

6. Gebelein C.O., Hoffman P. Algal origin laminations in stromatolitic limestones // J. Sedimentary Petrol. 1973. V. 43. N 3. P. 602—613.
7. Guidebook for Carbonates and Evolution of the Earth in the Proterozoic in China. Beijing: Institute of Sedimentary basin of China University of Geosciences. Ed. Meng Xianghua, 2002. 47 p.
8. James N.P., Narbonne G.M., Sherman A.G. Molar-tooth carbonate: shallow subtidal facies of the Mid- to Late Proterozoic // J. Sedimentary Research. 1998. V. 68. N 5. P. 716—722.
9. Long D.G.F. Molar-tooth structures — a historical review // Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. P. 19—20.
10. Meng Xianghua, Ge Ming. The sedimentary features of Proterozoic microspar (Molar-tooth) carbonates in China and their significance // Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. P. 20—22.
11. Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. 79 p.
12. Vasconcelos Cr., McKenzie Ju., Bernasconi St., Grujic D., Tien A. Microbial mediation as a possible mechanism for dolomite formation at low temperatures // Nature. 1995. V. 377. P. 220—222.

Российский государственный университет
нефти и газа имени И.М. Губкина
Рецензенты — С.К. Оникиенко, Л.Н. Липчанская

УДК 550.42:669.793:669.794:552.323.6

И.П. ИЛУПИН, Ю.Ю. ГОЛУБЕВА

СКАНДИЙ И ИТТРИЙ В КИМБЕРЛИТАХ

Как для кимберлитов Сибирской, так и для кимберлитов других провинций (сопоставлены отдельные тела и группы тел) выявлена значимая положительная корреляция между содержаниями Sc и Y, с одной стороны, и содержаниями La, Th, Zr, Nb, Ti и P — с другой. Скандий и иттрий следует рассматривать как закономерные составные части группы литофильных малых и редких элементов, которыми кимберлиты обогащены по сравнению с ультраосновными породами.

Сведения о содержаниях скандия и иттрия приведены во многих публикациях, посвященных рассмотрению геохимии кимберлитов. Однако соотношению этих элементов с другими макро- и микрокомпонентами практически не уделяется внимания. Г.В. Феск с соавторами включил Sc и Y (вместе с Ti, P, Zr, Hf, Nb, Ta, TR) в группу элементов, изучение которых позволяет получить существенную информацию о геохимии кимберлитов [29, с. 709—710]; но в разделе «Межэлементные отношения» [29, с. 722—729] Sc и Y не рассматриваются.

Что касается скандия, вероятно, многие исследователи обратили внимание на авторитетное высказывание [25] об отсутствии признаков близкого геохимического соотношения скандия с самыми тяжелыми TR, а также с Fe^{2+} , Mg^{2+} и другими главными компонентами в изверженных породах. Было отмечено, что геохимия Sc совершенно не похожа на таковые Y и TR: при кристаллизации основной магмы скандий концентрируется в пироксенах, тогда как иттрий и лантаноиды аккумулируются в остаточном расплаве. Л.Ф. Борисенко [2] также отметил прямо противоположный характер распределения Sc и TR в изверженных породах.

Иттрий во всех геологических процессах сопровождается лантаноиды, особенно тяжелые иттриевой группы [5, с. 197], в кимберлитах он рассматривается редко; во многих публикациях, где приведены концентрации TR (в породах и минералах), сведения о содержании иттрия не сообщаются.

При детальном изучении кимберлитов Сибири нами выявлены тесные положительные связи скандия и иттрия с некоторыми породообразующими (Ti, Al, $Fe_{общ.}$, K, P), а также малыми и ред-

кими (Sr, Ba, La, Th, Zr, Nb) элементами. Основой для подсчетов послужили результаты анализов 122 образцов кимберлитов Сибири. Анализы на макрокомпоненты (иногда также на Ba) выполнены в химических лабораториях Якутского геологического управления, НИИ геологии Арктики (ныне ВНИИОкеангео, Санкт-Петербург) и Тульского отделения ЦНИГРИ; анализ на Sc, La, Th, Ba — методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в ЦНИГРИ; анализ на Sr, Y, Zr, Nb, Th — рентгеноспектральным методом во ВСЕГЕИ.

Выборка разделена на 19 групп (объектов), отвечающих кимберлитовым полям Сибирской провинции или их фрагментам. Для каждого из объектов вычислены средние арифметические значения, для этих значений подсчитаны коэффициенты корреляции (табл. 1). Средние содержания Sc варьируют от 10,2 (южная часть Алакитского поля) до 23,4 г/т (дайки Верхне-Моторчунского поля); Y — от 7,8 (группа трубки Искорка Алакитского поля) до 36,8 г/т (те же дайки Верхне-Моторчунского поля). Скандий и иттрий обнаружили значимую положительную корреляцию со всеми рассматриваемыми элементами, значимую отрицательную с величиной отношения $Mg/Fe_{общ.}$.

