

РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КИАНИТОВЫХ РУДАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА И УРАЛА

© 2013 г. В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов, А. Н. Савичев,

С докембрием связана значительная масса редкоземельных руд в пегматитах, щелочных, редкометалльных гранитах и карбонатитах, содержащих высокие концентрации редких и редкоземельных минералов (РЗМ), которые представляют глубинные, долгоживущие рифтовые щелочные метасоматиты позднего докембрия. На верхний протерозой приходится главный докембрийский максимум РЗМ в крупных месторождениях различных типов, в том числе и кианитовых. В фанерозойских структурах аналогичные месторождения размещаются в докембрийских блоках, пространственно и генетически связанных с наиболее глубинными субмантийными расплавами субщелочных гранитоидов и карбонатитов. Эти ассоциации, как известно, структурно приурочены к зонам длительно развивающихся глубинных разломов рифтогенной природы, где широко развиты месторождения кианитовых кварцитов [4, 7, 12].

Процессам регионального метаморфизма и сопутствующему ему определенному типу магматизма как рудогенерирующему фактору придается все более значительная роль в формировании месторождений, залегающих в глубокометаморфизованных комплексах докембрия. Установление природы происхождения метаморфогенных руд заключается в выявлении генетических связей с тем или иным типом регионального метаморфизма, сопутствующего магматизма и сопровождающих их гидротермально-метасоматических преобразований. Выявлены причины локализации руд в определенных частях кристаллических толщ, установлены зависимости состава и масштабов рудогенеза, показана роль шовных зон, которые в докембрии и на начальной стадии образования палеоокеана представляют собой зоны рифтинга (растяжения). Во время коллизионных преобразований шовные зоны представляют собой высокобарические зоны дислокационного метаморфизма [7, 11, 12].

Среди прометаморфических формаций докембрия развит достаточно широкий спектр месторождений полезных ископаемых (глинозема, марганца, железной руды, золото-урановые и др.). Подавляющее большинство месторождений глиноземистого сырья, связанных с глиноземистыми сланцами осадочного генезиса независимо от возраста (архей или протерозой) залегают в породах, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации. Масштабы их зависят от формационной принадлежности.

В настоящее время выделено [8, 10] две группы продуктивных метаморфогенно-метасоматических пород, обогащенных кианитом: 1) стратифицированные горизонты в толще плагиогнейсов раннеархей и протерозоя, широко проявленные в Карелии и на Кольском п-ове (свита Кейв) – **глиноземистая (кианитовая) формация щитов и древних платформ (метаморфогенный, кейвский тип)**; 2) нестратифицированные метасоматические породы, слагающие внутренние и внешние шовные зоны гнейсовых блоков, полифациальных метаморфических комплексов андалузит-силлиманитового и кианит-силлиманитового термодинамических типов, образующихся по разновозрастным, обычно пелитовым породам, широко проявленные на Урале – **глиноземистая формация складчатых поясов (гидротермально-метасоматический, уральский тип)**.

Для большинства зональных метаморфических комплексов Кольского полуострова, Карелии, Сибири кианит- и силлиманитсодержащие породы слагают определенные зоны метаморфизма и развиваются по постархейским пелитовым толщам. Участки обогащения высокоглиноземистыми минералами приурочены к шовным зонам с активным проявлением метасоматоза и окварцевания, с образованием метаморфогенного, метаморфогенно-метасоматического и метасоматического типов оруденения.

При анализе генезиса месторождений неметаллических полезных ископаемых (кианита, мусковита, талька, керамического сырья, антофиллита, горного хрусталя и т. д.), многие из которых связаны с различными типами гранитоидов, чаще всего не анализируется поведение рудных, редкометалльных, редкоземельных, благородных и радиоактивных элементов. Эти элементы, находясь в виде изоморфных или механических примесей в этих безрудных минералах, характеризуют определенную геологическую обстановку, являясь производным тех ультраметаморфических, магматических, постмагматических и гидротермальных процессов, которые осуществляются с докембрия до фанерозоя.

К.И. Розанов и Д.А. Минеев [13] предполагают, что гранитизация архейских и протерозойских толщ сопровождается миграцией тяжелых лантаноидов в верхние структурные этажи. В ходе гранитизации продукты анатексиса относительно обогащаются легкими лантаноидами. Тяжелые ланта-

ноиды выносятся при процессах ультраметаморфизма. Значительное разделение редкоземельных элементов достигается при щелочно-фторидном метасоматозе, где также тяжелые лантаноиды и иттрий выносятся в зоны эндоконтактов интрузий. Со щелочными и субщелочными гранитоидами докембрия связаны типичные гидротермальные проявления, формирующиеся в условиях различных температур и давлений. Специфическая особенность этих гидротермальных образований – появление в них в значительных количествах минералов редких земель (фторкарбонаты, фосфаты, силикофосфаты), ниобия, ильменита или ильменорутила, молибденита и других сульфидов. С историей развития щелочного магматизма и метасоматизма связана геохимия Nb (Ta), Zr (Hf) и редких земель (TR). Каждому крупному генотипу пород свойственны определенные минеральные парагенезисы, несущие эти элементы. Вхождение их в кристаллические решетки идет на протяжении всего магматического процесса с преимущественным обогащением более поздних фаз на постмагматических этапах.

