение масс Sc в горных породах по участкам с его содержанием: низким ($<0.001\%$), средним ($0.001\text{--}0.002\%$), повышенным ($0.002\text{--}0.004\%$), высоким ($0.004\text{--}0.008\%$) и очень высоким ($>0.008\%$). Распределение масс Sc в разных горных породах по таким участкам в %, соответственно: 0.4–34.4, 4.1–46, 18.6–46.6, 2 – 51.5 и 0–29.8%. Содержание Sc в максиминалах – $\geq 0.3\%$. В максиминалах сконцентрировано $2.1 \cdot 10^{-4}\%$ массы Sc. В том числе: в тортвейтите – $2 \cdot 10^{-4}\%$, в Sc-вольфрамите – $4.5 \cdot 10^{-6}\%$, в Sc-касситерите – $2 \cdot 10^{-6}\%$. Содержание Sc в Sc-богатых минералах – $\geq 0.01\%$. В Sc-богатых минералах сконцентрировано 4.98% массы Sc. В том числе: в Sc-богатых пироксенах – 2.1%, в Sc-богатых гранатах – 1.9%, в Sc-богатых ильменитах – 0.82%, в Sc-богатых цирконах – 0.11%, в Sc-богатых ортитах – 0.05%. Эти величины минимально возможные.

Ключевые слова: скандий, максиминалы, Sc-богатые минералы, содержание, массы, распределение, горные породы, верхняя часть континентальной коры.

Настоящая работа – развитие раздела 11.1.1 монографии автора “Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры” [10]. В расчетах использованы данные о среднем содержании минералов-концентраторов Sc в горных породах, публикуемые в этой монографии.

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ Sc В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Среднее содержание Sc в большинстве горных пород приводится по [9]. В горных породах, являющихся главными концентраторами и носителями Sc, его среднее содержание рассчитано вновь. При расчете не учтены результаты целенаправленного изучения участков с повышенным содержанием Sc, а также данные из публикаций, где осадочные и магматические породы не разделены с продуктами их метаморфизма. Ниже приведены главные источники исходных данных: осадочные породы [26–29, 31, 32, 49, 54, 55, 61, 64, 71], основные вулканогенные породы осадочного слоя [2, 12, 15, 16, 38, 40, 60, 65, 66, 68, 69, 74], базиты и метабазиты гранитно-гнейсового слоя [4, 6, 7, 13, 23, 24, 34, 37, 38, 42, 56, 68], метаморфические породы [3, 7, 18, 19, 25, 33–36, 43, 44, 50–53, 57, 59, 63, 67, 75].

Новое значение среднего содержания Sc в верхней части континентальной коры – 0.015%. Оно, как и прежде – 0.0121% [9], несколько больше значений, публиковавшихся другими исследователями:

0.0053–0.0107% [70]. Приводимые здесь данные о среднем содержании Sc в горных породах подробнее полученных другими авторами. Максимальным средним содержанием Sc характеризуются основные магматические породы и продукты их метаморфизма. В них сконцентрировано 15.96% массы Sc (основные вулканы, базиты и метабазиты – табл. 1). Главные носители Sc – метаморфические породы. В них (включая метабазиты) находится 65.74% массы Sc. Среднее содержание Sc в осадочных породах – 0.0012%. Оно соответствует тому, которое могло быть заимствовано при выветривании гранитно-гнейсового слоя современного состава (0.0012% по расчету изоалюминиевым методом).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Sc В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Основа расчета – частота встреч проб горных пород с разным содержанием Sc. Главные источники данных перечислены выше. Использованы результаты анализов отдельных проб и средние из 2–10 определений. Обобщения результатов больше чем 10 анализов использовались, как правило, лишь при наличии данных, позволяющих приблизительно определить количество проб с разным содержанием Sc. В литературе опубликованы преимущественно средние результаты больше чем 10 определений содержания Sc в горных породах. Поэтому удалось учесть относительно небольшое количество анализов (табл. 2). По характеру распределения Sc можно выделить две крайние группы гор-

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

Горные породы	Масса пород, %	Содержание Sc, %	Доли массы Sc, %
Пески и песчаники	5.11	0.0013	4.55
Глины и глинистые сланцы	10.4	0.0016	11.4
Карбонатные породы	3.85	0.00017	0.45
Кремнистые породы	0.33	0.00045	0.1
Эвапориты	0.26	Н. опр.	Н. опр.
Кислые вулканы	0.44	0.00042	0.13
Средние вулканы	1.13	0.0015	1.16
Основные вулканы	2.11	0.0039	5.64
Граниты	8.21	0.00065	3.66
Гранодиориты	3.38	0.0013	3.01
Базиты	1.5	0.0039	4.01
Сиениты	0.05	0.0003	0.01
Ультрабазиты	0.05	0.0012	0.04
Метапесчаники	2.92	0.0013	2.62
Парагнейсы и парасланцы	30.56	0.0019	39.77
Метаморфизованные карбонатные породы	1.13	0.00017	0.13
Железистые породы	0.38	Н. опр.	Н. опр.
Гранито-гнейсы	23.21	0.001	15.74
Метариолиты	0.66	0.00086	0.39
Метаандезиты	1.03	0.0011	0.78
Метабазиты	3.29	0.0028	6.31
Верхняя часть континентальной коры	100	0.0015	99.9
Осадочные породы	19.95	0.0012	16.5
Вулканы осадочного слоя	3.68	0.0027	6.93
Осадочный слой	23.63	0.0014	23.43
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13.19	0.0012	10.73
Параметаморфические породы	34.99	0.0018	42.52
Ортометаморфические породы	28.19	0.0012	23.22
Гранитно-гнейсовый слой	76.37	0.0015	76.47

Таблица 2. Соотношение масс горных пород с разным содержанием Sc и распределение масс Sc в этих горных породах

Горные породы	Кол-во проб	Доли масс горных пород (%) с различным содержанием Sc					Доли масс Sc (%) в горных породах с его различным содержанием				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Пески, песчаники	229	48	26.2	22.7	3.1	н. обн.	14.2	29	46.6	10.2	н. обн.
Глины и глинистые сланцы	233	25.8	50.2	21.9	1.3	0.9	8.5	46	35.4	4.9	5.2
Парасланцы	535	26.7	41.7	22.1	9.3	0.2	7.9	32.9	33.2	25.2	0.8
Основные вулканы осадочного слоя	674	7	16.5	52.9	16.2	7.4	1	7	41.5	20.7	29.8
Базиты гранитно-гнейсового слоя	716	2.9	10.3	44.4	39.2	3.2	0.4	4.1	35.7	51.5	8.3
Метабазиты	280	22.1	18.2	31.8	17.5	10.4	4.6	7.7	30.3	28.8	28.6
Ортогнейсы	222	64.9	27	7.2	0.5	0.4	34.4	40.6	18.6	2	4.4

Примечание. Содержания Sc (%): I – низкое (<0.001), II – среднее (0.001–0.002), III – повышенное (0.002–0.004), IV – высокое (0.004–0.008), V – очень высокое (>0.008); н. обн. – не обнаружено.

