

УДК 552.11

СОСТАВ И ВОЗРАСТ ФЛЮОРИТ-БЕРИЛЛИЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАДУГА, ЗАПАДНЫЙ САЯН: К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПЕРСПЕКТИВ ТЕРРИТОРИИ

Д. А. Лыхин^{1,*}, академик РАН В. В. Ярмолюк^{1,2}, А. А. Воронцов³, А. В. Травин⁴

Поступило 28.05.2019 г.

Определены возрастные и geoхимические параметры мусковит-флюорит-эвклиаз-бериллового месторождения Радуга, расположенного в пределах Кизир-Казырской зоны редкометального магматизма. В отличие от других месторождений и рудопроявлений зоны, представленных обогащёнными редкометальной минерализацией щелочными гранитами, месторождение Радуга связано с метасоматитами в карбонатных породах. Возраст месторождения, оцененный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом по мусковиту из бериллиевых флюорит-мусковитовых грейзенов, составил $469,3 \pm 4,5$ млн лет, что соответствует возрасту рудоносных щелочных гранитов зоны. Дайки, развитые в пределах месторождения, по составу идентичны дайкам редкометальных щёлочно-гранитоидных массивов, один из которых расположен в нескольких километрах от месторождения. Характер рудной Be-Li-минерализации месторождения вполне соответствует geoхимической специализации раннепалеозойской Кизир-Казырской металлогенической зоны. Выявленные черты родства месторождения Радуга с редкометальными месторождениями в щелочных гранитах позволяет говорить о разнообразии механизмов, участвовавших в образовании редкометальных месторождений Кизир-Казырской зоны, и, таким образом, создают предпосылки для расширения подходов к прогнозированию и поиску редкометальных месторождений в регионе.

Ключевые слова: флюорит-бериллиевое месторождение, редкие металлы, щелочные граниты, возраст, геодинамика.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524883282-287>

Южная часть Сибирской платформы и прилегающая к ней Алтае-Саянская складчатая область (АССО) представляют одну из важнейших и перспективных редкометальных провинций России [1]. В её пределах сосредоточен ряд крупных месторождений редких металлов, редких элементов и редких земель, сформировавшихся в разных геотектонических обстановках и в разные металлогенические эпохи [1–4]. В последние годы в строении этой провинции был выделен ряд металлогенических зон, определяющих закономерности распределения в её пределах месторождений разного возраста. В их числе поздненеопротерозойская карбонатитовая (Белозиминская), раннепалеозойская Li–Be–Nb–Ta–REE-щёлочно-гранитная Кизир-Казырская, раннепермская Nb–Ta–REE-щёлочно-гранитная Восточно-Саянская [1, 3, 5]. В строении этих зон

месторождения тесно связаны со щелочными комплексами, а рудами являются либо сами щелочные породы, насыщенные рудными минералами, либо пегматиты и жильные образования, являющиеся поздними производными эволюции магматических расплавов. Такие соотношения однозначно указывают на магматизм не только как на источник рудного вещества, но и как на ведущий процесс, определивший концентрирование рудного вещества в ходе магматической дифференциации. Более того, они становятся важным критерием при оценке металлогенических перспектив провинции, ориентируя исследователей, в первую очередь, на выделение и изучение комплексов щелочных пород. Однако соотношения магматизма и оруденения даже в пределах выделенных металлогенических зон могут быть существенно шире. Это указывает на большее разнообразие механизмов, участвовавших в образовании рудной минерализации, в частности, на важную роль гидротермальных процессов, захватывавших площади за пределами массивов щелочных пород. В работе этот вопрос рассматривается на примере бериллиевого месторождения Радуга, расположенного в пределах Кизир-Казырской металлогенической зоны.

Месторождение Радуга является крупнейшим бериллиевым месторождением металлогенической зоны и относится к берилл-флюорит-слюдяным

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и geoхимии Российской Академии наук, Москва

² Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской Академии наук, Республика Тыва, Кызыл

³ Институт геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

⁴ Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск

* E-mail: liha@igem.ru.