Большие Кейвы — уникальная провинция высокоглиноземистых кристаллических сланцев докембрия на Кольском полуострове [1, 2, 5, 9]. Уральские месторождения кианита размещаются в гнейсовых толщах докембрийского возраста и весьма схожи с месторождениями свиты Кейв, но уступают им по масштабам проявления [8, 10].

Вмещающие породы кианитовых месторождений Кейв и Урала были проанализированы методом ICP-MS на приборе ELAN 9000 DRC-e ИГГ УрО РАН. Среднестатистические значения содержаний редких, редкоземельных, благородных и радиоактивных элементов приведены в табл. 1 и на рис. 1. Из них видно, что вмещающие породы Кольского полуострова по содержанию ряда элементов превосходят породы Урала. Таковыми являются Li, Be, Ti, Rb, Zr, Nb, Sn, Ba, La, TR(Се-группы), Hf, Ta, Bi, Th. Обусловлено это более масштабными процессами метаморфизма, ультраметаморфизма, широкого развития процессов щелочного магматизма и карбонатитов, создающих редкоземельную специализацию докембрия по отношению к фанерозою.

Сопоставление распределения редкоземельных элементов в породах, вмещающих кианитовые месторождения кейвской серии и уральских месторождений показало, что они имеют однотипную направленность, но в породах Кольского полуострова количество редкоземельных элементов выше (рис. 2). Обусловлено это, по-видимому, более масштабными процессами метаморфизма и щелочного магматизма на Кольском полуострове в докембрии.

Алюмокремниевые метасоматиты глиноземистой формации локализуются в шовных долгоживущих зонах складчатых областей и отчетливо накладываются на метаморфогенные кианитовые руды.

Таблица 1. Статистические параметры содержаний редких, редкоземельных, благородных и радиоактивных элементов во вмещающих породах Кейв и Урала (г/т)

Элементы	Кейвы		Урал	
	Хср	σ	Хср	σ
Li	47.98	50.08	1.14	1.22
Be	1.76	1.51	0.67	0.57
Sc	12.54	6.78	12.01	11.03
Ti	4008.62	3076.77	1961.28	2601.05
V	140.73	102.41	104.86	83.62
Cr	275.55	592.38	296.27	456.47
Mn	666.79	525.04	413	525.82
Co	23.51	30.01	17.12	27.61
Ni	132.02	290.48	112.16	167.01
Cu	11.93	7.55	49.26	64.76
Zn	56.29	31.23	40.05	48.24
Ga	18.59	9.16	7.51	6.96
Ge	1.93	1.11	7.24	6.77
Rb	53.53	45.59	29.52	45.05
Sr	62.11	58.34	83.2	132.65
Y	12.32	4.49	17.28	17.85
Zr	181.5	225.98	34.37	31.22
Nb	9.86	6.75	2.1	2.27
Mo	0.54	0.49	5.53	7.4
Ag	0.54	0.32	0.02	0.02
Cd	0.05	0.05	0.17	0.24
Sn	4.32	3.14	0.64	0.58
Sb	0.28	0.33	0.52	1.05
Te	0.04	0.04	0.13	0.08
Cs	4.27	3.98	0.67	1.05
Ba	285.08	242.38	157.28	189.27
La	37.73	27.42	10.54	8.8
Ce	75.09	55.12	23.2	19.09
Pr	9.2	6.54	3.01	2.57
Nd	33.97	23.75	12.36	10.43
Sm	5.92	3.79	2.66	1.95
Eu	1.24	0.62	0.62	0.51
Gd	6.27	3.53	2.6	1.88
Tb	0.68	0.31	0.43	0.31
Dy	3.58	1.46	2.65	1.95
Ho	0.65	0.25	0.55	0.42
Er	1.71	0.71	1.52	1.18
Tm	0.25	0.12	0.22	0.17
Yb	1.72	0.91	1.36	1.09
Lu	0.27	0.16	0.21	0.17
Hf	5.48	6.47	1.06	0.94
Ta	0.82	0.62	0.11	0.19
W	1.37	1.87	0.86	0.75
Tl	0.7	0.71	0.14	0.16
Pb	13.62	10.96	26.49	46.4
Bi	1.01	1.98	0.2	0.21
Th	11.94	10.6	2.71	1.45
U	2.71	2.53	2.92	1.41