ных пород. Первая группа – песчаные и глинистые породы, а также парасланцы. Больше половины их масс характеризуется содержанием Sc < 0.002%. Около половины масс Sc, находящихся в этих горных породах, сконцентрировано в участках с его содержанием >0.002%. Вторая группа – это магматические породы основного состава. Больше половины их массы характеризуется содержанием Sc < 0.004%. Но больше половины масс Sc, находящихся в базитах, сконцентрировано в участках с содержанием Sc > 0.004%. В остальных изученных горных породах распределение Sc промежуточное.

О МИНЕРАЛЬНОМ БАЛАНСЕ Sc В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Песчаники. Интересны результаты изучения песчаников Тюрингского бассейна в Германии [61], несмотря на недостаточную точность данных минералогического анализа. Опубликованный минеральный состав песчаников в %: кварц – 65–71, ортоклаз – 20–23, микроклин – 9–12, гидромусковит (иллит) – 0.4–1.3, тяжелая фракция – 0.01–0.055. Тяжелая фракции (в порядке уменьшения содержания минералов): “непрозрачные”, цир-

Таблица 3. Минеральный баланс Sc в продуктах выветривания метасоматитов Светлинского золоторудного месторождения [8]

Минералы	Проба 3			Проба 158			Проба 193		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Пирит	н. обн.	н. опр.	н. опр.	н. обн.	н. опр.	н. опр.	10.5	0.0066	12
Кварц	38	0.0002	3	37	0.0003	2	6	н. обн.	0
Рутил	н. обн.	н. опр.	н. опр.	0.4	0.023	2	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Гётит	н. обн.	н. опр.	н. опр.	3	0.019	11	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Сидерит	0.5	0.0071	1	н. обн.	н. опр.	н. опр.	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Циркон	н. обн.	н. опр.	н. опр.	0.036	0.1	1	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Тальк	н. обн.	н. опр.	н. опр.	7	0.0063	9	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Хлорит	н. обн.	н. опр.	н. опр.	н. обн.	н. опр.	н. опр.	3	н. опр.	н. опр.
Мусковит	5	0.0039	6	1	0.0084	2	1	н. опр.	н. опр.
Биотит	7	0.0047	11	н. обн.	н. опр.	н. опр.	50	0.0064	54
Гидрослюда	32	0.0074	79	18	0.0066	24	17	0.0082	24
Монтмориллонит	н. обн.	н. опр.	н. опр.	н. обн.	н. опр.	н. опр.	6	н. обн.	0
Каолинит	17	0.0002	1	33	0.0083	55	7	0.0012	1
В породе	99.5	0.003	101	99.436	0.005	106	99.5	0.0059	91

Примечание. Здесь и в таблицах 4–7: 1 – минеральный состав, %; 2 – содержание Sc в минералах и горных породах, %; 3 – доли массы Sc в минералах и их сумма, %; н. обн. – не обнаружен; н. опр. – не определяли.

Таблица 4. Минеральный баланс Sc в шошоните с острова Стромболи, Италия [58]

Минералы	STR-56			STR-90		
	1	2	3	1	2	3
Оксиды	2	0.0024	3	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Оливин	н. обн.	н. опр.	н. опр.	3.2	0.00086	1
Клинопироксены	4.1	0.012	35	18.6	0.0112	63
Плаггиоклазы	15.6	0.000056	1	14.3	0.00029	1
Основная масса	78.3	0.001	56	63.9	0.0021	41
В шошоните	100	0.0014	95	100	0.0033	106

кон, турмалин, апатит, рутил, анатаз, гранат, монацит, ставролит. Содержание Sc, %: в песчаниках – $7.3 \cdot 10^{-5}$ – $8.4 \cdot 10^{-5}$, в кварце – $8 \cdot 10^{-6}$ – $9.7 \cdot 10^{-6}$, в калиевых полевых шпатах – $1.9 \cdot 10^{-5}$ – $4 \cdot 10^{-5}$, в гидромусковите – 0.0013–0.002, в тяжелой фракции – 0.0092–0.0095. Расчет по этим данным дал следующее распределение массы Sc в %: кварц – 7.1–7.7, калиевые полевые шпаты – 8.8–13.6, гидромусковит – 10.1–27.4, минералы тяжелых фракций – 1.1–6.1. Суммы учтенных долей масс Sc – 32–47.1%. Недостаток учтенных долей масс Sc вероятно является результатом значительной потери, при разделении проб, частиц гидромусковита крупностью <20 мкм.

Первое представление о вероятном минеральном балансе Sc в глинистых породах можно составить только по результатам изучения проб продуктов выветривания метасоматитов из геохимического ореола Светлинского золоторудного месторождения на Южном Урале (табл. 3). Главные минералы-носители Sc здесь – биотит и гидрослюда. Но коэффициенты концентрации Sc в этих минералах не велики. Максимальное содержание Sc – 0.1% установлено в цирконе. В породе, где обнаружен циркон, в нем находится около 1% массы Sc. К главным минералам-концентраторам Sc относятся также ру-

тил и гетит. Но роль их как носителей Sc, в данном случае, не существенна.

Вулканиды основного состава. Изучены только шошониты (табл. 4). Главные минералы-концентраторы – клинопироксены. В наиболее изученных пробах шошонитов коэффициенты концентрации Sc в клинопироксенах – 8.6 и 3.4. В этих минералах сконцентрировано 35–63% масс Sc. Остальной Sc почти весь находится в основной массе.

Гранитоиды изучены на примере проб из Южного Гиссара (табл. 5). Там, где есть роговые обманки, они – главные концентраторы и носители Sc. Содержание Sc в них – 0.014 и 0.015%, коэффициенты концентрации – 8.2 и 16.7. Акцессорные минералы не учтены. Этот недостаток отчасти восполнен результатами анализов минералов из гранитоидов Верхисетского массива [5]. Содержание Sc, %: эпидот – 0.013, роговые обманки (25 проб) – 0.0028–0.016, биотит (31 проба) – 0–0.009, мусковит (4 пробы) – 0–0.0038, гранат – 0.0013, ильменит – 0.0007, титанит – 0.0005, хлорит – 0.0003, магнетит – 0.0002.

