

## ФЛЮОРИТСОДЕРЖАЩИЕ ЛЕЙКОГРАНИТЫ ЧЕЛЯБИНСКОГО ГРАНИТОИДНОГО БАТОЛИТА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2012 г. Г. А. Каллистов

К флюоритсодержащим лейкогранитам относятся редкометалльные лейкограниты Кременкульского и лейкограниты Митрофановского массивов (пермский возраст), входящих в состав Челябинского гранитоидного плутона (Южный Урал). С кременкульскими лейкогранитами массива связано W-Мо грейзеновое орудование.

Породы названных массивов имеют преимущественно средне- и крупнозернистую, до порфиоровидной, структуру с гипидиоморфнозернистой микроструктурой. Состоят из кварца (30–35%), олигоклаза и альбита (30–35%), пертитового микроклина (около 30–35%), небольшого количества биотита (3–5%). Из аксессуариев характерны флюорит, апатит, циркон, монацит, ортит и магнетит. Породы практически не претерпели изменений.

Породы Кременкульского массива отличаются от митрофановских, в первую очередь, большей кремнекислотностью (табл. 1). Редкометалльные лейкограниты Кременкульского массива немного обеднены  $FeO_{общ}$  и менее железистые. В лейкогранитах Митрофановского массива наблюдаются пониженные концентрации Rb, **повышенные – Ba и, соответственно, более высокое отношение Ba/Sr относительно кременкульских пород.** Характерной особенностью лейкогранитов Кременкульского массива является повышенные концентрации Th и U (табл. 1).

Породы Кременкульского массива более дифференцированы: **Zr/Hf ~ 25 в лейкогранитах Кре-**

менкульского штока и ~ 35 в лейкогранитах Митрофановского массива [3]. Также лейкограниты Митрофановского массива характеризуются пониженным отношением Rb/Sr и повышенным K/Rb (1.20 и 229 – в лейкогранитах Митрофановского массива; 2.90 и 141 – в лейкогранитах Кременкульского массива, соответственно).

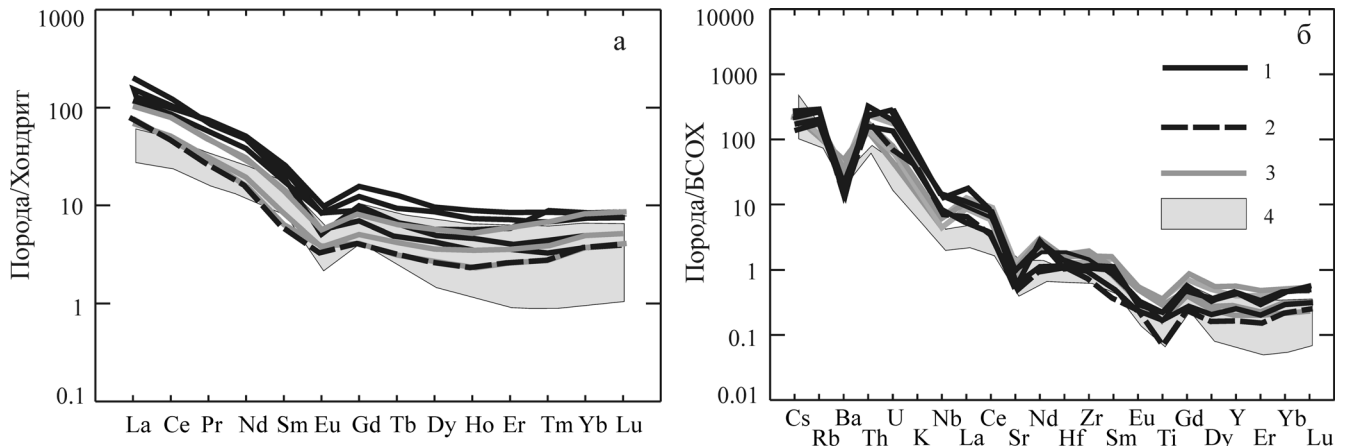
Поведение редких и редкоземельных элементов в этих лейкогранитах близкое, что, вероятно, обусловлено единой природой их источника. На спайдердиаграмме хондрит-нормированного распределения РЗЭ кривые содержания в лейкогранитах Кременкульского массива имеют “корытообразный” вид вследствие более низкого уровня содержания РЗЭ средней части спектра (рис. 1). Также, в отличие от лейкогранитов Митрофановского массива, они характеризуются более выраженными положительными аномалиями Th и U, **более глубокой отрицательной аномалией Ba**, повышенным уровнем редких элементов от Rb до Nb и пониженным – Sm, Eu, Ti на спайдер-диаграмме пород, нормированных на базальт СОХ (рис. 1). Отличия между лейкогранитами этих двух массивов обуславливаются, по-видимому, различной степенью плавления одного и того же источника и/или степенью дифференциации расплава.