Концентрации Sc и Y в отдельных образцах показаны на гистограммах (рис. 1, 2). Кимберлиты северной (слабоалмазоносной) части Сибирской провинции отличаются от кимберлитов южной (алмазоносной) ее части повышенными (в среднем) содержаниями Ti, Al, $Fe_{общ.}$, K, P, а также ряда малых и редких элементов — Sr, Ba, TR, Th, Zr, Nb. Особняком стоят кимберлиты Куойского

Коэффициенты корреляции для кимберлитов Сибири (n=19; r_{0,05}=0,456).

Sc	Y	La	Sr	Ba	Th	Zr	Nb	Ti	Al	Fet	Mg/Fe _t	K	P	
1	0,879	0,796	0,695	0,720	0,827	0,853	0,742	0,660	0,703	0,628	-0,770	0,816	0,750	Sc
	1	0,718	0,817	0,793	0,784	0,868	0,725	0,699	0,605	0,575	-0,670	0,841	0,749	Y
		1	0,736	0,710	0,943	0,708	0,858	0,365	0,214	0,504	-0,506	0,454	0,845	La
			1	0,828	0,810	0,659	0,720	0,398	0,264	0,300	-0,512	0,509	0,767	Sr
				1	0,738	0,599	0,816	0,564	0,300	0,396	-0,576	0,582	0,746	Ba
					1	0,740	0,879	0,496	0,291	0,492	-0,550	0,583	0,833	Th
						1	0,587	0,551	0,568	0,584	-0,639	0,724	0,848	Zr
							1	0,593	0,216	0,523	-0,487	0,500	0,744	Nb
								1	0,659	0,777	-0,766	0,838	0,407	Ti
									1	0,458	-0,673	0,835	0,284	Al
										1	-0,839	0,601	0,490	Fe _t
											1	-0,716	-0,613	Mg/Fe _t
												1	0,474	K
													1	P

поля, расположенного на крайнем северо-востоке провинции: они по многим петро- и геохимическим показателям ближе к кимберлитам юга провинции, чем к кимберлитам соседних полей [6]. На рисунках данные для юга и севера Сибирской провинции показаны раздельно. Средние содержания обоих рассматриваемых элементов (Sc и Y) в кимберлитах северной части Сибирской провинции отчетливо выше, чем в кимберлитах юга провинции. Самые низкие содержания скандия (6,0 и 5,5 г/т) и иттрия (4 и 7 г/т) найдены в образцах из трубок Русловая и Муза Куойского поля; кимберлиты этих тел известны крайней обедненностью Ti, P, K, Al, La, Zr, Nb, Sr, Ba [7, с. 52, рис. 21; 8]. Наиболее высокие концентрации скандия найдены в трубке «ан.22а» Нижне-Куонамского поля (31,8 г/т), а также в трубке Полярная Средне-Куонамского поля (27,5 г/т), дайке № 8 Лучаканского поля (27,8 г/т), трубке Улахан-6 Харамайского поля (26,8 г/т). Наиболее обогащены иттрием образцы из даек № 14 (53 г/т) и № 12 (46 г/т) Верхне-Моторчунского поля, из дайки Бортовая Чо-мурдахского поля (46 г/т) и из трубки Полярная Средне-Куонамского поля (42 г/т).

Что касается кимберлитов зарубежных провинций, то положительная зависимость по отдельным образцам из разных кимберлитовых тел Южной Африки показана в [7, рис. 26, с. 61] для пар Sc-La и Y-P. Подсчеты коэффициентов корреляции свидетельствуют, что для этой выборки (33 образца) скандий обнаруживает четкую корреляцию с лантаном (r = 0,721) и слабую (но значимую) с Zr (0,499) и P (0,484). Иттрий отчетливо прямо связан с P (0,688) и Zr (0,686) и слабо с Sr (0,481). Для La помимо корреляции со скандием получена прямая корреляция с P (0,609), Zr (0,514), Nb (0,487), Sr (0,479), K (0,448), Ba (0,422).

Сведения о содержании Sc и Y в кимберлитах других провинций мы заимствовали из литературы. По величинам ионных радиусов скандий и иттрий наиболее близки к тяжелым лантаноидам [5, 25]; поэтому представляется интересным рассмотреть соотношения Sc и Y не только с лантаном, но и (в первую очередь) с тяжелыми TR. В связи с этим мы использовали только те литературные источники, где приведены результаты определения Sc, Y, La, Sm, Yb (табл. 2).