На примере базитов гранитно-гнейсового слоя относительно хорошо изучены вариации содержания Sc в природных ассоциациях минералов. Содержание Sc здесь, %: в пироксенах (34 пробы) –

Таблица 5. Минеральный баланс Sc в гранитоидах Южного Гиссара Таджикистан [30]

Минералы	Кварцевый диорит			Гранит			Гранит		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кварц	10	н. опр.	н. опр.	29	н. опр.	н. опр.	32	0.0002	8
Роговая обманка	9	0.014	74	5	0.015	83	н.обн.	н.опр.	н.опр.
Биотит	6	0.0033	12	9	0.0009	9	6	0.0088	66
Полевые шпаты	75	0.0002	9	57	0.0002	13	62	0.0003	23
В гранитоидах	100	0.0017	95	100	0.0009	105	100	0.0008	97

Таблица 6. Роль минералов как носителей Sc в базитах гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Кварцево-биотитовый норит Южно-Калифорнийского батолита. Расчет по данным Е.С. Ларсена [72]			Габбронорит [6]		
	1	2	3	1	2	3
Магнетит	0.5	н. обн.	0	2*	0.0025*	2.3*
Ильменит	1.5	н. обн.	0	2.2	0.0075	7.5
Апатит	н. обн.	н. опр.	н. опр.	3.8	0.00005	0.1
Оливин	н. обн.	н. опр.	н. опр.	6.9	0.002	6.3
Гиперстен	9	0.006	21.6	22.5	0.008**	81.8
Авгит	8	0.012	38.4			
Роговая обманка	3	н. обн.	0	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Биотит	16	0.0015	9.6	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Хлориты	н. обн.	н. опр.	н. опр.	н. обн.	н. опр.	н. опр.
Полевые шпаты и кварц	62	н. обн.	0	59.8	0.00005	1.4
Прочие	н. обн.	н. опр.	н. опр.	2.8	н. опр.	н. опр.
В базитах	100	0.0025	69.6	100	0.0022***	99.4

Примечания: * – Ti-магнетит, ** – ближе не определенные пироксены, *** – анализ габбронорита не выполнялся, содержание Sc в нем рассчитано в предположении, что все остальные приводимые величины не имеют погрешностей.

0.0033–0.025, среднее – 0.01; в роговых обманках (14 проб) – 0.0025–0.0095, среднее – 0.0047; в оливине (32 пробы) – 0.0002–0.0065, среднее – 0.0016; в биотите (9 проб) – 0.0005–0.0035, среднее – 0.0014; в ильмените (31 проба) – 0–0.03, среднее – 0.003 [1, 11, 17, 72, 73]. Наибольшее содержание Sc обычно наблюдается в клинопироксенах. Но не везде есть данные о том, какие пироксены были проанализированы. Поэтому здесь все пироксены рассматриваются совместно. Полноценных данных о вариациях роли минералов как носителей Sc в базитах гранитно-гнейсового слоя нет. Считается, что в базитах до 95% массы Sc сконцентрировано в железо-магнезиальных минералах и ильмените [14,]. Но это не доказано. Есть лишь два неполноценных определения минерального баланса Sc в кварцево-биотитовом норите и габбронорите (табл. 6). Наиболее интересны данные Е.С. Ларсена [72] о распределении Sc в кварцево-биотитовом норите из Южно-Калифорнийского батолита. Исследование выполнено корректно, но с использованием недостаточно чувствительного метода определения содержания Sc в минералах и горных породах. Поэтому сумма учтенных долей масс Sc здесь всего 69.6%. Эта часть массы Sc находится в пироксенах и биотите. Минеральный баланс Sc в габбронорите из неизвестного массива [6] рассчитан не-

корректно. Содержание Sc определили только в минералах. Исходный габбронорит не проанализировали. По расчету, выполненному в предположении об отсутствии погрешностей всех видов анализов, больше половины массы Sc здесь сконцентрировано в пироксенах.

Ультрабазиты. Есть минимум данных, дающих представление о закономерностях вариаций минеральных балансов Sc в некоторых ультрабазитах (преимущественно слабо серпентинизированных). Главные минералы-концентраторы Sc здесь пироксены и особенно – диопсид (табл. 7). Их содержание в ультрабазитах оказывает решающее влияние на минеральный баланс Sc. В гарцбургитах, пироксенитах, перидотитах 75–88% масс Sc сконцентрировано в пироксенах. В амфиболизированных пироксенитах амфиболы характеризуются почти таким же содержанием Sc как и пироксены (табл. 8). Однако, ситуация в группе горных пород, названной ультрабазитами в целом не ясная. А.Б. Роновым с коллегами [39] в составе ультрабазитов учтены и продукты их метаморфизма. Последние здесь преобладают. Они почти не изучены. Но в данном случае это не существенно. Роль ультрабазитов как носителей Sc очень мала (табл. 1).

Таким образом, вариации минеральных балансов Sc в горных породах изучены недостаточно. Имеются эпизодические, как правило, неполные и

не всегда корректные данные о магматических породах, в которых находится всего 17.66 массы Sc. По этим данным, главные носители Sc – **пироксены**, амфиболы и биотит. Главные концентраторы Sc – пироксены.

МАКСИМИНЕРАЛЫ Sc

К максиминералам относятся скандиевые минералы и нескандиевые с содержанием Sc $\geq 0.3\%$ [8]. Из скандиевых минералов в распространенных горных породах количественными минералогическими анализами учтен только **тортвейтит**. Он был встречен в аплитах и лейкократовых гранитах Шиловско-Коневской группы массивов на Урале. Его среднее содержание здесь – $3.7 \cdot 10^{-5}\%$ [22]. Среднее содержание тортвейтита в гранитах вычислено с учетом всех известных автору результатов количественных минералогических анализов этих горных пород. Предполагалось, что если тортвейтит не упомянут, то в изученной пробе его не было. По расчету, среднее содержание тортвейтита в %: в гранитах – $1 \cdot 10^{-7}$, в верхней части континентальной коры – $7.6 \cdot 10^{-9}$. В тортвейтите среднее содержание Sc (по доступным автору данным) – 34.5%. Расчет с учетом этой величины показал, что в гранитах в тортвейтите сконцентрировано 0.005%, массы Sc.

