

Бериллсодержащие редкометалльные пегматиты Шонгуйского месторождения: геологическое положение, петрохимические и геохимические характеристики

Галеева Е.В. , Кудряшов Н.М. 

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, uthg@mail.ru

Аннотация. В работе приведен краткий обзор редкометалльных пегматитов, расположенных на северо-западном продолжении зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья. Описаны геологические, минералогические, петрохимические и геохимические характеристики бериллсодержащих редкометалльных пегматитов Шонгуйского месторождения. Минеральный состав представлен микроклином, альбитом, мусковитом, турмалином, гранатом, апатитом и бериллом. По химическому составу бериллсодержащие пегматиты относятся к субщелочной и щелочной сериям и принадлежат к гранитам S-типа. По геохимическим характеристикам проявлены высокие содержания Be (1–200 ppm), Nb (0.01–10 ppm) и Ta (0.5–100 ppm), а также наблюдается повышенное содержание всех редкоземельных элементов (сумма всех РЗЭ в изучаемых пегматитах 161.526–1414.613 г/т).

Ключевые слова: Бериллсодержащие редкометалльные пегматиты, Шонгуйское месторождение, архейский зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья, Фенноскандинавский щит.

Beryl-bearing rare-metal pegmatites of the Shongui deposit: geological position, petrochemical and geochemical characteristics

Galeeva E.V. , Kudryashov N.M. 

Geological Institute KSC RAS, st., Apatity, uthg@mail.ru

Abstract. The paper provides a brief review of rare-metal pegmatites located on the northwestern extension of the Kolmozero-Voronya greenstone belt. The geological, mineralogical, petrochemical and geochemical characteristics of beryl-containing rare-metal pegmatites of the Shongui deposit are described. The mineral composition is represented by microcline, albite, muscovite, tourmaline, garnet, apatite and beryl. According to the chemical composition, beryl-containing pegmatites belong to the subalkaline and alkaline series and belong to S-type granites. Geochemical characteristics show high contents of Be (1–200 ppm), Nb (0.01–10 ppm) and Ta (0.5–100 ppm), as well as an increased content of all rare earth elements (the sum of all rare earth elements in the studied pegmatites is 161.526 – 1414.613 g/t).

Keywords: Beryl-bearing rare-metal pegmatites, Shongui deposit, The Archean greenstone belt Kolmozero-Voronya, Fennoscandian Shield.

Введение

Редкометалльные пегматиты являются главным источником Li, Cs, Ta, Nb и других редких металлов. Они располагаются на докембрийских щитах, основная масса которых сложена архейскими и протерозойскими породами (Černý, 1991; Редкометалльные пегматиты..., 1997; Tkachev, 2011; McCauley, Bradley, 2014; London, 2018). Известные и самые крупные месторождения LCT (Li, Cs, Ta) пегматитов: Танко в Канаде (Černý, Ferguson, 1972), Кинг-Маунтин в США (Kesler et al., 2012), пегматиты Гринбушес в Западной Австралии (Hatcher, Clynick, 1990; Partington, 1990; Partington et al., 1995), месторождение Коктагайское на Алтае (Анникова и др., 2016).

Редкометалльные пегматиты связаны с гранитами S-типа (Chappell, White, 2001). LCT пегматиты богаты Be, Rb, Ga, Nb, Sn, В, Р и F (London, 2008). Содержания РЗЭ в редкометалльных пегматитах обычно незначительны (Duc-Tin, Keppler, 2015).

