

РЕДКИЕ ЗЕМЛИ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЕНЕЗИСА ФЛЮОРИТОВЫХ И ФЛЮОРИТСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Уточнены особенности генезиса флюоритовых и флюоритсодержащих месторождений Восточного Забайкалья на основе изучения распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) во флюоритах. Показано, что собственно флюоритовые месторождения Забайкалья формировались из двух пространственно и генетически разобщенных источников. Фтор имеет мантийное происхождение и парагенетически связан с субщелочным базальтовым магматизмом J_3 – K_1 возраста. Источники кальция во флюоритах — это вмещающие горные породы и равновесные с ними термальные растворы. Установлены аномальные концентрации урана в «черных» флюоритах из ряда урановых месторождений и обсуждается их происхождение.

Ключевые слова: *флюорит, редкоземельные элементы (РЗЭ), источники, кальций, фтор, уран, генезис, Забайкалье.*

Was specified the genetic features fluorite and fluorite-bearing deposits of East Transbaikalia based on application of up-to-date analytical and isotopic-geochemical study methods, and, correspondingly, to substantiate the additional criteria of their prediction. Emphasis is upon the distribution of rare earth elements (REE) in fluorite veins as well as in host rocks. It is shown that proper fluorite deposits of Transbaikalia were formed of two spatially and genetically dissociated sources. Fluorine in this deposits is of deep (mantle) origin; it is paragenetically associated with subalkalic basalt magmatism aged J_3 – K_1 . Calcium sources in fluorite are more various. These are host rocks and thermal solutions enriched with calcium. In metasomatic fluorite ores, calcium was borrowed immediately from the laminated carbonate strata of Riphean or Vendian-Cambrian age. Anomalous uranium concentrations in «black» fluorites from uranium deposits (Streltsovskoye, Argun, and Xian Shan (China)) are presumably associated with uranium transfer in the form of uranyl-fluorine complexes. In fluorite spider diagrams from these deposits, positive Eu/Eu* anomalies are shown.

Key words: *fluorite, rare earth elements (REE), distribution, calcium, fluorine, uranium, genesis, Transbaikalia.*

Введение. Забайкалье и сопредельные территории Монголии и Китая отличаются металлогенической специализацией на флюорит. В пределах Селенгино-Нерчинского и Монголо-Приаргунского поясов сосредоточены многие десятки флюоритовых, а также и флюоритсодержащих месторождений (рис. 1). Важнейшее значение имеют Стрельцовский и Дорнотский рудные узлы, вмещающие крупные F-Mo-U, Au-Ag-полиметаллические месторождения. Все эти месторождения формировались в рифтогенной геодинамической обстановке и имеют позднеюрско-раннемеловой возраст [18].

Многие флюоритовые месторождения Забайкалья изучены весьма детально. Наиболее представительной является монография А. А. Ивановой [7], в которой суммированы как собственные исследования, так и итоги работ многих поколений геологов — П. П. Пилипенко (1916), К. Г. Войновского-Кригера (1927), А. А. Якжина (1954), П. А. Котова (1967) и др. Современные данные по флюориту сосредоточены в работах [5, 11]. Однако вопросы, касающиеся источников рудного вещества собственно флюоритовых и флюоритсодержащих урановых месторождений, а также критериев прогнозирования подобных месторождений, остаются предметом острых дискуссий [1, 5].

Проблему происхождения месторождений флюорита в настоящей работе предлагается решать на базе исследований поведения фтора в силикатных

расплавах и магмах [10] и на основе изучения распределения РЗЭ не только в магматических породах, но и в гидротермальных минералах [21]. Первые сведения, касающиеся распределения редких земель во флюоритовых месторождениях Забайкалья, приведены в работах И. П. Андреевой [3], а также А. А. Ганзеева и Ю. П. Сотникова (1976), Г. И. Россмана. Эти данные носят качественный характер, так как методика определения РЗЭ отставала от современной. Новые аналитические и изотопно-геохимические данные по магматическим и рудным образованиям Забайкалья содержатся в работах [1, 2], но они практически не затрагивают вопросов генезиса флюоритовых месторождений.

Исходные материалы и основные результаты аналитических работ. Исследования проводились в 2007–2010 гг. в рамках проекта по оценке потенциально ресурсных минерагенических зон аккреционно-коллизийных областей и областей активизации Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Было изучено 12 флюоритовых и уран-флюоритовых месторождений и рудопроявлений (рис. 1), проанализировано более 50 проб флюоритов и вмещающих пород. Пробы флюоритов были вручную раздроблены в чугунной ступке, затем истерты в эбонитовой ступке и просеяны через сито в 200 меш. Порошковые пробы анализировались в Центральной аналитической лаборатории (ЦАЛ) ВСЕГЕИ.

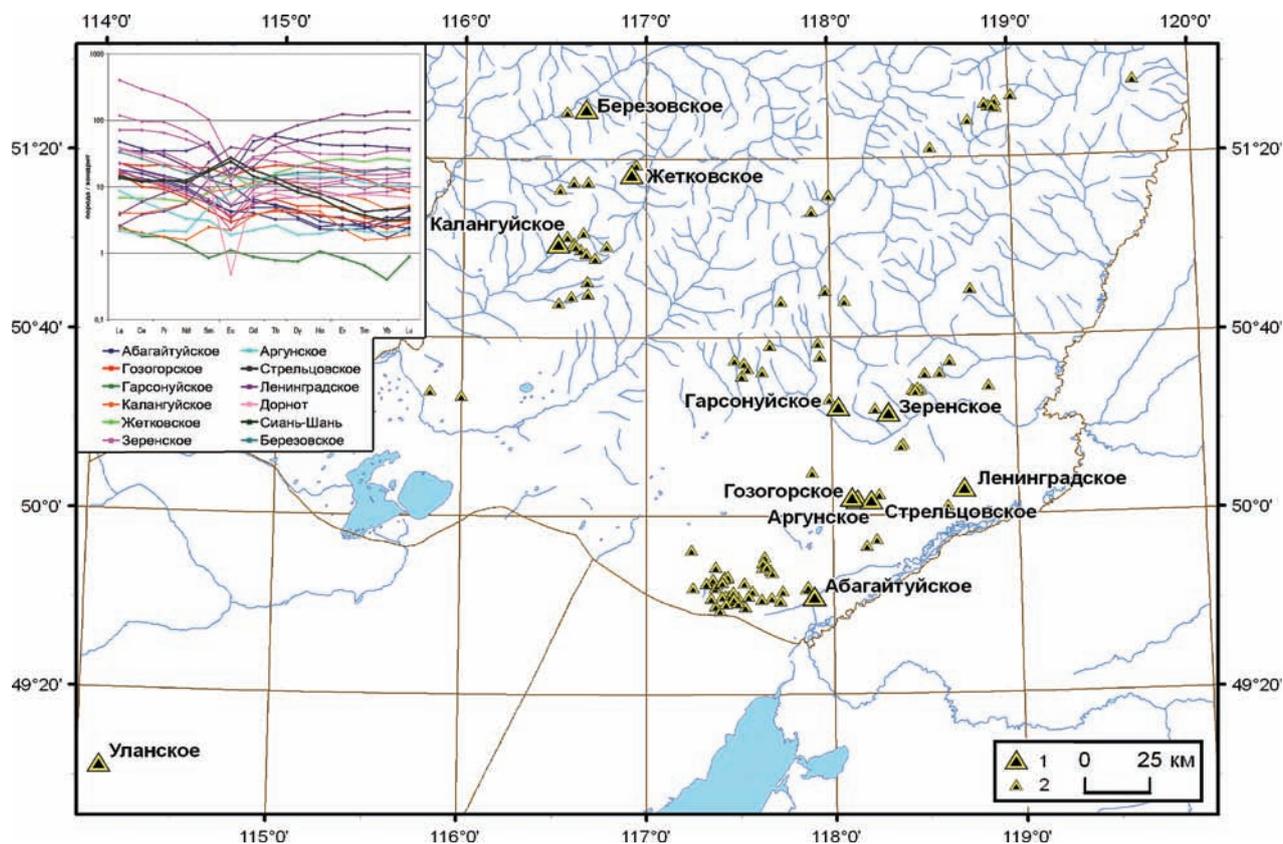


Рис. 1. Схема размещения флюоритовых месторождений и рудопроявлений в восточной части Монголо-Приаргунского пояса Забайкальского края (1 – изученные; 2 – прочие). На врезке все кривые распределения РЗЭ во флюоритах и флюоритосодержащих породах изученных месторождений и рудопроявлений

Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) определено содержание (г/т) четырнадцати редкоземельных элементов, а также Be, V, Cr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Pb, Th, U (аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов); атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) – Li, Cu, Bi, Co, Ni, Zn (аналитик Э. Г. Червякова); методом ионометрии – F и Cl (аналитик Л. А. Копытченко); методом инфракрасной спектрометрии (%) $S_{\text{общ}}$ и S (аналитик В. Н. Тарасова); атомно-абсорбционным методом с полным кислотным вскрытием (г/т) – Ag (аналитик И. В. Реутова). С такой же детальностью определено содержание всех элементов во вмещающих породах.

Результаты анализов приведены в таблице. Составлены спайдер-диаграммы распределения РЗЭ и другие диаграммы и таблицы.

Количество флюорита в образцах определялось по содержанию F, при этом учитывались незначительные добавки Cl. При пересчете выявляется некоторый дефицит F и избыток Ca. Содержание флюорита в пробах от 90,02 до 32,46%. В отличие от фтора, содержание кальция всегда выше того количества, которое необходимо для построения минерала CaF_2 . Причина такого явления пока не ясна. Можно предполагать, что метод ионометрии несколько занижает количество фтора при его очень высоких содержаниях. Избыток кальция, возможно, связан с тем, что флюорит и породы, его содержащие, формировались в среде, насыщенной гидрокарбонатами кальция. Установлено также, что гидрокарбонат кальция преобладает в составе газо-

во-жидких включений во флюорите [7], и это создаёт эффект избыточного кальция в природном флюорите.

Общая характеристика флюоритовых месторождений [7, 11]. Большинство флюоритовых месторождений представлено жилами выполнения открытых трещин.

Эти жилы имеют простой минеральный состав. Наблюдается последовательное отложение минералов от краев к центру.

В жилах часто сохраняются крупные остаточные полости, которые заполнены поздними гидротермальными минеральными ассоциациями; отмечены признаки минералообразования с участием нисходящих растворов.

Трещины, к которым приурочены флюоритовые жилы, имеют наложенный характер, четкая зональность гидротермально измененных пород относительно флюоритовых жил отсутствует. В брекчиях с флюоритовым цементом часто находятся обломки базальтов или гранитов с различной степенью аргиллизации.

Формирование флюоритовых жил было длительным, носило пульсирующий характер. Образование крупнокристаллического флюорита относится к ранним этапам, однородного шестоватого и фарфоровидного флюорита – к поздним этапам.

Протяженность продуктивных флюоритовых жил по простиранию до 1500 м, по падению до 400 м. В верхней части жилы преимущественно кварцевые. В нижней части жил отмечается присут-

ствии сульфидов, преимущественно пирита и марказита.

По морфологии флюоритовых залежей выделяются четыре разновидности: 1) жилы выполнения, в которых отмечается от двух до четырех стадий минералообразования (Абагайтуйское, Калангутуйское и др.); 2) метасоматические флюоритовые залежи (Даринский участок Гарсонуйского месторождения); 3) многостадийные кварц-флюоритовые брекчии, состоящие из обломков флюорита и халцедоновидного кварца (Зеренское проявление); 4) залежи только из шестоватого флюорита.

Температура минералообразования 230–180° (ранний этап) для крупнокристаллического флюорита, 160–120° – для шестоватого и фарфоровидного флюоритов (поздний этап).

Флюориты содержат большое количество газо-жидких включений, преобладает гидрокарбонат кальция, в незначительных количествах присутствуют хлориды натрия и калия.

Верхняя часть флюоритовых жил в момент их образования находилась предположительно на глубине 1000–1500 м от дневной поверхности. Покровы базальтов, возможно, играли роль экранов, например, на Абагайтуйском месторождении [15].

А. А. Иванова считает, что отложение главной составной части жильного выполнения происходило из гидротермальных растворов, образовавшихся на глубине, ниже уровня формирования флюоритовых жил [7].

Распределение РЗЭ во флюоритах и флюоритсодержащих породах. На врезке рис. 1 демонстрируется общий вид 27 спайдер-диаграмм распределения РЗЭ, нормированных по хондриту (N. M. Evesen, 1978) из 12 месторождений и рудопроявлений флюорита. На фоне большого разнообразия спайдер-диаграмм РЗЭ можно выделить их характерные особенности.

В 18 случаях из 27 обнаруживается Eu-минимум, причем для 8 проб он весьма глубокий ($Eu/Eu^* 0,4–0,1$). В 8 пробах показатель Eu/Eu^* положительный, причем наиболее выразительный в черных флюоритах Стрельцовского, Аргунского и Сиань-Шань урановых месторождений.

Все рисунки спайдер-диаграмм сопровождаются таблицами, в которых приведены суммы РЗЭ, отношения легких и тяжелых РЗЭ, параметры, характеризующие поведение европия (Eu/Eu^*) в составе РЗЭ, а также результаты расчета тетрадных эффектов в первой, третьей и четвертой тетрадах. По общей конфигурации большая часть спайдер-диаграмм относится к категории отрицательных, в которых содержание легких РЗЭ значительно превосходит содержание тяжелых. Тем не менее, имеются своего рода уникальные флюориты, в которых содержание тяжелых РЗЭ резко преобладает над легкими.