Чем лучше тектонически подготовлен район, тем мощнее и разнообразнее в нем проходили наложенные метасоматические процессы, тем больше они были специализированы в металлогеническом отношении. Образование алюмокремниевых метасоматитов обусловлено химическим воздей-

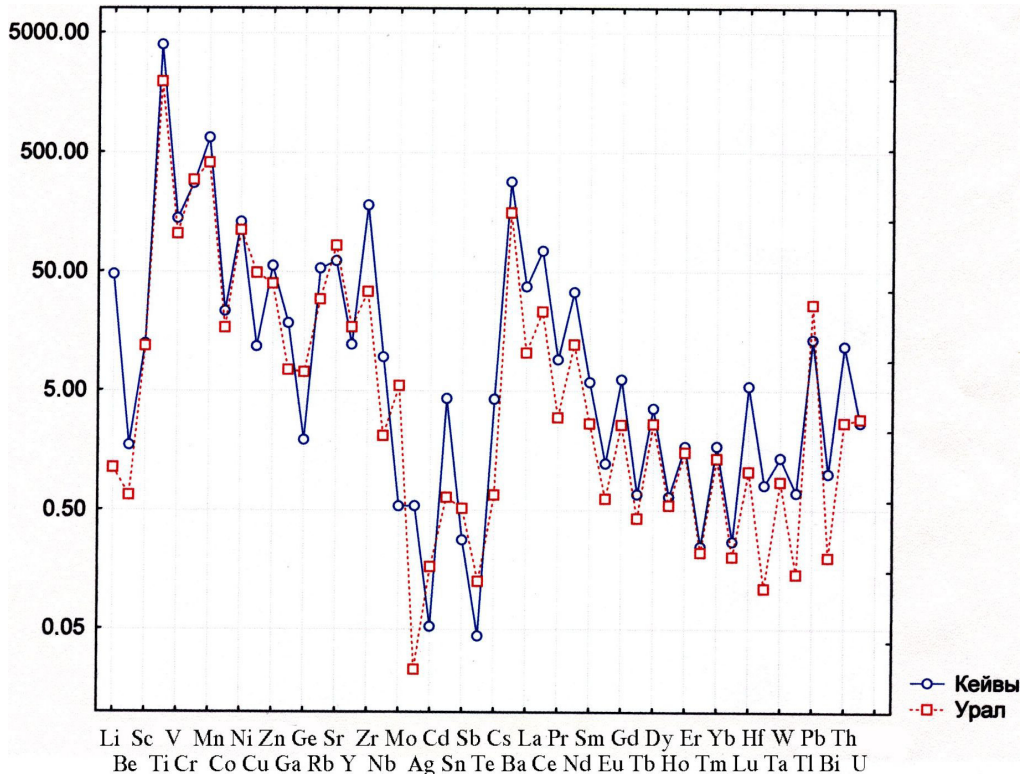


Рис. 1. Поведение средних содержаний редких, редкоземельных, благородных и радиоактивных элементов во вмещающих породах месторождений кианита Кейв и Урала.

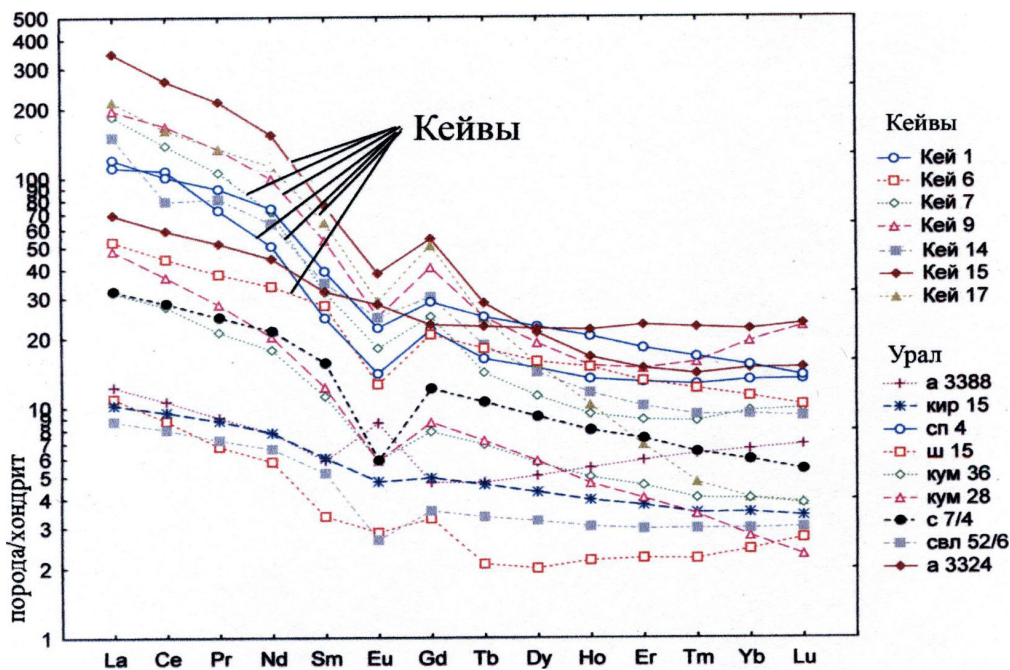


Рис. 2. Поведение редкоземельных элементов нормированных по хондриту во вмещающих породах месторождений кианита кейвской серии и месторождений кианита на Урале.