Литий-цезий-танталовые пегматиты формируются на синоргенном или анорогенном этапах (Černý, 1992; Černý, Ercit, 2005). Существует несколько гипотез образования редкометалльных пегматитов:

1) Двухэтапная метасоматическая модель (Заварицкий, 1947). В закрытой системе воздействие остаточных флюидов приводит к перекристаллизации породы, близкой по составу к граниту, затем в открытой системе происходит замещение новыми минералами в простых по составу пегматитах;

2) Двухэтапная магматогенно-пневматолито-гидротермальная модель (Cameron et al., 1949; Гинзбург, 1983). На магматогенном этапе формируются простые пегматиты, затем на пневматолито-гидротермальной стадии под воздействием глубинных растворов образуются более сложные по составу пегматиты;

3) Кристаллизация редкометалльных пегматитов происходит в закрытой системе за счет дифференциации гранитной магмы (Küster et al., 2009);

4) Формирование пегматитов из флюидонасыщенных магматических расплавов, которые обогащены редкими элементами (London, 2008);

5) Кристаллизация редкометалльных пегматитов из остаточных гранитных расплавов, обогащенных флюидами, которые понижают температуру, вязкость и плотность расплава, из которого образуются редкометалльные пегматиты (Simmons et al., 2003).

На Фенноскандинавском щите месторождения редкометалльных пегматитов проявлены в Финляндии, Швеции и Карелии. В Кольском регионе месторождения редкометалльных пегматитов расположены в архейском зеленокаменном поясе Колмозеро-Воронья. На северо-востоке пояса это месторождения Охмыльк, Васин-Мыльк и Полмос, в юго-восточной части – Колмозерское месторождение сподуменовых пегматитов (Гинзбург, 1950; Соседко, 1961; Волошин, Пахомовский, 1988, Kudryashov et al., 2020). На северо-западном продолжении пояса Колмозеро-Воронья обнажаются бериллсодержащие пегматитовые жилы Шонгуйского месторождения (Антонюк, 1962, 1968, 1976, Пономарева и др., 2015).

Геологическое положение Шонгуйского месторождения бериллсодержащих пегматитов

Шонгуйское месторождение расположено в северо-западной части Кольского региона вблизи озера Большой Лапоть. Участок сложен сланцеватыми плагиоклазовыми амфиболитами, меланократовыми амфибол-биотитовыми, биотитовыми и двуслюдяными гнейсами, которые прорываются пегматитовыми жилами. Пегматитовых жил на месторождении более 300 и только пять из них бериллоносные. Жилы располагаются в виде кустов и реже поодиночке (рис. 1) (Антонюк, 1962 а; Антонюк, 1968 б; Антонюк, 1976 в).

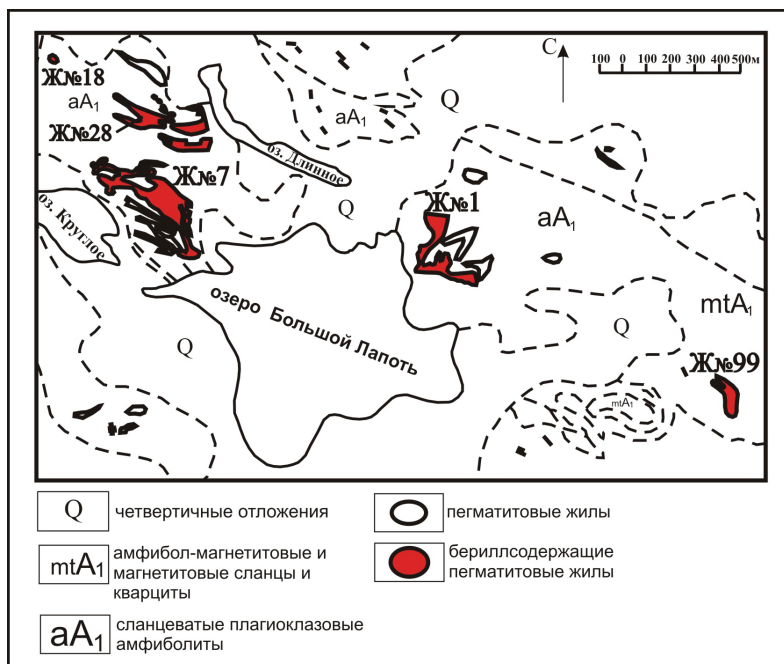


Рис. 1. Схема геологического строения Шонгуйского месторождения бериллсодержащих пегматитов, по (Антонюк, 1968) с правками авторов. Красным отмечены жилы, содержащие берилл.