Замечательной особенностью всех спайдер-диаграмм флюорита и флюоритсодержащих пород является наличие в них значимых (более 0,1) тетрадных эффектов [21]. Кажущаяся хаотичность распределения РЗЭ поддается интерпретации при рассмотрении геологии и геохимии отдельных месторождений.

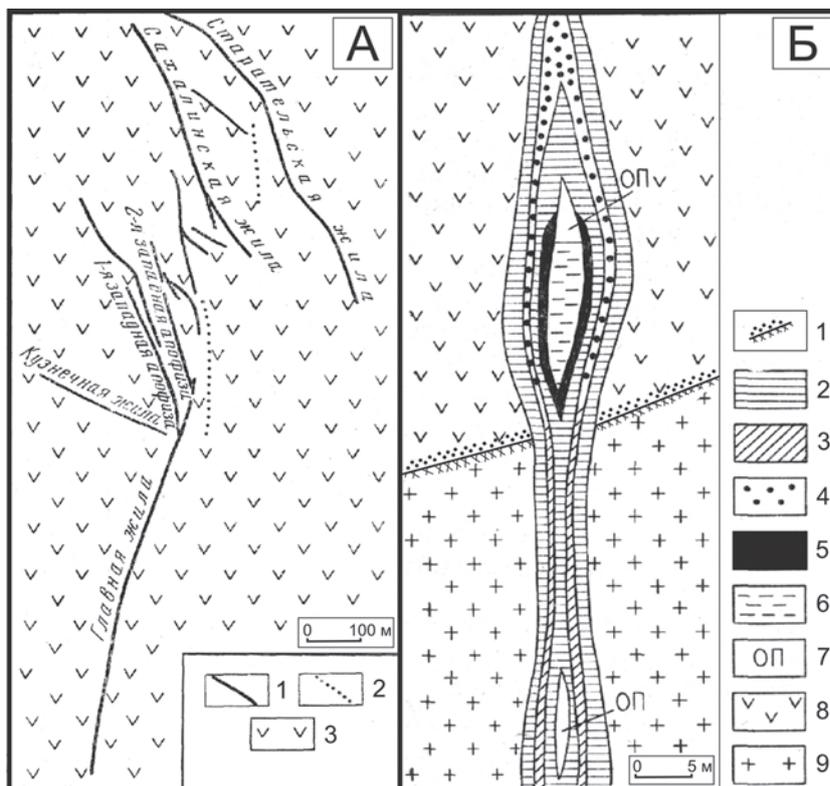
В качестве эталона рассматривается **Абагайтуйское** месторождение (рис. 1, 2). Оно находится в северной прибортовой части одноименного прогиба Южно-Аргунской впадины, который выполнен преимущественно базальтоидными образованиями. Этот объект был открыт в начале XX в. Месторождение эксплуатировалось с перерывами с 1912 по 1991 г. По количеству добытых руд и их высокому качеству это месторождение было весьма крупным в Забайкалье [7, 11].

Геологические особенности и минеральный состав месторождения даны в основном по работе [7]. На лейкограниты лубинского комплекса (T_1)

Рис. 2. Абагайтуйское месторождение [7]:

А – Схема геологического строения Абагайтуйского месторождения: 1 – флюоритовые жилы; 2 – кварцевые жилы; 3 – андезибазальты и их туфы.

Б – Схема строения Главной жилы Абагайтуйского месторождения: 1 – зона трансгрессивного налегания базальтов ($J_3–K_1$) на граниты ($T_3–J_1$); 2 – крупнокристаллический флюорит; 3 – пластинчатый кальцит и манганокальцит; 4 – кварц; 5 – изометрический барит; 6 – каолинит и фарфоровидный флюорит; 7 – остаточные полости; 8 – андезибазальты и их туфы; 9 – граниты



Состав петрогенных и редкоземельных элементов во флюоритах

Месторождения	Собственно												
	Абагайтуйское					Гозогорское		Гарсонуйское	Зеренское				
Минерал, горная порода	Флюорит зеленоватый	Флюорит фиолетовый	Кварц-флюоритовый агрегат белый	Флюорит светло-фиолетовый	Флюорит светло-зеленый	Флюорит крупнокристаллический	Полосчатый кварц-флюоритовый агрегат	Флюорит медово-желтый	Кварц-флюоритовый розовый агрегат	Флюорит темно-фиолетовый	Флюорит светло-фиолетовый	Флюорит фиолетовый	
Номер пробы	C1626	C-1626-1	C-162д	C-162д-1	C-162е	C-1/08	C-1а/08	Г-1	C-382 (вал)	C-382	C-382-1	C-383а	
	<i>Петрогенные компоненты</i>												
F, %	37,6	37,8	15,6	38,2	42,3	42,73	17,03	40,1	19,9	41,1	38,5	37,4	
SiO ₂ , %	13,5	11,0	39,0	2,0	7,3	4,21	35,8	2,97	14,9	6,79	5,64	16,4	
TiO ₂ , %	0,0048	0,0057	0,18	0,0048	0,035	0,0052	0,016	0,0037	<0,01	0,0039	0,004	0,0048	
Al ₂ O ₃ , %	0,11	0,1	3,05	<0,002	0,45	<0,002	0,74	0,004	1,11	0,89	0,48	0,49	
Fe ₂ O ₃ , общ. %	0,44	0,26	2,65	0,41	0,64	0,26	1,32	0,47	0,57	0,49	0,3	1,02	
MnO, %	0,011	0,005	0,019	0,003	0,006	0,003	0,013	0,004	0,011	0,004	0,003	0,007	
MgO, %	0,05	0,06	0,44	0,02	0,07	0,02	0,08	0,06	<0,05	0,01	0,01	0,01	
CaO, %	64,4	65,9	26,0	75,3	71,6	74,1	29,2	72,7	80,3	74,6	69,4	65,8	
Na ₂ O, %	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	<0,05	0,02	0,02	0,02	
K ₂ O, %	0,0	0,0	0,7	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	0,1	
P ₂ O ₅ , %	0,03	0,01	0,07	0,01	0,03	0,05	0,14	0,02	<0,05	0,02	0,02	0,02	
Be, г/т	1,69	<1	2,95	<1	<1	2,53	5,48	2,53	2,11	2,53	1,27	2,95	
Rb, г/т	<2	<2	52,5	<2	9,74	<2	6,63	<2	5,97	<2	<2	2,31	
Sr, г/т	173,0	129,0	82,2	157,0	218,0	173,0	90,7	833,0	107,0	129,0	134,0	176,0	
Ba, г/т	26,6	17,8	86,7	18,0	1240,0	10,3	106,0	8,22	30,5	5,98	6,73	15,0	
Cs, г/т	0,49	0,29	7,44	<0,1	0,82	0,29	4,46	0,16	1,09	0,26	0,33	0,74	
Pb, г/т	3,79	1,78	8,45	5,94	4,43	46,0	9,59	3,33	1,55	6,67	4,05	4,61	
Nb, г/т	0,65	0,77	2,03	0,86	1,86	0,76	0,82	<0,5	2,03	1,39	1,39	<0,5	
Ta, г/т	0,2	0,18	<0,1	0,22	1,4	0,22	0,1	0,14	0,77	0,18	0,17	0,13	
Th, г/т	0,14	<0,1	0,86	<0,1	0,21	0,42	0,52	<0,1	1,75	0,53	0,51	2,76	
U, г/т	0,35	0,21	0,66	0,13	0,25	0,61	1,77	0,24	0,69	0,57	0,37	1,41	
Ni, г/т	2,31	1,94	7,07	1,84	2,48	2,2	4,73	2,51	13,3	1,91	2,13	2,74	
Co, г/т	<1	<1	5,24	<1	<1	<1	1,58	<1	1,05	<1	<1	<1	
V, г/т	7,77	7,45	44,0	6,12	11,6	7,09	10,7	6,81	3,75	6,5	5,72	8,03	
Cr, г/т	13,0	12,2	26,0	13,4	16,8	13,7	16,9	14,6	20,4	14,7	14,9	16,4	
Mo, г/т	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,16	<1,0	10,9	1,79	2,33	2,58	
Sn, г/т	3,89	5,42	2,02	2,86	1,07	4,99	5,52	0,56	0,51	2,39	10,3	0,97	
Sb, г/т	0,47	0,33	1,87	0,48	0,5	5,07	9,06	0,62		0,34	0,37	0,47	
W, г/т	2,47	2,2	2,37	0,94	1,61	1,99	1,31	2,44	0,78	0,93	0,88	1,01	
Cu, г/т	52,8	86,2	35,3	42,9	15,2	79,4	105	9,81	1,77	36,1	147	16,5	
Ag, г/т	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Bi, г/т	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Zn, г/т	9,46	10,0	21,4	7,38	9,83	12,9	33,3	17,6	<5	13,4	8,76	8,83	
Li, г/т	70,7	56,3	350,0	6,54	28,4	18,3	320,0	4,1	7,25	11,1	9,67	34,0	
Zr, г/т	3,19	6,47	37,5	6,64	9,39	23,3	7,61	92,2	24,6	11,5	2,67	6,57	
Hf, г/т	0,37	0,17	1,32	0,37	0,2	0,59	0,27	1,81	3,67	0,39	0,17	0,23	
Cl, %	<0,005	<0,005	0,054	0,023	<0,005	0,021	0,023	<0,005	<0,005	0,027	0,033	0,031	
S, %	0,013	0,0052	0,037	<0,005	0,041	<0,005	0,013	0,059		<0,005	<0,005	<0,005	
C _{общ} , %	0,098	0,048	0,075	0,047	0,25	0,031	0,18	0,66		<0,03	0,064	0,042	

и флюоритсодержащих породах Восточного Забайкалья

флюоритовые										F-Mo-U стрельцовского типа			Улан- ское Au-Ag- поли- метал- личе- ское
рудопоявление			Калангуйское		Жет- ковское	Бере- зовское	Ленинградское рудопоявление		Стрель- цов- ское	Аргунское			
Флюорит зеленова- тый	Кварц- флюоритовый агре- гат белый	Кремнисто-лимо- нитовая брекчия с фиолетовым флюо- ритом	Флюорит крупно- зернистый	Флюорит шестова- тый	Кр/крист. розовый флюорит	Флюорит	Флюорит шестова- тый	Флюорит шестова- тый	Черный флюорит	Флюорит темно- фиолетовый	Доломит с жилками светлого флюорита	Флюорит светло- фиолетовый	
С- 383а-1	С-383а- 11	С-383б	1014-а	1007-в	110-в	178/65	Л-1	Л-1а	3217-в	С-388в- 1	С-388в	18007- 35/79	
<i>и микроэлементы</i>													
33,0	19,2	7,09	43,7	40,7	43,1	42,5	42,2	24,2	36,8	36,5	11,6	22,8	
22,3	41,6	64,1	0,69	0,7	2,39		1,1		7,21	13,0	3,72	9,91	
0,063	0,025	0,2	0,012	0,0066	0,0036	0,14	0,0041	0,0023	0,04	0,0039	0,016	0,0084	
2,27	3,11	2,86	0,078	<0,002	<0,002		<0,002		0,33	0,058	0,21	2,45	
1,27	2,09	8,57	0,34	0,13	0,33		0,43		1,73	0,91	1,35	6,87	
0,008	0,014	<0,01	0,004	0,002	0,003		0,007		0,051	0,007	0,076	1,19	
0,03	0,03	<0,05	0,1	0,03	<0,01		0,02		0,44	0,03	17,0	0,56	
56,6	35,7	18,6	75,5	78,7	76,0	57,6	77,6	58,3	69,6	67,7	42,2	46,8	
0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03		0,03		0,03	0,02	0,02	0,02	
0,8	0,9	1,5	<0,01	0	0		0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	
0,02	0,03	0,11	0,22	0,03	0,04		0,14		0,04	0,04	0,04	0,03	
<1	4,22	4,04	11,8	<1	3,8	1,18	10,5	11,0	3,37	4,22	<1	51,9	
39,4	45	65,2	<2	<2	<2	5,77	<2	<2	6,45	<2	6,3	21,7	
148,0	113,0	73,5	536,0	379,0	227,0	3610,0	660,0	892,0	827,0	286,0	123,0	99,1	
93,8	117,0	229,0	22,2	3,55	5,82	20,9	36,7	53,2	72,3	28,2	6,9	25,4	
0,97	2,3	4,04	<0,1	<0,1	0,16	1,89	0,15	<0,1	1,82	1,01	1,12	65	
5,15	26,1	8,39	5,68	2,59	36,0	15,4	49,9	9,6	41,3	1,74	24,8	59200,0	
4,57	1,69	4,8	1,18	0,58	5,68	3,13	1,56	1,87	2,4	0,58	1,28	4,47	
0,59	0,11	0,38	0,47	0,36	0,27	0,66	1,01	0,68	0,17	0,11	0,1	0,26	
7,89	9,81	20,4	0,55	0,22	<0,1	4,42	0,22	7,12	0,74	0,27	0,27	0,51	
3,65	3,86	17,0	3,96	1,13	0,24	0,4	0,87	0,46	813	244	15,3	0,64	
3,14	4,1	9,3	1,71	1,65	1,92	<1	2,25	<1	8,2	2,71	5,25	13,4	
1,08	1,3	0,92	<1	<1	<1	2,39	<1	<1	3,15	<1	1,26	8,47	
10,2	12,6	16,6	5,96	5,91	6,26	26,1	6,08	8,17	27,8	8,15	9,72	5,93	
17,1	19,2	34,2	17,3	14,1	14,6	18,9	15,6	16,9	21,8	15,1	16,8	13,8	
1,76	4,48	11,9	1,24	<1,0	<1,0	0,84	<1,0	0,65	5,55	80,5	6,62	<1,0	
4,96	2,13	1,5	2,3	5,3	3,0	4,23	0,86	3,86	2,0	1,06	4,08	18,4	
0,4	1,28		0,98	0,38	1,61	2,64	0,89	2,05	5,06	2,4	5,42	3,79	
1,51	3,84	2,68	17,8	2,98	1,88	85,1	11,2	13,8	6,15	1,7	1,99	4,14	
67,6	38,6	7,92	57,0	58,0	31,5	28,6	12,5	31,2	39,8	18,2	44,5	812,0	
<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	90,0	
<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	92,3	
8,8	9,9	15,6	9,05	7,84	7,42	17,7	39,7	13,3	30,9	19,1	591,0	16800,0	
35,5	98,2	22,6	2,69	1,58	6,73	16,7	2,33	2,41	15,5	45,9	9,88	49,0	
66,7	32,6	87,7	10,1	4,95	8,42	89,1	8,56	119,0	14,9	6,83	9,81	9,55	
2,3	1,14	2,38	0,88	0,31	0,45	9,66	0,57	22,7	0,32	0,17	0,25	0,35	
0,063	0,071	0,025	0,032	0,023	<0,005	0,030	0,024	0,023	0,033	0,104	0,071	0,092	
<0,005	<0,005		<0,005	0,006	<0,005		<0,005		0,16	0,028	0,45	5,81	
0,055	0,089		0,1	0,045	<0,03		<0,03		0,76	0,074	9,17	1,28	

