

А. С. НАЗАРОВА

**ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТОЗА
ВО ФЛЮОРИТ-ФЕНАКИТ-БЕРТРАНДИТОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Месторождение, на примере которого рассматриваются особенности формирования флюорит-бериллиевой минерализации, залегает в существенно карбонатных отложениях верхнего протерозоя (рис. 1). Последние представляют собой тонкослоистые углистые известняки, переслаивающиеся с углисто-глинисто-карбонатными сланцами, и слагают ядро антиклинальной складки, осложненной дизъюнктивными нарушениями.

Интрузивные породы в пределах рудного поля месторождения относятся к формации малых интрузий лейкократовых кварцевых сиенитов и сиенит-порфиров мезозойского возраста (200 млн. лет¹). Они образуют небольшой штокообразный массив и маломощные многочисленные дайки. Эти породы интенсивно альбитизированы и окварцованы по зонам дробления; отличаются повышенным (против кларка) содержанием окиси бериллия, циркония и редких земель. Контактное изменение вмещающих кварцевые сиениты пород состоит в скарнировании известняков и ороговикании углисто-глинисто-карбонатных сланцев. Флюорит-фенакит-берtrandитовая минерализация накладывалась на вмещающие существенно карбонатные и контактово-измененные породы и в незначительной степени — на интрузивные породы (Назарова, 1965).

Рудные тела представляют собой метасоматически проработанные минерализованные зоны, а также метасоматические жильные тела и прожилки. Они приурочены к сериям субпараллельных тектонических нарушений, опережающих крупный разлом. Пространственно рудные тела тяготеют к экзоконтактам штокообразного массива и его апофиз, приурочены к системам крутых, сближенных сколовых трещин и часто к контактам пропластков алюмосиликатных и карбонатных пород.

Главными минералами рудных тел являются: из жильных — флюорит, микроклин, альбит, кварц, кальцит, сидерит, из редкометалльных — фенакит, берtrandит; в подчиненных количествах присутствуют молибденит, пирит, галенит, сфалерит, циркон, ферриторит, мусковит.

Внутреннее строение и минеральный состав рудных тел весьма неоднородны и находятся в зависимости от состава и текстуры вмещающих пород. В относительно однородных условиях залегания отмечается и относительная однородность строения, формы и состава руд. Например, в углистых известняках встречаются метасоматические жилы существенно микроклин-флюоритового состава с фенакитом, характеризующиеся зональным строением (рис. 2). В тонкопереслаивающихся известняках и углисто-глинисто-карбонатных сланцах часто отмечаются гнезда и линзы флюорит-

¹ На материале Н. Я. Кузьмина определен К-Аг-методом О. В. Скрынниковым в 1961 г.

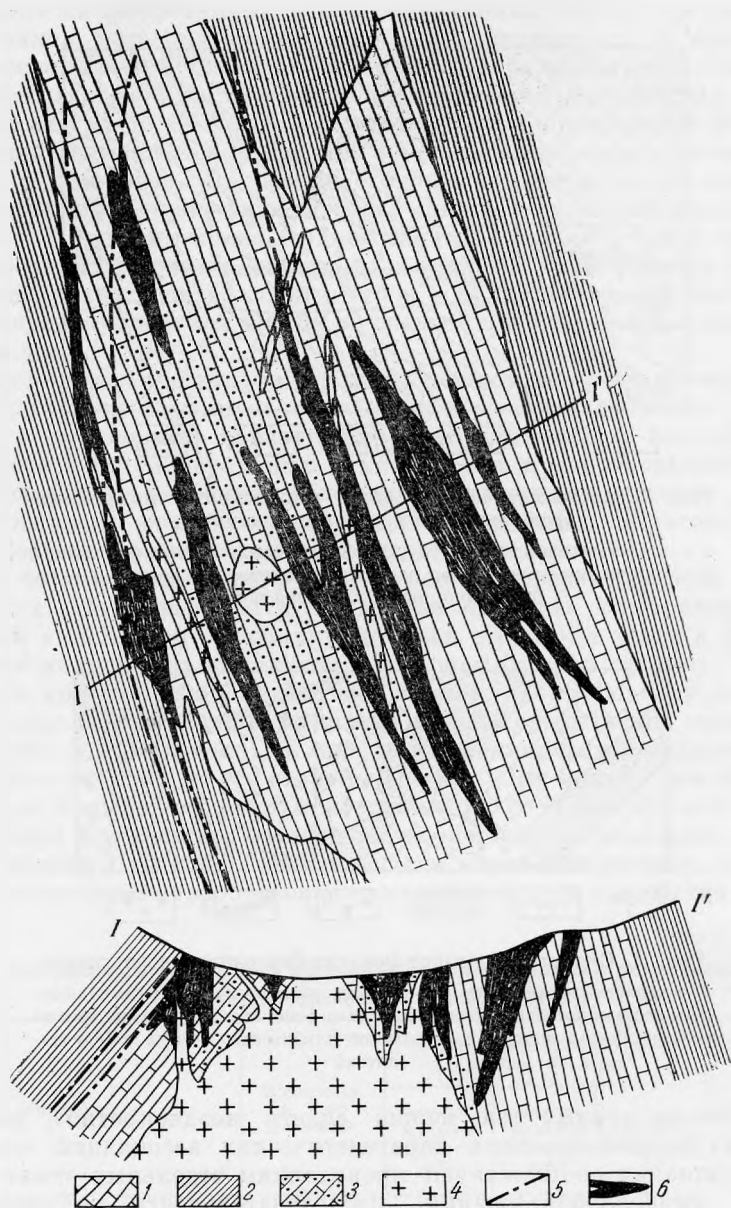


Рис. 1. Схема геологического строения флюорит-фенакит-берtrandитового месторождения:

1 — углистые известняки с тонкими пропластками углисто-глинисто-карбонатных сланцев (Pt₃); 2 — углисто-глинисто-карбонатные сланцы (Pt₃); 3 — скарнированные углистые известняки; 4 — лейкократовые кварцевые сланцы и сиенит-порфиры; 5 — тектонические нарушения; 6 — рудные тела

фенакит-берtrandитового состава. Строение их сложное, причем четко фиксируется последовательность образования двух минеральных ассоциаций: первая — флюорит-микроклин с фенакитом и кварцем, вторая — альбит, берtrandит с флюоритом (рис. 3). В интрузивных породах оруденение чаще представлено разновозрастными прожилками, состав которых характеризуется двумя упомянутыми выше минеральными ассоциациями, а также более поздними кварц-сульфидными прожилками, содержащими молибденит и в небольшом количестве — сфалерит, галенит и пирит.

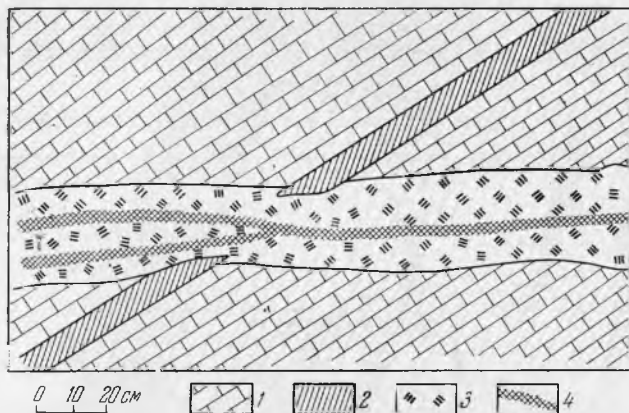


Рис. 2. Метасоматическая жила в известняке микроклин-флюоритового состава с фенакитом

1 — углистые известняки; 2 — углисто-глинисто-карбонатные сланцы;
3 — микроклин-флюоритовая порода с фенакитом и кварцем; 4 — существенно микроклинная порода

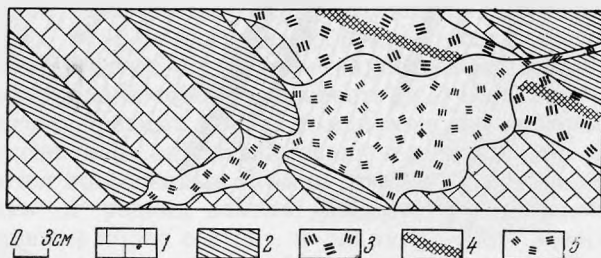


Рис. 3. Строение флюорит-фенакит-бертрандитового гнезда

1 — углистые известняки; 2 — углисто-глинисто-карбонатные сланцы;
3 — микроклин-флюоритовая порода с фенакитом; 4 — существенно микроклинная порода; 5 — флюорит-альбитовая порода с бертрандитом]

В строении рудных тел можно видеть неоднократное наложение нескольких разновозрастных парагенетических ассоциаций минералов. Такие ассоциации соответствуют проявлениям отдельных этапов общего процесса минералообразования, последовательность которых лучше всего устанавливается при изучении метасоматических прожилков. Доказательством метасоматического образования прожилков являются их зональность, закономерное изменение состава по зонам и их маломинеральность.

При изучении главным образом этих прожилков (изменений их состава, строения, соотношения) установлено, что процесс образования флюорит-фенакит-бертрандитовой минерализации происходил в три последовательных этапа, различных по активности щелочей и обусловленных эволюцией единого рудообразующего раствора. Проявлены они в нескольких последовательно образованных парагенетических минеральных ассоциациях, отличающихся устойчивой последовательностью. Эти этапы названы нами: I — микроклин-флюоритовым, II — альбитовым и III — кварц-сульфидным — по основным минеральным компонентам, соответствующим определенному этапу.

Первый этап (микроклин-флюоритовый) наступил после консолидации интрузии кварцевых сиенитов, сопровождающих даек и образования в

экзоконтакте скарнированных и ороговикованных пород. Он выразился в образовании метасоматических жил, линзовидных тел и прожилков. Строение этих тел и прожилков (см. рис. 2) характеризуется четкой зональностью: в осевой части обычно располагается маломощная зона (от долей сантиметра до 1—2 см), сложенная равномернoзернистой породой существенно микроклинового состава с подчиненным количеством кварца, фенакита и флюорита. По обе ее стороны симметрично располагаются внешние зоны микроклин-флюоритового состава с небольшим количеством фенакита и кварца, имеющие резкие границы с осевой зоной и с вмещающими породами. Эти зоны значительно большей мощности (от сантиметров до нескольких десятков сантиметров, а в раздувах — до метра), причем в раздувах отмечается иногда по две или три субпараллельные микроклиновые зоны.

В зависимости от состава вмещающих пород минеральный состав внешних зон несколько варьирует, но главными минералами в них являются флюорит и микроклин, образующие парагенетическую ассоциацию.

Для выяснения минеральных и химических преобразований, приведших к образованию названных тел, изучали изменения пород по разрезам, ориентированным вкрест простирания маломощных метасоматических жилок. Соответствующие данные приведены в табл. 1—5.