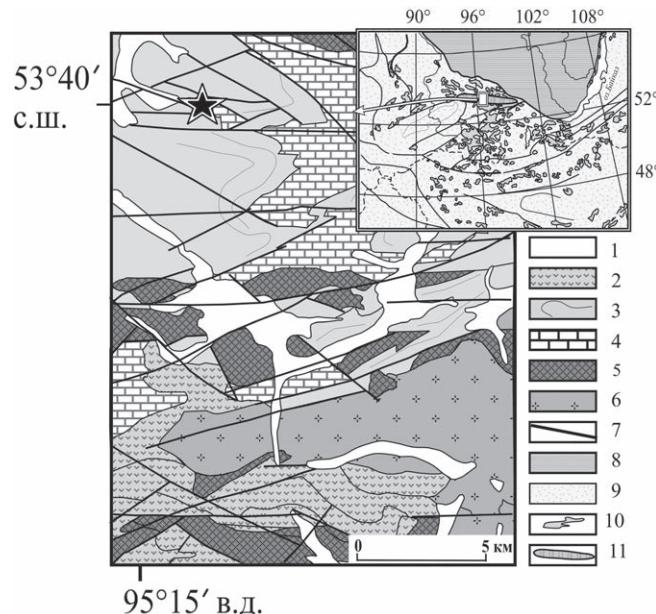


Рис. 1. Схема геологического строения района месторождения Радуга, по [2, 6]. На врезке показано положение района в пределах раннепалеозойской магматической провинции Алтай-Саянской области [8, 9]. 1 – четвертичные отложения; 2–4 – кембрийские стратифицированные образования: 2 – вулканические (имирская и верхнеколпинская свиты), 3 – терригенные (колпинская и осиновая свиты); 4 – карбонатные (балахисонская свита); 5 – биотитовые, биотит-рогообманковые, рогообманковые граниты и гранодиориты; 6 – ольховский комплекс, щелочные граниты; 7 – разрывные нарушения; 8–11 – на врезке: 8 – Сибирская платформа, 9 – складчатое обрамление платформы, 10 – гранитоиды раннепалеозойской магматической провинции, 11 – Кизил-Казырская металлогеническая зона.

метасоматитам грейзенового типа [2]. Оно контролируется Рыбинским разломом, являющимся ответвлением Кандатской зоны разломов, которая определяет размещение группы редкometальных массивов щелочных и литий-фтористых гранитоидов в области сочленения Восточного и Западного Саяна [2, 4, 5].

Месторождение приурочено к ядру горстоподобной структуры, сложенной карбонатными породами позднего рифея – раннего кембра (рис. 1). Оно представлено линейным штокверком, включающим четыре рудные зоны северо-восточного простирания протяжённостью от 150 до 600 м при мощности от 4 до 70 м. В строении рудных зон выделяются, собственно, флюорит-мусковитовые грейзены, а также жилы – кварцевые, сульфидные и флюорит-мусковитовые [2]. Грейзены представлены массивными мелкозернистыми или неравномернозернистыми, нечётко-полосчатыми и брекчевидными разновид-

ностями. Их минеральный состав определяют (в мас. %): флюорит (10–30), мусковит (40–70), кварц (5–15), альбит или микроклин (5–10), доломит (1–10), топаз (до 5), шеелит и бериллиевые минералы (до 2), а так же сульфиды – пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, вольфрамит. В их составе с помощью электронного микроскопа JSM-5610LV также выявлены бастнезит, циркон, ильменит, флогопит, серпентин. Основные бериллиевые минералы – берилл и эвклаз, подчинённое распространение имеют фенакит, хризоберилл и берtrandит.

Магматический контроль месторождения остаётся неопределенным. В его пределах известны лишь немногочисленные дайки диабазовых порфиритов и сиенит-порфиров, внедрённые в карбонатную толщу. Другие проявления магматизма удалены от месторождения и представлены раннекембрийскими габбро-диоритами ольховского комплекса и щелочными гранитоидами Поперечинского массива белыкского комплекса [6] (рис. 1). Последний по своим характеристикам, в частности по возрасту (465 млн лет) сопоставляется со щелочными редкometальными гранитами Кандатского разлома [2].