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the Shongui beryl-bearing pegmatite deposit (Antonyuk, 1968), with changes. Veins containing beryl are marked in red.

Пегматитовые жилы, главным образом, представлены плагиоклаз-микроклиновыми и микроклиновыми породами. Хорошо наблюдается минеральная зональность пегматитовых жил. Центральная часть сложена блоковым микроклином, который сменяется грубозернистыми жилами микроклин-кварцевого состава, а краевая часть представлена недифференцированными жилами равномернозернистого гранит-пегматитового состава. Вблизи пегматитовых жил обнажаются небольшие тела турмалин-мусковитовых гранитов.

Выделяется несколько видов жил по их составу: 1) гранит-пегматитовые жилы; 2) крупнокристаллические полевошпатовые жилы с редкими включениями кварца; 3) жилы, состоящие на 80–90 % крупнокристаллического полевого шпата пегматоидной структуры с обособлениями блокового кварца; 4) гранит-пегматитовые жилы с полевошпатовыми агрегатами пегматоидной структуры и блоковыми агрегатами калиевого полевого шпата с обособлениями кварца; 5) кварц-полевошпатовые агрегаты блоковой структурой (калиевого полевого шпата около 60–70 % общего объема породы) (Антонюк, 1968).

К потенциальным источникам бериллия можно отнести только пять пегматитовых жил. Самые крупные и хорошо обнаженные на поверхность жилы это № 1, № 7 и № 99.

Пегматитовая жила №1 вытянута в субмеридиональном направлении, её длина составляет 67–70 м, ширина 23 м, мощность 1–2 м, она залегает среди биотитовых гнейсов. Жила № 7 вытянута в субширотном направлении, длина 45–47 м, ширина 6 м, мощность ~ 7 м, жила прорывает плагиоамфиболиты. Жила № 99 имеет северо-восточное простирание, её длина ~ 71 м, ширина 18 м, вмещающие породы – гранат-биотитовые и двуслюдяные гнейсы.

Бериллсодержащие пегматитовые жилы имеют мелкую, среднюю и чаще крупнозернистую текстуру. Породообразующие минералы кварц, микроклин и альбит, второстепенными минералами являются мусковит, турмалин (шерл), берилл, гранат (спессартин), минералы группы апатита и группы колумбит-танталита, сподумен и циркон.

В жиле № 7 наблюдается зональность, можно выделить 4 зоны. Центральная (ядерная) зона сложена гигантозернистым блоковым микроклином, затем следует узкая зона среднезернистого кварц-альбитового агрегата с включениями турмалина и берилла, следующая зона представлена мелкозернистым полосчатым аплитовым агрегатом с включениями граната, краевая зона состоит из среднезернистой породы кварц-альбитового состава с мусковитом, турмалином, апатитом и бериллом.

Петрохимическая и геохимическая характеристика бериллсодержащих пегматитов Шонгуйского месторождения

По химическому составу изученные пегматиты относятся к субщелочной и щелочной сериям. На петрохимической диаграмме Петрографического комитета фигуративные точки состава пегматитов из жилы № 7 располагаются в полях щелочных и субщелочных лейкогранитов, гранитов и риодацитов. Фигуративные точки состава образцов из жил № 1 и № 99 занимают поля щелочных гранитов, субщелочных лейкогранитов и риолитов (рис. 2). Полные химические данные приведены в таблице 1.

На основе содержаний редкоземельных элементов в изучаемых пегматитах (табл. 1) были построены диаграммы распределения РЗЭ, нормализованные по составу хондрита и нормализованные по составу верхней коры (рис. 3, рис. 4). На полученных диаграммах видна геохимическая закономерность по увеличению содержания редких элементов в пегматитовых жилах от жилы № 7 к жиле № 99. Отмечается повышенное содержание Be, Nb и Ta и отрицательная Eu аномалия, связанная с фракционированием калий-натриевого полевого шпата (КПШ).