Максимальные величины содержания Sc в нескандиевых минералах, %: флюорит – 0.56, касситерит – 0.9, ильменорутит – 0.67, давидит – 2, кричтонит – 1.2, псевдобрукит – 0.65, торианит – 0.3, колумбит – 3.9, танталит – 1.3, иксиолит – 3.25, самарскит – 0.65, чевкинит – 2.3, магбасит – 1.3, вольфрамит – 1.3 микролит – 3.9, ксенотим – 0.98, крандаллит – 0.52, спессартин – 0.65, циркон – 3.3, гранат – 0.39, ортит – 0.52, перьерит – 2.73, берилл (бацит) – 1.95, турмалин – 0.32, актинолит – 1.3, эденит – 1.1, диопсид – 3.1, эгирин – 3.3, мусковит – 0.3 [6, 11, 41]. Это результаты анализов отдельных проб, отобранных в основном из месторождений и проявлений полезных ископаемых. Систематическое исследование [11] показало, что роль разновидностей с содержанием Sc $\geq 0.3\%$ существенна лишь в касситерите и вольфрамите (табл. 9). Проанализированные образцы этих минералов были отобраны почти исключительно из месторождений и рудопроявлений различных генетических типов. Результаты анализов могут быть использованы здесь для ориентировочных заключений за неимением достаточных данных о минералах из обычных горных пород.

Касситерит. А.С. Дудыкина опубликовала результаты полуколичественных спектральных анализов 271 образца из 64 месторождений СССР. Sc-касситерит составляет 2.6% от всей массы касситерита. Среднее содержание Sc в нем – 0.41%. Среднее содержание касситерита, %: в гранитах –

$1.5 \cdot 10^{-5}$, в гранодиоритах – $4 \cdot 10^{-6}$, в парасланцах и парагнейсах – $5 \cdot 10^{-6}$, в гранитогнейсах – $3.2 \cdot 10^{-8}$, в верхней части континентальной коры – $3 \cdot 10^{-6}$ [10]. Соответственно, среднее содержание Sc-касситерита, %: в гранитах – $3.9 \cdot 10^{-7}$, в гранодиоритах – $1 \cdot 10^{-7}$, в парасланцах и парагнейсах – $1.3 \cdot 10^{-7}$, в гранитогнейсах – $8 \cdot 10^{-10}$, в верхней части континентальной коры – $8 \cdot 10^{-9}$.

Вольфрамит. А.С. Дудыкина опубликовала результаты полуколичественных спектральных анализов 282 образцов из различных месторождений и рудопроявлений России и Казахстана. Sc-вольфрамит составляет 1.4% от всей массы вольфрамита. Среднее содержание Sc в нем – 0.68%. Среднее содержание вольфрамита: в гранитах – $1 \cdot 10^{-5}\%$, в гранодиоритах – $1 \cdot 10^{-7}\%$, в верхней части континентальной коры – $6 \cdot 10^{-6}\%$ [10]. Соответственно, среднее содержание Sc-вольфрамита: в гранитах – $1.4 \cdot 10^{-7}\%$, в гранодиоритах – $1.4 \cdot 10^{-9}\%$, в верхней части континентальной коры – $1 \cdot 10^{-8}\%$.

Расчет по отмеченным выше данным показал, что роль максиминералов как носителей Sc очень мала (табл. 10). Повышенные значения содержания Sc в минералах-концентраторах, варьируют в основном на уровне, который меньше необходимого для максиминералов. Разности минералов с таким уровнем повышенного содержания Sc назовем Sc-богатыми.

Таблица 7. Минеральный баланс Sc в ультрабазитах из Восточного Саяна [45] и с Малого Кавказа [47]

Минералы	Дунит С-193			Гарбургит С-194			Оливиновый пироксенит 143			Перидотит 127			Перидотит 129		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Магнетит	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.
Хромишнели	2	0.0008	2	1	0.001	2	2	н. обн.	3	3.12	н. обн.	0	2.3	н. обн.	0
Оливин	93	0.0007	93	87	0.00041	76	1	н. обн.	н. обн.	16.3	н. обн.	1	44.12	н. обн.	8
Диопсид	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	75	0.0006	н. обн.	47.42	0.012	80	22	0.0052	47.42
Энстатит	4	0.0011	6	12	0.001	26	13	0.014	н. обн.	22.17	0.0027	8	13.26	0.0016	13
Серпентин	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	н. обн.	2	0.0017	н. обн.	11.01	0.001	2	18.32	0.0007	8
В породе	99	0.0007	101	100	0.00047	104	91	0.008	н. обн.	100.02	0.00715	91	100	0.0016	100

Таблица 8. Содержание Sc (%) в минералах безрудных пироксенитов Гусевгорского массива [46]

Минералы	Оливиновые пироксениты			Амфиболизированные и фельдшпатизированные пироксениты		
	количество проб	от–до	среднее	количество проб	от–до	среднее
Пироксены	2	0.015–0.016	0.015	2	0.015–0.016	0.015
Амфиболы	1	–	0.015	8	0.011–0.014	0.013
Полевые шпаты	Н.обн.	Н.опр.	Н.опр.	4	Н.обн–0.016	0.004
Ti-магнетит	3	Сл.–0.013	0.004	2	Н.обн–0.004	0.002
Оливин	2	Н.обн.–сл.	сл.	Н.обн.	Н.опр.	Н.опр.
В породе	28	0.002–0.018	0.011	9	0.00–0.015	0.007

О МИНИМАЛЬНОМ СОДЕРЖАНИИ Sc В Sc-БОГАТЫХ РАЗНОСТЯХ МИНЕРАЛОВ-КОНЦЕНТРАТОРОВ

При определении содержания Sc, минимально-го для Sc-богатых разностей минералов, в качестве эталона выбраны главные концентраторы Sc – базиты гранитно-гнейсового слоя. Здесь на фоне всей ассоциации исследованных минералов резко выделяется часть пироксенов с содержанием $Sc \geq 0.01\%$. В других главных минералах базитов такое содержание Sc встречается редко (табл. 11). Подобная же ситуация установлена в ортогнейсах (табл. 12). Поэтому в качестве Sc-богатых выделены разности минералов с содержанием $Sc \geq 0.01\%$.

Sc-БОГАТЫЕ РАЗНОСТИ МАКСИМИНЕРАЛОВ ЦЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КАК НОСИТЕЛИ Sc

Судя по имеющимся сейчас результатам анализов, интерес представляют Sc-богатые разности цир-

Таблица 9. Результаты полуколичественных и количественных спектральных определений содержания Sc в пробах минералов-концентраторов, взятых преимущественно из различных месторождений и рудопроявлений СССР по [11]

Минералы	Количество проб	Содержание Sc, %		
		от	до	среднее
Вольфрамит**	282	<0.003	1	0.038
Ильменит*	17	<0.003	0.05	0.022
Касситерит**	271	<0.003	0.7	0.02
Ортит**	32	<0.003	0.15	0.018
Берилл**	34	0.003	0.1	0.017
Гранаты**	56	<0.003	0.02	0.011
Циркон **	61	<0.003	0.08	0.009
Пироксены*	139	<0.003	0.03	0.008
Амфиболы*	254	<0.003	0.07	0.007
Титанит*	31	<0.003	0.03	0.004
Турмалин**	124	<0.003	0.06	0.003
Мусковит**	324	<0.003	0.1	0.004
Мусковит*	23	<0.003	0.02	0.002
Биотит*	219	<0.003	0.07	0.002

Примечание. * – пробы отобраны преимущественно из массивов горных пород, ** – пробы отобраны преимущественно из месторождений и рудопроявлений.