Нами выполнены петро-геохимические исследования даек, развитых в районе месторождения, и рудных флюорит-мусковитовых грейзенов (табл. 1). По составу дайки изменяются от пикритов до монцодиоритов. В целом они относительно обеднены Th, Nb, Ta, Ti и обогащены Cs, Rb, U, K, Pb (табл. 1, рис. 2). Распределение РЗЭ слабо фракционированное и характеризуется преобладанием лёгких земель: $\text{La/Yb}_n = 3,3$ до 6,0. В целом по мере роста SiO_2 в породах отмечается накопление содержаний редких элементов. Исключение составляют Sr и Eu, инверсия относительных содержаний которых от повышенных до относительно пониженных с ростом SiO_2 свидетельствует о важной роли фракционирования плагиоклаза в дифференциации исходных расплавов.

Для сравнения на графике показаны составы базитов, участвующих в строении щёлочно-гранитоидной ассоциации Окунёвского флюорит-лейкофанового месторождения, также принадлежащего Кизир-Казырской металлогенической зоне [5]. Видна хорошая согласованность составов базитовых даек разных месторождений, что позволяет сделать предположение о принадлежности базитов месторождения Радуга к магматической редкometальной ассоциации, подобной Окунёвскому щёлочно-гранитоидному комплексу.

Геохимические особенности флюорит-мусковитовых грейзенов достаточно однородны. Они харак-