Очень четко первый этап рудного процесса прослеживается в чистых известняках. Он выразился в замещении кальцита флюоритом с одновременным выделением микроклина (первая стадия), а затем в частичном замещении микроклина фенакитом и кварцем (вторая стадия). При этом образуется простая метасоматическая колонка, состоящая из двух резко ограниченных зон: II зона представлена породой существенно микроклинового состава (тыловая зона), I зона — микроклин-флюоритовая, симметрично расположенная по обе стороны II зоны. При этом I зона отличается значительно большей мощностью по сравнению со II зоной и характеризуется в общем постоянным соотношением количества флюорита и микроклина, близким 7 : 3 (табл. 1). Кроме того, как видно из табл. 1, химические и минеральные преобразования известняка при воздействии на него

Таблица 1
Минеральный состав зон метасоматической колонки в известняках
(по данным подсчета в шлифах, вес.%)

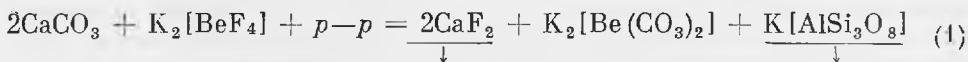
Минерал	Известняк, в 3 см от жилы	Микроклин-флюоритовая порода (II зона)			Микрокли- новая порода (I зона)
		мини- мальное содержа- ние	макси- мальное содержа- ние	среднее по 5 шли- фам	
Кальцит	90	3	10	5	1
Микроклин	—	18	42	28	96—97
Кварц	3	0,5	3	1	1
Флюорит	1	58	82	65	1
Биотит	2,7—3	—	—	—	—
Пирит	2	1	3	—	—
Апатит и другие минералы	1,0	—	—	—	—
Фенакит	—	0	4	1	1—2
Объемный вес	2,64—2,73 (2,68) *	2,81—2,91			2,3—2,5
Общая пористость, %	1,7—3,2 (3,1)	3,4—4,4			6—7,9

* В скобках указано среднее значение.

рудобразующего раствора сопровождалось изменением объемного веса и общей пористости в различных зонах колонки.

Количественная характеристика изменения пород во вторую стадию затруднительна, потому что масштабы преобразований очень невелики, на что указывает малое содержание фенакита.

Исходя из сказанного, можно представить преобразование известняков в микроклин-флюоритовую породу в виде двух последовательных реакций в предположении, что фтор и бериллий переносились в форме фторбериллата калия $K_2[BeF_4]$:



где $p-p$ — насыщенный компонентами вполне подвижного избыточного минерала — микроклина.

Расчет объемных соотношений продуктов реакции по уравнениям (1) и (2) дал следующие результаты (табл. 2),

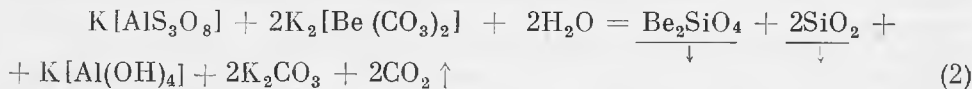
Таблица 2

Результаты расчета объемных соотношений продуктов реакции по уравнениям (1) и (2)

Минерал	Объем молекулярный, KX^3	Объем, %
По уравнению (1)		
Кальцит	71,4	100
Флюорит	49,1	69
Микроклин (осажденный) . .	22,3	31
По уравнению (2)		
Микроклин	177,8	100,0
Фенакит	36,7	20,6
Кварц	74,6	41,4
Дефицит объема	66,5	28,0

Из уравнения (1) и табл. 2 видно, что при замещении двух молекул кальцита двумя молекулами флюорита образуется дефицит объема примерно в 31% по отношению к исходному объему кальцита, который частично восполняется микроклином, причем образуется порода, обладающая несколько большей пористостью чем известняк (см. табл. 1).

Далее преобразование породы происходит под воздействием раствора, в котором по сравнению с исходным изменилась активность бериллия. Вероятно, последний перешел из фторбериллата в менее устойчивое соединение, например карбонат-бериллат калия:



в растворе

Уравнение (2) в схематической форме отражает образование фенакита по микроклину с одновременным выделением кварца (парагенезис: фенакит + кварц), причем реакция шла с дефицитом объема твердой фазы, что подтверждается несколько повышенной пористостью фенакит-микроклин-флюоритовой породы по сравнению с микроклин-флюоритовой (см. табл. 1).

Факт образования по микроклину ортосиликата, а не алюмосиликата бериллия можно объяснить повышенной щелочностью растворов, которая

обусловила подвижное состояние алюминия, вероятно, вследствие образования алюминатов, как это предполагается в уравнении (2).

Особенности первого этапа рудообразования в участках частого переслаивания известняков и сланцев можно проиллюстрировать на примере другой метасоматической жилки (рис. 4), но, к сожалению, в последней имеются следы наложения более поздних этапов рудообразования.

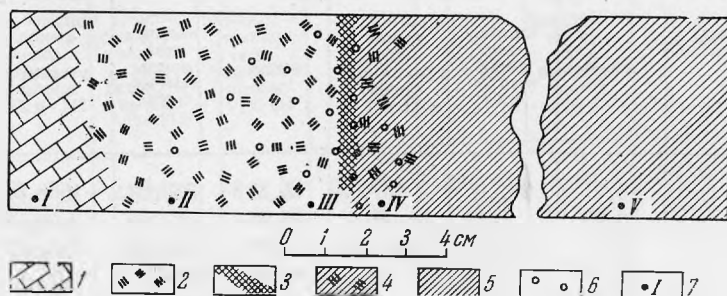


Рис. 4. Строение фенакит-микроклин-флюоритовой жилы

1 — метаморфизованный углистый известняк; 2 — микроклин-флюоритовая порода; 3 — микроклиновая порода; 4 — флюоритизированный углисто-глинисто-карбонатный сланец; 5 — неизменный углисто-глинисто-карбонатный сланец; 6 — фенакит; 7 — места отбора проб

Жилка эта залегает в тонкослоистой существенно карбонатной породе, имеет зональное строение, причем осевая ее часть, содержащая преимущественно микроклин, приурочена к контакту пропластков почти чистого известняка и углисто-карбонатного сланца, а зоны, расположенные симметрично по обе ее стороны, имеют различную мощность при близком минеральном составе (табл. 3).