кона, ортита, ильменита и аналоги максиминералов углерода – органические вещества. Sc мог бы добываться из них попутно с главными компонентами.

Расчет по данным [11] показал, что, Sc-богатый циркон, представляет 51% всей массы циркона. Среднее содержание Sc в нем – 0.032%. Sc-богатый ортит представляет 31% массы ортита. Среднее содержание Sc в нем – 0.05%. При расчете предполагалось, что эти цифры можно распространять на все горные породы. По расчету, доли массы Sc, находящиеся в горных породах в составе Sc-богатых цирконов, варьируют в основном от 0.08% (в глинистых породах) до 0.4% (в гранитах). Лишь в сиенитах эта доля – 3.7%. В верхней части континентальной коры на Sc-богатый циркон приходится 0.11% массы Sc. Доли массы Sc, находящиеся в горных породах в составе Sc-богатых ортитов варьируют в основном от 0 (в глинистых породах) до 0.19% (в гранитах). Лишь в сиенитах эта доля – 3.8%. В верхней части континентальной коры на Sc-богатый ортит приходится 0.05% массы Sc. Автору известны результаты 47 анализов, образцов ильменита, выделенных преимущественно из базитов и гранитоидов. Главные источники данных [1, 11]. Содержание $Sc \geq 0.01\%$ установлено в 16 пробах (34% изученных проб). Среднее содержание Sc в Sc-богатых ильменитах – 0.019%. Приблизительный расчет выполнен в предположении, что отмеченные параметры характерны для всех горных пород. По расчету, доли массы Sc, находящиеся в горных породах в Sc-богатых ильменитах, варьируют в основном от 0.2% (в глинистых породах) до 2.5% (в гранодиоритах). Лишь в сиенитах эта доля – 8.9%. В верхней части континентальной коры на Sc-богатый ильменит приходится 0.82% массы Sc.

Менее очевидна ситуация со Sc-богатыми разностями органических веществ из осадочных пород. Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис [48] сообщили, со ссылкой на данные С.И. Арбузова с коллегами, о содержании Sc до 0.07% в лигнитах из осадочных пород Западно-Сибирского бассейна. Имеющиеся данные не позволяют определить роль подобных разностей в составе осадочных горных пород. Но есть данные, косвенно свидетельствующие о том, что эта роль может быть заметной.

Таблица 10. Роль максиминералов как носителей Sc в верхней части континентальной коры

Минералы	Среднее содержание Sc в минералах, мас. %	Граниты		Гранодиориты		Верхняя часть континентальной коры	
		содержание минералов, %	доли массы Sc, отн. %	содержание минералов, %	доли массы Sc, отн. %	содержание минералов, %	доли массы Sc, отн. %
Тортвейтит	34.5	$1 \cdot 10^{-7}$	0.005	н. обн.	н. обн.	$8 \cdot 10^{-9}$	0.0002
Sc-касситерит	0.41	$3.9 \cdot 10^{-7}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Sc-вольфрамит	0.68	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-9}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-6}$
Сумма	—	$6.3 \cdot 10^{-7}$	0.0054	$1.01 \cdot 10^{-7}$	$3.7 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{-4}$

Примечание. Доли масс Sc, сконцентрированные в Sc-касситерите, %: в парасланцах и парагнейсах – $2.8 \cdot 10^{-5}$, в гранито-гнейсах – $3.3 \cdot 10^{-7}$.

Пример – результаты анализов глин из бокситовых месторождений Амальгендинской группы [21]. Здесь содержание Sc в бокситах (88 проб) – <0.0005 – 0.037 , среднее – 0.0039% . Это соответствует его содержанию в базитах. В белых, существенно каолиновых глинах, практически не содержащих органических веществ, среднее содержание Sc – 0.0017% (табл. 13). Оно практически соответствует среднему содержанию Sc в глинистых породах. В наиболее богатых тонкодисперсными органическими веществами черных глинах среднее содержание Sc в 10 раз больше. Кажется очевидным, что это обусловлено высоким содержанием Sc в органических веществах.

Sc-БОГАТЫЕ РАЗНОСТИ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ КАК НОСИТЕЛИ Sc

Наибольший интерес представляют **Sc-богатые пироксены базитов гранитно-гнейсового слоя**. Автору доступны результаты количественных и полуколичественных анализов 70 проб пироксенов, выделенных в основном из габброидов. Главные источники данных [11, 73]. Содержание $Sc \geq 0.01\%$ установлено в 29 пробах. То есть, **Sc-богатые пироксены** представляют 41% всей массы пироксенов из базитов гранитно-гнейсового слоя. Среднее содержание Sc в отмеченных Sc-богатых пироксенах – 0.014% . Среднее содержание пироксенов в базитах гранитно-гнейсового слоя – 22.9% [10]. Следовательно, среднее содержание Sc-богатых пироксенов – 9.4% . В соответствии с этими данными, в **Sc-богатых пироксенах** сконцентрировано 33.7% всей массы Sc, имеющейся в базитах гранитно-гнейсового слоя. Это составляет 1.4% той массы Sc, которая имеется в верхней части континентальной коры.

В 40 пробах **авгита из основных вулканитов осадочного слоя** (траппов) содержание Sc, %: <0.005 – 0.02 , среднее – 0.01 [11]. Развертывание этих данных в предположении о логнормальном распределении Sc показало, что в выборке имелось 16 проб с содержанием $Sc \geq 0.01$ – 0.02% . Среднее содержание Sc в них – 0.013% . Таким образом, **Sc-богатые авгиты** составля-

ют 40% всей массы авгитов из основных вулканитов осадочного слоя. Среднее содержание авгита в основных вулканитах осадочного слоя – 14% [10]. Следовательно, среднее содержание Sc-богатых авгитов – 3.8% . В соответствии с этими данными, в Sc-богатых авгитах сконцентрировано 12.7% всей массы Sc, имеющейся в базитах осадочного слоя. Это составляет 0.71% той массы Sc, которая имеется в верхней части континентальной коры. Эта цифра не учитывает наличия в вулканитах других пироксенов. Поэтому она вероятно преуменьшена.

Согласно приведенным данным, в Sc-богатых пироксенах всех базитов сконцентрировано 2.1% той массы Sc, которая имеется в верхней части континентальной коры. Вопрос о роли Sc-богатых пироксенов, имеющих в других горных породах, остается открытым.