ствием инфильтрующегося раствора на горные породы, они формируются в широком диапазоне температуры и давления тем интенсивней, чем активнее раствор и выше проницаемость пород. Есте-

ственно, для развития таких метасоматитов наиболее благоприятны зоны пониженных динамических нагрузок, чем и определяется приуроченность их к структурам растяжения, участкам повышенной тре-

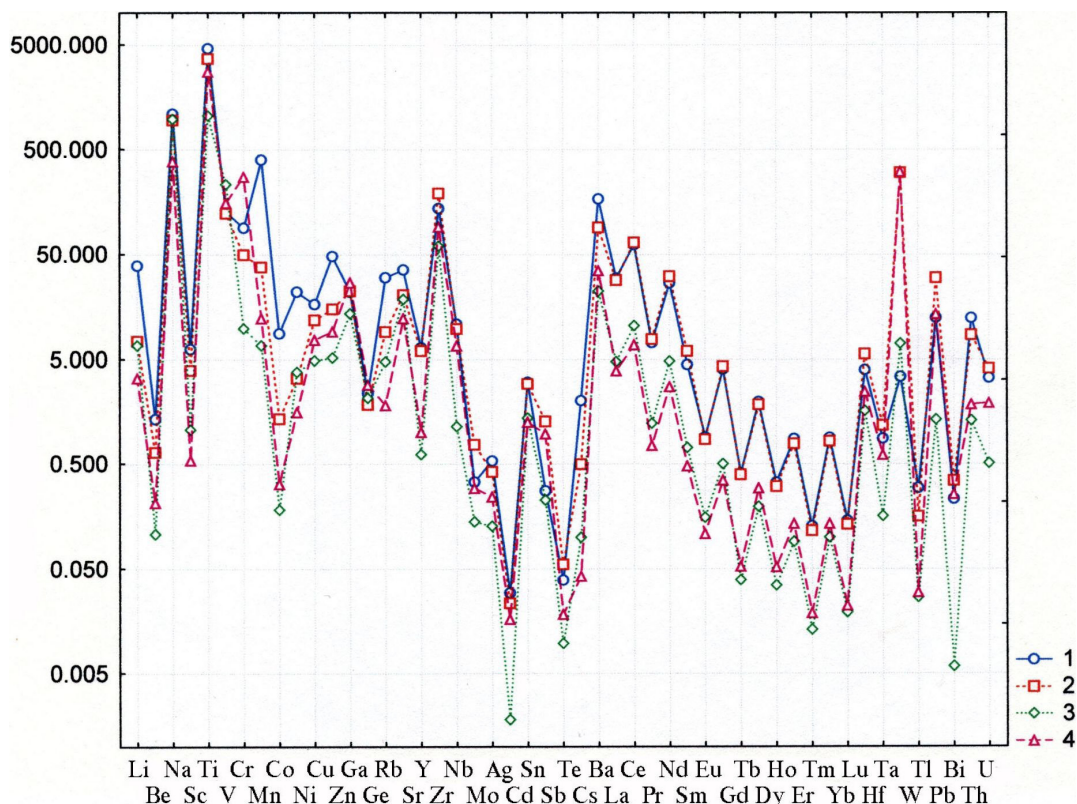


Рис. 3. Поведение среднестатистических содержаний (X_{cp}) редких и редкоземельных элементов в кянитах разных морфогенетических типов Кейв и Урала (1–4).

1 – метаморфогенные; 2 – метасоматические; 3 – оторочки кварцевых жил; 4 – порфиробластические кяниты зон перекристаллизации.

щиноватости и т. д. Соответственно, для возникающих ассоциаций характерны минералы более низкой структурной плотности, в которых алюминий в четверной координации преобладает над алюминием в шестерной координации: силлиманит, андалузит, мусковит и т. д.

Таким образом, образование месторождений высокоглиноземистых минералов связывается с метаморфическими комплексами архейско-протерозойского возраста и метасоматическим преобразованием их во время орогенеза. Метаморфогенно-метасоматический механизм образования кянитовых месторождений создает относительно стратифицированные залежи с крупными запасами, наибольшие из которых сконцентрированы на Кольском п-ове (свита Кейв), Карелии, Сибири и на Урале [8, 10].

Детальное изучение кянитовых месторождений позволило установить полигенность и полихронность кянитовых руд, а также выделить три природных морфогенетических типа руд: метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический и метасоматический, которые различаются минеральным и гранулометрическим составами и характером сростаний кянита с другими минералами [5, 6, 8, 10, 14].