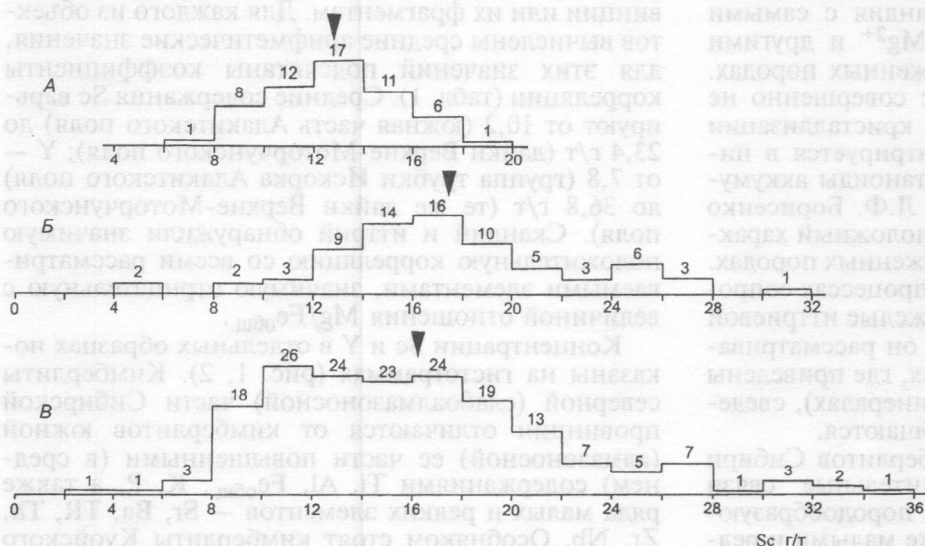
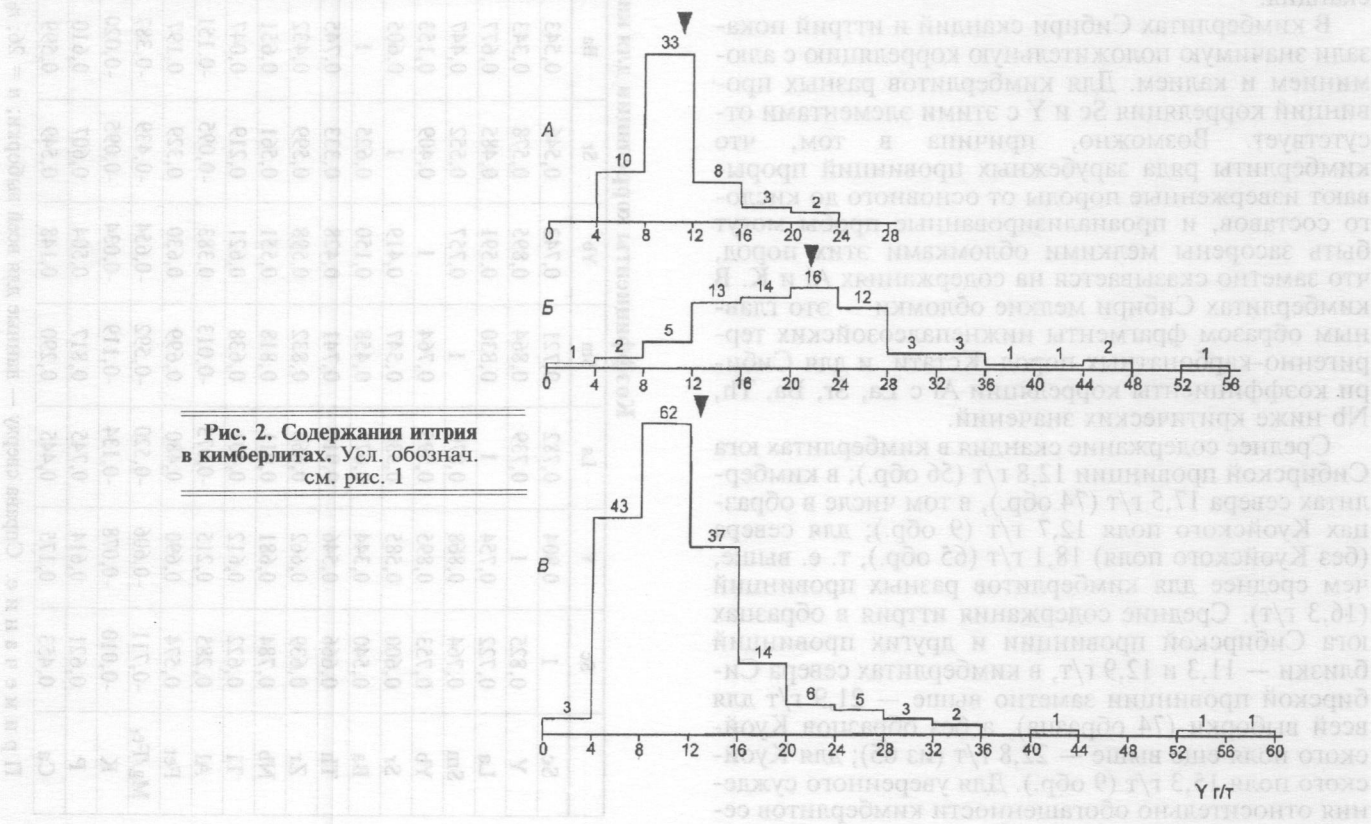


Рис. 1. Содержания скандия в кимберлитах: А — южная часть; В — северная часть Сибирской провинции; В — разные провинции (кроме Сибирской). Цифры над гистограммами — количество образцов, приходящихся на данный интервал, стрелками показаны средние арифметические значения