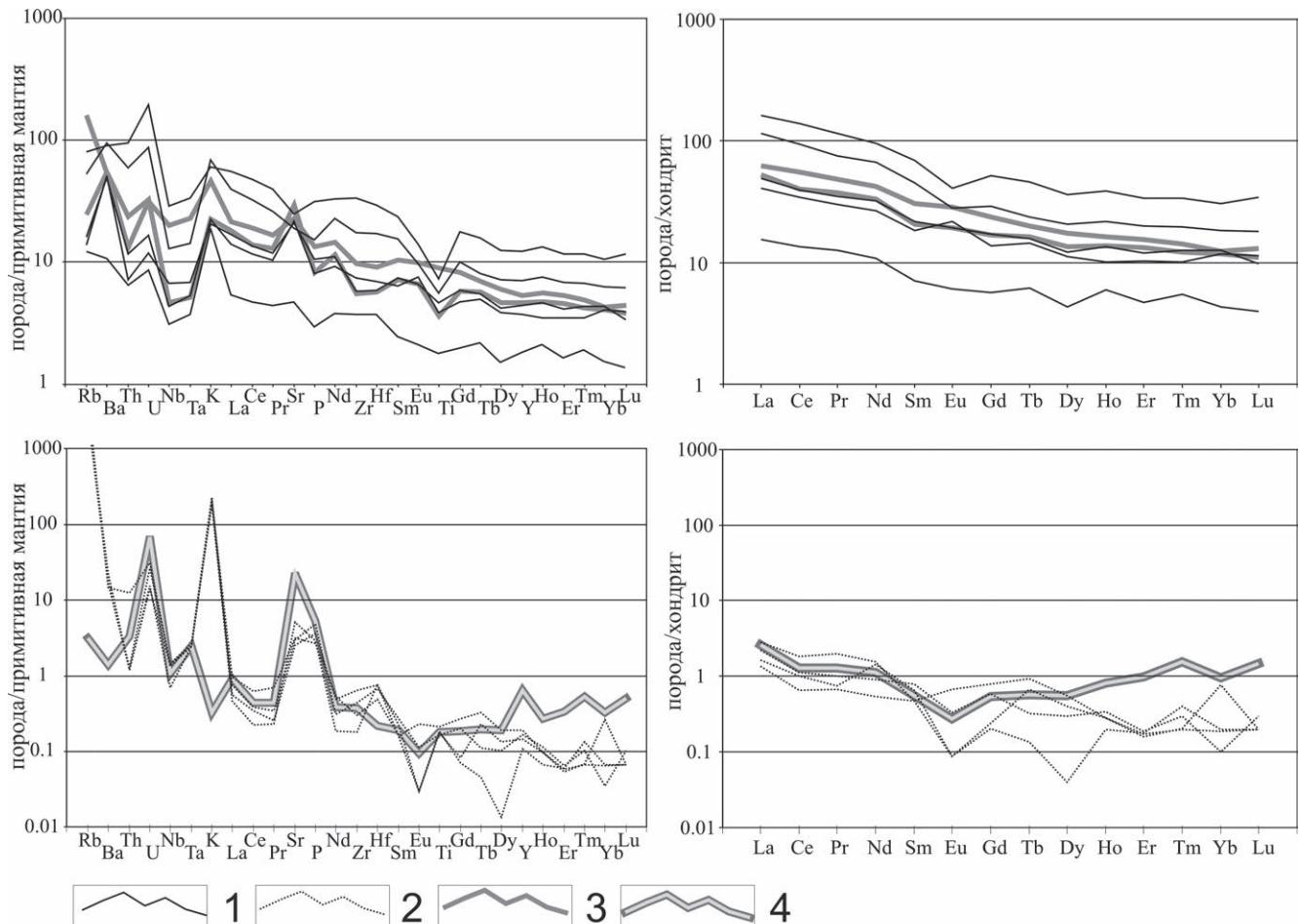


Рис. 2. Графики распределения элементов-примесей в магматических породах и бериллиевых рудах месторождения Радуга, нормированных к примитивной мантии по [10]. 1–2 – месторождение Радуга: 1 – базиты даек; 2 – эвклиптофлюорит-мусковитовые грейзены; 3 – дайки Окунёвки, по [4]; 4 – состав карбонатов Кизир-Казырской зоны, по [5].

теризуются пониженными содержаниями практически всех редких элементов за исключением Cs, Rb, K, Li, а также U, Pb, Sr, P (табл. 1, рис. 2). Содержания РЭЭ находятся на пределе обнаружения. Содержания Ве колеблются от 122 до 247 г/т, а Li₂O достигают 0,3 мас.%. Повышенные содержания щелочных элементов обусловлены щелочным характером метасоматоза, сопровождавшего грейзенизацию, и присутствием в составе руд литиевых слюд с повышенным их содержанием [2]. Другие геохимические аномалии руд, такие как повышенные содержания U, Sr, P, определялись составом вмещающих карбонатов, что хорошо видно на графике (рис. 2).

Выполнены геохронологические Ar–Ar-исследования мусковита флюорит-бериллиевых руд. Они проводились в ОИГГМ СО РАН по методике [7]. В спектре мусковита около 98% выделенного ³⁹Ar образуют семиступенчатое плато, соответствующее возрасту $469,3 \pm 4,5$ млн лет. Интегральный возраст совпадает в пределах погрешности – $468,9 \pm 4,4$ млн

лет (рис. 3, табл. 2). Полученные геохронологические данные позволяют заключить, что образование бериллиевых руд на месторождение Радуга произошло $469,3 \pm 4,5$ млн лет. Эти результаты согласуются с данными по возрасту щелочных гранитов Попереченского массива (465 млн лет) и являются важным аргументом в пользу ранее высказанного предположения о парагенетической связи месторождения Радуга с этим массивом [2].

Полученная возрастная оценка позволяет говорить об определённой связи месторождения Радуга с теми же рудно-магматическими процессами, которые привели к образованию целой серии месторождений в пределах Кизир-Казырской зоны, в том числе Окунёвского (485 млн лет, [4]), Арысканского (473 млн лет, наши неопубликованные данные), Казырского и др. [2]. Особенностью этих месторождений является связь рудной минерализации с эволюцией щёлочно-гранитоидных расплавов, приведшей к накоплению рудных компонентов в наиболее

Таблица 1. Химический состав (мас. %) и содержания элементов-примесей (г/т) в породах месторождения Радуга