Заключение

Гранитные пегматиты Шонгуйского месторождения относятся к S гранитам и по своим петрохимическим характеристикам принадлежат к гранитам субщелочной и щелочной серий. По классификации петрографического комитета пегматиты отвечают щелочным и субщелочным лейкогранитам, гранитам, риодацитам, щелочным гранитам, субщелочным лейкогранитам и риолитам.

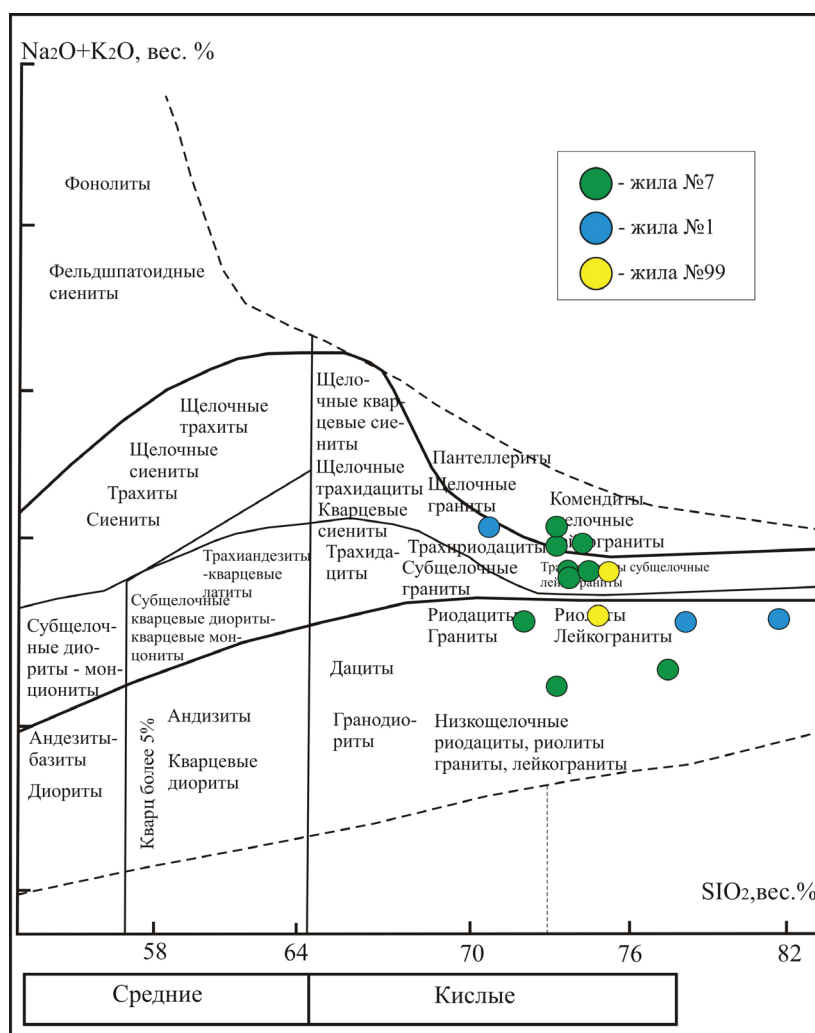


Рис. 2. Положение фигуративных точек состава бериллсодержащих жил (Андреева, 1981; Жданов, 1995).
 Fig. 2. Position of figurative points of composition of beryl-containing veins (Andreeva, 1981; Zhdanov, 1995).