Таблица 3

Минеральный состав зон метасоматической жилы в переслаивающихся известняках и углисто-карбонатных сланцах (по данным подсчета в шлифах, вес.%)

Минерал	Проба				
	I	II	III	IV	V
Кальцит	84,2	17,4	4,1	20,5	41,0
Флюорит	0,5	45,2	2,8	10,2	1,0
Альбит	2,7	4,0	6,3	16,35	6,1
Микроклин	—	7,8	64,0	25,0	—
Кварц	—	—	4,5	3,0	21,1
Биотит	0,5	—	10,2	13,5	8,6
Мусковит	—	—	—	4,5	—
Везувиан	4,2	17,2	—	—	—
Двопсид	4,7	—	—	—	5,8
Фенакит	—	3,5	0,57	0,1	—
Пирит	0,4	1,3	5,5	2,3	10,1
Ильменит	—	—	1,2	1,8	0,6
Апатит	—	1,4	—	1,7	2,3
Прочие минералы	3,2	2,4	0,8	1,0	1,4
Сумма	100	100,2	100	100	101,4
Пористость, %	3	—	7	—	1,0

Изменение состава известняков

Компоненты	Проба I, известняк, объемный вес 2,68		Проба II, микроклин-флюоритовая порода, объемный вес 2,91				Проба III, порода,
	вес. %	количество ионов в 16 000 кХ ³	привнос — вынос (абс. разница) пробы II и I	вес. %	количество ионов в 16 600 кХ ³	привнос — вынос (абс. разница) пробы III и II	общий привнос — вынос (абс. разница) пробы III и I
SiO ₂	6,4	281,8	+457,08	15,25	738,88	+1688,8	+2125,9
TiO ₂	0,06	2,14	-0,1	0,08	2,04	+20,92	+20,8
Al ₂ O ₃	1,2	64,32	+160,91	3,97	225,23	+644,78	+805,7
Fe ₂ O ₃	0,23	6,97	+16,31	0,60	23,28	+87,6	+103,91
FeO	0,95	34,84	+17,54	1,31	52,38	+54,8	+72,34
MnO	0,03	—	—	0,07	—	+4,76	+4,76
MgO	1,11	73,16	+17,05	1,25	90,21	-72,52	-55,47
CaO	50,20	2399,0	+180,38	49,52	2579,38	-2435,76	-2255,4
BeO	0,0012	—	+174,6	1,5	174,6	-147,15	+27,45
K ₂ O	0,6	32,16	+90,06	2,0	122,22	+548,34	+638,40
Na ₂ O	0,33	28,41	+76,35	1,1	104,76	-41,4	+34,95
P ₂ O ₅	0,31	11,25	+12,03	0,6	23,28	-21,17	-9,14
S	0,24	20,18	+45,29	0,72	65,47	+176,25	+221,54
F	0,5	35,38	+1656,78	22,1	1692,16	-1593,53	+63,25
CO ₂	35,72	2175,65	-1669,05	7,66	506,6	-397,41	-2066,46
H ₂ O + П. п. п.	2,99	889,8	-861,86	0,08	27,94	+300,48	-561,4
O	—	8036,33	-2096,3	—	5940	+1448,4	-648,0
—S	0,091	—	—	0,27	—	—	—
—F ₂ = O	0,21	—	—	9,28	—	—	—
Сумма	100,57	14 091	+2904	93,26	12368	+4955,1	+4119,0
	—	—	-4627	—	—	-4703,9	-5595,87
	—	—	-1723	—	—	+246,2	-1476,87

Проба I (см. рис. 4) характеризует химический состав мраморизованного, участками скарнированного углистого известняка гранобластовой структуры, массивной текстуры, взятого в экзоконтакте жилки, а пробы II—IV — из разных ее зон.

Проба II отражает состав существенно микроклин-флюоритовой породы (образовавшейся по скарнированному известняку), гранобластовой и гиридиобластовой структуры, обусловленной преобладанием в породе идиобластовых выделений флюорита над ксенобластовыми зернами триклинного микроклина и фенакита, а также реликтивными минералами.

Проба III взята из крупнозернистой существенно микроклиновой породы, слагающей осевую часть жилки. В ней отмечается цепочка кристалликов сульфидов, ориентированная по простиранию жилки, а по контакту с флюоритовыми зонами микроклин альбитизирован.

Проба IV характеризует состав полевошпатизированного и флюоритизированного углисто-глинисто-карбонатного сланца; структура породы гранобластовая с переходом в лепидогранобластовую.