В самом Кременкульском массиве выделяется 2 фазы внедрения. I фаза представлена средне- и крупнозернистыми, почти всегда порфиоровидными (за счет выделений калинатрового полевого шпа-

**Таблица 1.** Содержание петрогенных окислов (мас. %) в гранитах и лейкогранитах Челябинского массива

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
компонент	Чл-304	ЧлБ-4	Чл-217	Чл-478	Чл-224	ЧлБ-3	Чл-479	Чл-266	Чл-449	Чл-451
SiO <sub>2</sub>	73.07	73.54	74.12	73.89	74.23	74.43	73.91	73.06	73.62	74.18
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.21	0.05	0.22	0.18	0.18	0.11	0.27	0.27	0.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.16	14.61	13.76	12.73	13.49	14.32	14.29	14.00	14.23	14.14
Fe <sub>общ</sub>	1.94	1.84	1.20	1.57	0.33	1.61	1.14	1.42	1.79	1.74
MNO	0.05	0.05	0.01	0.06	0.05	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05
MGO	0.60	0.53	0.60	0.74	0.53	0.38	0.47	0.38	0.71	0.81
СаО	1.21	1.06	0.98	1.03	1.29	1.01	0.78	1.11	0.29	0.26
Na <sub>2</sub> O	3.82	3.43	3.46	2.30	3.58	3.43	4.70	3.33	3.30	3.30
K <sub>2</sub> O	4.12	4.14	4.88	5.57	4.65	4.52	4.47	4.44	4.61	4.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.07	0.00	0.04	0.01	0.05	0.03	0.07	0.07	0.06
ппп	0.47	0.50	0.35		0.18	0.25	0.10	0.12	0.20	0.25
Сумма	100.42	99.98	99.42	98.14	98.52	100.23	100.06	98.23	99.14	99.53
Fe/(Fe + Mg)	0.67	0.59	0.55	0.66	0.46	0.58	0.68	0.70	0.69	0.66

Примечание. 1–3 – граниты и лейкограниты высококалиевой серии; 4–10 – флюоритсодержащие лейкограниты: 4–7 – лейкограниты Кременкульского массива (4–6 – лейкограниты I фазы, 7 – лейкограниты II фазы), 8–10 – лейкограниты Митрофановского массива. Определение петрогенных элементов и Rb, Sr проводилось рентгенофлуоресцентным методом на установке СРМ-18 в лаборатории физико-химических методов исследования ИГГ УрО РАН (аналитики Власов В.П., Горбунова Н.П., Неупокоева Г.С., Тартинова Л.А.), Na<sub>2</sub>O – пламенной фотометрией, ппп – стандартным химическим методом.



**Рис. 1.** Распределение РЗЭ и РЭ в флюоритсодержащих лейкогранитах и гранитах и лейкогранитах высококалийевой серий Челябинского массива.

а – хондрит-нормированное распределение редкоземельных элементов [7], б – распределение редких элементов, нормированное по базальту СОХ [7]. 1–3 – флюоритсодержащие лейкограниты: 1–2 – лейкограниты Кременкульского массива (1 – I фаза, 2 – II фаза), 3 – лейкограниты Митрофановского массива; 4 – граниты и лейкограниты высококалийевой серии Челябинского массива.

та) массивными лейкогранитами с ясно различимым макроскопически флюоритом и часто – вкрапленностью молибденита. Лейкограниты II фазы более мелкозернистые, с округлыми гороховидными выделениями дымчатого кварца. В отличие от лейкогранитов I фазы, в них много пегматоидных шпиров (с размером зерна до 5 см), часто наблюдается полосчатость (зоны почти белые аплитовидные, обогащенные альбитом, чередуются с зонами красновато-бурого цвета, обогащенными калина-тровым полевым шпатом). В лейкогранитах II фазы встречается большое количество грейзеновых прожилков с лимонитизированными сульфидами, но, в отличие от средне- и крупнозернистых лейкогранитов I фазы, в них нет вкрапленности молибденита.