Содержания Sc, Y, La, Sm и Yb (г/т) в кимберлитах разных провинций

Местонахождение	n	Sc	Y	La	Sm	Yb
Средний Тиман, тр. Водораздельная	2	22,5	20,0	102,6	12,34	1,245
Архангельская провинция, Золотицкое поле	17	9,1	12,0	31,2	3,72	0,731
Архангельская провинция, другие поля	10	22,5	15,6	123,3	11,98	1,421
Архангельская провинция, тр. им. В. Гриба	6	6,3	4,1	28	2,3	0,28
Архангельская провинция, силл Мела	3	16,0	15,3	99,7	8,40	0,930
Финляндия, тр. 1	4	18,5	8,8	164,0	8,29	0,538
Финляндия, тр. 2; 3	6	20,4	14,7	137,2	9,52	0,995
Финляндия, тр. 4; 5; 6	4	13,6	9,0	60,0	4,37	0,672
Финляндия, тр. 9; 10; 14	12	14,8	10,6	101,9	6,70	0,693
Китай, Менгин-1	5	15,6	11,8	168,0	10,80	0,520
Китай, Менгин-2	5	17,3	9,8	188,4	12,60	0,680
Китай, Фуксиан-1	5	25,4	19,0	360,4	18,60	1,320
Китай, Фуксиан-2	12	14,9	11,2	126,6	11,67	1,150
Австралия, трубка Ариес	2	24,5	15,5	251,0	8,74	1,065
Южная Африка, область Кимберли	11	16,4	12,7	128,8	13,24	0,949
Южная Африка, трубка Премьер	15	10,2	8,1	33,7	4,21	0,953
Южная Африка, трубка Финш	16	17,2	9,9	64,7	7,78	0,703
Южная Африка, силы Бенфонтейн	4	25,2	27,0	282,2	40,75	1,580
Сьерра Леоне, дайки	13	14,3	8,7	161,8	13,15	0,638
Сьерра Леоне, трубки	3	13,8	9,3	192,3	16,60	0,637
Бразилия, тр. Трес Ранчос и Лимейра	4	20,0	29,9	310,8	28,20	1,342
Бразилия, тр. Паранатинга	11	12,0	8,0	20,8	2,34	0,676
Канада, Онтарио, район Вава	4	20,5	21,2	156,2	16,98	1,100
Канада, Онтарио, дайка Пиктон	4	22,7	19,5	130,8	10,71	1,305
Канада, Онтарио, дайка Варти Лейк	3	32,4	48,7	385,0	42,13	2,727
Канада, о. Сомерсет, тр. Никос	5	20,2	14,4	135,4	12,38	0,444

Примечание. Кимберлиты Китая разделены на группы следующим образом: Менгин-1 — трубка 701; Менгин-2 — трубки 28 и 6; Фуксиан-1 — трубка 1 и дайки 2, 3, 10, 11; Фуксиан-2 — трубки 30, 42, 50, 51, 110 и дайки 52, 75, 104; n — количество анализов.



По каждому из объектов вычислены средние арифметические значения, для них подсчитаны коэффициенты корреляции (табл. 3). Раздельно вычислены коэффициенты: для всей выборки и после исключения своеобразной трубки Ариес (оригинальные особенности вещественного состава этой трубки рассмотрены в [32]). После отбрасывания данных по трубке Ариес отчетливо увеличились значения некоторых коэффициентов, например, Ti-Nb (от 0,404 до 0,594); Nb-Zr (0,444 — 0,634); Zr-Th (0,465 — 0,564); Nb-Sr (0,392 — 0,561); Nb-Sm (0,637 — 0,818); P-Th (0,558 — 0,678); P-Nb (0,430 — 0,637).

Скандий и иттрий обнаружили значимую положительную корреляцию и с лантаном, и с самарием, и с иттербием. Если для иттрия более сильная корреляция с иттербием (0,895), чем с лантаном (0,739; 0,754), выглядит закономерной, то для скандия несколько неожиданно связи с La, Sm и Yb оказались очень близкими между собой. К этим данным следует отнестись с известной осторожностью: концентрации Yb в кимберлитах очень малы (порядка 1 г/т), и потому при определении Yb возможны более существенные аналитические ошибки, чем при определении La (содержания порядка 50—250 г/т).

Как и при рассмотрении кимберлитов Сибири (табл. 1), для образцов разных провинций обнаружены значимая положительная корреляция Sc и Y со Sr, Th, Zr, Nb, Ti, Fe, P; значимая отрицательная с отношением Mg/Fe. Для Ba найдена значимая корреляция со Sc. Слабая (но значимая) корреляция Ca со Sc, La, Th, P и несколько более сильная со Sr и Ba может быть объяснена присутствием в кимберлитах «карбонатитовой» составляющей, положительно влияющей на содержание в породах скандия.

В кимберлитах Сибири скандий и иттрий показали значимую положительную корреляцию с алюминием и калием. Для кимберлитов разных провинций корреляция Sc и Y с этими элементами отсутствует. Возможно, причина в том, что кимберлиты ряда зарубежных провинций прорывают изверженные породы от основного до кислого составов, и проанализированные пробы могут быть засорены мелкими обломками этих пород, что заметно сказывается на содержаниях Al и K. В кимберлитах Сибири мелкие обломки — это главным образом фрагменты нижнепалеозойских терригенно-карбонатных пород. Кстати, и для Сибири коэффициенты корреляции Al с La, Sr, Ba, Th, Nb ниже критических значений.