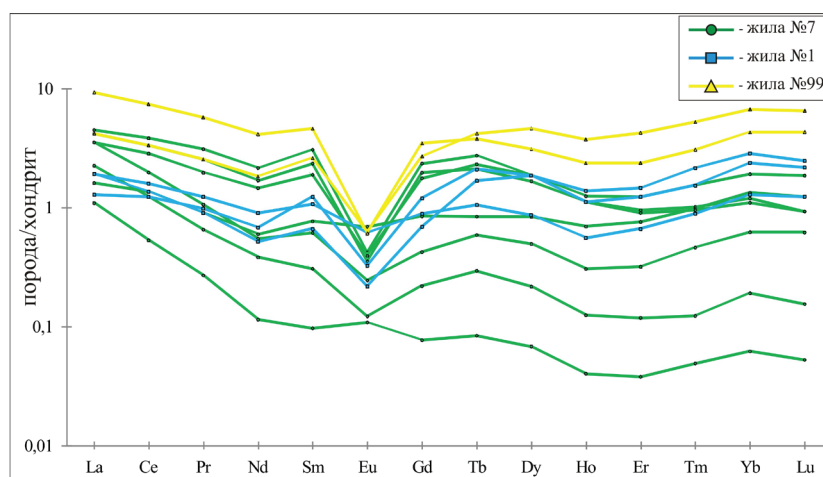


Рис. 3. Распределение РЗЭ в бериллсодержащих жилах, нормализованное по хондриту (Boyton, 1984).
 Fig. 3. REE distribution in beryl-containing veins, normalized to chondrite (Boyton, 1984).

По геохимическим характеристикам для изученных пегматитов характерно значительное обогащение Be (1–200 ppm), Nb (0.01–10 ppm) и Ta (0.5–100 ppm). Также наблюдается заметное обогащение редкоземельными элементами жилы № 99 по сравнению с жилами № 1 и № 7.

Таблица 1. Химический состав и содержания редкоземельных и редких элементов в пегматитах Шонгуйского месторождения
Table 1. Chemical composition and content of rare-earth and rare elements in pegmatites of the Shongui deposit

Оксиды, мас. %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	ШМ-50	ШМ-54	ШМ-56	ШМ-58	ШМ-60	ШМ-62	ШМ-63	ШМ-64	ШМ-71	ШМ-76	ШМ-78	ШМ-7	ШМ-8	ШМ-9
SiO ₂	73.36	74.27	73.35	71.41	72.85	72.85	69.94	78.4	82.45	75.08	74.62	73.96	77.62	72.84
TiO ₂	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.02	0.03
Al ₂ O ₃	14.21	13.7	14.76	16.58	14.42	14.63	16.2	10.5	7.69	11.97	14.22	14.18	11.9	15.67
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.29	0.15	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.16	0.21	0.00	0.49	0.13
FeO	1.89	1.65	1.38	1.52	1.24	1.75	1.58	1.67	1.36	1.64	1.61	1.16	1.73	0.73
MnO	0.06	0.02	0.26	0.06	0.03	0.59	0.51	0.13	0.03	0.29	0.07	0.022	0.22	0.068
MgO	0.21	0.11	0.09	0.32	0.12	0.15	0.11	0.12	0.14	0.16	0.23	0.1	0.05	0.06
CaO	0.55	0.58	0.27	1.34	0.58	0.24	0.43	0.49	0.09	0.64	0.78	0.48	0.31	0.09
Na ₂ O	5.58	5.88	8.45	7.3	5.56	2.27	8.26	4.51	3.45	6.48	7.04	7.79	4.89	9.59
K ₂ O	2.98	2.84	0.28	0.1	3.86	3.35	1.65	2.88	4.01	2.25	0.49	1.68	1.16	0.33
H ₂ O-	0.02	0.06	0	0.13	0.02	0.58	0	0.12	0.02	0.08	0	0	0.03	0.09
H ₂ O+	0.69	0.69	0.42	0.54	0.51	1.87	0.59	0.66	0.49	0.66	0.45	0.22	0.61	0
CO ₂	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	0.11	≤ 0.1	0.14
P ₂ O ₅	0.17	0.24	0.24	0.04	0.22	0.21	0.17	0.26	0.07	0.14	0.08	0.21	0.36	0.21
S _{общ.}	0.02	0	0.03	0.03	0	0.08	0	0.01	0	0	0	0.02	0.04	0.02
F	0.005	0.006	0.026	0.006	0.01	0.099	0.014	0.013	0.005	0.008	0.008	0.005	0.045	0.014
B ₂ O ₃	0.053	0.023	0.077	0.059	0.033	0.017	0.042	0.056	0.058	0.043	0.07	0.011	0.02	0.049
Li ₂ O	0.0065	0.0091	0.1009	0.0108	0.0722	0.497	0.0383	0.0057	0.0037	0.0153	0.0079	0.013	0.084	0.025
Rb ₂ O	0.0144	0.0169	0.003	0.0026	0.0761	0.1001	0.0226	0.0309	0.0378	0.0162	0.0033	0.0089	0.03	0.0046
Cs ₂ O	0.00068	0.00157	0.00288	0.00023	0.00553	0.0105	0.01433	0.00328	0.00203	0.00203	0.00092	≤ 0.001	0.0052	≤ 0.001
BeO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сумма	99.85	100.12	100.07	99.63	99.59	99.45	99.59	99.89	99.94	99.68	99.95	100	99.61	100.09