Эти разновидности кянитов были проанализированы методом ICP-MS. Анализируя поведение средних значений редких и редкоземельных элементов в различных морфогенетических типах кянитов Кейв и Урала (табл. 2), установлено, что наиболее высокие содержания РЭ и РЗЭ характерны для метаморфогенных руд; наибольший разброс значений характерен для редкоземельных элементов независимо от региона (рис. 3).

Факторный анализ по программе STATISTICA-7 (метод главных компонент с варимаксным вращением), проведенный по всей совокупной выборке кянитов Кольского полуострова (кейвская серия) и Урала (табл. 3) показал, что наиболее значимый фактор-1 характеризует метаморфогенный тип кянитов, которые образуются в породах докембрийского возраста, в которых широко развиты щелочные магматические плутоны, с которыми связана редкоземельная минерализация. Фактор-1:

$$13.09 \frac{Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U}{-}$$

Фактор-2 характеризует обстановку внедрения щелочных и субщелочных гранитоидов, пегматитов (Li-Be направленности), сопровождаемых процессами альбитизации, грейзенизации, мусковитизации и формирования метаморфогенно-метасоматических

Таблица 2. Сравнение редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в кианитах различных морфогенетических типов Кольского п-ова и Урала (г/т)

	Метаморфические		Метаморфогенно-метасоматические		Метасоматические			
					оторочки кварцевых жил		порфиробласты зон перекристаллизации	
	Хср	σ	Хср	σ	Хср	σ	Хср	σ
Li	39.087	56.000	7.466	21.108	6.767	10.184	3.311	2.297
Be	1.346	1.491	0.645	0.799	0.107	0.059	0.215	0.107
Na	1101.15	454.23	962.926	1276.46	981.170	983.196	387.88	193.84
Sc	6.272	5.486	3.926	5.143	1.065	1.781	0.542	0.599
Ti	4637.06	3263.83	3698.90	2499.24	1055.68	1387.94	2766.47	1997.52
V	127.208	92.512	123.354	112.396	232.814	228.068	154.912	51.319
Cr	89.733	71.085	49.567	78.283	9.825	6.155	277.432	234.93
Mn	400.528	371.024	37.818	108.644	6.797	4.220	12.313	7.499
Co	8.846	7.453	1.353	3.944	0.183	0.091	0.323	0.238
Ni	22.043	13.866	3.306	6.420	3.787	7.669	1.565	1.172
Cu	16.807	10.309	11.874	7.895	4.880	3.486	7.700	4.494
Zn	47.951	30.139	15.095	16.800	5.194	3.848	9.257	6.015
Ga	22.138	11.978	22.541	12.597	13.661	15.738	27.003	9.109
Ge	2.375	1.673	1.839	1.322	2.126	2.006	2.876	1.030
Rb	30.101	43.483	9.198	16.897	4.780	7.419	1.819	3.068
Sr	35.661	31.529	20.665	29.983	18.725	33.899	12.389	14.057
Y	6.506	4.973	6.071	7.018	0.615	0.959	1.013	0.637
Zr	137.392	98.359	192.284	217.559	59.936	125.661	92.188	42.014
Nb	10.885	7.079	9.764	7.866	1.139	2.309	6.787	4.749
Mo	0.337	0.296	0.767	0.710	0.141	0.171	0.295	0.272
Ag	0.533	0.321	0.421	0.358	0.127	0.129	0.243	0.134
Cd	0.029	0.018	0.023	0.052	0.002	0.002	0.017	0.023
Sn	3.043	1.569	2.933	2.534	1.367	1.592	1.267	0.860
Sb	0.277	0.237	1.275	1.200	0.226	0.208	0.976	0.559
Te	0.039	0.026	0.055	0.131	0.010	0.015	0.018	0.028
Cs	2.011	2.658	0.497	1.052	0.100	0.176	0.043	0.040
Ba	169.07	192.074	90.519	156.69	22.35	22.049	35.13	48.80
La	29.817	23.885	28.494	43.747	4.750	6.872	3.920	3.539
Ce	62.139	47.576	65.308	113.261	10.50	16.06	6.919	6.387
Pr	7.235	5.823	7.770	14.430	1.225	2.086	0.755	0.669
Nd	26.699	20.543	30.914	60.518	4.824	8.816	2.755	2.427
Sm	4.487	3.341	6.012	12.194	0.717	1.407	0.477	0.371
Eu	0.906	0.622	0.857	1.228	0.154	0.297	0.108	0.072
Gd	4.041	3.144	4.311	8.844	0.500	1.049	0.349	0.210
Tb	0.403	0.310	0.396	0.683	0.039	0.074	0.053	0.031
Dy	1.969	1.522	1.848	2.737	0.196	0.342	0.296	0.157
Ho	0.333	0.265	0.305	0.397	0.035	0.057	0.052	0.028
Er	0.868	0.703	0.780	0.929	0.091	0.144	0.135	0.071
Tm	0.127	0.105	0.115	0.137	0.013	0.020	0.019	0.010
Yb	0.893	0.734	0.826	1.039	0.099	0.152	0.135	0.097
Lu	0.144	0.119	0.132	0.181	0.019	0.029	0.022	0.015
Hf	3.991	2.859	5.632	6.294	1.600	3.272	2.469	1.008
Ta	0.879	0.539	1.168	1.254	0.159	0.308	0.608	0.327
W	3.430	4.837	302.20	1448.33	7.086	7.487	310.67	666.31
Tl	0.296	0.329	0.158	0.326	0.027	0.030	0.030	0.038
Pb	12.558	7.786	29.890	61.288	1.327	0.975	13.634	7.200
Bi	0.232	0.181	0.345	0.485	0.006	0.006	0.258	0.225
Th	12.439	9.238	8.592	14.170	1.300	1.901	1.858	2.018
U	3.340	1.360	4.123	3.223	0.506	0.654	1.918	0.850