Компоненты	Pa-1/13	Pa-2/13	Pa-9/13	Pa-10/13	Pa-4/13	Pa-5/13	Pa-6/13	Pa-8/13
	Дайки базитов				Флюорит-мусковит-бериллиевые руды			
SiO ₂	50,83	51,64	52,23	55,38	33,07	28,95	27,04	33,04
TiO ₂	1,01	0,84	1,58	1,20	0,04	0,04	0,04	0,05
Al ₂ O ₃	17,08	17,32	16,32	17,24	14,84	16,09	13,89	14,24
FeO _{общ}	9,91	9,90	10,00	8,19	0,2	0,12	0,19	0,26
MnO	0,17	0,18	0,16	0,12	0,05	0,04	0,06	0,05
MgO	5,34	5,72	3,73	2,61	9,13	4,67	9,12	10,24
CaO	9,26	9,59	5,85	6,95	21,05	29,28	23,81	22,3
Na ₂ O	3,09	2,90	3,98	3,26	0,19	0,2	0,15	0,15
K ₂ O	0,62	0,68	1,81	2,09	7,17	6,28	5,65	6,79
P ₂ O ₅	0,22	0,17	0,66	0,32	0,08	0,11	0,06	0,06
Li ₂ O	н/о	н/о	н/о	н/о	0,3	0,14	0,18	0,33
CO ₂	н/о	н/о	н/о	н/о	2,34	0,6	9,56	0,62
F	н/о	н/о	н/о	н/о	15,25	20	14,13	16,88
П.п.п.	2,20	0,79	3,23	2,23	1,82	2	1,92	1,53
Сумма	99,73	99,73	99,55	99,59	105,53	108,52	105,80	106,54
O~F ₂	н/о	н/о	н/о	н/о	6,42	8,42	5,95	7,11
Сумма*	99,73	99,73	99,55	99,59	99,11	100,10	99,85	99,43
Ka	0,34	0,32	0,52	0,44	0,54	0,44	0,46	0,53
Be	1,23	1,15	2,61	2,02	215	216	122	247
V	227	214	163	177	5,12	6,25	5,39	5,92
Cr	80,3	91,2	34,6	43	6,33	6,37	5,53	6,2
Co	31,7	33,2	22,7	18,1	0,65	0,69	0,73	0,74
Ni	27,5	29,9	11,1	13,7	2,37	3,69	3,3	3,4
Zn	85,2	79,6	113	82,6	32,6	26,6	27,1	33,2
Ga	16,5	16,4	20,7	17,2	1,48	1	1	2,72
Rb	8,81	10,3	51,4	33,8	2530	1970	1790	2860
Sr	448	461	525	402	53,4	63,4	107	66,8
Y	20,1	16,9	55,7	32,3	0,66	0,76	0,49	0,87
Zr	64,9	84	377	198	7,27	4,94	2,05	3,35
Nb	4,8	3,09	20,6	9,3	1,02	0,94	0,5	1,02
Cs	0,6	0,38	2,32	0,73	163	127	102	187
Ba	358	344	636	671	121	155	116	101
La	11,7	9,71	38,4	27,5	0,39	0,52	0,32	0,66
Ce	24,2	20,9	85,4	57,8	0,62	0,69	0,4	1,12
Pr	3,3	2,85	11	7,2	0,07	0,095	0,064	0,19
Nd	15,1	12,5	44,6	31	0,66	0,42	0,25	0,72
Sm	3,32	2,82	10,5	6,92	0,1	0,12	0,071	0,072
Eu	1,12	1,27	2,36	1,63	0,005	0,019	0,005	0,039
Gd	3,52	2,83	10,7	6,02	0,049	0,12	0,042	0,16
Tb	0,59	0,54	1,71	0,88	0,025	0,012	0,005	0,035
Dy	3,08	2,86	9,22	5,29	0,1	0,076	0,01	0,14
Ho	0,76	0,57	2,18	1,24	0,016	0,019	0,011	0,016
Er	1,99	1,69	5,63	3,29	0,028	0,031	0,029	0,026
Tm	0,32	0,26	0,86	0,5	0,005	0,008	0,01	0,005
Yb	2,14	1,99	5,24	3,11	0,032	0,017	0,033	0,13
Lu	0,25	0,29	0,87	0,46	0,005	0,008	0,005	0,005
Hf	1,82	2,14	9,09	5,29	0,23	0,21	0,24	0,15
Ta	0,28	0,22	1,39	0,59	0,11	0,1	0,1	0,1
Pb	6,73	3,98	20,8	14,5	7,47	14,6	13,8	25,6
Th	0,61	0,99	8,15	5,1	0,11	0,1	0,1	1,07
U	0,25	0,35	4,14	1,84	0,55	0,3	0,32	0,65

Примечание. Сумма* – сумма с поправкой на F₂, П.п.п. – потери при прокаливании, н/о – не определялось, Ка – коэффициент агпантности, FeO_{общ} – железо общее.