Продолжение таблицы 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	ШМ-50	ШМ-54	ШМ-56	ШМ-58	ШМ-60	ШМ-62	ШМ-63	ШМ-64	ШМ-71	ШМ-76	ШМ-78	ШМ-7	ШМ-8	ШМ-9
Элементы, г/т														
Li	11	70	700	–	440	–	250	40	23	100	60	40	190	60
Be	3.6	8	450	–	32	–	15	11	6.5	14	11	2.7	140	13
Rb	150	100	14	–	500	–	180	210	240	130	20	80	200	43
Sr	29	40	40	–	50	–	50	50	50	60	60	2.3	26	18
Y	2	2.1	0.12	–	3	–	4	3	1.7	9	5	3	1	0.4
Zr	17	9	11	–	28.9	–	9	14	21.3	20	7	9	74	9
Nb	1.4	8	100	–	20	–	14	20	2	3	0.35	4.1	310	100
Cs	1.1	3.1	0.43	–	2.3	–	1.1	1	1.3	2.7	6	2.7	1.6	1
Ba	19	14	8	–	7	–	7	7	21	17	10	6	11	6
La	0.5	1.4	0.34	–	1.1	–	0.6	0.4	0.6	1.3	2.9	1.3	1.1	0.7
Ce	1.1	3.1	0.43	–	2.3	–	1.1	1	1.3	2.7	6	2.7	1.6	1
Pr	0.11	0.38	0.033	–	0.24	–	0.11	0.12	0.15	0.31	0.7	0.31	0.13	0.08
Nd	0.36	1.3	0.069	–	0.88	–	0.31	0.41	0.54	1.1	2.5	1.02	0.33	0.23
Sm	0.15	0.6	0.019	–	0.37	–	0.13	0.24	0.21	0.51	0.9	0.46	0.12	0.06
Eu	0.051	0.031	0.008	–	0.029	–	0.016	0.024	0.045	0.046	0.045	0.026	0.018	0.009
Gd	0.22	0.61	0.02	–	0.46	–	0.18	0.31	0.23	0.7	0.9	0.51	0.11	0.057
Tb	0.04	0.13	0.004	–	0.11	–	0.08	0.1	0.05	0.2	0.18	0.1	0.028	0.014
Dy	0.27	0.6	0.022	–	0.6	–	0.6	0.6	0.28	1.5	1	0.54	0.16	0.07
Ho	0.05	0.08	0.0029	–	0.09	–	0.1	0.08	0.04	0.27	0.17	0.08	0.022	0.009
Yb	0.28	0.23	0.013	–	0.4	–	0.6	0.5	0.27	1.4	0.9	0.25	0.13	0.04
Lu	0.04	0.03	0.0017	–	0.06	–	0.08	0.07	0.04	0.21	0.14	0.03	0.02	0.005
Hf	0.7	0.7	2	–	1.7	–	0.8	1.4	1.6	1.6	0.52	0.5	8	1.2
Ta	0.4	1	86	–	6.7	–	14	7	0.5	1.1	0.5	0.8	91	43
Th	0.54	3.7	0.9	–	1.7	–	0.59	0.5	1.3	2.2	5	1.8	2.2	0.53
U	1.1	1.5	1.2	–	2.3	–	0.8	1.2	1.8	2.5	1.1	1.3	7	6
Сумма	240.011	269.591	1414.613	–	1102.239	–	550.196	369.954	375.755	373.346	202.805	161.526	1065.568	303.404