Месторождения	Собственно												
	Абагайтуйское					Гозогорское		Гарсонуйское	Зеренское				
Минерал, горная порода	Флюорит зеленоватый	Флюорит фиолетовый	Кварц-флюоритовый агрегат белый	Флюорит светло-фиолетовый	Флюорит светло-зеленый	Флюорит крупнокристаллический	Полосчатый кварц-флюоритовый агрегат	Флюорит мелово-желтый	Кварц-флюоритовый розовый агрегат	Флюорит темно-фиолетовый	Флюорит светло-фиолетовый	Флюорит фиолетовый	
Номер пробы	C162б	C-162б-1	C-162д	C-162д-1	C-162е	C-1/08	C-1а/08	Г-1	C-382 (вал)	C-382	C-382-1	C-383а	
<i>Редкоземельные</i>													
La, г/т	8,73	4,11	5,6	4,43	11,7	5,5	3,96	0,64	5,6	4,44	4,26	9,44	
Ce, г/т	21,9	8,56	11,3	10,1	24	13,2	6,41	1,14	10,8	8,3	8,18	20,2	
Pr, г/т	3,35	1,13	1,41	1,21	2,79	2,05	0,89	0,17	1,35	1,06	0,95	3,12	
Nd, г/т	16,4	4,32	5,82	4,63	9,53	9,16	3,21	0,62	5,1	3,92	3,63	10,8	
Sm, г/т	7,06	0,9	1,3	0,99	1,97	2,97	0,68	0,13	1,5	1,01	0,85	2,48	
Eu, г/т	0,85	0,25	0,3	0,24	0,61	0,84	0,17	0,06	0,19	0,19	0,13	0,31	
Gd, г/т	9,91	0,83	1,36	1,00	1,22	3,85	0,78	0,18	1,86	1,43	1,13	2,13	
Tb, г/т	2,14	0,12	0,19	0,18	0,2	0,78	0,16	0,03	0,47	0,33	0,25	0,41	
Dy, г/т	12,9	0,82	1,08	0,88	1,13	5,21	1,03	0,19	3,4	2,25	1,74	2,95	
Ho, г/т	2,44	0,13	0,2	0,14	0,17	1,04	0,21	0,06	0,74	0,56	0,49	0,62	
Er, г/т	6,93	0,37	0,58	0,45	0,44	2,66	0,55	0,14	2,28	1,9	1,25	2,08	
Tm, г/т	1,09	0,062	0,064	0,066	0,073	0,34	0,076	0,017	0,4	0,24	0,21	0,34	
Yb, г/т	6,75	0,45	0,51	0,29	0,59	1,67	0,4	0,07	2,58	2,00	1,44	2,24	
Lu, г/т	0,94	0,06	0,11	0,06	0,09	0,21	0,07	0,02	0,41	0,28	0,24	0,36	
Y, г/т	151,00	6,14	7,99	7,89	7,66	37,6	9,43	2,08	29,2	22,2	16,1	20,1	

трансгрессивно налегают туфопесчаники, туфоконгломераты, туффиты, которые относятся к болбойской свите (J₃) (ГГК-200, 2002 г.). Выше залегает мощная толща андезибазальтов, состоящая из многочисленных потоков лав, разделенных горизонтами туфов и лавовых брекчий этих же пород. Полученный в лаборатории U-Pb изохронный возраст 153 и 146 млн лет характеризует нижнюю (базальтоидную) часть разреза абагайтуйского комплекса. Риолиты из верхней части разреза имеют возраст 142 и 140 млн лет (рис. 3).

Абагайтуйское месторождение представлено жилами выполнения открытых трещин. Длина Главной жилы достигает 720 м, промышленное оруденение прослеживается до глубины 350 м. Среднее содержание флюорита в жиле выше 60%. Кроме флюорита, в жилах установлены кварц, барит, манганокальцит, пирит, романешит, манганит, кальцит, адуляр, каолинит, халцедон, опал, сфалерит, хлорит и монтмориллонит. Адуляра немного, и он является наиболее ранним минералом.

Крупнокристаллический флюорит, определявший промышленную ценность месторождения, наиболее широко распространен. Его удельный вес ($3,17 \pm 0,01$), он содержит большое количество газовой-жидких включений, в которых преобладают гидрокарбонаты кальция.

Особенности распределения РЗЭ и других элементов в образцах флюорита различной окраски и

структуры в общем виде соответствуют стадийности процессов рудоотложения (рис. 4) [7].

Выделяются два типа линий спайдер-диаграмм. Для первого типа характерно плавное снижение содержаний от легких к тяжелым РЗЭ. Кривые похожи на распределение РЗЭ в андезибазальтах абагайтуйского комплекса (пробы C-162, C-175). Однако флюориты (C-162б-1, C-162д, C-162д-1, C-162е) отличаются от андезибазальтов более низкой суммой РЗЭ и относительно повышенным содержанием тяжелых РЗЭ. Во всех пробах флюоритов проявлены неинтенсивные тетрадные эффекты в распределении редких земель ($T = 0,11-0,18$), которые совершенно не проявлены в базальтах, зато наиболее интенсивно в пр. C-162д-1 в третьей и четвертой тетрадах. Это можно рассматривать как указания на колебания состава гидротермальных растворов, а также содержания в них РЗЭ [21].

Вторая разновидность флюоритов (пр. C-162б) конформна со спайдер-диаграммой лейкократовых гранитов лубинского комплекса (пр. C-162а). Именно подобные спайдер-диаграммы приведены в работе [3] при полном отсутствии спайдер-диаграмм флюоритов, подобных андезибазальтам.

Можно отметить повышенное содержание во флюоритах элементов-примесей Sr, Ba, Cr, Zn, а также Sn и Sb. Для флюоритов характерно низкое содержание U, Th, Cs, Rb, Be. Есть проба C-162д с высоким содержанием Zr, Rb, Pb, Zn, V,

флюоритовые									F-Mo-U стрельцовского типа			Улан- ское Au-Ag- полиме- талли- ческое
рудопоявление			Калангуйское		Жет- ковское	Бере- зовское	Ленинградское рудопоявление		Стрель- цовское	Аргунское		
Флюорит зеленова- тый	Кварц-флюоритовый агрегат белый	Кремнисто-лимо- нитовая брекчия с фиолетовым флюо- ритом	Флюорит крупнозер- нистый	Флюорит шестова- тый	Кр/крист. розовый флюорит	Флюорит	Флюорит шестова- тый	Флюорит шестова- тый	Черный флюорит	Флюорит темно- фиолетовый	Доломит с жилками светлого флюорита	Флюорит светло- фиолетовый
С- 383а-1	С-383а- 11	С-3836	1014-а	1007-в	110-в	178/65	Л-1	Л-1а	3217-в	С-388в- 1	С-388в	18007- 35/79
<i>элементы</i>												
17,5	28,9	98,7	1,00	0,58	1,68	8,21	0,63	0,94	3,32	0,53	2,14	9,05
45,5	61,3	188	2,52	1,29	4,23	16,9	2,43	3,79	7,58	1,21	3,83	18,9
6,26	9,06	22,4	0,44	0,17	0,63	1,98	0,41	0,78	1,2	0,21	0,43	2,18
24,5	32,7	81,9	2,66	0,75	2,78	7,65	2,63	4,47	5,96	1,00	1,56	8,71
5,9	6,73	15,8	1,29	0,38	1,24	2,18	1,99	3,62	2,79	0,75	0,48	1,96
0,91	0,71	1,35	0,54	0,13	0,9	0,87	1,1	2,29	1,6	0,48	0,11	0,03
5,76	5,45	12,1	2,37	0,75	1,98	2,59	4,09	7,18	3,65	2,15	0,45	1,65
1,21	0,89	1,82	0,49	0,17	0,59	0,54	1,43	2,32	0,51	0,55	0,1	0,29
8,62	5,18	8,41	2,99	1,12	5,2	4,15	12,5	21,5	2,48	3,8	0,48	1,73
1,76	1,08	1,3	0,49	0,24	1,36	0,93	3,36	5,67	0,44	0,79	0,11	0,41
5,17	3,07	3,22	1,24	0,39	4,33	2,86	11,3	20,5	0,99	2,3	0,4	1,23
0,78	0,46	0,43	0,17	0,041	0,62	0,43	1,7	3,05	0,11	0,3	0,055	0,2
5,96	3,17	3,27	0,78	0,28	4,59	3,13	13	23	0,77	1,79	0,35	1,25
0,88	0,41	0,4	0,13	0,05	0,62	0,47	1,83	3,34	0,12	0,26	0,05	0,17
72,1	35,5	37,6	13,2	7,59	40,8	27,7	149	240	20,2	42,3	4,66	15,00

Си и аномальным Li (табл. 1). Можно полагать, что эти аномалии отражают состав гидротермальных растворов, которые существовали во время образования флюоритовой жилы.

Гозогорское флюоритовое месторождение находится в центральной части Урулюнгуйского блока, вблизи северо-западной окраины Тулукуевской кальдеры (рис. 1). В настоящее время оно крупнейшее в Забайкалье [11] и локализовано в лейкократовых гранитах лубинского комплекса и частично в карбонатно-сланцевых породах дырбылкейской свиты позднего рифея.

Распределение РЗЭ в полосчатой кварц-флюоритовой жиле когерентно со спайдер-диаграммами гранитов Идангинского массива (лубинский комплекс – 250 млн лет). Проба флюорита С-1/08 сохраняет подобный Eu-минимум, но несколько обогащена тяжелыми РЗЭ (рис. 5). Сумма РЗЭ во флюоритах в 2–5 раз ниже, чем в гранитах. Можно отметить, что спайдер-диаграммы распределения РЗЭ во флюоритах Гозогорского месторождения вполне сопоставимы с флюоритами пострудной стадии Стрельцовского месторождения [2].

Кварц-флюоритовый агрегат (пр. 1а/08), имеющий состав 35% CaF₂, 35% SiO₂, около 20% карбоната, отличается аномальным содержанием Li. Это содержание во флюорите коррелируется с высоким содержанием Li во вмещающих гранитах (пробы ЮП-1070/1 и С-147). Кроме того, здесь имеет ме-

сто повышенное содержание Cu, Pb, Zn, Ba, Sr, Cl, а также углерода общего. В пр. С-1/08 отмечаются аномальные концентрации Cu, Pb, Sb, Zn и отчасти Li (таблица).

Гарсонуйское месторождение находится в пределах Кличкинского рудного узла. Оно занимает площадь около 9 км² и состоит из семи разобнесенных участков, контролируемых нарушениями Цаган-Золотойской зоны разломов. Многочисленные рудные тела представлены жилами выполнения, минерализованными флюоритом зонами дробления и гидротермально-метасоматическими залежами. Протяженность рудных тел от 50 до 1000 м, мощность от 0,4 до 60 м. Все флюоритовые жилы более поздние по отношению к полиметаллической минерализации [7, 11].

На **Даринском участке** Гарсонуйского месторождения флюоритовые тела приурочены к карбонатным отложениям кличкинской свиты (V–E₁). Они сохраняют текстуру вмещающих пород и представлены кварц-флюоритовыми бурундучными рудами.