Таблица 2. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования

$T, ^\circ\text{C}$	$t, \text{мин}$	$^{40}\text{Ar(STP)}$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	Ca/K	$\sum^{39}\text{Ar} (\%)$	Возраст (млн лет)	$\pm 1\sigma$
Мусковит РА-8/13, навеска 64,2 мг, $J = 0,003991 \pm 0,000042^*$; интегр. возраст = $468,9 \pm 4,4$ млн лет; возраст плато ($700\text{--}1130 ^\circ\text{C}$, 98% выделенного ^{39}Ar) = $469,3 \pm 4,5$ млн лет														
500	10	$12,5 \cdot e^{-9}$	98,27	0,92	0,0535	0,0164	0,20	0,17	0,1317	0,0090	0,72	0,6	383,5	16,1
600	10	$34, \cdot e^{-9}$	88,96	0,35	0,0146	0,0079	0,02	0,12	0,0550	0,0038	0,06	2,2	459,6	7,8
700	10	$62,2 \cdot e^{-9}$	80,35	0,49	0,0225	0,0017	0,10	0,06	0,0202	0,0061	0,34	5,6	469,0	11,1
800	10	$175,3 \cdot e^{-9}$	78,20	0,25	0,0206	0,0019	0,09	0,04	0,0103	0,0031	0,32	15,3	473,3	6,9
880	10	$396,2 \cdot e^{-9}$	76,10	0,09	0,0187	0,0009	0,05	0,01	0,0037	0,0011	0,18	38,0	472,5	4,8
950	10	$308,7 \cdot e^{-9}$	76,08	0,10	0,0160	0,0022	0,04	0,02	0,0085	0,0010	0,16	55,6	464,5	4,6
1010	10	$479,5 \cdot e^{-9}$	75,62	0,05	0,0190	0,0011	0,03	0,02	0,0040	0,0006	0,10	83,2	469,3	4,5
1070	10	$229,9 \cdot e^{-9}$	76,33	0,09	0,0193	0,0018	0,04	0,03	0,0063	0,0010	0,14	96,3	469,4	4,7
1130	10	$67,4 \cdot e^{-9}$	80,03	0,13	0,0282	0,0030	0,14	0,03	0,0190	0,0016	0,50	100,0	469,2	5,1

Примечание.* J – параметр, характеризующий величину нейтронного потока.



Рис. 3. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследований методом ступенчатого прогрева мусковита из флюорит-бериллиевых руд месторождения Радуга.

дифференцированных разновидностях щелочных гранитов. Поэтому эти руды в значительной степени наследуют геохимические особенности гранитоидов и обогащены такими элементами, как Nb, Ta, Zr, REE (особенно тяжёлыми), а также Li и Be.

Месторождение Радуга сближает с этими месторождениями не только возраст формирования, но и сходство состава даек с дайками рудоносных массивов, а также Be–Li-минерализация, соответствующая геохимической специализации Кизир-Казырской металлогенической зоны [2]. В то же время от ближайшего массива щелочных гранитов это месторождение удалено на 12 км, а его руды лишены большинства геохимических маркеров, характерных для редкометальных массивов зоны. Отсутствие последних, прежде всего высокозарядных и редкоземельных элементов, можно связать с их блокированием на геохимических барьерах при продвижении гидротермального флюида от материнского массива. Примером тому может служить Окунёвское месторождение, в пределах которого рудные метасоматиты формируются на контакте гранитов и карбонатов и не прослеживаются вглубь вмещающих пород [5].

Можно предположить, что магматический флюид, породивший месторождение Радуга, потерял высокозарядные и редкоземельные элементы на подобном барьере вблизи своего магматического источника. В то же время щёлочно-фторидный характер этого флюида обеспечил сохранение в его составе комплексов Be и Li, что способствовало их переносу от материнского массива на достаточно значительное расстояние.