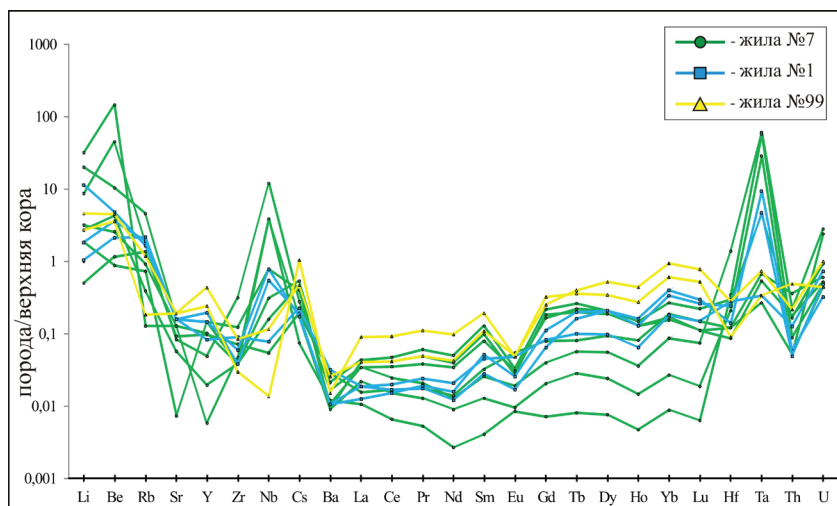


Рис. 4. Распределение РЗЭ в пегматитах, нормализованное по верхней коре (K.Hans, Wedepohl, 1995).

Fig. 4. REE distribution in pegmatites, normalized to the upper crust (K.Hans, Wedepohl, 1995).

Работа выполнена при финансовой поддержки гранта РФФ № 22-27-00589.

Литература

1. Андреева Е.Д., Богатилов О.А., Бородаевская М.Б., Гоньшакова В.И. Классификация и номенклатура магматических горных пород. М.: Недра, 1981. 160 с.
2. Антонюк Е.С. Структурно-минеральные комплексы гранитных пегматитовых жил // Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1962. Вып. 3. С. 134–142.
3. Антонюк Е.С. Некоторые особенности пространственного распределения типов пегматитовых жил в одном из пегматитовых полей С-З части Кольского полуострова // Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1968. Вып. 6. С. 153–161.
4. Антонюк Е.С. Геология и геохимия гранитных пегматитов района озера Большой Лапоть. Л.: Недра, 1976. 237 с.
5. Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Смирнов С.З., Гаврюшкина О.А. Геология и минералогия алахинского месторождения сподуменовых гранит-порфиров (горный Алтай, Россия). Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 5. С. 451–475. <https://doi.org/10.7868/S0016777016050026>.
6. Волошин А.В., Пахомовский Я.А. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л.: Наука, 1988. 240 с.
7. Гинзбург И.В. Предварительный отчет: «Месторождения лепидолито-сподуменовых пегматитов г. Охмыльк-тундра» (район Воронинского погоста АН СССР). ГИ КФАН СССР, 1950. 58 с.
8. Гинзбург А.И. Генезис редкометалльных гранитных пегматитов. Геология и генезис пегматитов. Л.: Наука, 1983. С. 96–112.
9. Жданов В.В., Марковский Б.А., Масайтис В.Л. и др. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования: Утвержден МПК 28 декабря 1994 г. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. 128 с.
10. Заварицкий А.Н. О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами // Записки Всерос. минерал. общества. 1947. № 76(1). С. 37–50.
11. Редкометалльные пегматиты. Гранитные пегматиты / ред. Б.М. Шмакин. Новосибирск: Наука, 1997. Т. 2. 286 с.
12. Пономарева Н.И., Гордиенко В.В., Шурекова Н.С. Физико-химические условия формирования берилла в месторождении «Большой Лапоть» (Кольский полуостров). Изд-во: Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Вып. 3, 2015. С. 4–20.
13. Соседко А.Ф. Материалы по геологии и геохимии гранитных пегматитов. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 152 с.
14. Производственный отчет «Месторождение лития Полмостундра». Фонды МГРЭ. 1994.
15. Cameron E.N., Jahns R.H., McNair A.H., Page L.R. Internal structure of granitic pegmatites. Econ. Geol. Mon. 1949. V. 2. 115 p.
16. Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Rare earth element geochemistry. Henderson, P. (Editors), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 1984. P. 63–114.