Проба V взята из тонкопереслаивающегося углисто-карбонатного сланца с маломощными пропластками углистого известняка вдали от рудного

Таблица 4

п углисто-карбонатных сланцев

существенно микроклиновья объемный вес 2,64			Проба IV, флюоритизирован- ный сланец, объемный вес 2,7			Проба V, углисто-карбонатный сланец, объемный вес 2,7		
вес. %	количе- ство ионов в 16 600 кХ ³	общий привнос вынос (абс. разница) пробы V и III	привнос — вынос (абс. разница) пробы IV и III	вес. %	количе- ство ионов в 16 600 кХ ³	привнос — вынос (абс. разница) пробы V и IV	вес. %	количе- ство ионов в 16 600 кХ ³
54,80	2407,68	+871,76	+813,06	35,48	1594,62	+58,70	54,04	1535,92
0,64	22,96	+12,72	-5,39	0,85	28,35	+17,5	0,33	10,84
16,78	870,01	+536,71	+538,45	12,46	331,56	-1,74	6,25	333,3
3,33	110,88	+3,56	+46,08	1,94	64,8	-42,52	3,18	107,32
2,93	107,18	-12,0	-10,27	3,14	117,45	-1,89	3,33	119,24
0,14	4,76	-1,2	+0,17	0,13	4,59	-1,37	0,16	5,96
0,27	17,69	-142,2	+162,67	2,69	180,36	+20,47	2,41	159,89
3,04	143,62	-983,74	-833,78	20,30	977,4	-149,96	23,3	1127,36
0,26	27,45	+27,45	+22,59	0,045	4,86	+4,86	0,008	—
12,00	670,56	+610,94	+338,46	5,75	332,1	+272,48	1,0	59,62
0,75	63,36	+0,49	-106,74	1,95	170,1	+107,23	0,73	62,87
0,04	2,11	-35,83	-27,59	0,75	29,7	-8,24	1,0	37,94
2,93	241,72	-230,9	+135,34	1,26	106,38	-366,24	5,58	472,62
1,42	98,63	+55,13	-256,82	5,0	355,45	+311,95	0,61	43,5
1,82	109,19	-999,2	-444,85	9,03	554,04	-554,35	18,0	1108,39
1,12	328,42	-121,44	-349,82	2,26	678,24	+228,34	1,5	449,86
—	7388,37	-375,3	+7,0	—	7395,0	-368,7	—	7763,7
1,11	—	—	—	0,48	—	—	—	—
0,60	—	—	—	2,1	—	—	—	—
100,59	12615	+2108,3	+1902	100,38	12926	+1021,5	—	13 398
—	—	-2901,8	-2198	—	—	-1403,7	—	—
—	—	-793,6	-296	—	—	-382,2	—	—

тела. Текстура породы тонкополосчатая, структура ластопелитовая, обусловленная, по-видимому, зачаточной кристаллизацией порфиробласт диопсида.

Химические анализы этих проб и пересчет их по атомно-объемному методу, предложенному В. А. Рудником (1962), приведены в табл. 4.

Анализ табл. 3 и 4 подтверждает визуальные наблюдения о том, что первый этап рудного процесса в карбонатных породах с различным соотношением карбонатной и алюмосиликатной составляющих выразился так же, как и в случае чистых известняков, — в замещении кальцита флюоритом с подчиненным, но обычно вполне определенным количеством микроклина. При этом образуется та же метасоматическая колонка, в которой парагенезис флюорит + микроклин слагает две четкие метасоматические зоны, характеризующие первую стадию. Здесь также намечается тенденция к образованию двух зон более позднего парагенеза — фенакит + кварц и кварц, образующихся по микроклину и характеризующих вторую стадию. Особенности второй стадии выявились при изучении шлифов, которое показало, что в стадию формирования фенакита обычно выделялся кварц и редко — мусковит или биотит. Но так как эта стадия

проявилась сравнительно слабо и только в замещении небольшой части микроклина, то во вторую стадию и не образуется четкая метасоматическая колонка. Ассоциация фенакит + кварц развивалась по обеим зонам первой стадии, а мономинеральный кварц, отмечающийся в виде мелких прожилкового типа обособлений, приурочен пространственно к микроклиновой зоне первой стадии.

В чем же заключаются особенности этого процесса при последовательном рассмотрении изменения химического и минерального составов пород от неизмененных к микроклиновой зоне?

1. Как видно из рис. 4, при изменении известняков под воздействием рудообразующего раствора не наблюдается постепенных переходов; наоборот, фиксируется резкая смена известняка микроклин-флюоритовой породой, содержащей реликты известняка (см. табл. 4, пробы I и II). При этом изменении известняка преобладает вынос компонентов, который составляет 12% от общего состава по числу ионов в единице объема. Выносятся главным образом углекислота, а привносятся фтор, калий, бериллий, кремний и алюминий. Последние два элемента, по-видимому, заимствовались из алюмосиликатных частей неоднородных вмещающих пород, а не привносились раствором. Некоторое увеличение этих двух элементов в пробе II по сравнению с пробой I так же, как и увеличение магния и натрия, тоже можно объяснить неоднородным составом вмещающих карбонатных пород, для которых характерны широкие колебания в соотношении карбонатной и алюмосиликатной составляющих в соседних маломощных пропластках.

Результатом рассматриваемого процесса является образование породы с большим объемным и удельным весом, но с повышенной пористостью по сравнению с замещаемым известняком. Преобладающий по количеству минерал в ней — плотный флюорит.

Дальнейшее преобразование существенно флюоритовой породы в микроклиновую осуществляется практически при равенстве привноса и выноса вещества. Выносятся все элементы, кроме кремния, алюминия и калия, которые привносятся, образуя микроклин — минерал с крупной и менее плотной молекулой по сравнению с флюоритом.

Общее изменение породы от известняка (проба I) до полевошпатового прожилка (проба III) сопровождалось преобладанием выноса над привносом, причем вынос составлял около 10% от общего состава по числу ионов в единице объема (см. табл. 4, графу 8). Происходит увеличение общей пористости по мере увеличения интенсивности метасоматической переработки пород.