Начирский участок Гарсонуйского месторождения сложен телами флюорита шестоватой текстуры. В жилах наблюдаются щелевидные полости. Из поздней генерации жильного материала взята проба Г-1 медово-желтого флюорита. Он резко обеднен РЗЭ (3,47 г/т), в особенности тяжелыми элементами. На фоне высокого содержания Sr (833 г/т), флюорит обеднен Pb, Zn и другими халькофильными,

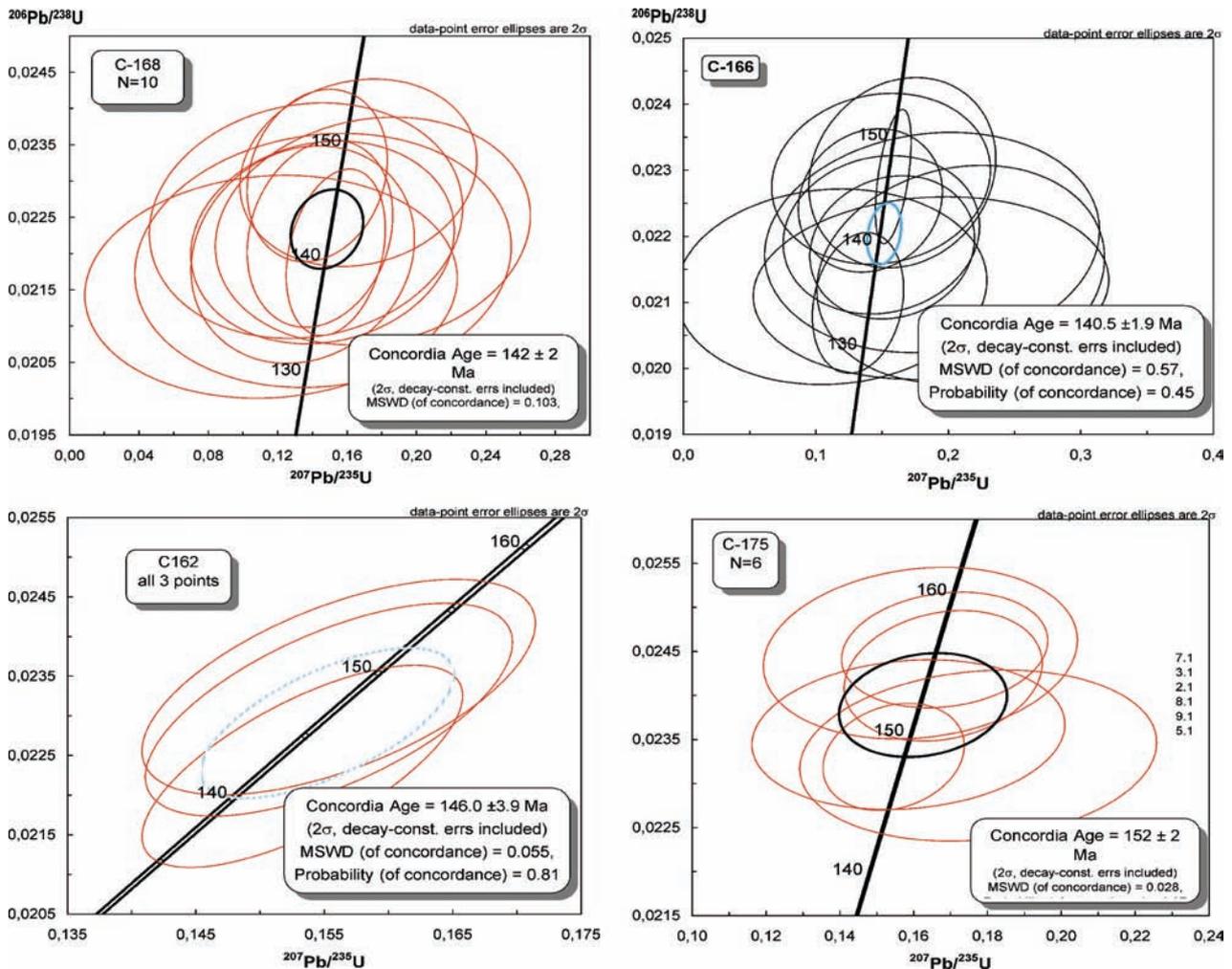


Рис. 3. U-Pb изохроны по цирконам из андезитбазальтов нижней части (пробы C-162, C-175) и риолитов верхней части (пробы C-168, C-166) разреза абагайтуйского комплекса

а также литофильными элементами. Это позволяет предполагать, что данный флюорит не имел генетической связи ни с полиметаллическими рудами, ни с более поздними лейкогранитами (пр. C-123) Кыр-Кириного массива (рис. 5, 6)

Калангуйское месторождение флюорита расположено в пределах Тургинского рудного узла (рис. 1) и локализовано в раннеюрских полимиктовых песчаниках, которые переслаиваются с углисто-глинистыми алевролитами. Около 80% запасов флюорита сосредоточено в жиле Главная, имеющей четковидную форму и мощность от 0,5 до 12 м. Длина жилы более 1300 м. Здесь преобладает шестоватый флюорит, относящийся к поздней, низкотемпературной стадии минерализации.

Калангуйский флюорит (пробы 1014-а и 1007-в) отличается повышенным содержанием Cl (вероятно, в составе газово-жидких включений), Cu, W, U, отчасти Sn, Be и высоким содержанием Sr. Подобно другим флюоритовым месторождениям региона, отмечается повышенное содержание Cr и V, а также S, что согласуется с присутствием в этих рудах пирита и марказита (таблица).

Жетковское месторождение, находящееся в единой флюоритоносной зоне с Калангуйским месторождением, имеет повышенное содержание Sr, Cu, Cr, V и отличается аномальным содержанием Y и Nb (таблица). Характерно относительно высокое со-

держание тяжелых редкоземельных элементов, имеется небольшой Eu-максимум (пр. 110-в, таблица).

По характеру распределения РЗЭ и других элементов-примесей флюориты Калангуйского и Жетковского месторождений не обнаруживают признаков конформности со спайдер-диаграммами гранитов кукульбейского комплекса (рис. 6). Повышенное содержание Eu, Gd, Tb, Dy в средней части линий спайдер-диаграмм флюоритов, вероятно, обусловлено аркозовым составом вмещающих пород. Известно, что полевые шпаты склонны к накоплению европия [13].

Березовское месторождение, расположенное на северо-восточном фланге Тургинской флюоритоносной зоны, находится в 2–3 км к югу от Балеиско-Тасеевского месторождения золота. По особенностям локализации и изменениям вмещающих пород флюорит (пр. 178/65) практически не отличается от флюоритов Калангуйского (пр. 1014-а) и Жетковского (пр. 110-в) месторождений, в том числе по распределению европия (Eu/Eu* 1,12) (рис. 6). Кроме того, имеет более высокую сумму РЗЭ. Среди элементов-примесей наблюдается очень высокое содержание W, Sr при низком содержании Rb и Ba. Характерно также повышенное содержание Cu, V, Pb, Zn, Sn, а также Sb.

Зеренское рудопроявление флюорита находится в северном обрамлении Восточно-Урулюнгульской

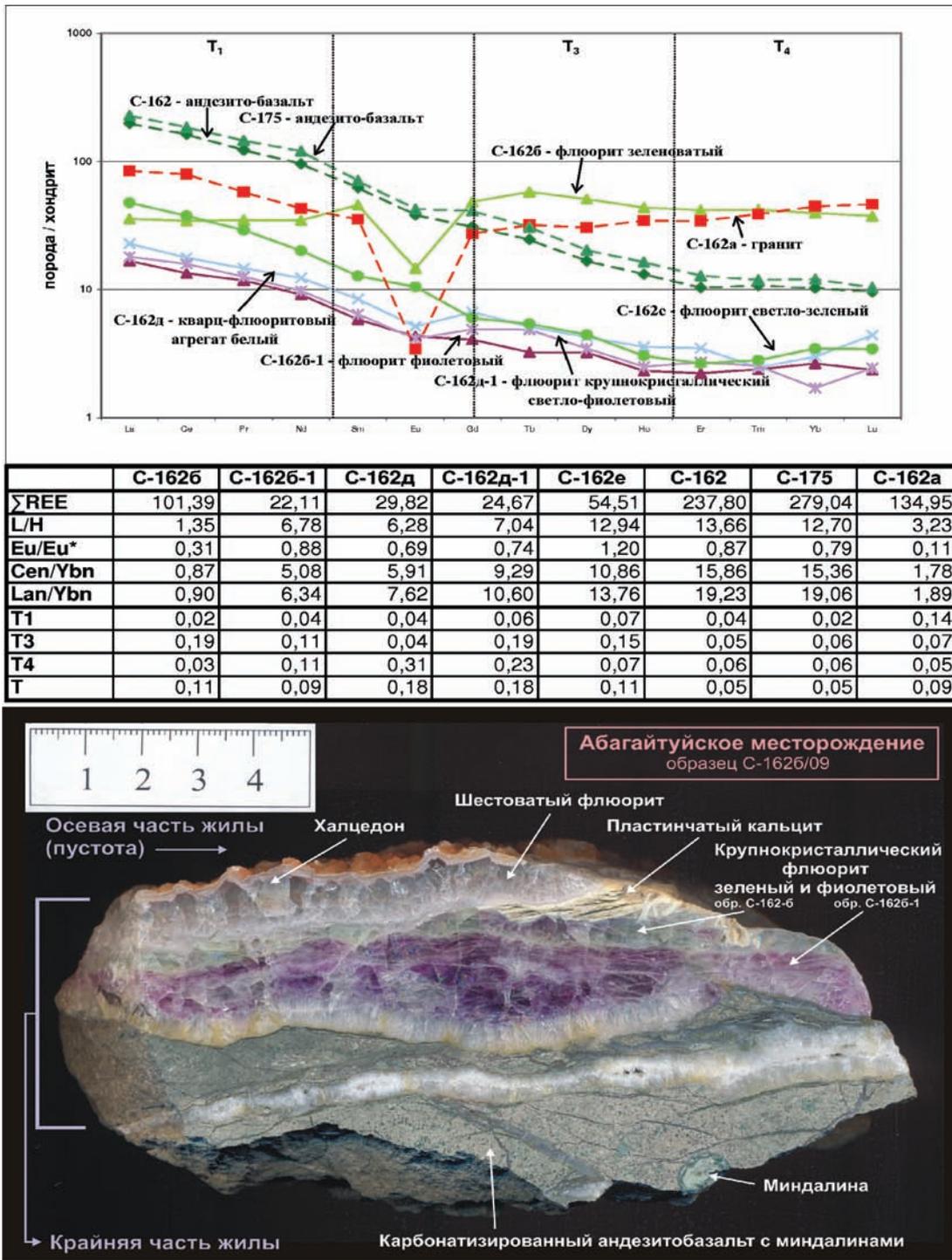
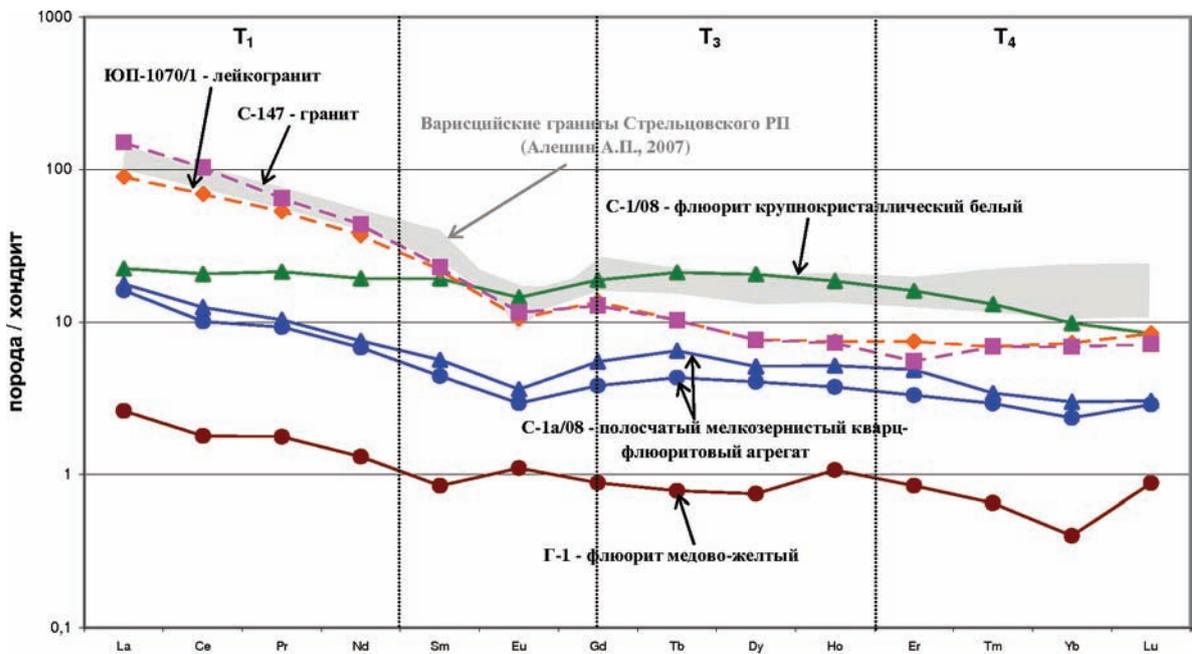


Рис. 4. Особенности распределения РЗЭ в образцах флюорита, относящихся к различным частям Главной флюоритовой жилы Абагайтуйского месторождения, в сопоставлении с распределением РЗЭ в андезитобазальтах (C-162, C-175) и гранитах (C-162а) лубининского комплекса.