Sc-богатые гранаты парагнейсов и парасланцев представляют повышенный интерес в связи с тем, что в этих горных породах находится почти 40% массы Sc. Интерес представляют результаты количественных спектральных анализов проб гранатов и биотитов из парагнейсов и парасланцев СССР [11, 20]. Проанализировано 126 проб биотитов. Во всех пробах содержание Sc $< 0.01\%$. Проанализировано 72 пробы гранатов. Содержание Sc 0.01 – 0.0372% характеризует 38% проанализиро-

Таблица 11. Вариации содержания Sc в важнейших минералах-концентраторах из базитов (по данным количественных анализов с чувствительностью $<0.001\%$ [17, 72, 73])

Содержание Sc в пироксенах, %	Количество проб			
	пироксены	амфиболы	биотиты	оливины
0.014–0.025	2	—		
0.012–0.014	11	—		
0.01–0.012	7	—		
0.008–0.01	6	2		
0.006–0.008	3	1		1
0.004–0.006	3	3		
0.002–0.004	4	8	2	2
0.001–0.002	—	—	3	7
<0.001	—	—	4	19
Всего	36	14	9	29

Таблица 12. Вариации содержания Sc, в минералах из трех проб ортогнейсов Центральной Австралии [62]

Минералы	Количество анализов	Содержание Sc, %	
		от – до	среднее
Клинопироксен	4	0.0174–0.0181	0.018
Роговая обманка	14	0.0064–0.0124	0.0095
Ортит	21	0.004–0.0094	0.0064
Эпидот	6	0.0042–0.0056	0.005
Гранаты	25	0.00057–0.0056	0.0035
Биотит	5	0.00084–0.0024	0.0014
Титанит	24	Н. обн.–0.0006	0.00041
Рутил	10	0.0002–0.00032	0.00024
КПШ*	11	0.000049–0.000011	0.000091
Плагиоклазы	16	0.00003–0.00018	0.000082
Апатит	21	0.000002–0.00053	0.000058
Скаполиты	3	0.000035–0.000041	0.000037
Циркон	15	Н. обн.	

Примечание. * КПШ – калиевые полевые шпаты

Таблица 13. Вариации содержания Sc (%) в глинах бокситовых месторождений Амальгендинской группы в Казахстане по данным [21]

Окраска	Глины преимущественно каолининовые				Глины преимущественно каолининовые с гиббситом			
	количество проб	содержание Sc (%)			количество проб	содержание Sc (%)		
		от	до	Среднее		от	До	Среднее
Белые	26	0.0007	0.0036	0.0017	16	0.0012	0.004	0.0016
Серые*	35	0.0011	0.055	0.0053	13	0.0019	0.017	0.0065
Тёмно-серые	11	0.0023	0.24	0.0083	8	0.0022	0.016	0.0087
Чёрные	28	0.0003	0.11	0.018	16	0.0063	0.1	0.0029

Примечание. * – а также желтые, розовые, сиреневые

ванных проб. Среднее содержание Sc в Sc-богатых гранатах – 0.016%. Среднее содержание альмандина в парагнейсах и парасланцах – 1.5% [10]. Среднее содержание других гранатов очень мало. Поэтому вероятное среднее содержание Sc-богатых гранатов в парагнейсах и парасланцах – 0.57%. Судя по этим данным, в Sc-богатых гранатах сконцентрировано 4.8% всей массы Sc, имеющейся в парагнейсах и парасланцах и 1.9% той массы Sc, которая имеется в верхней части континентальной коры.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Полученные данные – первое приближение к пониманию ситуации со Sc. Все они нуждаются в уточнении и дополнении по мере накопления фактического материала. Величины среднего содержания Sc в глинистых породах и метабазитах возможно преуменьшены. Нуждаются в уточнении данные о распределении масс Sc в горных породах по участкам с разным содержанием этого элемента. Почти с нуля необходимо начинать изучение вариаций минеральных балансов Sc в горных породах. Эпизодические, неполные и не всегда корректные данные характеризуют распределение Sc в минеральных ассоциациях, некоторых магматических пород. Но во всех магматических породах сконцен-

трировано всего 17.66% массы Sc. **Метаморфические** и осадочные породы, где находится 82.22% массы Sc, в этом отношении практически не изучены. Современное представление о роли максиминералов и Sc-богатых разновидностей минералов в качестве носителей Sc, – это лишь первая оценка их минимально возможной величины. Новые исследования, вероятно, изменят наши представления о минералогической геохимии Sc.

ВЫВОДЫ

Среднее содержание Sc в верхней части континентальной коры – 0.0015%. Среднее содержание Sc в базитах 0.0039%. В этих горных породах определено распределение масс Sc по участкам с его содержанием: низким (<0.001%), средним (0.001–0.002%), повышенным (0.002–0.004%), высоким (0.004–0.008%) и очень высоким (>0.008%). Распределение масс Sc в разных горных породах по таким участкам в %, соответственно: 0.2–34.4, 4.1–46, 18.6–46.6, 2–51.5 и 0 29.8.

Содержание Sc в максиминералах – $\geq 0.3\%$. В максиминералах сконцентрировано $2.1 \cdot 10^{-4}\%$ массы Sc. В том числе: в тортвейтите – $2 \cdot 10^{-4}\%$, в Sc-вольфрамите – $4.5 \cdot 10^{-6}\%$, в Sc-касситерите – $2 \cdot 10^{-6}\%$. Содержание Sc в Sc-богатых минералах – $\geq 0.01\%$.