2. При флюоритизации углисто-карбонатных сланцев процесс идет также с преобладанием выноса над привносом (пробы V и IV), но это преобладание значительно меньше (около 3%), чем в случае известняка, что объясняется меньшей интенсивностью замещения кальцита флюоритом в сланцах и выражается также в меньшей мощности зоны I в них (см. рис. 4). Вероятно, причина этого — небольшая пористость сланцев (около 1%), затрудняющая поступление растворов в породу. Сравнивая минеральный состав проб II и IV, видим, что новообразованным минералом в породе, охарактеризованной пробой IV, кроме флюорита и микроклина является еще и мусковит. Таким образом, преобразования углисто-карбонатного сланца несколько отличаются от преобразований известняка под влиянием того же раствора, что сказывается и в соотношении микроклина и флюорита (2,5 : 1).

Упомянутое увеличение пористости от неизменной породы к тыловой зоне и непропорциональное развитие зон не согласуются с известными положениями Д. С. Коржинского (1953, стр. 340), касающимися теоретических допущений при построении инфильтрационной метасоматической колонки: «...Пористость на протяжении колонки не изменяется» и «... по мере просачивания раствора... происходит только равномерное (про-

порциональное) разрастание зон в направлении течения раствора...» При этом Д. С. Коржинский подчеркивает, что в природных метасоматических процессах выработанные им допущения в той или иной степени нарушаются.

Непропорциональное разрастание метасоматических зон происходит, вероятно, по многим причинам и, возможно, нередко встречается в природе. В данном конкретном случае главным из факторов, обусловивших это, является неодинаковая проницаемость пород метасоматической колонки.

Вопрос о проницаемости пород метасоматической колонки очень сложен и еще изучается, поэтому мы можем учитывать только лишь первые полученные результаты.

Так, общеизвестно, что проницаемость пород зависит, во-первых, от общей пористости пород. Как уже указывалось, общая пористость на протяжении метасоматической колонки увеличивается от неизменной породы к породе тыловой зоны. Растворы, просачиваясь от тыловой зоны через микроклин-флюоритовую породу в неизменную, будут проходить этот путь в различных сечениях с разной скоростью (быстрее — в микроклиновой и микроклин-флюоритовой и медленнее — в известняке и сланце).

Во-вторых, скорость просачивания анионной и катионной частей растворов в отдельных зонах колонки будет зависеть от заряда стенок капилляров слагающих ее пород. Для выяснения знака заряда пород мы определяли знак электрокинетического потенциала (дзета-потенциала) суспензии этих пород¹, который представляет собой знак заряда внешней обкладки двойного электронного слоя в капиллярах при фильтрации растворов и соответствует знаку заряда породы. Установлено, что известняки и углесто-карбонатные сланцы имеют положительный дзета-потенциал, микроклин-флюоритовая порода (без фенакита) — отрицательный, а та же порода с фенакитом — и положительный, и отрицательный знаки.

Учитывая это, можно полагать, что отрицательный знак заряда стенок капилляров вызывает ускоренное движение анионов раствора в микроклин-флюоритовой породе.

В-третьих, рудообразующий раствор, содержащий фтор, по-видимому, в форме комплексных соединений, проходя через микроклин-флюоритовую породу, не реагирует с флюоритом, потому что кальций во флюорите находится в очень тесной связи с фтором (энергия кристаллической решетки очень велика, произведение растворимости невелико). Кроме того, рудообразующий раствор можно рассматривать насыщенным по отношению к флюориту, так как последний образовался за счет фтора из этого же раствора. Поэтому обменной реакции происходить не будет, и, следовательно, рудообразующий раствор и микроклин-флюоритовую породу можно считать метастабильной системой, в которой практически не замечается превращений.

Из сказанного следует, что в метасоматической колонке практически не происходит разрастания тыловой зоны. Причины этого: 1) повышенная скорость просачивания раствора через микроклин-флюоритовую (соседнюю) зону и главным образом анионной его части, что объясняется повышенной общей пористостью и отрицательным знаком дзета-потенциала; 2) большая прочность флюорита как химического соединения; 3) практически метастабильное состояние системы микроклин-флюоритовая порода — раствор.

В скарнированных породах первый этап выразился значительно слабее, чем в карбонатных. Он проявился главным образом в избирательной флюоритизации неизменных карбонатных участков породы с образованием тех же ассоциаций минералов, что и в известняках, а также в замещении по трещинам скарновых минералов. Так, наиболее часто отмечается замещение по тонким ветвящимся трещинкам везувiana биотитом и флю-

¹ Определение выполнено О. В. Щербак методом электрофореза.

оритом, диопсида — актинолитом. Часто встречаются изъеденные зерна диопсида с зеленой каймой актинолита. Структура породы в таких случаях гранобластовая, с калифитовыми каемками вокруг кристаллоблоков диопсида неправильной формы. Основная ткань породы состоит из мелких зерен микроклина, флюорита, кварца и кальцита.