Среднее содержание скандия в кимберлитах юга Сибирской провинции 12,8 г/т (56 обр.); в кимберлитах севера 17,5 г/т (74 обр.), в том числе в образцах Куойского поля 12,7 г/т (9 обр.); для севера (без Куойского поля) 18,1 г/т (65 обр.), т. е. выше, чем среднее для кимберлитов разных провинций (16,3 г/т). Средние содержания иттрия в образцах юга Сибирской провинции и других провинций близки — 11,3 и 12,9 г/т, в кимберлитах севера Сибирской провинции заметно выше — 21,9 г/т для всей выборки (74 образца), а без образцов Куойского поля еще выше — 22,8 г/т (из 65); для Куойского поля 15,3 г/т (9 обр.). Для уверенного суждения относительно обогащенности кимберлитов се-

Таблица 3

Коэффициенты корреляции для кимберлитов разных провинций мира (без Сибирской)

	Sc	Y	La	Sm	Yb	Sr	Ba	Th	Zr	Nb	Ti	Al	Fet	Mg/Fe _t	K	P	Ca
Sc	1	0,804	0,782	0,721	0,742	0,546	0,543	0,688	0,579	0,766	0,561	0,318	0,575	-0,723	0,081	0,554	0,412
Y	0,825	1	0,739	0,864	0,895	0,578	0,343	0,512	0,653	0,575	0,603	0,212	0,688	-0,597	-0,070	0,603	0,173
La	0,722	0,754	1	0,830	0,591	0,485	0,677	0,905	0,612	0,860	0,354	-0,029	0,485	-0,538	-0,041	0,681	0,409
Sm	0,764	0,868	0,870	1	0,757	0,552	0,447	0,657	0,832	0,637	0,641	-0,030	0,687	-0,563	-0,143	0,817	0,297
Yb	0,753	0,895	0,595	0,764	1	0,409	0,153	0,414	0,584	0,485	0,606	0,383	0,630	-0,650	-0,016	0,488	0,142
Sr	0,600	0,585	0,530	0,547	0,419	1	0,605	0,258	0,608	0,392	0,236	-0,119	0,314	-0,402	-0,140	0,616	0,556
Ba	0,540	0,344	0,677	0,458	0,150	0,625	1	0,722	0,413	0,590	0,033	-0,131	0,202	-0,395	0,014	0,584	0,584
Th	0,666	0,546	0,910	0,741	0,428	0,333	0,745	1	0,465	0,853	0,255	-0,029	0,372	-0,505	-0,012	0,558	0,430
Zr	0,639	0,662	0,666	0,832	0,598	0,599	0,432	0,564	1	0,444	0,542	-0,098	0,421	-0,370	-0,165	0,884	0,326
Nb	0,784	0,681	0,911	0,818	0,551	0,561	0,651	0,840	0,634	1	0,404	0,069	0,553	-0,623	0,117	0,430	0,283
Ti	0,622	0,612	0,401	0,638	0,621	0,219	0,047	0,340	0,531	0,594	1	0,159	0,798	-0,633	-0,110	0,379	0,004
Al	0,285	0,215	-0,073	-0,013	0,383	-0,095	-0,151	-0,111	-0,070	-0,048	0,198	1	0,213	-0,421	0,249	-0,065	-0,195
Fet	0,574	0,690	0,480	0,699	0,630	0,329	0,197	0,369	0,439	0,609	0,825	0,201	1	-0,748	-0,018	0,383	-0,079
Mg/Fe _t	-0,711	-0,606	-0,520	-0,592	-0,654	-0,439	-0,387	-0,477	-0,410	-0,632	-0,684	-0,398	-0,748	1	0,022	-0,371	-0,389
K	-0,010	-0,078	-0,134	-0,119	-0,034	-0,095	-0,020	-0,175	-0,117	-0,120	-0,052	0,190	-0,054	0,104	1	-0,222	-0,293
P	0,621	0,614	0,745	0,817	0,504	0,607	0,610	0,678	0,881	0,637	0,361	-0,031	0,405	-0,418	-0,169	1	0,434
Ca	0,453	0,175	0,445	0,290	0,148	0,549	0,599	0,508	0,315	0,414	-0,014	-0,177	-0,070	-0,420	-0,272	0,423	1

Примечание. Справа сверху — данные для всей выборки; n = 26; r_{0,05} = 0,388, слева внизу — без трубки Ариес (Австралия); n = 25, r_{0,05} = 0,396.