В целом, химический состав этих двух фаз сопоставим. Отличия проявляются в большей обогащенности лейкогранитов II фазы кремнеземом, чуть более повышенных содержаниях  $\text{Na}_2\text{O}$  и пониженных –  $\text{K}_2\text{O}$  (табл. 1). Также отмечаются пониженные концентрации U относительно лейкогранитов I фазы. **Породы II фазы более глубоко дифференцированы:** Zr/Hf отношение составляет ~ 21 (25), K/Rb = 125 (141), Rb/Sr = 2.5 (2.9) (в скобках указаны соответствующие отношения для лейкогранитов I фазы Кременкульского массива, табл. 2). Уровень содержания редкоземельных элементов в тех и других породах на диаграмме хондрит-нормированного распределения РЗЭ сопоставим (табл. 2). Отличия наблюдаются в более низких концентрациях тяжелых лантаноидов и слабо выраженной отрицательной Eu аномалии (рис. 1). На спайдер-диаграмме с нормировкой на базальт СОХ кривые распределения также идентичны, за исключением отсутствия положительной аномалии U в породах II фазы (рис. 1).

По многим петрохимическим параметрам флюоритсодержащие лейкограниты сопоставимы с раннекарбонатыми порфиридными биотитовыми гранитами и биотит-мусковитовыми лейкогранитами высококалийевой серии Челябинского массива [4]. В отличие от пород высококалийевой серии, флюоритсодержащие лейкограниты характеризуются более высокими концентрациями  $\text{K}_2\text{O}$  при практически равном содержании  $\text{Na}_2\text{O}$  (табл. 1). Также они характеризуются повышенными содержаниями Rb, Th, U, La. **По содержанию Sr они сопоставимы с дифференциатами гранитов высококалийевой серии – лейкогранитами** (табл. 2).

Характер распределения редких и редкоземельных элементов во флюоритсодержащих лейкогранитах существенно отличается от распределения РЭ и РЗЭ гранитах и лейкогранитах высококалийевой серии. Так, на диаграмме хондрит-нормированного распределения редкоземельных элементов (рис. 1) флюоритсодержащие лейкограниты характеризуются повышенным уровнем легких лантаноидов, меньшей интенсивностью Eu минимума, “корытообразным” видом кривых распределения и La/Yb отношением, равным 19 (9 и 29 – для гранитов и лейкогранитов высококалийевой серии соответственно). При нормировании на базальт СОХ флюоритсодержащие лейкограниты имеют повышенный уровень редких элементов легкой и средней частей спектра и заметно обогащены Th и U в отличие от пород высококалийевой серии.

По химическому составу рассматриваемые лейкограниты отвечают плюмазитовым редкометальным лейкогранитам [6]. В сравнении с типовыми редкометальными гранитами с W-Мо специализацией (Мальшевский массив, Средний Урал; Баян-ульский массив, Монголия) флюоритсодержащие

Таблица 2. Содержание редких элементов (г/т) в гранитах и лейкогранитах Челябинского массива