На основании изложенного и анализируя парагенетические ассоциации минералов, образовавшихся в первый этап, можно предполагать, что рудообразующий раствор был обогащен щелочами (главным образом калием), а также отличался повышенным содержанием и высокой активностью фтора. Этот раствор взаимодействовал с карбонатными породами, вследствие чего образовалась существенно микроклин-флюоритовая порода с фенакитом и кварцем. При этом главное значение имели фтор, калий

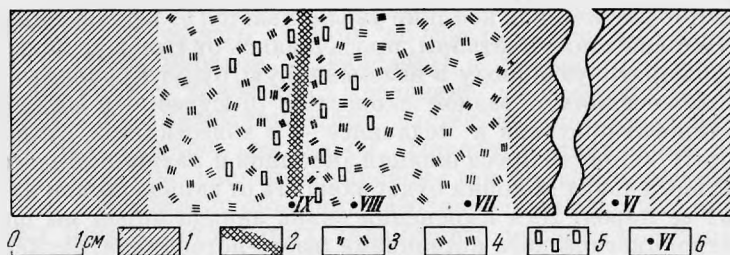


Рис. 5. Зональная метасоматическая жила в ороговикованных углисто-глинисто-карбонатных сланцах

1 — ороговикованный углисто-карбонатный сланец; 2 — микроклин; 3 — альбит; 4 — альбит-флюоритовая порода; 5 — берtrandит; 6 — места отбора проб

и бериллий. Последние вместе с торием, цирконием и другими редкими элементами привносились рудообразующим раствором, а кремний и алюминий заимствовались из алюмосиликатных пропластков вмещающей толщи.

Карбонатные породы в этом процессе играли существенную роль. В начале процесса они являлись осадителями фтора, связывая его вследствие образования флюорита и разлагая тем самым комплексные фтористые соединения, в форме которых, по-видимому, переносился бериллий. В реакции замещения кальцита флюоритом только один из минералообразующих компонентов (кальций) инертен, а образующийся минерал (флюорит) развивался с дефицитом объема (около 30%), который не всегда полностью компенсировался выделением микроклина.

Оставшийся после кристаллизации микроклина раствор, отличавшийся повышенной активностью бериллия по сравнению с исходным, взаимодействовал с микроклином. При этой реакции инертным был только бериллий и образовался замещающий минерал (фенакит) вместе с ассоциирующим с ним кварцем. Фенакит образовался также и непосредственно по сланцам, из которых заимствовал кремний, а алюминий вместе с другими элементами в то время был подвижным.

В некоторых рудных телах процесс образования бериллиевой минерализации закончился выделением фенакита. Но в большинстве других рудных тел имело место продолжение этого процесса, которое выразилось в последовательном проявлении еще двух этапов, разорванных тектоническими подвижками.

Второй этап играл большую роль в формировании месторождения. Ему предшествовало раздробление вмещающих пород и ранее образовавшихся тел с фенакит-микроклин-флюоритовой минерализацией несколькими системами трещин. К этим трещинам и приурочена локализация минеральных ассоциаций второго этапа рудообразования: альбит + кварц и берtrandит + флюорит.

Для выяснения преобразований, происшедших в процессе описываемого (второго) этапа минерализации, были взяты четыре пробы вкрест простираения жилки, залегающей в ороговикованном углисто-карбонатном сланце (рис. 5).

Проба VI — ороговикованный углисто-карбонатный сланец вдали от жилки; проба VII — ороговикованный и флюоритизированный углисто-карбонатный сланец в 3 см от жилки; проба VIII — эндоконтактовая зона жилки флюорит-альбитового состава с берtrandитом и реликтами микроклина в альбите; проба IX — маломощная осевая часть жилки существенно микроклинового состава (реликтовая, слабоальбитизированная).

Химические анализы проб VI—IX были пересчитаны по атомно-объемному методу, и, кроме того, определен также минеральный состав проб (табл. 5).

Таблица 5

Минеральный состав зон метасоматической жилы, залегающей в ороговикованном углисто-карбонатном сланце (по данным подсчета в шлифах, вес.%)

Минерал	Проба			
	VI	VII	VIII	IX
Кальцит	25,2	14,0	15,6	2,4
Доломит	0,7	—	—	—
Флюорит	1,2	14,0	16,0	13,5
Альбит	34,6	48,0	40,5	3,9
Микроклин	—	—	—	64,5
Кварц	8,7	6,0	—	4,2
Биотит	24,8	9,6	9,6	8,8
Диопсид	—	—	9,0	—
Берtrandит	—	0,08	0,49	0,09 (Фенакит)
Пирит	2,7	2,7	4,1	—
Апатит	0,3	0,7	0,6	—
Сфен	1,8	1,7	1,8	—
Лимонит	—	—	2,5	—
Ильменит	0,3	—	—	—
Прочие минералы	—	3,3	—	—
Сумма	100,1	100	100	99,2

Сопоставление обработанных материалов подтверждает визуальные наблюдения в том, что на жилку существенно микроклин-флюоритового состава с фенакитом наложился новый минеральный ассоциация, причиной которых было взаимодействие существенно натриевых растворов с микроклин-флюоритовой породой. Это вызвало замещение микроклина альбитом и растворение щелочными растворами флюорита и фенакита, о чем свидетельствуют реакционные взаимоотношения этих минералов с альбитом¹. Вслед за альбитизацией и растворением фенакита и флюо-

¹ Данные опытов по изучению растворимости фенакита и флюорита, которые проводятся автором совместно с Э. А. Журковой, подтверждают справедливость нашего предположения о возможности растворения фенакита и флюорита в щелочах. Так, установлено, что флюорит полностью разлагается в 20% растворе едкого натрия при температуре 230° и давлении 20 ат (в автоклаве); частично растворим он и при комнатной температуре. Фенакит же, который считается нерастворимым в кислотах (Поваренных, 1958), частично растворим в 20% растворе едкого натрия при подогревании до 50° и нормальном давлении.