17. Cameron E.N., Jahns R.H., McNair A.H. Page L.R. Internal structure of granitic pegmatites. *Econ. Geol. Mon.* 1949. V. 2. 115 p.
18. Černý P., Ferguson R.B. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. IV. Petalite and spodumene relations. *Canad. Miner.* 1972. No. 11. P. 660–678.
19. Černý P. Rare-element granite pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geosci. Can.* 1991. V. 18. P. 49–67.
20. Černý P. Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatite in the light of current research. *Applied Geochemistry*. 1992. V. 7. P. 393–416.
21. Černý P., Ercit T.S. Classification of granitic pegmatites: Canadian Mineralogist. Rare-element granitic pegmatites. Part 1: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits *Geoscience Canada*. 2005. No. 18(2). V. 43. P. 49–67.
22. Chappell B.W., White A.J.R. Two contrasting granite types: 25 years later. *Aust. J. Earth Sci.* 2001. V. 48. P. 489–499.
23. Duc-Tin Q., Keppler H., Monazite and xenotime solubility in granitic melts and the origin of the lanthanide tetrad effect. *Contrib. Miner. Petrol*, 2015. 169 p. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-1100-9>.
24. Hatcher M.I., Clynick G. Greenbushes Tin-Tantalum-Lithium deposit: in Hughes F.E. (Ed), *Geology of the Mineral Deposits of Australia // Papua New Guinea the AusIMM*, Melbourne Mono. 1990. No. 14. V. 1. P. 599–603.
25. K. Hans, Wedepohl The composition of the continental crust *Ingerson Lecture Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59. No. 7. P. 1217–1232.
26. Kesler S.E., Gruber P.W., Medina P.A., Keoleian G.A., Everson M.P., Wallington T.J. Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*. 2012. V. 48. P. 55–69.
27. Kudryashov N.M., Udoratina O.V., Coble M., Steshenko E.N. Geochronological and geochemical study of zircon from tourmaline-muscovite granites of the Archaean Kolmozero–Voronya Greenstone Belt: Insights into sources of the rare-metal pegmatites. *Minerals*. 2020. No. 10(9). P. 760. doi: 10.3390/min1009076.
28. Küster D., Romer G., Tolessa D., Zerihun D., Bheemalingeswara K., Melcher F., Oberthur T. The Kenticha rare-element pegmatite, Ethiopia: internal differentiation, U-Pb age and Ta mineralization. *Mineralium Deposita*, 2009. P. 723–750.
29. London D. Pegmatites. *Canad. Mineral. Special Publication*. 2008. V. 10. 368 p.
30. London D. Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geol. Rev.* 2018. V. 101. P. 349–383.
31. McCauley A., Bradley D.C. The global age distribution of granitic pegmatites. *Can. Mineral.* 2014. V. 52. P. 183–190.
32. Partington G.A. Environment and structural controls on the intrusion of the giant rare metal Greenbushes Pegmatite, Western Australia: in *Econ. Geol.* 1990. V. 85. P. 437–456.
33. Partington G.A., McNaughton N.J., Williams I.S. A review of the geology, mineralization, and geochronology of the Greenbushes Pegmatite, Western Australia: in *Econ. Geol.* 1995. V. 90. P. 616–635.
34. Tkachev A.V. Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time. *Geological Society, London, Special Publications*. 2011. V. 350. P. 7–23. <https://doi.org/10.1144/SP350.2>.