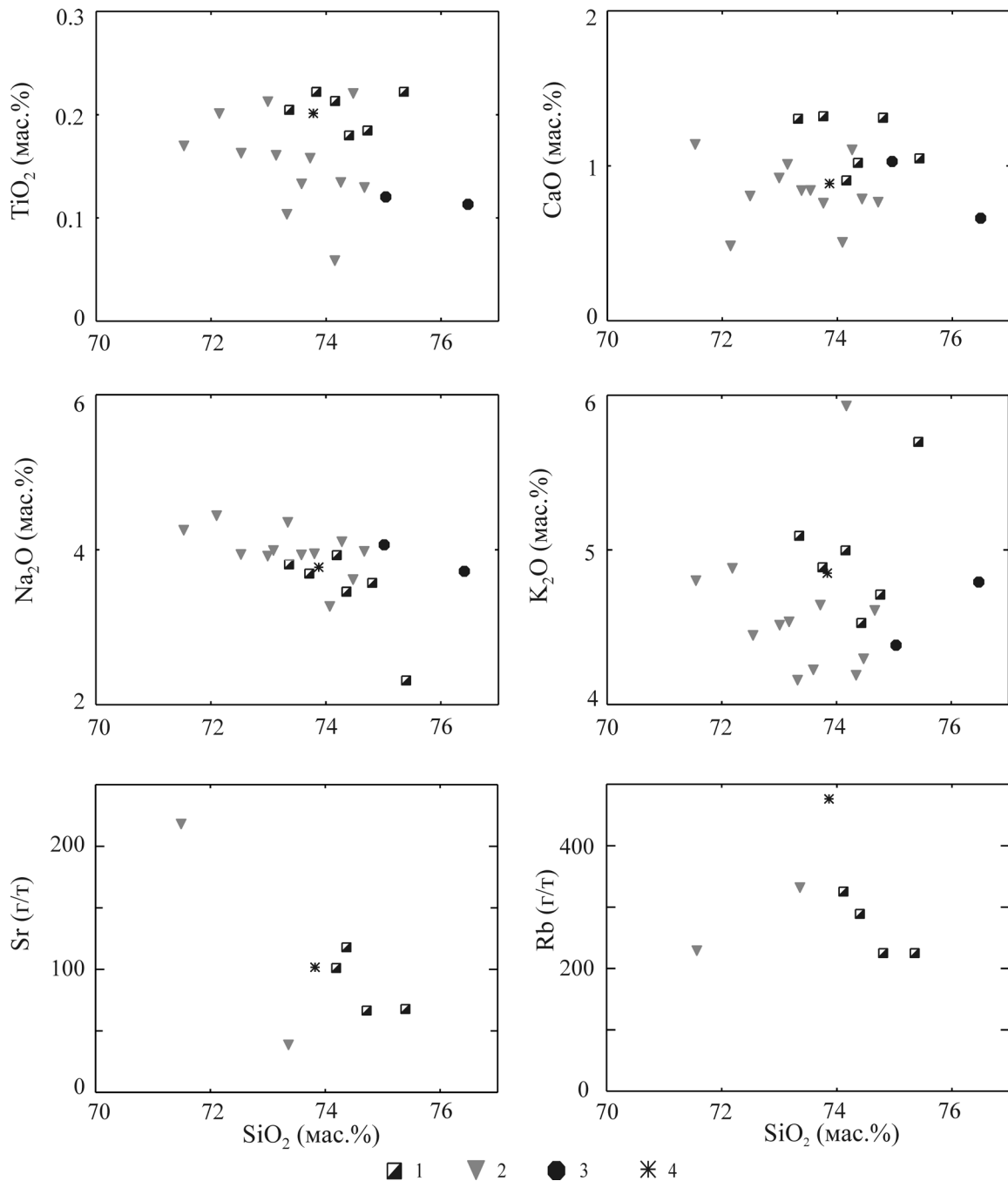
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
компонент	Чл-304	ЧлБ-4	Чл-217	Чл-478	Чл-224	ЧлБ-3	Чл-479	Чл-266	Чл-449	Чл-451
Li	51.77	40.21	12.25	40.99	31.45	24.98	12.62	22.13	25.24	30.31
Rb	165	173	89	218	223	293	278	183	133	207
Cs	7.23	6.71	1.44	1.78	2.23	2.90	3.25	3.25	3.48	3.78
Be	3.02	3.36	1.44	4.56	5.19	6.10	7.40	4.10	2.76	2.96
Sr	183	192	51	65	68	118	63	111	93	155
Ba	400	410	284	201	203	296	214	506	498	495
Sc	3.73	3.32	2.47	4.02	3.63	5.25	3.59	3.17	1.66	2.74
Ga	18.13	18.04	13.61	18.34	19.21	23.00	17.09	18.18	16.35	16.37
Y	14.33	14.11	2.28	15.25	8.65	14.85	5.31	19.16	6.46	13.92
Nb	13.89	16.01	7.59	43.14	29.96	49.47	26.53	19.44	17.93	22.67
Ta	2.35	2.36	0.27	3.70	2.97	5.13	3.90	2.13	1.48	2.32
Zr	73.47	97.60	59.28	98.36	84.01	129.90	62.54	146.55	155.10	118.54
Hf	2.62	3.20	2.13	3.08	3.33	5.19	3.00	4.42	4.52	3.75
Pb	32.20	29.36	33.87	25.73	38.64	38.23	59.66	31.56	27.52	28.85
U	3.06	3.50	1.17	14.84	11.45	19.96	5.38	5.94	4.19	13.09
Th	16.10	14.23	14.22	59.76	27.83	43.13	33.33	34.44	25.22	42.36
La	20.43	16.03	9.26	66.15	22.62	38.60	25.35	46.60	34.06	50.50
Ce	40.56	37.24	20.92	109.55	44.19	68.66	41.12	85.87	69.71	100.89
Pr	4.48	3.58	2.09	9.64	4.04	6.32	3.58	9.70	6.53	8.93
Nd	16.25	12.77	7.69	29.71	12.21	19.26	10.12	32.53	21.24	30.36
Sm	3.40	2.86	1.64	4.03	1.68	2.87	1.30	5.41	2.98	4.72
Eu	0.50	0.43	0.17	0.39	0.29	0.41	0.30	0.74	0.43	0.64
Gd	2.92	2.59	1.17	2.74	1.40	2.34	1.14	4.32	1.92	3.41
Tb	0.43	0.42	0.13	0.32	0.21	0.34	0.16	0.60	0.24	0.47
Dy	2.44	2.35	0.51	1.96	1.23	1.96	0.93	3.30	1.46	2.97
Ho	0.50	0.48	0.09	0.44	0.28	0.40	0.18	0.68	0.28	0.57
Er	1.42	1.43	0.21	1.39	0.81	1.32	0.58	1.91	0.77	1.61
Tm	0.22	0.22	0.03	0.31	0.14	0.25	0.10	0.30	0.12	0.24
Yb	1.36	1.44	0.21	1.80	1.09	1.82	0.81	1.92	0.82	1.70
Lu	0.21	0.23	0.04	0.30	0.18	0.30	0.14	0.29	0.13	0.26
K/Rb	207	198	455	212	173	128	133	201	287	180
Rb/Sr	0.90	0.90	1.74	3.33	3.28	2.47	4.46	1.66	1.44	1.34
Zr/Hf	28.00	30.50	27.80	32.00	25.20	25.00	20.80	33.14	34.30	31.90
Ba/Sr	2.19	2.14	5.57	3.07	2.97	2.50	3.43	4.60	5.41	3.20