кианитов, представленных радиально-лучистыми, тонко-призматическими разностями:

Фактор-2: 7.9 Li, Be, Na, Sc, Mn, Co, Zn, Rb, Sr, Cs, Ba, Tl

Фактор-3 характеризует обстановку развития гидротермально-метасоматических процессов, сопровождаемых формированием метасоматических кианитовых кварцитов, с кианитом игольчатого об-

Таблица 3. Факторные нагрузки, характеризующие поведение редких и редкоземельных элементов в кианитах месторождений Кольского полуострова и Урала (метод главных компонент с варимаксным вращением)

Элементы	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5
Li	0.02396	*0.640632	-0.032731	0.286093	-0.030892
Be	0.15281	**0.756701	0.291481	0.280706	0.054318
Na	0.08735	*0.591075	0.368909	-0.237860	-0.133997
Sc	0.26547	**0.812358	0.164857	-0.094653	0.182681
Ti	-0.05374	0.131370	0.231870	*0.536645	0.456534
V	-0.16682	-0.056328	-0.216718	*0.502176	-0.024014
Cr	-0.13949	-0.070399	-0.017908	*0.528024	-0.012386
Mn	0.07479	*0.526008	0.001499	*0.587462	0.025950
Co	0.09391	*0.578605	0.020230	*0.594680	0.100571
Ni	0.09863	0.333805	0.004777	0.435340	0.340397
Cu	0.06318	0.375676	*0.516575	0.340655	0.220518
Zn	0.31196	*0.625978	0.143613	0.461192	0.079084
Ga	-0.19276	-0.057190	0.444563	*0.596462	-0.059911
Ge	-0.15670	-0.102358	0.028595	*0.652409	-0.358820
Rb	0.19888	**0.868069	0.168010	0.094582	-0.000559
Sr	0.11869	*0.676062	-0.025605	-0.0365482	-0.017137
Y	**0.78-375	0.325397	0.453399	-0.070731	-0.065860
Zr	0.33093	0.082354	**0.866005	-0.69790	-0.011831
Nb	0.00924	0.104922	**0.783678	0.372629	0.294340
Mo	0.22204	0.162322	0.313626	-0.199406	*0.524493
Ag	0.17414	0.287119	**0.785939	0.244989	0.095255
Cd	0.02837	0.212045	0.129233	0.338036	0.306782
Sn	0.12114	0.161616	**0.785713	0.103719	-0.000994
Sb	-0.09371	-0.372153	0.206611	0.127228	0.411150
Te	0.00393	0.026796	-0.045824	-0.079547	*0.688210
Cs	0.27949	**0.778608	0.190389	0.178476	0.018507
Ba	0.14296	**0.889961	0.065955	-0.059210	0.112689
La	**0.93141	0.091844	0.115094	0.017494	0.136274
Ce	**0.97968	0.038975	0.068523	0.003276	0.075500
Pr	**0.98673	0.026558	0.048701	-0.003315	0.038018
Nd	**0.98655	-0.008178	0.024368	-0.006213	0.014655
Sm	**0.96156	-0.044542	0.013227	-0.010480	-0.023613
Eu	**0.95122	0.140475	0.089888	-0.004491	0.082046
Gd	**0.97384	0.042108	0.073467	-0.014598	-0.067079
Tb	**0.97036	0.130127	0.165935	0.005645	-0.052020
Dy	**0.91182	0.236527	0.283160	-0.006693	-0.043710
Ho	**0.82129	0.338987	0.393694	-0.030474	-0.055223
Er	**0.71305	0.415432	0.483508	-0.048135	-0.068517
Tm	*0.61610	0.437213	*0.556715	-0.071647	-0.092976
Yb	*0.55868	0.420592	*0.607829	-0.098044	-0.115475
Lu	*0.52997	0.415845	*0.620244	-0.117684	-0.130371
Hf	0.35328	0.094652	**0.864889	-0.068568	-0.039511
Ta	-0.02599	-0.046945	*0.563235	0.135286	0.365160
W	-0.01825	-0.123216	0.110796	0.194395	0.117890
Tl	0.25482	**0.712405	0.458553	-0.058884	-0.072935
Pb	0.08376	-0.093126	0.178886	0.293791	0.112365
Bi	0.02509	0.123489	0.101212	0.041970	**0.775716
Th	**0.91523	0.252812	0.076579	0.010123	0.123703
U	*0.50803	0.016294	**0.726630	-0.063180	0.258364