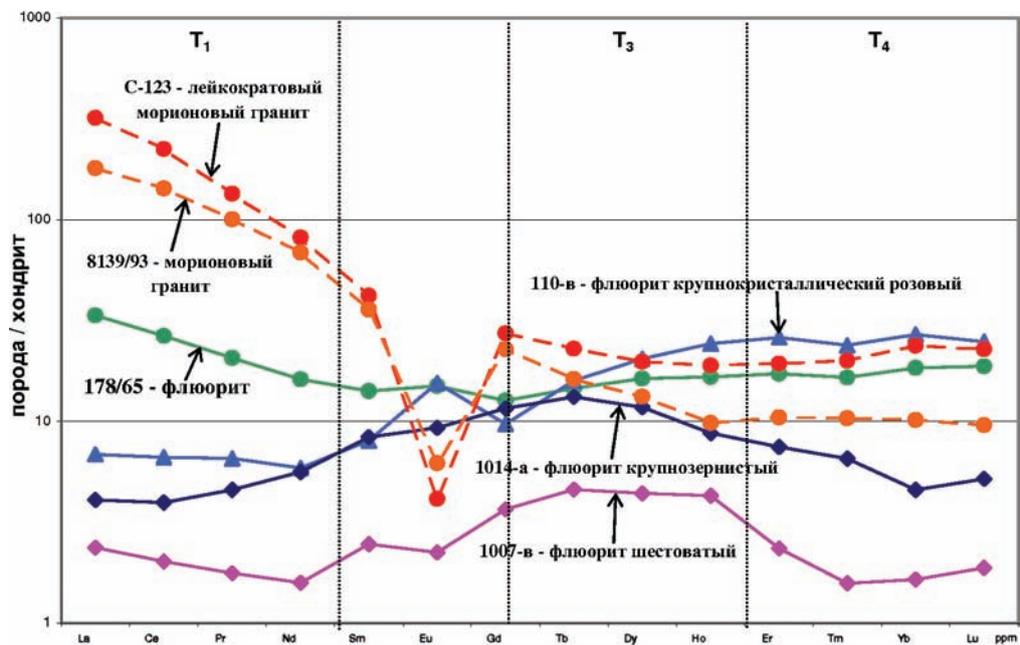
депрессии в 40 км от Стрельцовского месторождения на ССВ (рис. 1). Оно локализуется в гнейсовидных порфиробластических гранитах урулюнгуйского комплекса (U-Pb изохронный возраст 808–790 млн лет). Представлено зонами дробления и маломощными кварцево-флюоритовыми жилами. Преобладают брекчиевые текстуры, в которых самым поздним является серый и коричневый халцедон, содержащий угловатые обломки кварцево-флюоритового состава. В свою очередь флюоритовые агрегаты представлены обломками или про-

жилками медово-желтого, розового и редко темно-фиолетового, почти черного флюорита. Здесь изучены кварц-флюоритовые породы, концентраты и монофракции флюорита (7 проб). Все спайдер-диаграммы распределения РЗЭ имеют глубокий Eu-минимум. При повышении доли флюорита от 15 до 85% характер кривых принципиально не меняется, но понижается общая сумма РЗЭ, в особенности легких РЗЭ. Например, при содержании флюорита 80–85% отношение легких к тяжелым РЗЭ становится равным двум, т. е. флюорит



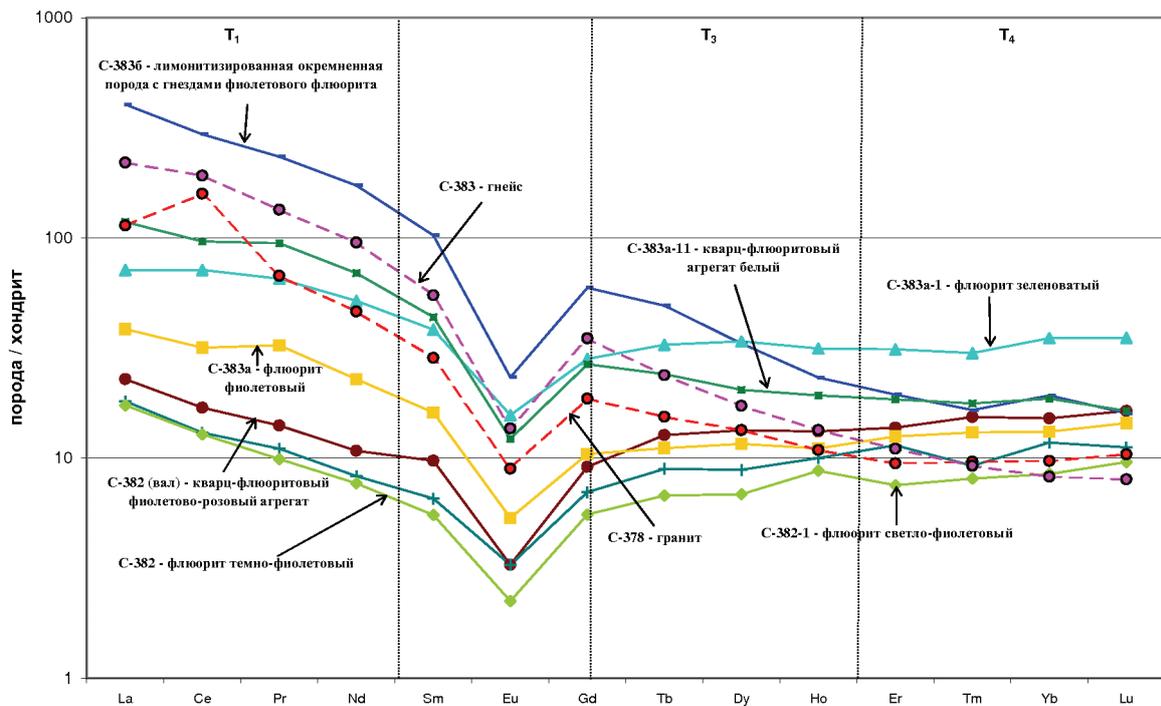
	Г-1	С-1/08	С-1а/08	С-1а/08'	ЮП-1070/1	С-147
Σ REE	3,47	49,48	22,345	18,598	101,1	104,4
L/H	3,92	2,14	4,04	4,67	11,04	12,40
Eu/Eu*	1,28	0,76	0,65	0,71	0,61	0,67
Ce _n /Yb _n	4,47	2,11	4,15	4,28	9,49	14,94
La _n /Yb _n	6,53	2,29	5,92	6,87	12,31	21,88
T ₁	0,11	0,04	0,05	0,12	0,05	0,03
T ₃	0,22	0,11	0,15	0,11	0,13	0,10
T ₄	0,42	0,04	0,17	0,16	0,10	0,11
T	0,28	0,07	0,13	0,13	0,10	0,09

Рис. 5. Особенности распределения РЗЭ в образцах флюорита (С-1/08, С-1а/08, С-1а/08') и во вмещающих гранитах (ЮП-1070/1, С-147) Гозгорского месторождения, а также во флюорите Гарсонуйского месторождения (Г-1)



	178/65	1007-в	1014-а	110-в	8139/93	С-123
Σ REE	52,89	6,34	17,11	30,75	196,31	300,47
L/H	2,50	1,09	0,98	0,59	13,92	13,41
Eu/Eu*	1,12	0,74	0,94	1,76	0,22	0,12
Ce _n /Yb _n	1,44	1,23	0,86	0,25	14,04	9,47
La _n /Yb _n	1,82	1,44	0,89	0,25	17,69	13,48
T ₁	0,01	0,02	0,11	0,05	0,08	0,08
T ₃	0,06	0,14	0,24	0,18	0,04	0,07
T ₄	0,05	0,24	0,15	0,07	0,03	0,07
T	0,05	0,16	0,18	0,11	0,05	0,07

Рис. 6. Особенности распределения РЗЭ в образцах флюорита Калангуйского (1007-в, 1014-а), Жетковского (110-в) и Березовского (178/65) месторождений и в гранитах кукульбейского комплекса – Соктуйский (8139/93) и Кыр-Кириинский (С-123) массивы



	C-382 (вал)	C-382	C-382-1	C-383a	C-383a-1	C-383a-11	C-3836	C-378	C-383
Σ REE	36,68	27,91	24,75	57,48	130,71	159,11	439,1	174,28	259,88
L/H	2,02	2,10	2,67	4,16	3,34	7,07	13,19	13,38	14,44
Eu/Eu*	0,35	0,48	0,41	0,41	0,48	0,36	0,30	0,39	0,31
Ce _n /Yb _n	1,12	1,11	1,52	2,41	2,04	5,16	15,34	16,34	23,26
La _n /Yb _n	1,51	1,54	2,05	2,92	2,04	6,33	20,94	11,73	26,66
T ₁	0,04	0,05	0,02	0,14	0,12	0,10	0,02	0,62	0,12
T ₃	0,19	0,09	0,07	0,06	0,12	0,04	0,10	0,02	0,06
T ₄	0,04	0,14	0,03	0,03	0,06	0,07	0,11	0,03	0,07
T	0,12	0,10	0,05	0,09	0,10	0,07	0,09	0,36	0,09

Рис. 7. Особенности распределения РЗЭ в образцах флюорита (С382, С382-1, С-383а, С-383а-1) и флюорит-содержащих пород Зеренского рудопоявления (С-382 (вал), С383а, С-3836), а также в порфиробластических гнейсовидных гранитах урулонгуйского комплекса (С-378, С-383)

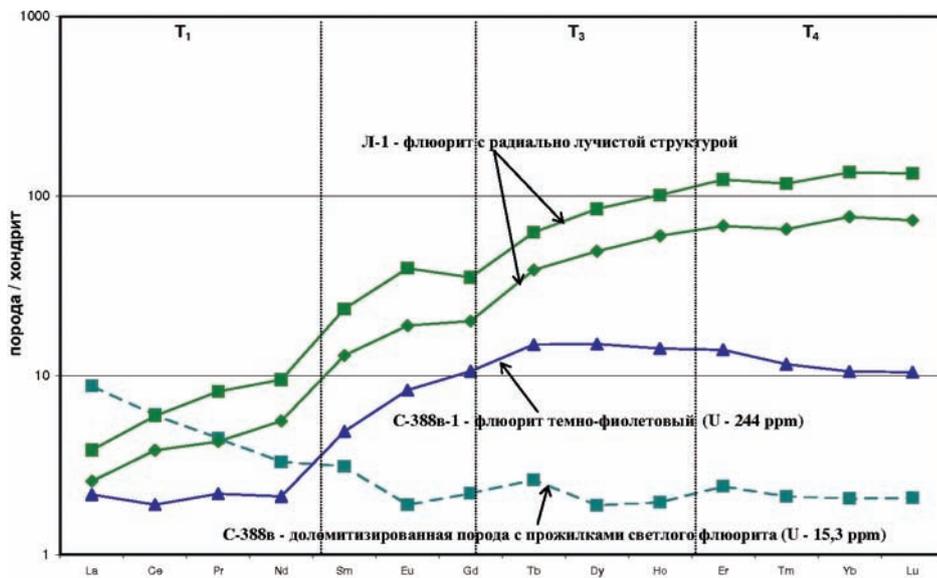
относительно специализирован на тяжелые РЗЭ (рис. 7).

В основном спайдер-диаграммы всех проб флюорита практически дублируют диаграммы урулонгуйских гранитов, включая $Eu/Eu^* = 0,30-0,40$. Тетрадные эффекты проявлены слабо, что говорит о стабильном содержании РЗЭ в растворах, которые дренировали урулонгуйские граниты в период рудообразования.

Несмотря на повышенную радиоактивность гранитов урулонгуйского комплекса (U 5–11, Th 27–42 г/т), содержание U во флюоритах очень низкое. Небольшое повышение U до 17 г/т и Th до 20 г/т отмечено только в окремненной лимонитизированной породе (14,58% CaF₂) (пр. С-3836). С увеличением содержания флюорита уровень содержания U и Th снижается, причем в темно-фиолетовом флюорите (пр. С-382) количество U и Th менее 1 г/т. Во всех пробах флюоритов также можно отметить повышенное содержание Y до 72,1, Si до 67,6, V до 12,6, Sr до 148, Ba до 117 г/т.

Ленинградское рудопоявление находится в северной прибортовой части Дуроевского прогиба Южно-Аргунской впадины (рис. 1). Прогиб сложен мощными покровами базальтов J₃–K₁, которые перекрыты угленосными отложениями кутинской свиты. Флюоритовая жила сложена шаровы-

ми обособлениями мономинерального флюорита с радиальнолучистой текстурой. Спайдер-диаграммы распределения РЗЭ в двух образцах флюорита из этой жилы (пробы Л-1 и Л-1а) обнаруживают резкое преобладание в них тяжелых РЗЭ над легкими (L/H = 0,19, L/H = 0,18) с резким возрастанием содержания РЗЭ от лёгких к тяжелым. Характерно также общее высокое содержание редких земель (58,4 и 102,45 ppm). Происхождение геохимической специализации на тяжелые элементы, возможно, связано с блоком меланократовых метаморфических вмещающих пород (участок Канга), который характеризуется высокой гравитационной положительной аномалией [19]. Данное распределение РЗЭ (рис. 8) сходно со спайдер-диаграммой распределения РЗЭ для флюорита Аргунского месторождения, которое также приурочено к блоку метаморфических пород в западной части фундамента Тулукуевской кальдеры (пр. С-388в-1). Дополнительно можно отметить, что для флюоритов Ленинградского рудопоявления характерна положительная Eu-аномалия и высокое содержание Y (149–240 г/т). В рассматриваемых пробах флюоритов отмечается также высокое содержание Pb, Cu, W, Be, Sr, Ba. Кроме того, имеются Cr, V, Ni и практически отсутствуют Rb, Li, Cs (таблица).