Примечание. 1–3 – граниты и лейкограниты высококальциевой серии; 4–10 – флюоритсодержащие лейкограниты: 4–7 – лейкограниты Кременкульского массива (4–6 – лейкограниты I фазы, 7 – лейкограниты II фазы), 8–10 – лейкограниты Митрофановского массива. Концентрации редких и редкоземельных элементов определены ICP-MS (аналитическая лаборатория ИМГРЭ, г. Москва; Университет г. Гранада, Испания; лаборатория ФХМИ УрО РАН (аналитик Киселева Д.В.).

лейкограниты Кременкульского массива, входящие в состав Челябинского батолита, обладают сходным с ними петрохимическим составом. Отличия наблюдаются лишь в отношении некоторых компонентов: флюоритсодержащие лейкограниты Челябинского батолита чуть более обогащены  $TiO_2$ , чем лейкограниты Баянкульского массива и основная часть гранитов Малышевского массива [1], обогащены по сравнению с ними  $CaO$  и  $K_2O$  (рис. 2). В целом, большее сходство обнаруживается в сравнении с гранитами Малышевского массива. Стоит также отметить, что практически по всем петрохимическим компонентам флюоритсодержащие редкометалльные лейкограниты Челябинского батолита аналогичны среднему составу редкометалльного лейкогранита субщелочного ряда (на примере Монголо-Охотской зоны) [5].

На диаграмме  $Zr/Hf-SiO_2$  (рис. 3) представлена модель для рудоносных редкометалльных гранитов, основанная на степени дифференциации гранитного расплава [3]. Рассматриваемые лейкограниты имеют среднее значение  $Zr/Hf = 25$ , что соответствует области развития гранитов с  $Sn-W-Mo-Be$  грейзеновой минерализацией по [3], но всё же приближаются к границе распространения безрудных гранитов. Флюоритсодержащие лейкограниты по степени дифференциации сопоставимы с гранитами Малышевского массива [1].