В Sc-богатых минералах сконцентрировано 4.98% массы Sc. В том числе: в Sc-богатых цирконах – 0.11%, в Sc-богатых ортитах – 0.05%, в Sc-богатых ильменитах – 0.82%, в Sc-богатых пироксенах – 2.1%, в Sc-богатых гранатах – 1.9%. Эти величины минимально возможные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова Т.Н. Акцессорные и микроэлементы в минералах габбро-норито-лабрадоритовых пород Украины // Минералогический сборник Львовского государственного университета. 1964. Вып. 2, № 18. С. 235–239.
2. Белоусов В.В., Герасимовский В.И., Горячев А.В. и др. Восточно-Африканская рифтовая система. Т. 3. М.: Наука, 1974. 288 с.
3. Болотов В.И., Иванов А.А. Метаосадочные породы железисто-кремнистых формаций Приимандровского и Аллареченского районов // Геохимия и условия формирования осадочных толщ докембрия Кольского полуострова. Апатиты: Кольский ФАН СССР, 1980. С. 10–20.
4. Борисенко Л.Ф. Скандий. М.: АН СССР, 1961. 130 с.
5. Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М.: Наука, 1976. 339 с.
6. Геологический справочник по сидерофильным и халькофильным редким металлам / В.В. Иванов, О.Е. Юшко-Захарова, Л.Ф. Борисенко, Л.Н. Овчинников. М.: Недра, 1989. 462 с.
7. Геохимия элементов группы железа в эндогенном процессе. Новосибирск: Наука, 1985. 200 с.
8. Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН. 1999. 302 с.
9. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
10. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
11. Дудыкина А.С. К геохимии скандия // Вопросы геохимии. Тр. ИГЕМ. Вып. 46. 1960. С. 3–54.
12. Золотухин В.В. Петрохимические и минералогические особенности магнезиальных траппов бассейна р. Фатьянихи (западная часть Сибирской платформы) // Вопросы генетической петрологии. Новосибирск: Наука, 1981. 132–162.
13. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Томуртого О., Коптева В.В. Офиолиты Западной Монголии // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 7–18.
14. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 5. М.: Недра, 1997. 576 с.
15. Иванов К.П., Иванов К.С., Федоров Ю.Н. Геохимия триасовых вулканитов Западно-Сибирской плиты (на примере Туринской серии) // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 767–790.
16. Кабанова Л.Я. Особенности вещественного состава и геохимии среднепалеозойских вулканогенных комплексов восточной зоны Южного Урала // Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1987. С. 13–27.
17. Красовский В.Ф. Геология и металлогения кристаллического фундамента Белоруссии // Литолого-геохимические и металлогенические исследования глубинных зон Белоруссии. Минск: АН БССР, 1973. С. 7–44.
18. Кременецкий А.А., Лapidус А.В., Скрябин В.Ю. Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. М.: Наука, 1990. 223 с.
19. Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н. Геохимия глубинных пород. М.: Наука, 1986. 262 с.
20. Крылова М.Д., Дагелайский В.Б., Орловская К.В. О закономерностях распределения скандия между минералами метаморфических пород // Геохимия. 1970. № 10. С. 1183–1193.
21. Лавренчук В.Н., Стряпков А.В., Коковин Е.Н. Скандий в бокситах и глинах. Каменск-Уральский: Каменск-Уральская типография, 2004. 290 с.
22. Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза М.: Наука, 1967. 448 с.
23. Магматические горные породы. Основные породы / Е.Д. Андреева, О.А. Богатиков, А.М. Борсук и др. М.: Наука, 1985. 488 с.
24. Магеев В.И. Петрология дунит-пироксенит-габбровой ассоциации Денежкинского массива, Платиноносный пояс Урала. Екатеринбург: Уральская геолого-съемочная экспедиция, 2008. 76 с.
25. 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.
26. Маслов А.В. Безгодовская свита западного склона Среднего Урала: некоторые геохимические характеристики тонкозернистых терригенных пород // Ежегодник-2008. Екатеринбург: Тр. Ин-та геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого. Вып. 156. 2009. С. 150–153.
27. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Ронкин Ю.Л. и др. Пепловые туфы в отложениях сыльвицкой серии верхнего венда (Кваркушко-Каменогорский мегантиклинорий, Средний Урал) // Литосфера. 2006. № 3. С. 45–70.
28. Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. Тонкозернистые терригенные породы рифея и венда Камско-Бельского прогиба: сопоставление основных геохимических характеристик // Литосфера. 2008. № 3. С. 36–49.
29. 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.
30. Мельниченко А.К., Могаровский В.В. Скандий в породообразующих минералах гранитоидов Южного Гиссара (Таджикистан) // Геохимия. 1966. № 4. С. 443–455.
31. Мизенс Г.А. Редкие элементы и особенности источников обломочного материала осадочных формаций девона и карбона в восточных зонах юга Урала // Геохимия. 2009. № 12. С. 1259–1278.
32. 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.
33. Мишкин М.А., Вовна Г.М. Происхождение глубинных метаморфических комплексов раннепротерозойского складчатого обрамления востока Алданского щита // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 2. С. 36–52.
 34. Нарембски В., Майерович А. Офиолиты обрамления глыбы Совьих гор и раннепалеозойские инициалиты Польских Судет // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 86–105.
 35. Петрова З.И., Левицкий В.И. Петрология и геохимия гранулитовых комплексов Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1984. 200 с.
 36. Петрова З.И., Макрыгина В.А. Геохимия гранат-биотитовых и биотитовых плагиогнейсов Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье). Геохимия, № 5.1994. С. 659–670.
 37. Пушкарев Е.В. Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2000. 298 с.
 38. Редкие элементы в формациях изверженных пород. М.: Недра. 1975. 248 с.
 39. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
 40. Сараев С.В., Батурина Т.П., Пономарчук В.А., Травин Л.В. Пермотриасовые вулканы Колтогорско-Уренгойского рифта Западно-Сибирской геосинеклизы // Геология и геофизика 2009. Т. 50, № 1. С. 4–20.
 41. Семенов Е.И. Оруденение и минерализация редких земель, тория и урана (лантанидов и актинидов). М.: ГЕОС, 2001. 307 с.
 42. Семенов И.В. Палео-океанический спредегновый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 362 с.
 43. Слабунов А.И., Богина М.М., Злобин В.Л., Матюков Д.И. Вокшозерская структура Керетского зеленокаменного пояса Беломорского подвижного пояса. Петрология, геохронология метавулканитов и геодинамические следствия // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. 2007. С. 5–15.
 44. Смит Х.С., О'Нил Дж.Р., Эрланк А.Дж. Изотопный состав кислорода минералов и горных пород и характер химического изменения подушечных лав зеленокаменного пояса Барбертон, Южная Африка // Геохимия архея: происхождение и эволюция архейской континентальной коры. М.: Мир, 1987. С. 147–172.
 45. Сутурин А.Н. Геохимия гипербазитов Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1978. 141 с.
 46. Фоминых В.Г., Краева Ю.П. Распределение скандия в породах и рудах Гусевгорского месторождения // Ежегодник-1969. Свердловск: ИГиГ УФАИ СССР. 1970. С. 160–165.
 47. Эфендиев Г.Х., Абдуллаев З.Б., Бабаева З.Э. Скандий в Ультраосновных породах Малого Кавказа (Азербайджанская СССР) // Геохимия. 1966. № 12. С. 1457–1462.
 48. Юдович Ю.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
 49. Armstrong-Altrin J.S., Lee Y.H., Verma S.P., Ramasamy S. Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, Southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting // J. Sedimentary Res. 2004. V. 74, № 2. P. 285–297.
 50. Bolhar R., Kamber B.S., Moorbath S. et al. Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. V. 69, № 6. P. 1555–1573.
 51. Camire G.E., Laflèche M.R., Ludden J.N. Archaean metasedimentary rocks from the northwestern Pontiac Subprovince of the Canadian Shield: chemical characterization, weathering and modeling of the source areas // Precambrian Research. 1993. V. 62. P. 285–305.
 52. 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 // Sediment. Geol. 2001. V. 141–142. P. 443–464.
 53. 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.
 54. Cullers R.L., Stone J. Chemical and mineralogical comparison of the Pennsylvanian Fountain Formation, Colorado, U.S.A. // Lithos. 1991. V. 27. P. 115–131.
 55. Di Leo P., Dinelli E., Mondelli G., Schiattarella M. Geology and geochemistry of Jurassic pelagic sediments, Scisti silicei Formation, southern Apennines, Italy // Sediment. Geol. 2002. V. 150. P. 229–246.
 56. Fairbairn H.W., Ahrens L.N., Gorfinkle L.G. Minor element content of Ontario diabase // Geochim. Cosmochim. Acta. 1953. V. 3, № 1. P. 34–46.
 57. Fedo C.M., Eriksson K.A., Krostad E.J. Geochemistry of shales from the Archean (~3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source-area weathering // Geochim. Cosmochim. Acta. V. 60. № 10. 1996. P. 1751–1763.
 58. Francalanci L. Trace element partition coefficients for minerals in shoshonitic and calc-alkaline rocks from Stromboli Island (Aeolian Arc) // Neues Jahrbuch für Mineralogie. Stuttgart. 1989. B. 160, H. 3. S. 229–247.
 59. Gao S., Ling W., Oiu Y. et al. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic composition of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis // Geochim. Cosmochim. Acta. 1999. V. 63, № 13/14. P. 2071–2088.
 60. Gao Y., Wei R., Hou Z., et al. Eocene High-MgO volcanism in southern Tibet: New constraints for mantle source characteristics and deep processes // Lithos. V.105, № 1–2. 2008. P. 63–72.
 61. Götz J. Geochemistry and provenance of the Alten-dorf feldspathic sandstone in the Middle Bunter of the Thuringian basin (Germany) // Chem. Geol. 1998. V. 150. P. 43–61.
 62. Gregory C.J., Buick I.S., Hermann J., Rubatto D. Mineral-Scale Trace Element and U-Th-Pb Age Constraints on Metamorphism and Melting during the Petermann Orogeny (Central Australia) // J. Petrol. 2009. V. 50, № 2. P. 251–287.
 63. Hofmann A., Bolhar R., Dirks P., Jelsma H. The geochemistry of Archaean shales derived from mafic volcanic sequence, Belingwe greenstone belt, Zimbabwe: provenance, source area unroofing and submarine versus subaerial weathering // Geochim. Cosmochim. Acta, V. 67, № 3. 2003. P. 421–440.