	С-388в	С-388в-1	Л-1	Л-1'
Σ REE	10,54	16,12	58,40	102,45
L/H	4,29	0,35	0,19	0,18
Eu/Eu*	0,72	1,16	1,18	1,37
Ce _n /Yb _n	2,92	0,18	0,05	0,04
La _n /Yb _n	4,24	0,21	0,03	0,03
T ₁	0,04	0,08	0,10	0,15
T ₃	0,17	0,23	0,27	0,22
T ₄	0,07	0,08	0,07	0,06
T	0,11	0,15	0,17	0,16

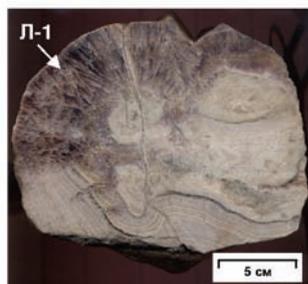
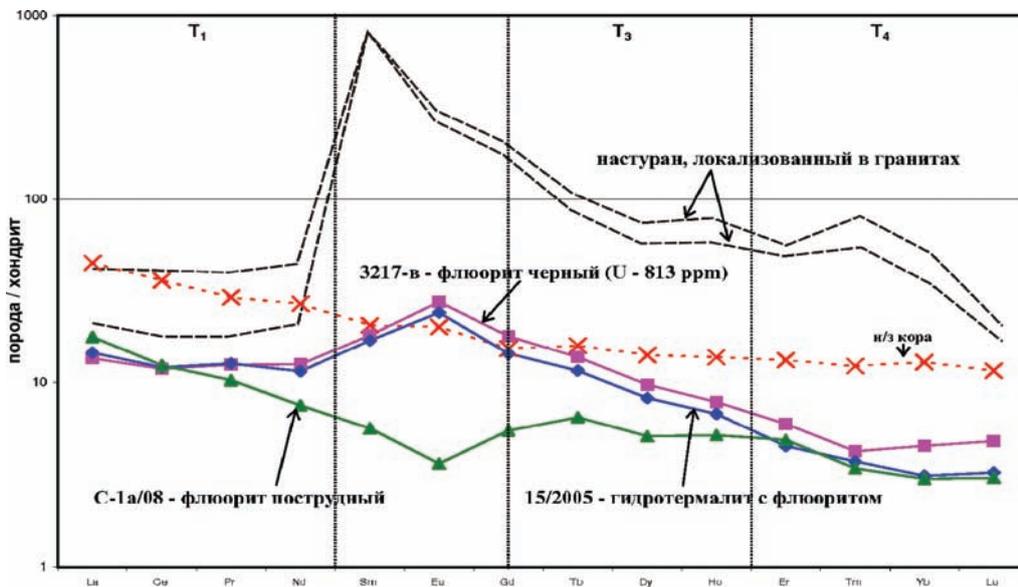


Рис. 8. Особенности распределения РЗЭ в образцах флюорита Ленинградского рудопроявления (Л-1) и флюорита (С-388в-1) и флюоритизированного доломита (С-388в) Аргунского уранового месторождения



	3217-в	15/2005	С-1а/08
Σ REE	31,52	29,31	22,35
L/H	2,48	3,01	4,04
Eu/Eu*	1,53	1,54	0,65
Ce _n /Yb _n	2,63	3,89	4,15
La _n /Yb _n	2,99	4,67	5,92

Рис. 9. Особенности распределения РЗЭ в синрудных (3217-в, 15/2005) и пострудных (С-1а/08) флюоритах и в настуране [3] Стрельцовского рудного узла

Распределение РЗЭ во флюоритах и флюоритсодержащих породах Стрельцовского и Дорнотского рудных узлов. В отличие от вышерассмотренных собственно флюоритовых месторождений, как правило, жильного типа, и имеющих возраст, близкий к началу образования кутинской свиты (К₁, апт, альб) [8], Тулукуевская кальдера (Стрельцовский рудный узел) характеризуется большой длительностью своего формирования [17]. Эта структура, вмещающая уникальные запасы урановых руд, отличается многостадийностью флюоритовой минерализации. Можно отметить, что первое урановое месторождение было выявлено в 1963 г. на месте небольшого собственно флюоритового месторождения, которое было открыто по заявке братьев Стрельцовых. В 1953 г. Они оказались не причастными к открытию урана, однако, благодаря им был открыт уникальный тип урановых месторождений, получивший название стрельцовский, который без флюорита не бывает.

Вопрос о роли фтора и флюорита в формировании рудных залежей остается спорным. Большинство исследователей придерживаются версии, что уран привносился в виде уранил-карбонатных комплексов [12]. Вместе с тем, всегда существовали и сейчас высказываются представления о моделях рудообразования с активным участием фтора [1], в особенности для богатого оруденения. Если в отношении светлых разновидностей флюорита общепринята версия о пострудном происхождении не вызывает особых сомнений, то в отношении «черного» флюорита вопрос остаётся открытым.

А. П. Алёшин и соавторы [1, 2] выделяют четыре стадии минерализации: дорудную, урановорудную, первую пострудную, вторую пострудную.

Намечается следующая последовательность рудоформирующего процесса в урановорудную стадию: альбитизация и гематитизация → бипирамидальный кварц и **темно-фиолетовый флюорит** → собственно урановорудная стадия → две генерации кварца, обрастающего крупными сферолитами настурана → **флюорит темно-фиолетовый и темно-коричневый**, обрастающий крупными сферолитами настурана, → четыре генерации настурана, которые разделены тектоническими подвижками.

В отличие от концепции Г.Б. Наумова [12], согласно которой первичные браннерит-настурановые руды образованы гидротермальными растворами в интервале температур 200–150 °С, в последнее время установлен более высокотемпературный (450–350 °С) характер минералообразования [1, 2]. В рудообразующей гидротермальной системе почти постоянно в значительном количестве присутствовал фтор. Установлено также, что в составе газовой фазы включений преобладает свободный кислород и очень мало водорода и углекислоты. В цитированных исследованиях заметное место занимают изотопно-геохимические анализы, в том числе данные о распределении РЗЭ во флюоритах и в урановых рудах (рис. 9).

Авторами статьи исследован образец черного флюорита 3217-в (Стрельцовское месторождение, коллекция А. О. Розенцвита). В отличие от флюоритов собственно флюоритовых месторождений, для этой пробы характерен Eu-максимум (рис. 9), а также высокое содержание U (813 г/т) при очень низком содержании тория (0,74 г/т). Тетрадные эффекты слабо выражены в первой и третьей тетрадах (0,07 и 0,04), но заметно проявлены в четвер-

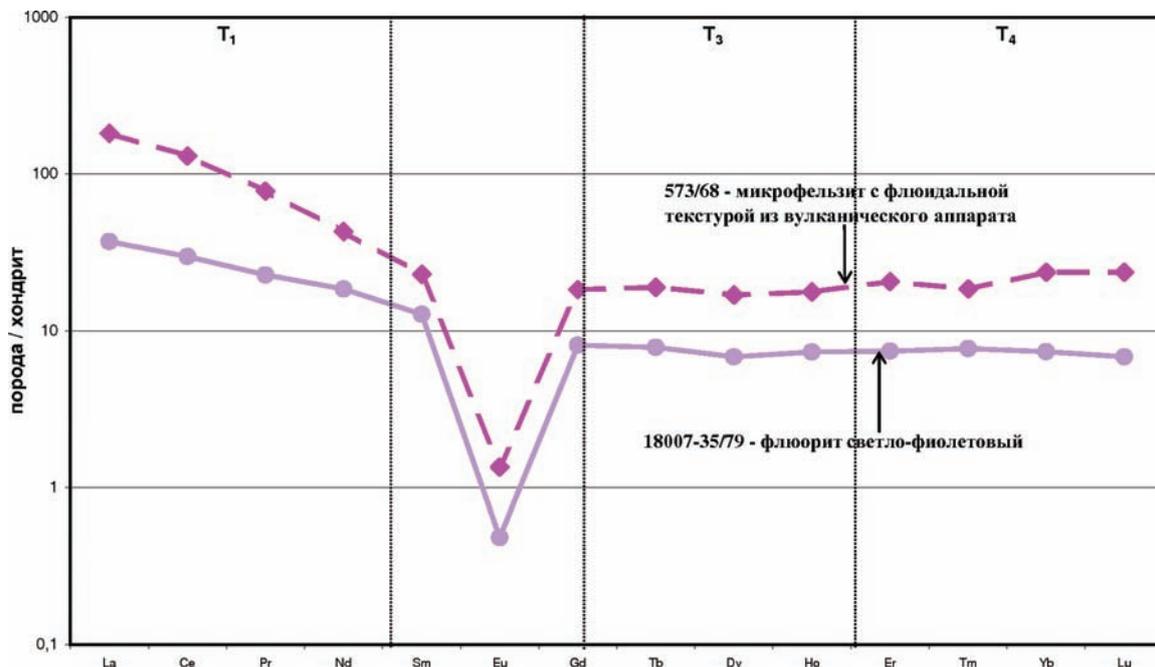
той тетраде (0,19). Среди других элементов-примесей установлены V, Cr, Ni, а также S, Sr, Cu, Zn, Pb (таблица). Надо отметить, что распределение РЗЭ в этой пробе на спайдер-диаграмме практически повторяет распределение РЗЭ в рудной пробе из месторождения **Сиань-Шань** в Китае (пр. 15/2005), что может говорить об их генетическом родстве.

Интересна проба черного флюорита С-388в-1, отобранная авторами из рудных отвалов месторождения **Аргунское** (рис. 8). Она обладает небольшим положительным Eu-максимумом и повышенным содержанием U, Mo, S, Cr, V. Наметилась тенденция, указывающая на совпадение положительного Eu-максимума на спайдер-диаграммах флюорита с аномальным содержанием в них урана. Во всех случаях содержание Th не превышает 1 г/т.

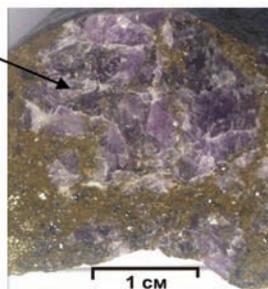
Уланское месторождение находится в пределах Дорнотской вулканотектонической структуры в северо-восточной части Монголии (рис. 1). По своему строению она сходна с Тулукуевской кальдерой и находится в 300 км к юго-западу от неё [18]. Уланское месторождение приурочено к субвулканической интрузии риолитов раннемелового возраста. В образце из Уланского месторождения (пр. 18007-35/79) содержится (%): F 22,83 (CaF₂ 47,5), S 5,81, Zn 1,68, Pb 5,9, SiO₂ 9,91, Fe₂O₃ 6,88, CaO 46,8. Это типичная богатая полиметаллическая руда с повышенным содержанием Ag 90, Cu 812 и Bi 92,3 г/т. Спайдер-диаграмма распределения РЗЭ в этом образце характеризуется очень глубоким Eu-минимумом, и в этом отношении распределение вполне сопоставимо с риолитами Дорнотской ВТС (пр. 573/68) (рис. 10). Эта флюоритоносная порода содержит Cr 13,8 и V 5,93 г/т, что сопоставимо с флюоритами Приаргунья. Дополнительные особенности данной пробы – высокое содержание Cs, Be, Sn, Li, MnO (таблица). Очень мало Rb, U, Th. Целесообразно отметить, что на полиметаллическое оруденение накладывается урановая минерализация с флюоритом, а завершается гидротермальная деятельность формированием мощных флюоритовых жил, находящихся непосредственно к северу от Уланского месторождения. Таким образом, при формировании Уланского рудного узла отлагался флюорит, относящийся к трём этапам (стадиям) рудообразования: серебро-полиметаллического, фтор-молибден-уранового и собственно флюоритового [14].

Обсуждение результатов. Касаясь генезиса флюоритовых месторождений Забайкалья, исследователи обычно затрагивают вопрос об источниках фтора. Главное внимание привлекают геохимически специализированные на фтор горные породы. Это малые интрузии лейкогранитов (J₃), субщелочные базальты и андезибазальты (J₃–K₁), а также позднедокембрийские карбонатные толщи [5, 7, 11, 16]. Однако процесс преобразования отмеченных геохимических аномалий в месторождения остается не известным.

Данные о распределении РЗЭ в 12 месторождениях (рис. 4–10) позволяют несколько уточнить представления о процессах накопления фтора, его миграции, а также о взаимоотношениях фтора и кальция на пути к образованию минерала CaF₂ – флюорита. Чтобы не повторяться, целесообразно осветить характерные свойства фтора и кальция, которые необходимы для интерпретации генетических выводов.



18007-35/79



	18007-35/79	573/68
∑ REE	47,76	176,86
L/H	5,89	8,71
Eu/Eu*	0,05	0,07
Ce _n /Yb _n	4,04	5,51
La _n /Yb _n	5,02	7,70
T ₁	0,02	0,14
T ₃	0,07	0,05
T ₄	0,06	4,93
T	0,05	2,85

Рис. 10. Особенности распределения РЗЭ в образцах флюорита (18007-35/79) и риолита (573/68) Уланского полиметаллического месторождения Дорного рудного района (Монголия)

Фтор считается типично мантийным элементом, его концентрация (13,5–26 г/т) в примитивной мантии резко превышает содержание хлора, брома и, вероятно, других минерализаторов [20]. Фтор – уникальный окислитель, он может отнимать водород у воды [6], вместе с водой, щелочами, кальцием и магнием создает первичные базальтовые расплавы. Фтор мигрирует из мантии совместно с сильными катионами (Na, K, Ca). Растворимость фтора в расплавах, особенно повышенной основности, значительно выше, чем растворимость воды. Известно, что повышенное содержание фтора способствует ликвации и кристаллизационной дифференциации магматических расплавов. Л. Н. Когарко и Л. Д. Кригман [10] подчеркивают, что фтор не стремится входить в структуру алюмосиликатов, а концентрируется в остаточных флюидах-расплавах. При этом фтор способствует концентрации в остаточных расплавах крупных (некогерентных) элементов РЗЭ, U, Th и др. Для активной деятельности анионов фтора в гидротермальной обстановке необходимо пониженное содержание катионов кальция и магния. В этих условиях может иметь место реакция $\text{SiO}_2 + 4\text{HF} = \text{SiF}_4\uparrow + \text{H}_2\text{O}$, как на Катмаи, в Долине 10 тысяч дымов.