Примечание. * – факторные нагрузки со значением 0.5–0.7, при уровне значимости 0.05; ** – факторные нагрузки со значением >0.7, при уровне значимости 0.01.

лика, образующих радиально-лучистые агрегаты, отложением сульфидов, циркона, тантало-ниобатов и урановой минерализации:

Фактор-3: 7.32 Cu, Zr, Nb, Ag, Sn, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, U.

Фактор-4 характеризует зоны переотложения сидерофильных элементов в зонах кислотного выщелачивания, интенсивной мусковитизации (фукситизации) и перекристаллизации кианитов, с образованием хорошо окристаллизованных, крупно-

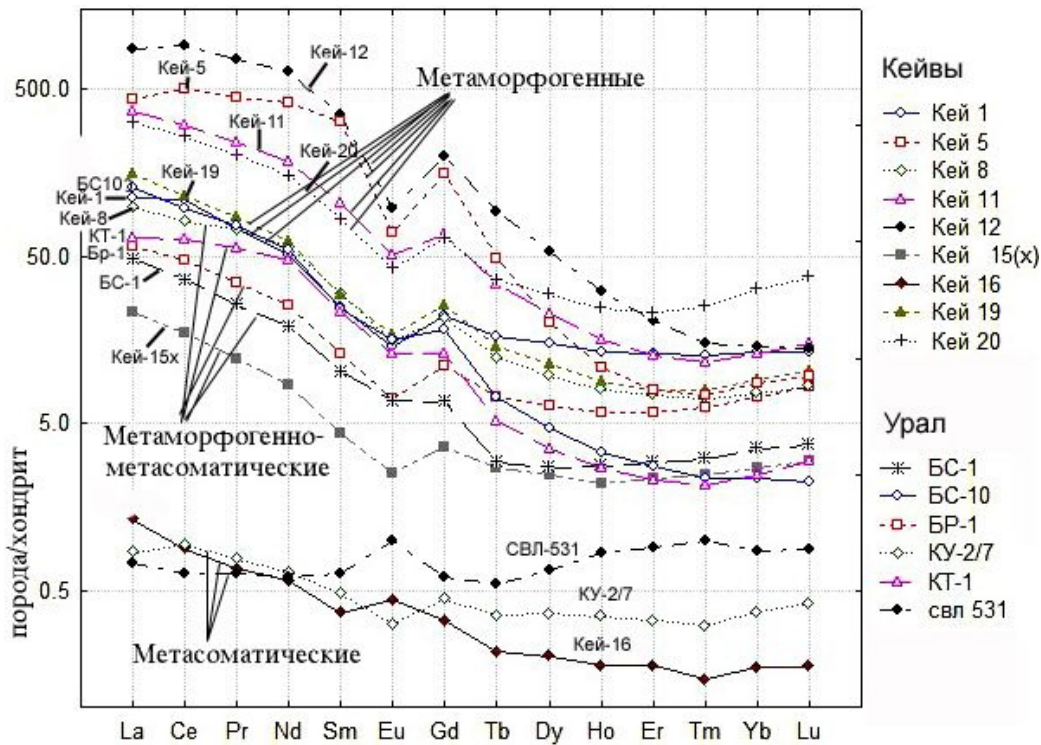


Рис. 4. Содержания редкоземельных элементов, нормированные на хондрит, в кянитах различных морфогенетических типов из месторождений Кейв и Урала.

порфиробластовых кристаллов кянита, с большим количеством включений гематита и иголок рутила, от которых очень сложно избавиться при обогащении.