Сходство также наблюдается в сравнении с гранитами акчатаусского комплекса (Центральный Казахстан), специализирующимся на **W-Mo оруденение** [3]: наиболее типичные рудопродуктивные лейкограниты располагаются на диаграмме  $Zr/Hf$  в интервале 20–30 (рис. 3). Следует отметить, что в гра-



**Рис. 2.** Химический состав редкометальных лейкогранитов Кременкульского массива и типовых гранитов с W-Mo специализацией.

1 – флюоритсодержащий лейкогранит Кременкульского массива (Челябинский батолит), 2 – гранит Малышевского массива (Средний Урал) [1], 3 – лейкогранит Баянкульского массива (Монголия) [5], 4 – средний состав редкометального лейкогранита субщелочного ряда (на примере Монголо-Охотской зоны) [5].

нитах массивов Центрального Казахстана присутствуют и породы более глубокой степени дифференциации (например, микроклин-альбитовые граниты поздних даек с магматическим топазом на Акчатау, с индексом  $Zr/Hf$  около 7 [3]), тогда как в лейкогранитах Кременкульского массива более дифференцированные разности не известны. Однако в восточной

части Кременкульского массива А.И. Грабежеевым описаны жильные мелкозернистые аплитовидные граниты с высоким содержанием (г/т) фтора – 3900, рубидия – 470, лития – 49, цезия – 25, бериллия – 10, ниобия – 103, олова – 14, молибдена – 21 [2].

Яркие отличия между кременкульскими лейкогранитами и редкометальными гранитами наблю-

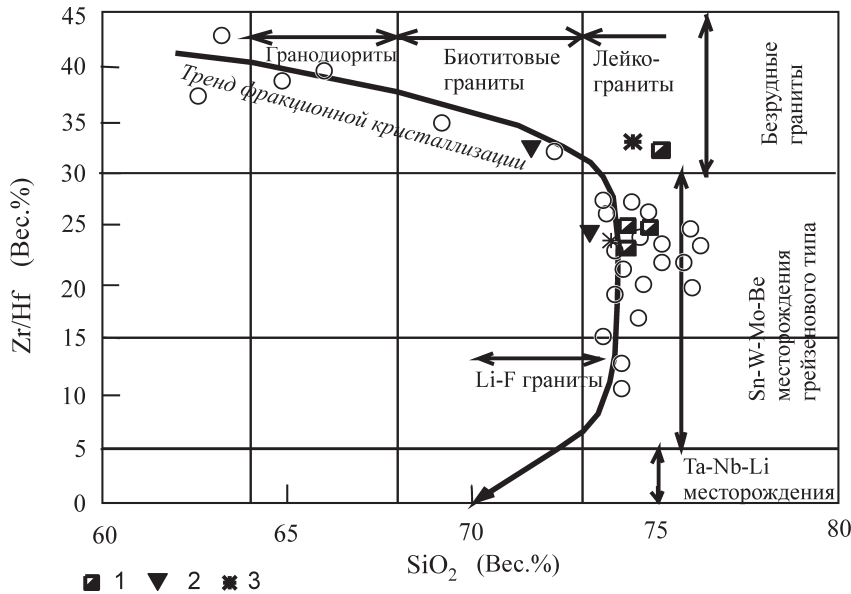


Рис. 3. Диаграмма Zr/Hf–SiO<sub>2</sub> для рудоносных гранитов по [3].

1 – флюоритсодержащие лейкограниты Кременкульского массива (Челябинский батолит), 2 – граниты Малышевского массива (Средний Урал) [1], 3 – средний состав редкометалльного лейкогранита субщелочного ряда (Монголо-Охотская зона) [5]. Кружки – тренд дифференциации гранит-лейкогранитной формации акчатаусского комплекса [3].