Кальций – весьма распространенный в земной коре и в мантии элемент (кларк Ca – 3,8 и 3,5%). В эндогенной (мантийной) среде он активно взаимодействует с фтором и совместно со щелочными элементами участвует в образовании первичных базальтовых расплавов [10]. В дальнейшем в условиях кристаллизационной дифференциации и ликвации

магматических расплавов кальций уходит в твердую фазу в составе плагиоклазов, пироксенов, амфиболов. В гидротермальной и гипергенной обстановках кальций энергично препятствует миграции фтора, и в результате создаются месторождения флюорита.

Флюорит (CaF_2) – типичный эпигенетический, преимущественно гидротермальный минерал. Он обладает очень низким произведением растворимости и устойчив в широком диапазоне t° , p, Eh и pH [6].

При изучении распределений РЗЭ во флюоритах, а также во вмещающих породах главное внимание обычно обращается на типоморфные особенности спайдер-диаграмм [2–4], а также на такие дополнительные характеристики, как сумма РЗЭ, соотношение между легкими и тяжелыми РЗЭ, отношение Eu/Eu*, тетрадные эффекты и др. [13, 21]. В статье использованы эти методы интерпретации распределений РЗЭ. Кроме того, простота минералогической формулы флюорита (CaF_2) позволяет предполагать, что геохимические особенности этого соединения в каждом конкретном случае сохраняют некоторые сведения об особенностях миграции и концентрации составляющих его двух элементов. В этой связи состав РЗЭ во флюорите, вероятно, зависит от того, какие составы РЗЭ сопровождали флюиды-растворы кальция и фтора в момент образования флюорита. В свою очередь это позволяет предполагать, откуда «приходили» во флюорит Ca и F.

Наметилась чёткая зависимость состава РЗЭ во флюоритах от состава РЗЭ вмещающих пород. По

этому признаку выделено восемь групп спайдер-диаграмм (рис. 4–10), характеризующихся индивидуальными особенностями генезиса месторождений и рудопроявлений флюорита. Главным признаком для их выделения служит типоморфное сходство спайдер-диаграмм флюоритов и вмещающих пород каждого конкретного месторождения. Наиболее отчетливо это подобие установлено на Абагайтуйском и Гозогорском месторождениях и Зеренском рудопроявлении (рис. 4–6). Признаки такой аналогии намечаются на Калангуйском, Жетковском и Березовском месторождениях (рис. 6). Учитывая геологические особенности формирования каждого из этих месторождений, можно предполагать, что многообразие типоморфных особенностей спайдер-диаграмм определяется различными источниками кальция во флюоритовых жилах. С кальцием, по-видимому, привносилась большая часть РЗЭ во флюорит каждого конкретного месторождения. Это главный аргумент, свидетельствующий о том, что F и Ca во флюорите происходили из разных источников.

Косвенно об этом свидетельствуют результаты распределения других элементов-примесей. Практически во всех изученных флюоритах и флюорит-содержащих породах наблюдается большое разнообразие состава и концентраций литофильных и отчасти халькофильных элементов. Эти данные во многом подтверждают геохимическую специализацию вмещающих пород. Однако имеются и иные признаки.

Наметилась геохимическая особенность флюоритовых месторождений Забайкалья – это стабильно-равномерное содержание во флюоритах сидерофильных элементов – хрома, никеля, кобальта, ванадия (рис. 11). Иными словами, хаотический облик

спайдер-диаграмм распределения РЗЭ создают вмещающие породы и растворы, из которых заимствован кальций. Фтороносные флюиды, поступающие из глубин и характеризующиеся равномерным распределением сидерофильных элементов, являются индикатором родственности всех флюоритовых месторождений, парагенетически связанных с базальтовыми расплавами. Это подтверждается следующими аргументами.

Региональная фтороносность базальтовых покровов Забайкалья и Монголии, к которым тяготеют многочисленные флюоритовые месторождения [16].

Локальные базальтовые плюмы, связанные с эволюцией Монголо-Амурской палеорифтовой системы, существовали длительное время (не менее 15–20 млн лет). Это подтверждается нашими результатами на примере изучения покровов базальтов в разрезах Тулукуевской кальдеры и Абагайтуйского прогиба (рис. 2, 12).

В процессе эволюции базальтовых магм происходило плавное накопление щелочей, фтора, сокращение кальция и магния за счёт увеличения содержания кремнезёма, алюминия. Но такая эволюционная дифференциация, вероятно, не могла непосредственно приводить к значительному накоплению фтора в базальтовом расплаве. Об этом свидетельствует относительно небольшое приращение содержания фтора в базальтах от ранних покровов к наиболее молодым [16]. Так же плавно и синхронно происходило изменение состава РЗЭ в соответствующих покровов базальтов (рис. 13). Этот признак, вероятно, можно будет использовать для определения стратиграфической последовательности покровов базальтов в конкретных регионах.

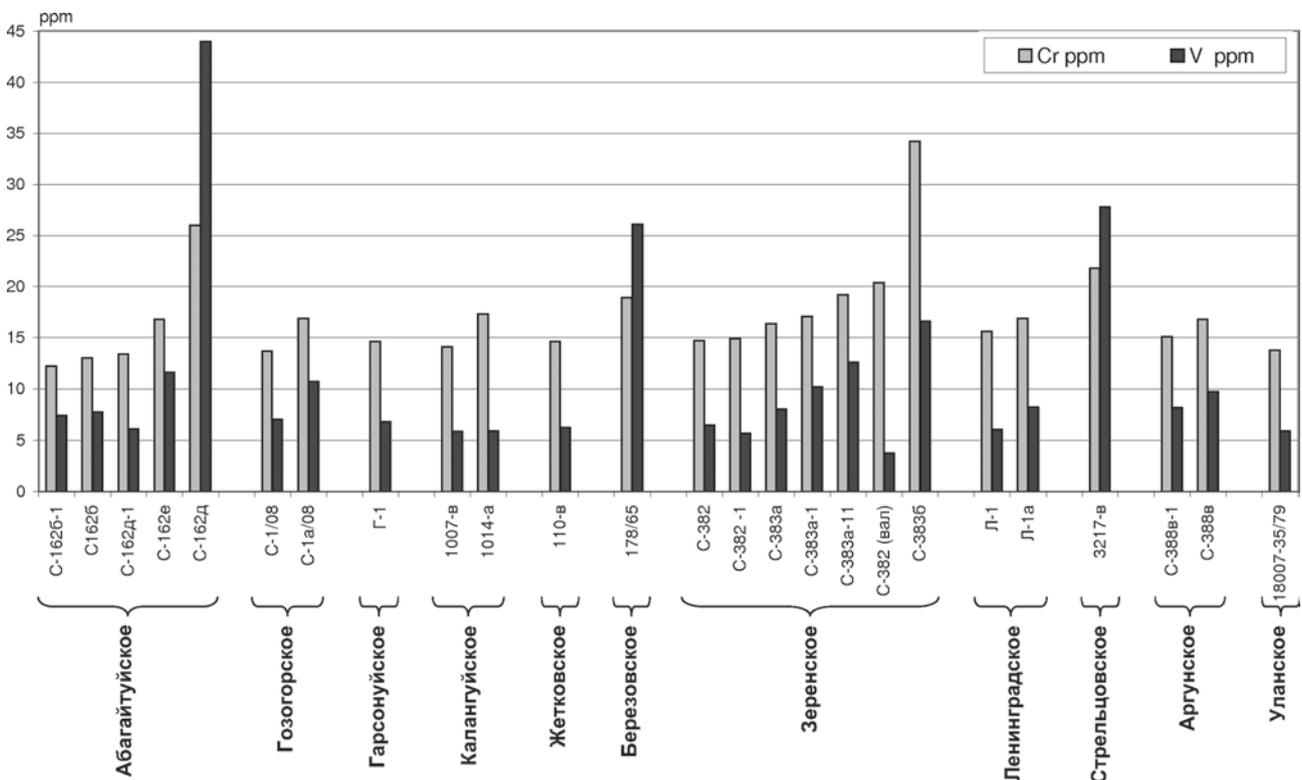


Рис. 11. Гистограмма распределения содержаний хрома и ванадия во флюоритах и флюоритовых концентратах из месторождений Восточного Забайкалья

Для получения концентрированных фторсодержащих потоков флюидов, вероятно, были необходимы кристаллизационная дифференциация и ликвидация остаточных базальтовых очагов, по модели, предложенной Л. Н. Когарко и Л. Д. Кригман [10]. Подтверждением реальности подобной модели служат подобие составов РЗЭ и конформность спайдер-диаграмм базальтов и флюорита на Абагайтуйском флюоритовом месторождении.

Предлагается следующая модель формирования флюоритовых месторождений абагайтуйского типа. Они локализируются в блоках древней континентальной литосферы, сложенных преимущественно рифейскими терригенно-карбонатными отложениями и гранитоидами урулюнгуйского комплекса (800 млн лет). Флюоритовое рудообразование происходило в позднем мезозое в геодинамической обстановке, соответствующей начальному и зрелому этапам внутриконтинентального рифтогенеза. Характерны интенсивные излияния субщелочных лейкократовых, реже оливиновых базальтов, причем уже первичный состав расплавов характеризуется повышенным содержанием фтора (600–700 г/т). В дальнейшем происходило повышение содержания щелочей, фтора (1000–1500 г/т), а также РЗЭ, тория (от 3 до 7 г/т) и других литофильных элементов. Возраст базальтов 152–146 млн лет (рис. 3). Кроме базальтов, развивались локальные вулканические постройки риолитов (145–128 млн лет) [17]. С этими постройками связаны флюоритсодержащие месторождения урана стрельцовского типа и серебро-полиметаллические месторождения уланского типа. Собственно флюоритовые месторождения формировались в период образования узких грабенов,

осадконакопление в которых завершилось угленосными отложениями кутинской свиты (K_1 , апт – альб). В краевых частях прогибов и за их пределами образовались глубокие трещины, по которым началось поступление фтороносных флюидов [8].

Для образования мощных флюоритовых жил необходимо было развитие периодически расширяющихся трещин [7], по которым поступали эндогенные фтороносные флюиды, отличавшиеся повышенной летучестью. В эти трещинные структуры одновременно поступали термальные кальцийсодержащие растворы. Эти растворы возникали в обстановке интенсивной гидротермальной проработки покровов базальтов, разновозрастных гранитных массивов и терригенно-карбонатных образований. Факты смешения фтороносных эндогенных эманаций с приповерхностными термальными водами и иные особенности генезиса обоснованы в многочисленных работах по геологии флюоритовых месторождений [5, 7, 8, 11, 15] и отражены в структурах многочисленных спайдер-диаграмм РЗЭ и других геохимических особенностях флюоритов, флюоритсодержащих пород и вмещающих пород (рис. 4–8).

Известно, что на **Стрельцовском** месторождении нередко до 15–20% рудной массы занимал флюорит, в том числе темно-фиолетовый урансодержащий [9]. Многие исследователи обычно относили флюорит к пострудной стадии минерализации. Но в работах М. В. Вампилова и А. О. Розенцвита отмечалось, что кристаллы флюорита секутся тонкими прожилками настурана, т. е. этот минерал непосредственно участвовал в рудоформирующих процессах. Подобные выводы об активном участии фтора