Рис. 6. Замещение фенакита берtrandитом. Увел. 30, николи параллельны

1 — микроклин; 2 — фенакит; 3 — флюорит; 4 — берtrandит

рита происходило образование берtrandита, а также светлоокрашенного флюорита в виде свободных зерен или кайм на зональных кристаллах раннего флюорита. Берtrandит замещал фенакит (рис. 6), микроклин, а также разивался в виде порфиробласт по сланцам. Одновременное выделение берtrandита с рутилом, который встречается в виде включений в берtrandите, а также присутствие в последнем германия свидетельствуют об окислительном характере минералообразующей среды в момент образования этих минералов (Назарова, 1964).

Исследования показали, что преобразование ороговикованного углесто-карбонатного сланца (проба VI) во флюорит-альбитовую породу с берtrandитом (проба VIII) происходит практически при равенстве привноса и выноса и сопровождается выносом калия и привносом натрия. Совершается это преобразование последовательно: вначале образуется флюорит-микроклиновая порода с фенакитом, которая может быть охарактеризована пробой IV (см. табл. 4), а затем флюорит-альбитовая (проба VIII).

Третий этап (в настоящее время еще мало изучен) выразился в образовании маломощных кварцевых прожилков с сульфидами: молибденитом, сфалеритом, галенитом, пиритом, арсенопиритом. Эти прожилки в зоне экзо-эндоконтакта интрузива образуют высокие концентрации молибденита, а с удалением от него во флюорит-берtrandитовых телах содержание молибдена не превышает сотых долей процента. Таким образом, на месторождении создается пространственное разобщение бериллиевой и молибденовой минерализации.

Интересен факт приуроченности высоких концентраций молибденита к контактово-измененным породам алюмосиликатного состава (в эндоконтакте интрузивного массива) и малых содержаний — к скарнированным известнякам и микроклин-альбит-флюоритовым телам. Вероятно, переход

кремнекислых растворов, содержащих молибден, из кислой алюмосиликатной среды в более основную (часто карбонатную) вызывал перепад рН раствора, необходимый для отложения молибденита. Это могло явиться одним из факторов, обусловивших зональность распределения бериллиевого и молибденового оруденения на месторождении.

ВЫВОДЫ

Изложенный фактический материал позволяет сделать следующие выводы.

1. Процесс образования флюорит-фенакит-берtrandитовой минерализации в месторождении, залегающем в тонкопереслаивающихся алюмосиликат-карбонатных породах, был длительным и проходил метасоматическим путем в три последовательных этапа.

2. В процессе первого этапа образования флюорит-фенакит-берtrandитовой минерализации возникла простая метасоматическая колонка, состоящая из двух зон, особенностью развития которой было непропорциональное разрастание зон. Это выразилось в том, что тыловая зона существенно микроклинового состава практически не наступала на внешнюю микроклин-флюоритовую, а мощность последней с течением процесса увеличивалась.

Данный факт объясняется следующими причинами: а) практически метастабильным состоянием системы микроклин-флюоритовая порода — рудообразующий раствор; б) повышенной скоростью просачивания раствора через микроклин-флюоритовую зону (по сравнению с вмещающими породами) и главным образом анионной его части, что обусловлено повышенной общей пористостью и отрицательным знаком дзэта-потенциала; в) большой прочностью флюорита как химического соединения, по отношению к которому фторсодержащий рудообразующий раствор является насыщенным, ибо ему обязан флюорит своим образованием. Поэтому обменные реакции между флюоритом и раствором не происходят. Указанное непропорциональное разрастание зон метасоматической колонки было причиной некоторых особенностей зонального строения рудных тел (метасоматических жил и прожилков). В первый этап рудообразования возникла микроклин-флюоритовая порода с фенакитом.

3. Второй этап рудного процесса обусловлен взаимодействием существенно натриевых растворов с фенакитсодержащей микроклин-флюоритовой породой. Это вызвало альбитизацию микроклина, растворение флюорита и фенакита, а также замещение фенакита берtrandитом и одновременное образование берtrandита по алюмосиликатным минералам замещаемых пород.

4. Третий этап рудного процесса выразился в образовании кварцевых прожилков с молибденитом, галенитом, сфалеритом и другими сульфидами.

5. Необходимыми факторами, обусловившими развитие этого процесса образования фенакит-берtrandитовой минерализации, были следующие: а) специализация состава рудообразующих растворов, отличающаяся высокими содержаниями главным образом бериллия и фтора; б) карбонатная среда, в которой кальцит является осадителем фтора, а выделившаяся во время образования флюорита углекислота обусловила высокой окислительный потенциал; в) повышенная щелочность растворов, способствовавшая нахождению алюминия в растворе, вследствие чего бериллий фиксировался в форме силикатов (фенакита и берtrandита), замещая микроклин и реликты алюмосиликатных вмещающих пород.

ЛИТЕРАТУРА

- Б е т е х т и н А. Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1953.
- К о р ж и н с к и й Д. С. Очерк метасоматических процессов.— В кн.: «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1953.
- Н а з а р о в а А. С. О содержании германия в бертрандите.— Геохимия, 1964, № 10.
- Н а з а р о в а А. С. Полевошпат-флюорит-фенакит-бертрандитовый тип месторождений.— В кн. «Геология месторождений редких элементов», вып. 27. Изд-во «Недра», 1965.
- П о в а р е н н ы х А. С. К вопросу о природе растворимости минералов.— Зап. Всес. минерал. об-ва, 1958, ч. 87, вып. 2.
- Р у д и к В. А. Определение количественного изменения вещества при метасоматических процессах.— Зап. Всес. минерал. об-ва, 1962, ч. 91, вып. 6.