Результаты изучения возраста и состава пород и руд месторождения Радуга в определённой степени меняют представления о металлогенических перспективах раннепалеозойской Кизир-Казырской зоны. Ранее они в основном связывались с массивами щелочных пород, так как минерализация на известных месторождениях практически не выходит за контуры рудоносных массивов. Пример месторождения Радуга показывает, что рудный потенциал зоны определялся не только щелочными гранитами, но и одновозрастными с ними проявлениями гидротермальной деятельности. Это позволяет говорить о разнообразии механизмов, участвовавших в образовании редкометальных месторождений Кизир-

Казырской зоны. Выявленный здесь характер распределения редкометальной минерализации создаёт предпосылки для расширения подходов к прогнозированию и поиску редкометальных месторождений в регионе. Эти подходы должны учитывать не только закономерности распределения щелочных комплексов в пределах металлогенических зон, но и ареалы их возможного гидротермального воздействия на вмещающие толщи.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках базовой темы Лаборатории редкометального магматизма ИГЕМ РАН и Программы ПРАН I.48.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко В.И. и др. Типы магм и их источники в истории Земли. Ч. 2. Редкометальный магматизм: ассоциации пород, состав и источники магм, геодинамические обстановки формирования. М. ИГЕМ РАН. 2006. 278 с.
2. Куприянова И.И., Шпанов Е.П. // М.: ВИМС. 2011. 353 с.
3. Ярмолюк В.В., Лыхин Д.А., Шурига Т.Н. и др. // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53. № 4. С. 390–400.
4. Лыхин Д.А., Ярмолюк В.В., Воронцов А.А., Травин А.В. // Докл. РАН. 2017. Т. 477. № 4. С. 436–440.
5. Лыхин Д.А., Ярмолюк В.В., Воронцова А.А. // Геология руд. месторождений. 2019. № 5.
6. Геологическая карта СССР 1:200 000. Сер. Восточно-Саянская. Лист N-46-XXIV. ВСЕГЕИ. Объясн. зап. 1973.
7. Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г. и др. // Геохимия. 2009. Т. 11. С. 1181–1199.
8. Içokh A.E., Polyakov G.V., Shelepaev R.A., et al. // Published on Large Igneous Provinces Commission. May 2008 LIP of the Month. (<http://www.largeigneousprovinces.org>).
9. Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I., Ernst R.E. // J. of Asian Earth Sciences. 2014. V. 93. P. 158–179. DOI: 10.1016/j.jseaes.2014.07.004
10. Sun S.S., McDonough W.F. // Magmatism in Ocean Basalts. Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geolog. Soc. London Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313–345.

STRUCTURE AND AGE OF THE FLUORITE-BERILLIUM DEPOSIT OF THE FIELD RAINBOW, WESTERN SAYAN MOUNTAINS: TO THE PROBLEM OF ASSESSMENT OF METALLOGENIC PROSPECTS OF THE TERRITORY

D. A. Lykhin¹, Academician of the RAS V. V. Yarmolyuk^{1,2}, A. A. Vorontsov³, A. V. Travin⁴

¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Tuva Institute of Complex Exploitation of Natural Resources, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation

³Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

⁴Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

Received May 28, 2019

The age and geochemical parameters of the muscovite-fluorite-euclase-beryl Raduga deposit, which is located within the Kizir-Kazyr zone of rare-metal magmatism, are determined. In contrast to other deposits and ore occurrences of the zone, represented by alkaline granites characterized by rare metal mineralization, the Raduga deposit is associated with metasomatites in carbonate rocks. The age of the deposit, estimated at $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ by the muscovite method of beryllium fluorite-muscovite greisens, is $469.3 \pm 4.5\text{ Ma}$. It corresponds to the age of the ore-bearing alkaline granites of the zone. The dikes which occur within the deposit are identical by the composition to the dikes of rare-metal alkaline granitic massifs, one of which is located in a few kilometers from the deposit. The nature of the ore Be-Li mineralization of the deposit is in good agreement with the geochemical specialization of the Early Paleozoic Kizir-Kazyr metallogenic zone. The revealed features of the relationship between Raduga deposit and rare-metal deposits in alkaline granites suggests a variety of mechanisms involved in the formation of rare-metal deposits of the Kizir-Kazyr zone. Thus, it allows to expand approaches for prediction and exploration of rare-metal deposits in the region.

Keywords: fluorite-beryllium ores, rare elements, alkaline granites, age, geodynamics.