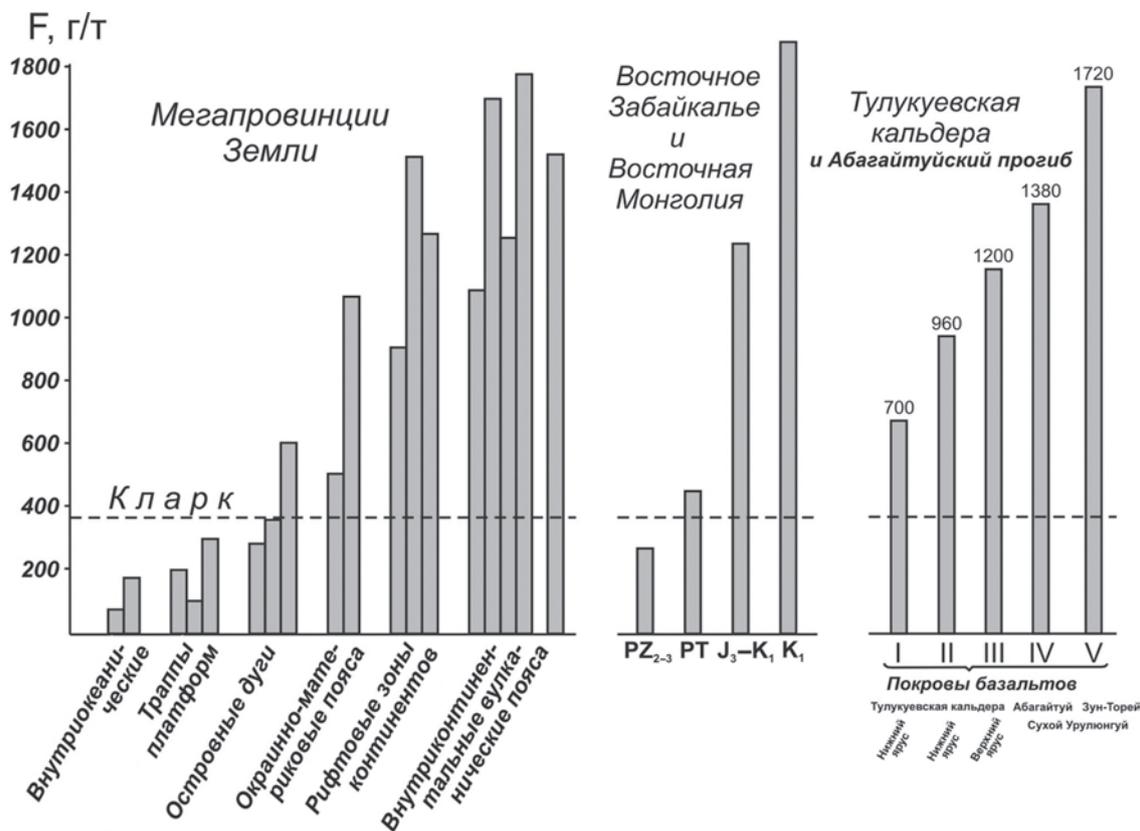
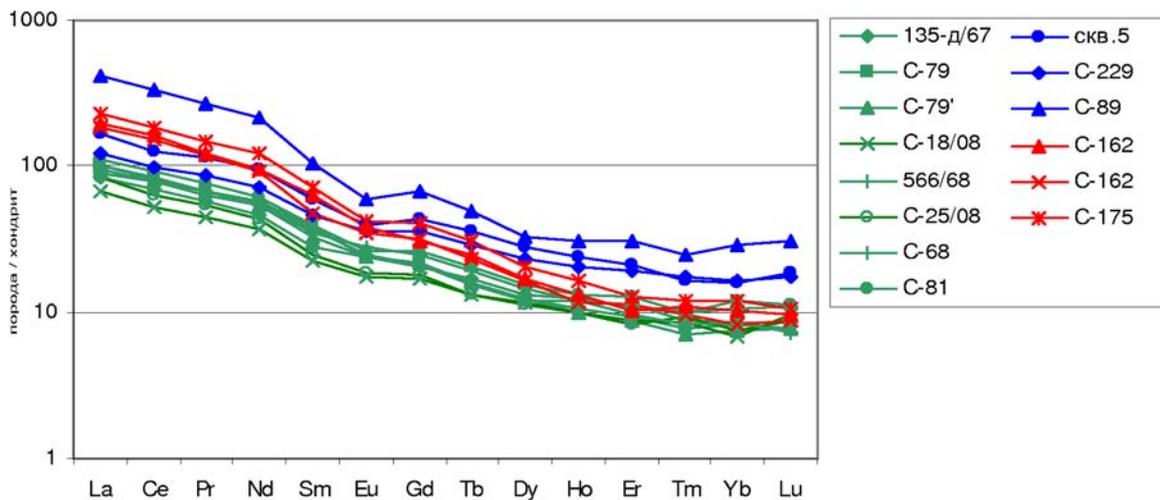


Рис. 12. Фтор в базальтах и андезитобазальтах как индикатор металлогенической специализации на флюорит [26] с дополнениями авторов по Забайкалье



REE, ppm	скв.5	C-229	C-89	C-162	C-175	135-д/67
ΣREE	214,69	165,97	494,6	237,8	279,04	109,86
LREE	189,14	143,78	457,6	221,58	258,67	96,91
HREE	25,55	22,19	37	16,22	20,37	12,95
L/H	7,4	6,48	12,37	13,66	12,7	7,48
Eu/Eu*	0,783	0,891	0,69	0,87	0,79	0,99

REE, ppm	C-79	C-18/08	566/68	C-25/08	C-68	C-81
ΣREE	130	86,72	125,89	101,51	123,06	145,36
LREE	117,91	76,25	112,09	90,91	111,02	129,89
HREE	12,09	10,47	13,8	10,6	12,04	15,47
L/H	9,75	7,28	8,12	8,58	9,22	8,4
Eu/Eu*	0,84	0,89	0,95	0,89	0,88	0,81

Рис. 13. Распределение РЗЭ в породах базальтов и андезибазальтов
 синий цвет – тургинской свиты ($K_1-K_2 - 78,48 \pm 0,76$ млн лет); красный цвет – абагайтуйского комплекса ($J_3-K_1 - 152-146$ млн лет); зеленый цвет – нижнего яруса Тулукувской кальдеры ($J_3 - 165-155$ млн лет)

в рудообразовании поддерживаются в работах [1, 2]. Также хорошо известна концепция о том, что флюорит в большинстве случаев связан с пострудной стадией минерализации [12].

Нами сопоставлены черные флюориты Стрельцовского и Аргунского месторождений со светлыми флюоритами, взятыми на Гозогорском месторождении. Они существенно отличаются по составу РЗЭ и других элементов-примесей (рис. 9). Флюорит, сопровождающий урановую руду Стрельцовского и Аргунского месторождений, характеризуется положительной Eu-аномалией и повышенным содержанием урана (200–800 г/т) при очень низком содержании тория. Это проявлено также на месторождении Сиань-Шань в Китае. Представляется, что подобные факты могут служить положительным критерием при прогнозировании урановых месторождений стрельцовского типа.

Уланский тип серебро-полиметаллических месторождений представляет собой новый, более молодой тип месторождений, по сравнению с традиционными месторождениями Приаргунского полиметаллического пояса. Месторождения уланского типа локализуются в нижнемеловых вулканических аппаратах центрального типа [14]. Процесс рудообразования развивался последовательно: серебро-полиметаллическое оруденение с флюоритом → урановое оруденение с флюоритом → собственно флюоритовое месторождение. Соответственно флюориты каждого этапа имеют свои геохимические особенности, в том числе в отношении распределения РЗЭ.

Заключение. Флюоритовые месторождения Забайкалья формировались из двух пространственно и генетически разобщенных источников. Фтор во

флюоритах и флюоритсодержащих породах месторождений абагайтуйского типа имеет мантийное происхождение и парагенетически связан с субщелочным базальтовым магматизмом J_3-K_1 возраста. Непосредственным источником фтора, вероятно, были солевые бескальциевые флюиды, отделявшиеся из резко обогащенных фтором остаточных расплавов долгоживущих очагов базальтовых магм [10, 16]. Главным источником кальция для образования флюоритов были термальные, насыщенные кальцием растворы, которые находились в равновесии с вмещающими горными породами. В метасоматических флюоритовых месторождениях кальций замещивался непосредственно из слоистых карбонатных толщ рифейского или венд-кембрийского возраста.

Охарактеризовано восемь флюоритовых месторождений, каждое индивидуально по составу и типоморфным особенностям РЗЭ, определяющимся происхождением кальцийсодержащих растворов, которые участвовали в образовании минерала CaF_2 . Установлено, что спайдер-диаграммы флюоритов вполне сопоставимы с конкретными комплексами вмещающих пород, в числе которых гнейсовидные граниты урулюнгуйского комплекса (R_3), среднезернистые лейкократовые граниты лубининского комплекса (T_1), андезибазальты абагайтуйского комплекса (J_3-K_1), аркозовые песчаники (J_{1-2}), доломиты и метаморфические сланцы (R_{2-3}), вулканогенно-осадочные образования болбойской свиты (J_3). Можно отметить, что признаков связи флюоритов Калангуйского месторождения с кукульбейскими гранитами не обнаружено.

Изученные флюориты характеризуются равномерно повышенным содержанием хрома, ванадия и других сидерофильных элементов, что свидетель-

ствует о едином источнике фтора для всех флюоритовых месторождений абагайтуйского типа.

Обнаруженные в изученных флюоритах и флюоритосодержащих породах аномалии Li, Be, Mo, Pb, Zn, Cu, Sb можно рассматривать в качестве индикаторов гидрохимической специализации термальных растворов, которые существовали в период формирования флюоритовых жил. Наиболее интересна геохимическая аномалия во флюорите из рудопоявления Ленинградское. Этот флюорит специализирован на тяжелые РЗЭ, (включая Y), аномально обогащен Pb, Zn, Cu, W, Be, и Sr, и почти полностью лишен редких щелочей.

Аномальные концентрации урана в «черных» флюоритах из урановых руд месторождений Стрельцовское, Аргунское, а также Сиань-Шань (Китай) предположительно связаны с переносом урана в виде уранил-фторидных комплексов. Они характеризуются положительными Eu/Eu* аномалиями на спайдер-диаграммах флюорита из этих месторождений.

Во флюоритовом концентрате из руд Уланского серебро-полиметаллического месторождения отмечаются аномальные концентрации Ag (60 г/т), Pb, Zn. Это один из признаков того, что позднемезозойские вулканические постройки центрального типа могут вмещать богатые залежи серебро-полиметаллических руд.

По геологическим данным, промышленные месторождения флюорита абагайтуйского типа имеют более молодой возраст по сравнению со стрельцовским (140 и 135 млн лет) урановым рудообразованием [8, 17].

Предложены новые подходы, касающиеся использования РЗЭ для исследования генезиса гидротермальных месторождений флюорита. Авторы полагают, что состав РЗЭ флюоритов формировался в результате взаимодействия тех флюидов, которые сопровождали фтор и кальций в момент образования флюорита. В общем виде типоморфизм РЗЭ флюоритов конкретных месторождений определяется составом вмещающих пород, из которых происходили кальцийсодержащие растворы. Исследованы тетрадные эффекты спайдер-диаграмм РЗЭ флюоритов [21].

Авторы выражают благодарность всем специалистам, выполнявшим аналитические работы, а также руководителям ЦЛ ВСЕГЕИ С. С. Шевченко, В. Н. Топорскому, Г. Н. Олейниковой за консультации по рациональному использованию лабораторного потенциала ЦЛ, интерпретации полученных данных и особенно за то, что некоторая часть анализов была выполнена за счет внутренних ресурсов ЦЛ.

1. Алешин А. П., Величкин В. И., Крылова Т. Л. Генезис и условия формирования месторождений уникального молибден-уранового Стрельцовского рудного поля: новые минералого-геохимические и физико-химические данные // Геология рудных м-ний. 2007. Т. 49. № 5. — С. 446–470.

2. Алешин А. П., Андреева О. В., Величкин В. И. и др. Месторождения Стрельцовского рудного поля и Карку // Крупные и суперкрупные месторождения рудных по-

лезных ископаемых. Т. 2: Стратегические виды рудного сырья. — М.: ИГЕМ РАН, 2006. — С. 299–341.

3. Андреева И. П. Некоторые особенности редкоземельного состава флюоритов и практическое использование их при поисках месторождений молибден-урановой формации (на примере Ю. Приаргунья) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информ. сб. — М.: ВИМС, 1984. Вып. 87. — С. 82–86.

4. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. — М.: Наука, 1976. — 266 с.

5. Буллаев К. Б. Источник фтора эпитептермальных флюоритовых месторождений, характер его эволюции // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21. — С. 85–94.

6. Глинка Н. Л. Общая химия: учеб. пособие для вузов. 20-е изд., испр. — Л.: Химия, 1978. — 718 с.

7. Иванова А. А. Флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья. — М.: Недра, 1974. — 208 с.

8. Игошин Ю. А., Строна П. А. О возрасте флюоритового оруденения в Приаргунье // Геология и геофизика. 1978. № 3. — Новосибирск: Наука СО. — С. 80–86.

9. Ищукова Л. П., Игошин Ю. А., Авдеев Б. В. и др. Геология Урулюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. — М.: Геоинформмарк, 1998. — 526 с.

10. Козарко Л. Н., Кригман Л. Д. Фтор в силикатных расплавах и магмах. — М.: Наука, 1981. — 126 с.

11. Месторождения Забайкалья. В 2-х кн. / Науч. ред. Н. П. Лаверов. — М.: Геоинформмарк, 1995. — Т. I, кн. 1, 192 с.; кн. 2, 244 с.

12. Наумов Г. Б., Мироненко М. В., Салазкин А. Н. и др. Новые данные по геохимическим условиям образования месторождений Стрельцовского рудного поля и их практическое значение // Материалы по геологии урановых месторождений. Вып. 93. Кн. 2. — М.: ВИМС, 1985. — С. 65–74.

13. Скляров Е. В., Гладкоуб Д. П., Донская Т. В. и др. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие. — М.: Интермет Инжиниринг, 2001. — 287 с.

14. Соловьев Н. С., Миронов Ю. Б. Особенности геологического строения и металлогении Северо-Чойбалсанского района (Восточная Монголия) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 1990. Вып. 126.

15. Строна П. А. О некоторых закономерностях в распределении флюоритовых месторождений в южной части В. Забайкалья // Изв. вузов. Серия геология и разведка. 1960. № 4. — С. 89–92.

16. Шатков Г. А. Фтор и хлор в базальтах как возможные индикаторы металлогенической зональности // Сов. геология. 1975. № 6. — С. 121–127.

17. Шатков Г. А., Бережная Н. Г., Лепехина Е. Н. и др. U-Pb (SIMS SHRIMP-II) возраст вулканических образований Тулукувской кальдеры (Стрельцовский урановорудный узел, Восточное Забайкалье) // ДАН. 2010. Т. 432. № 3. — С. 360–364.

18. Тектоника, глубинное строение и минералогия Приамурья и сопредельных территорий / Отв. ред. Г. А. Шатков, А. С. Вольский. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. — 190 с.

19. Шивохин Е. А., Озерский А. Ф., Куриленко А. В. Государственная Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист М-50. — СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2006.

20. McDonough W. F., Sun S. S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. — P. 223–253.

21. Monecke T., Kempe U., Sala M., Wolf D. Tetrad effect in rare earth element distribution patterns: A method of quantification with application to rock and mineral samples from granite-related rare metal deposits // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2002. Vol. 66. N 7. — P. 1185–1196.

Шатков Георгий Афанасьевич — доктор г.-м. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Georgy_Shatkov@vsegei.ru>. Бутаков Павел Михайлович — аспирант, геолог 1-й кат. ВСЕГЕИ. <PavelButakov@vsegei.ru>.