Фактор-4: $3.8 \frac{Ti, V, Cr, Mn, Co, Ga, Ge}{-}$

Фактор-5 характеризует позднюю стадию образования метасоматического игольчатого кянита, претерпевшего активное расщепление, с образованием сферолитов и конкреций и осаждением висмута, молибдена и телуридов:

Фактор-5: $2.64 \frac{Mo, Bi, Te}{-}$

Факторный анализ показал, что наиболее значимые преобразования пород сопровождаются, прежде всего, резкими изменениями в поведении редкоземельных элементов. Из анализа их содержаний видно, что метаморфогенные кяниты содержат наибольшее количество РЗЭ (рис. 4), а наименьшие содержания характерны для метасоматических кянитов из зальбандов кварцевых жил и порфиробласт кянита зон перекристаллизации

Запасы метасоматического кянита небольшие, поэтому наиболее целесообразно разрабатывать метаморфогенно-метасоматические кяниты, которые содержат примеси в количестве, позволяющие при определенных технологиях обогащения, добывать кянитовое сырье в промышленных масштабах, попутно добывая редкие и редкоземельные элементы. Такой опыт получен на месторождениях Кольского полуострова [5].

В лабораторных условиях из крупноконкреционной руды (метаморфогенно-метасоматический тип) месторождения Новая Шуурурта, кроме кянитового концентрата, получен черновой концентрат редких и редкоземельных элементов. Достигнуто содержание суммы РЗЭ и иттрия 1.62%, редких элементов 0.37%. Концентрирование РЗЭ происходит неравномерно, элементов цериевой группы – в 11–13 раз больше относительно исходной руды, элементов иттриевой группы – от 1.5 до 8 раз. В 13 раз увеличилась и концентрация Th. С учетом минералогических данных предполагается, что основной концентрат РЗЭ цериевой группы и Th – монацит. Таким образом, доказана возможность получения концентрата РЭ и РЗЭ из рядовых конкреционных кянитовых руд.

Результаты химических анализов показали, что в конкреционной кянитовой руде содержание РЗЭ может варьировать от 0.04 до 0.18%. В пересчете на прогнозные ресурсы кянитовых руд до глубины 100 м это дает 11.7 млн. т. [3, 5].

Содержание Sc, Zr, Hf, Th в кянитовой руде (метаморфогенно-метасоматического типа) составляет в сумме 0.23–0.25%, что позволяет оценить их ресурсы в кейвских сланцах в 27–29 млн. т и рассматривать их как новую потенциальную базу редких элементов. Дальнейшие исследования позволят определить минеральные фазы и оценить реальный выход редких элементов при комплексном обогащении кянитовой руды [5].

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интеграционного проекта “Развитие минерально-сырьевой базы России...”, руководитель проекта академик РАН В. А. Коротеев. Частичное финансирование осуществлялось по госбюджетной теме 5.4667.2011(Г-3 УГГУ) “Исследование генетических типов месторождений группы кианита...”, руководитель проф. В.Н. Огородников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 136 с.
2. Бельков И.В. Кианитовые месторождения // Минеральные месторождения Кольского полуострова Л.: Наука, 1981. С. 163–177.
3. Бельков И.В., Истомин А.В., Матвеев Б.А. Экономические предпосылки разработки открытым способом месторождения Н. Шуурурта // Теория и практика работы карьеров Заполярья. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 14–19.
4. Беляев К.Д., Ганеев И.Г., Чайка В.И., Чернов В.Д. Рудные ресурсы и их размещение по геозонам. Редкие металлы: тантал, ниобий, скандий, редкие земли, цирконий, гафний. М.: Недра, 1996. 176 с.
5. Войтеховский Ю.Л. Кианитовые сланцы Б. Кейв – стратегический ресурс России // Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2010. С. 3–21.
6. Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В. Букчина О.В. Особенности вещественного состава и технологические свойства кианитовых руд Хизоварского месторождения // Обогащение руд. 2003. № 6. С. 17–21.
7. Коротеев В. А., Огородников В. Н., Сазонов В. Н и др. Уральские месторождения кианита – перспективная база производства высокоглиноземистых огнеупоров, силумина и алюминия // Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2010.
8. Коротеев В.А., Огородников В.Н., Войтеховский Ю.Л. и др. Небокситовое алюминиевое сырье России. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 228 с.
9. Лутц Б.Г., Минеев Д.А. Парагенетический анализ, геохимия и минералогия метаморфических пород Уфалейского массива на Урале // Редкие элементы в породах различных метаморфических фаций. М.: Наука, 1967. С. 59–104.
10. Огородников В. Н., Коротеев В.А., Войтеховский Ю.Л. и др. Кианитовые руды России. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 334 с.
11. Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минералогия шовных зон Урала. Кочкарский рудный район (Южный Урал). Екатеринбург: УГГГА, 2004. 216 с.
12. Огородников В.Н., Сазонов В. Н., Поленов Ю. А. Минералогия шовных зон Урала. Уфалейский гнейсово-амфиболитовый комплекс (Южный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН-УГГУ, 2007. 187 с.
13. Розанов К.И., Минеев Д.А. Геохимическая характеристика докембрийских гранитоидов Приазовья // Геохимия. 1973. № 2. С. 238–249.
14. Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Д.А. Роль геологических, минералогических и технологических исследований Института геологии КарНЦ РАН в оценке потенциала минерально-сырьевой базы Республики Карелия // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2010. С. 37–55