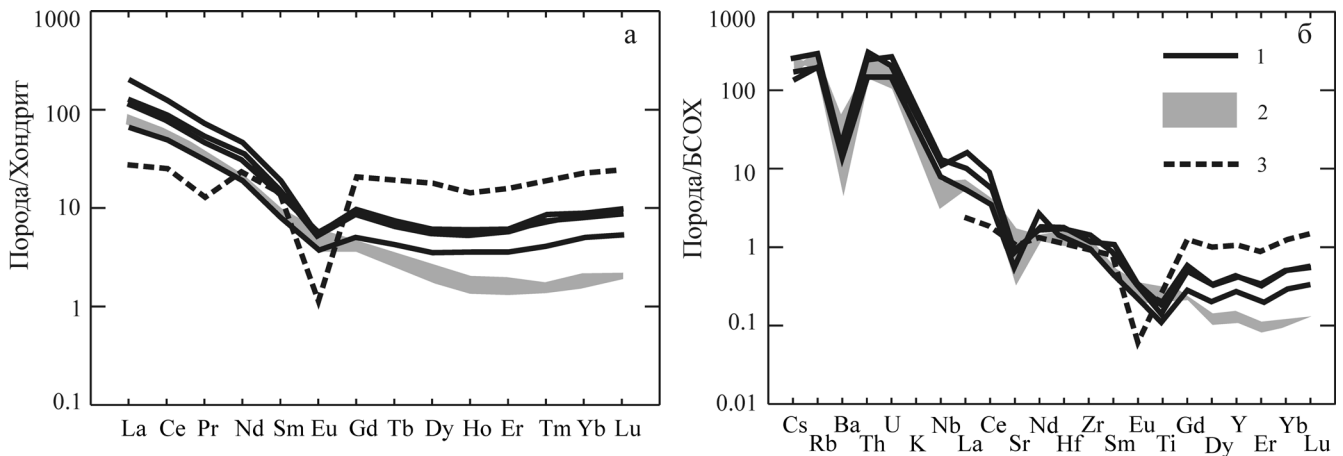


Рис. 4. Распределение РЗЭ и РЭ в редкометалльных гранитах.

а – хондрит-нормированное распределение редкоземельных элементов [7]; б – распределение редких элементов, нормированное по базальту СОХ [7]. 1 – флюоритсодержащие лейкограниты Кременкульского массива (Челябинский батолит), 2 – граниты Малышевского массива (Средний Урал) [1], 3 – лейкогранит Баянкульского массива (Монголия) [5].

даются при анализе распределения редких и редкоземельных элементов (рис. 4). Кривая распределения РЗЭ в кременкульских лейкогранитах имеет значительный наклон в сторону тяжелых РЗЭ и небольшой Eu минимум, тогда как кривые распределения гранитов Баянкульского массива имеет близкие концентрации LREE и HREE и глубокую отрицательную аномалию Eu (рис. 4). Описанные отличия обуславливаются, по-видимому, разной степенью дифференциации магматического расплава.

По содержанию редких и редкоземельных элементов флюоритсодержащие лейкограниты Кре-

менкульского массива обладают сходством с гранитами Малышевского массива. Однако в кременкульских гранитах наблюдается повышенные концентрации тяжелых лантаноидов и отчетливо выраженная отрицательная Eu аномалия, тогда как в малышевских гранитах она почти не проявлена (рис. 4).

Таким образом, флюоритсодержащие лейкограниты Кременкульского и Митрофановского массивов являются производными, по-видимому, одного источника. Наличие рудной минерализации в лейкогранитах Кременкульского массива и её отсутствие в породах Митрофановского массива мо-

жет быть связано с различной степенью плавления одного и того же источника и/или степенью дифференциации расплава. Одной из причин слабой рудоносности пород Кременкульского массива по сравнению с классическими редкометальными объектами, специализирующимися преимущественно на **W-Mo оруденение, также может быть меньшая степень дифференциации гранитного расплава в кременкульских породах.**

*Работа выполнена при финансовой поддержке УрО РАН в рамках программы ОНЗ РАН № 8 (проект 09-Т-5-1023).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вахмянина А.В.* Позднеколлизийные граниты Среднего и Южного Урала, продуктивные на W-Mo – оруденение. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2004. 169 с.
2. *Грабежев А.И., Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А.* Рудно-метасоматическая зональность медно-порфировой колонны натриевого типа (парагонитсодержащие ореолы, Урал). Екатеринбург: УГГГА, 1998. 172 с.
3. *Зарайский Г.П.* Условия образования редкометальных месторождений, связанных с гранитным магматизмом // Смирновский сборник – 2004. М.: МГУ, Фонд акад. В.И. Смирнова, 2004. С. 105–192.
4. *Каллистов Г.А.* Петрология гранитоидов Челябинского массива. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2011. 184 с.
5. *Коваль П.В.* Региональный геохимический анализ гранитоидов. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. 492с.
6. *Таусон Л.В.* Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 279с.
7. *Sun S.S.* Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. *Geochim. Cosmohim. Acta.* 1982. V. 46, P. 179–192.