Содержание Sc (г/т) в минералах кимберлитов и глубинных ксенолитов

Минерал	Кимберлиты Сибири [10]	Кимберлиты Южной Африки [21]	Ксенолиты в базальтах, Гавайи [17]	Ксенолиты в кимберлитах [19]	Ксенолиты в базальтах [19]
Оливин	≈ 10	—	2,3	1,3; 2,0	1,3
Ортопироксен	—	—	15,1	2,6; 4,6	28,7
Клинопироксен	41,5	29,0; 37,7	40,0	38,5; 15,0	91,3
Гранат	99,6	65,4—107,2	79,4	223; 115	—
Хромшпинелиды	11	—	1,6; 2,0	—	—
Слюда	10; 30	—	4,3; 5,2	—	—
Ильменит	27	24,7; 26,4	—	—	—

Примечание. Прочерк — нет данных.

вера Сибирской провинции скандием и иттрием необходимы дополнительные исследования.

Минимальные значения для Sc найдены в одном из образцов трубки Ломоносовская (3,3 г/т) и в одном из образцов трубки Пионерская (5,4 г/т) Золотицкого поля Архангельской провинции [12]. Наибольшая обогащенность скандием выявлена в одном из образцов трубки № 1 провинции Фуксиан (Китай) — 35,8 г/т; в двух образцах из силлов Бенфонтейн (31,4 и 33,2 г/т) и в трех образцах дайки Варти Лейк (31,1; 32,0 и 34,0 г/т). Самые низкие концентрации иттрия — в образце из дайки № 75 (Фуксиан, Китай) 3 г/т) и в двух образцах из трубки Премьер (в обоих по 4 г/т). Максимальные количества иттрия найдены в двух образцах дайки Варти Лейк (53 и 58 г/т) и в одном из образцов силлов Бенфонтейн (44 г/т).

Для получения сведений о содержании скандия и иттрия в глубинных минералах привлечены публикации, посвященные не только кимберлитам, но и глубинным ксенолитам в базальтах.

Концентрации скандия в наиболее распространенных глубинных минералах показаны в табл. 4. В [10] приведены средние данные по нескольким минералам, а для слюды — результаты для двух образцов. В [21, табл. 70А, 70В] отражены средние содержания Sc для клинопироксена и ильменита: из трубки Монастери; из разных трубок Южной Африки; для гранатов средние значения указаны отдельно по оранжевым, красным и фиолетовым разновидностям; в табл. 4 — минимальное и максимальное из этих средних. В [17] рассмотрены минералы глубинных ксенолитов из гавайских базальтов; по данным из этой работы нами подсчитаны средние арифметические для оливина, пироксенов, граната, и приведены значения для двух образцов слюды и двух для хромшпинелида. Р. Хэрвиг с соавторами [19] привели средние значения отдельно для минералов высоко- и низкотемпературных гранатовых лерцолитов из кимберлитов, а также для минералов шпинелевых лерцолитов из базальтов (табл. 4).

Данные разных авторов для одноименных минералов расходятся, но общее то, что из числа глубинных минералов наиболее обогащен скандием гранат, затем — клинопироксен. Гранат и клинопироксен — из числа важнейших глубинных минералов, которые содержат относительно повышенные количества РЗЭ (гранат тяжелых РЗЭ, клинопироксен легких РЗЭ). Из числа редких минералов обогащен скандием (400 г/т) бадделеит [10].

Содержание скандия (г/т) в гранатах кимберлитов растет от оранжево-красных (65—86) к красным (90—96) и к фиолетово-красным (100—124), т. е. с увеличением количества хрома. В ильменитах из кимберлитов Сибири Sc увеличивается (средние данные по фрагментам провинции, г/т) от 18,5 (группа трубки Аэрогеологическая) до 36,8 (Харамайское поле). В этом же направлении повышается и концентрация Та в ильменитах от 65 до 325 г/т [4].

Иттрий концентрируется в тех же минералах, где и TR, т. е. прежде всего в перовските и апатите (вероятно, также в карбонате). Содержание Y в перовските (изучено 2 образца) порядка 700 и 900 г/т, а в крупных желваках апатита от 350 до 800 г/т [9]. Такого же порядка значения показаны для перовскита из скарнов габбро (≈ 800 г/т), для апатита из габбро (550 г/т), апатита из гранита (≈ 800 г/т), но в апатите из пегматита иттрия значительно больше (≈ 7000 г/т) [5, с. 199—200]. Для апатита из глубинных включений в базальтах приведены более низкие значения — от 62 до 334 г/т Y [27]. В составе основной массы трубки Ариес отмечен эшинит, содержащий 0,23 % Y_2O_3 , т. е. около 1800 г/т Y [15].

Содержание иттрия в гранатах из концентратов кимберлитовых трубок Удачная, Дальняя и Геофизическая (Далдынское поле Сибирской провинции) показано на рис. 3. В клинопироксенах глубинных пород количество Y от 0,1 до 30 г/т, редко выше; в ортопироксенах от 0,1 до 1,2 г/т; в оливинах от <0,04 до 0,08 г/т; в хромшпинелидах от <0,01 до ≈ 0,1 г/т; в слюдах от 0,1 до 1,4 г/т; в ильменитах от 0,3 до 1,7 г/т. Таким образом, относительно повышенные концентрации иттрия обнаружены в тех же глубинных минералах, которые обогащены скандием (и редкими землями), — в гранатах и клинопироксенах.