64. Huber H., Koeberl C., McDonald I., Reimold W.U. Geochemistry and Petrology of Witwatersrand and Dwyka diamictites from South Africa: Search for an extra-terrestrial component // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2001. V. 65, № 12. P. 2007–2016.
65. 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.
66. Manikyamba C., Kerrich R., Khanna T.C. et al. Geochemical systematics of komatiite-tholeiite and adakitic-arc basalt associations: The role of a mantle plume and convergent margin in formation of the Sandur superterrane, Dharwar craton, India // *Lithos*. 2008. V. 106, № 1–2. P. 155–172.
67. McLennan S.M., Taylor S.R., Eriksson K.A. Geochemistry of Archean shales from the Pilbara Supergroup, Western Australia // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1983. V. 47. P. 1211–1222.
68. Nockolds S. R., Allen R. Geochemistry of some igneous rocks series-III // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1956. V. 9. P. 34–77.
69. Qi L., Wang Ch.Y., Mei-Fu Zhou. Controls on the PGE distribution of permianemeishan alkaline and peralkaline volcanic rocks in Longzhoushan, Sichuan province, SW China // *Lithos*. 2008. 106, № 3–4. P. 222–236.
70. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust. University of Maryland, College Park, MD, USA. Компьютерная версия. 2002. 64 с.
71. Sambasiva Rao V.V., Sreenivas B., Balaram V., Srinivasan G.R. The nature of the Archean upper crust as revealed by the Proterozoic shales of the Kaladgi basin, Karnataka, southern India // *Precambrian Research*. 1999. V. 98. P. 53–65.
72. Sen N., Nockolds S.R., Allen R. Trace elements in minerals from rocks of the S. California Batholith // *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 16, № 1/3. 1959. P. 58–78.
73. Snyder J.L. Distribution of certain elements in the Duluth complex // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1959. V. 16, № 4. P. 243–277.
74. Viccaro M., Cristofolini R. Nature of mantle heterogeneity and its role in the short-term geochemical and volcanological evolution of Mt. Etna (Italy) // *Lithos*. 2008. V. 105, № 3–4. P. 272–288.
75. Yamachita K., Creaser R.A. Geochemistry and Nd isotopic constraints for the origin of the Late Archean turbidites from the Yellowknife area, Northwest Territories, Canada // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1999. V. 63. P. 2579–2598.

Рецензент Э.Ф. Емлин

Distribution of scandium in the upper continental crust

N. A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Scandium distribution in the upper continental crust has been defined by the model of A.B. Ronov et coauthors. Sc average content in upper continental crust – 0.0015%. Sc average content in basic rocks – 0.0039%. Sc mass distribution in rocks is determined by Sc content in sections: low (<0.001%), average (0.001–0.002%), enriched (0.002–0.004%), high (0.004–0.008%) and very high (>0.008%). Sc mass distribution in such sections corresponds: 0.4–34.4; 4.1–46; 18.6–46.6; 2 – 51.5 and 0–29.8%. Sc content in the maximinerals – $\geq 0.3\%$. $2.1 \cdot 10^{-4}\%$ of masses Sc are concentrated in maximinerals. In particular: in thortveitite are $2 \cdot 10^{-4}\%$, in Sc-wolframite – $4.5 \cdot 10^{-6}\%$, in Sc-cassiterite – $2 \cdot 10^{-6}\%$. Sc content in the Sc-rich minerals is 0.01%. In the Sc-rich minerals is concentrated 4.98% of masses Sc. In particular: in the Sc-rich pyroxenes are 2.1%, in the Sc-rich garnets – 1.9%, in the Sc-rich ilmenites – 0.82%, in the Sc-rich zircons – 0.11%, в in the Sc-rich orthites – 0.05%. These sizes are minimal from possible.

Key words: *scandium, maximinerals, Sc-rich minerals, content, masses, distribution, rocks, upper continental crust.*