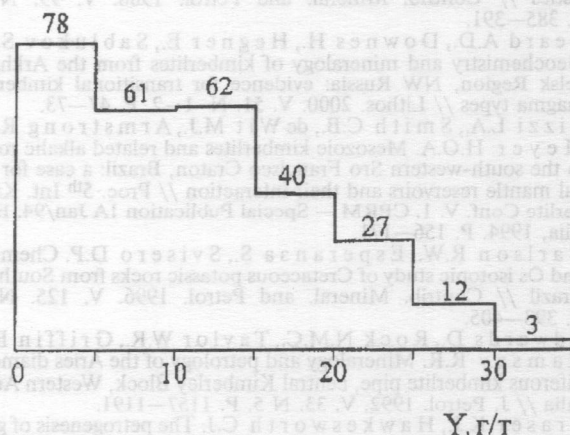


Рис. 3. Содержания иттрия в гранатах из кимберлитов трубок Удачная, Дальняя и Геофизическая, Далдынское поле, Сибирская провинция (по материалам И.П. Илунина, В.Л. Гриффина, Ф.В. Каминского). Цифры над гистограммой — количество образцов, приходящихся на данный интервал

Заключение

Скандий и иттрий — закономерные составляющие группы элементов, которыми кимберлиты обогащены по сравнению с обычными ультраосновными породами [34]. В эту группу входят Ti, K, P, Sr, Ba, лантаноиды, Zr, Nb, Th. Накопление в кимберлитах скандия и иттрия происходит параллельно с концентрированием перечисленных элементов.

Как и в основных изверженных горных породах, клинопироксены кимберлитов (и в еще боль-

шей степени гранаты) обогащены скандием по сравнению с породой в целом, тогда как лантана в гранатах (0,0n — 0,п г/т) и в пироксенах (п г/т) значительно меньше, чем в породе. Однако рассуждение о концентрировании Sc в клинопироксенах (и гранатах) и накоплении Y и лантаноидов в остаточном расплаве (т. е. о резко различном поведении Sc и лантаноидов) к кимберлитам неприменимо в связи с тем, что в отличие от основных изверженных пород в петрогенезисе кимберлитов клинопироксены и гранаты играют незначительную роль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатиков О.А., Кононова В.А., Первов В.А., Журавлев Д.З. Источники, геодинамическая обстановка образования и перспективы алмазности северной окраины Русской плиты: Sr-Nd изотопия и ICP-MS геохимия // Петрология. 2001. Т. 9. № 3. С. 227—241.
2. Борисенко Л.Ф. О характере геохимических связей Sc, Mg, Fe и TR в эндогенных образованиях // Геохимия. 1970. № 7. С. 779—787.
3. Веричев Е.М., Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Журавлев Д.З. Новый тип алмазносных кимберлитов Зимнего берега (Архангельская алмазносная провинция) // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 2. С. 226—229.
4. Генштафт Ю.С., Илупин И.П., Кулигин В.М., Витоженц Г.Ч. Типоморфизм ильменитов глубинных магматических пород // Состав и свойства глубинных пород земной коры и верхней мантии платформ. М.: ИФЗ АН СССР, 1983. С. 95—190.
5. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 1. Геохимия редких элементов. М.: Наука, 1964. 687 с.
6. Илупин И.П. Минералого-геохимические особенности кимберлитов южной и северной частей Сибирской кимберлитовой провинции // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65. В. 1. С. 123—129.
7. Илупин И.П., Ваганов В.И., Прокопчук Б.И. Кимберлиты: Справочник. М.: Недра, 1990. 248 с.
8. Илупин И.П., Кортман Р.В., Николаев Л.И., Симоненко В.Ф. Новые данные о геохимической зональности кимберлитовых полей Якутской провинции // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249. № 2. С. 449—451.
9. Илупин И.П., Хомяков А.П., Балашов Ю.А. Редкие земли в акцессорных минералах кимберлитов Якутии // Докл. АН СССР. 1971. Т. 201. № 5. С. 1214—1217.
10. Маршинцев В.К., Сукнева Л.С. Скандий в минералах и породах кимберлитовых тел Якутии // Геохимия. 1970. № 12. С. 1519—1522.
11. Arima M., Kerrich R. Jurassic kimberlites from Picton and Varty Lake, Ontario: Geochemical and stable isotopic characteristics // Contrib. Mineral. and Petrol. 1988. V. 99. N 3. P. 385—391.
12. Beard A.D., Downes H., Hegner E., Sablukov S.M. Geochemistry and mineralogy of kimberlites from the Arkhangelsk Region, NW Russia: evidence for transitional kimberlite magma types // Lithos. 2000. V. 51. N 1—2. P. 47—73.
13. Bizzi L.A., Smith C.B., de Wit M.J., Armstrong R.A., Meyer H.O.A. Mesozoic kimberlites and related alkalic rocks in the south-western São Francisco Craton, Brazil: a case for local mantle reservoirs and their interaction // Proc. 5th Int. Kimberlite Conf. V. 1. CPRM — Special Publication 1A Jan/94. Brasilia, 1994. P. 156—171.
14. Carlson R.W., Esperanza S., Svisero D.P. Chemical and Os isotopic study of Cretaceous potassic rocks from Southern Brazil // Contrib. Mineral. and Petrol. 1996. V. 125. N 4. P. 393—405.
15. Edwards D., Rock N.M.C., Taylor W.R., Griffin B.J., Ramsay R.R. Mineralogy and petrology of the Aries diamondiferous kimberlite pipe, central Kimberley Block, Western Australia // J. Petrol. 1992. V. 33. N 5. P. 1157—1191.
16. Fraser K.J., Hawkesworth C.J. The petrogenesis of group 2 ultrapotassic kimberlites from Finsch Mine, South Africa // Lithos. 1992. V. 28. N 3—6. P. 327—345.
17. Glassley W.E., Piper D.Z. Cobalt and scandium partitioning versus iron content for crystalline phases in ultramafic nodules // Earth and Planet. Sci. Lett. 1978. V. 39. N 1. P. 173—178.
18. Greenwood J.C., Gibson S.A., Thompson R.N., Weska R.K., Dickin A.P. Cretaceous kimberlites from the Paranatinga-Batovi region, Central Brazil: Geochemical evidence for subcratonic lithospheric mantle heterogeneity // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V. 1. Cape Town, 1999. P. 291—298.
19. Hervig R.L., Smith J.V., Dawson J.B. Lherzolite xenoliths in kimberlites and basalts: petrogenetic and crystallochemical significance of some minor and trace elements in olivine, pyroxenes, garnet and spinel // Trans. Roy. Soc. of Edinburgh: Earth sciences. 1986. V. 77. N 3. P. 181—201.
20. Kaminsky F.V., Sablukov S.M., Sablukova L.I., Shchukin V.S., Canil D. Kimberlites from the Wawa area, Ontario // Can. J. Earth Sci. 2002. V. 39. N 12. P. 1819—1838.
21. Lesotho kimberlites. / Edit. P.H.Nixon // Lesotho National Development Corporation. Maseru, 1973.
22. Mahotkin I.L., Gibson S.A., Thompson R.N., Zhuravlev D.Z., Zherdev P.U. Late Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (proto-kimberlite?) magmatism in the Arkhangelsk Region, NW Russia // J. Petrol. 2000. V. 41. N 2. P. 201—227.
23. Muramatsu Y. Geochemical investigation of kimberlites from the Kimberley area, South Africa // Geochem. J. 1983. V. 17. N 2. P. 71—86.
24. Muramatsu Y., Wedepohl K.H. REE and selected trace elements in kimberlites from the Kimberley area (South Africa) // Chem. Geol. 1985. V. 51. N 34. P. 289—301.
25. Norman J.C., Haskin L.A. The geochemistry of Sc: A comparison to the rare earths and Fe // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1968. V. 32. N 1. P. 93—108.
26. O'Brien H.E., Tyni M. Mineralogy and geochemistry of kimberlites and related rocks from Finland // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V. 2. Cape Town, 1999. P. 625—636.
27. O'Reilly S.Y., Griffin W.L. Apatite in the mantle: implications for metasomatic processes and high heat production in Phanerozoic mantle // Lithos. 2000. V. 53. P. 217—232.
28. Pearson J.M., Taylor W.R. Mineralogy and geochemistry of fenitized alkaline ultrabasic sills of the Gifford Creek Complex, Gascoyne Province, Western Australia // Can. Mineral. 1996. V. 34. N 2. P. 201—219.
29. Fesq H.W., Kable E.J.D., Gurney J.J. Aspects of the geochemistry of kimberlites from the Premier Mine and other selected South African occurrences with particular reference to the rare earth elements // Physics and Chemistry of the Earth. 1975. V. 9. P. 687—707.
30. Schmidberger S.S., Francis D. Constraints on the trace element composition of the Archean mantle root beneath Somerset Island, Arctic Canada // J. Petrol. 2001. V. 42. N 6. P. 1095—1117.
31. Smith C.B., Gurney J.J., Skinner E.M.W., Clement C.R., Ebrahim N. Geochemical character of Southern African kimberlites: A new approach based on isotopic constraints // Trans. Geol. Soc. S. Afr. 1985. V. 88. N 2. P. 267—280.
32. Taylor W.R., Tompkins L.A., Haggerty S.E. Comparative geochemistry of West African kimberlites: Evidence for a micaceous kimberlite endmember of sublithospheric origin // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. N 19. P. 4017—4037.
33. Tompkins L.A., Meyer S.P., Han Z., Hu S., Armstrong R., Taylor W.R. Petrology and geochemistry of kimberlites from Shandong and Liaoning Provinces, China // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V. 2. Cape Town, 1999. P. 872—887.
34. Wedepohl K.H., Muramatsu Y. The chemical compositions of kimberlites compared with the average composition of three basaltic magma types // Proc. 2nd Int. Kimberlite Conf. V. 1. AGU. Washington, 1979. P. 300—312.

ЦНИГРИ
ИГЕМ РАН

Рецензент — В.К. Гаранин