

Г. А. ШАТКОВ, А. В. АНТОНОВ, П. М. БУТАКОВ, С. В. КАШИН (ВСЕГЕИ),
С. А. СЕРГЕЕВ (ВСЕГЕИ, СПБГУ)

УРАНОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ВО ФЛЮОРИТАХ СТРЕЛЬЦОВСКОГО И АРГУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Выполнены микрозондовые исследования флюоритов Стрельцовского и Аргунского урановых месторождений. Выявленные во флюоритах урановые минералы (настуран, уранинит, коффинит, Si-U метагель, молибдаты уранила) совпадают с минеральным составом урановых руд из этих месторождений. Это целесообразно учитывать на различных стадиях поисковых и геологоразведочных работ.

Ключевые слова: *флюорит, урановые минералы, настуран, уранинит, коффинит, молибдаты уранила, микрозондовый анализ, урановые месторождения, генезис, Восточное Забайкалье.*

Microprobe studies of fluorite from the Streltsovsky and Argun uranium deposits have been carried out. Uranium minerals identified in fluorites (pitchblende, uraninite, coffinite, Si-U metagel, uranyl molybdates) coincide with the mineral composition of uranium ore from these deposits. It is advisable to take into account at various stages of prospecting and exploration.

Key words: *fluorite, uranium minerals, pitchblende, uraninite, coffinite, molybdates uranyl, microprobe analysis, uranium deposits, genesis, Eastern Transbaikalia.*

Тёмно-фиолетовые зонально-полосчатые флюориты Стрельцовского и Аргунского месторождений, локализованные вблизи или в пределах рудных залежей, отличаются, как нами ранее было показано, повышенным содержанием урана и других элементов-примесей, характерных для рудных образцов из этих месторождений [13]. Спайдер-диаграммы распределения РЗЭ урансодержащих флюоритов резко отличаются от диаграмм «без-урановых» флюоритов [12]. Состав элементов-примесей в урансодержащих флюоритах качественно дублирует распределение этих элементов в урановых рудах. Сделан вывод о том, что урансодержащие флюориты могут служить прямыми геохимическими признаками наличия гидротермальных концентраций урана [13].

Чтобы придать этим положениям более существенное прогнозно-металлогеническое значение, были изучены формы нахождения урана в ранее исследованных урансодержащих образцах флюоритов и руд [13, 14]. В этой статье изложены результаты микрозондового анализа урансодержащих флюоритов и урановых руд Стрельцовского и Аргунского месторождений. Часть этой статьи, касающаяся Аргунского месторождения, опубликована в [15].

Измерения химического состава минералов проводились в Центре изотопных исследований и Центральной лаборатории ВСЕГЕИ на CamScan MX2300 и CamScan MX2500. Используемые сканирующие микроскопы оборудованы аналогичными энергодисперсионными спектрометрами Link Pentafet (Oxford Instruments с Si(Li) детектором площадью 10 мм² и разрешающей способностью около 135–138 эВ (на MnK_α)). Перед началом измерений полированная поверхность микропрепаратов напылялась углеродом. Условия проведения анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, рабочее расстояние 35 мм, абсолютная величина тока зонда (на цилиндре Фарадея) 0,5 нА, алгоритм коррекции ма-

тричных эффектов ХРР (программный пакет INCA Energy 300), время накопления спектров 70 с (без учета «мертвого» времени). В качестве стандартов использовались аттестованные природные и синтетические материалы (в том числе U). В некоторых случаях источником дополнительных аналитических ошибок становились малые размеры анализируемых фаз, а также состояние их поверхности.

Стрельцовское урановое месторождение [7] *. Уникальное по запасам (60 тыс. т) и качеству руд (среднее содержание урана 0,232%, в том числе 40% с содержанием около 0,6%) месторождение находится в восточной части одноименного рудного узла. За период эксплуатации с 1967 по 2008 г. было извлечено более 20 тыс. т урана. Остаточные запасы на 2009 г. составляли около 40 тыс. т при среднем содержании U 0,154% (Щукин, 2008). К настоящее-

* В августе 1946 г. братья А. К. и Г. К. Стрельцовы обнаружили флюоритовую жилу на месте будущего уранового месторождения и подали заявку в Читинское геологическое управление (ЧГУ); в 1950 г. выявлено небольшое Стрельцовское месторождение флюорита и обнаружена радиометрическая аномалия в 260 мкР/ч; в 1958 г. при доразведке этого месторождения Мацневской партией ЧГУ в керне скважины установлено содержание урана 0,24% на мощность 0,5 м. Все эти сведения проверялись партиями Сосновской экспедиции и получили отрицательную оценку. До 1962 г. поисковые работы на уран в Приаргунье были прекращены.

В 1962 г. Л. П. Ищукова после посещения урановых месторождений Южного Казахстана высказалась за продолжение работ в Приаргунье и была поддержана руководителями Сосновской экспедиции (В. М. Степанов, О. Н. Шанюшкин). Весной 1963 г. начала работу 324-я партия. Первая скв. 175 на глубине 220–260 м выявила рудную залежь мощностью 40 м. Очень богатые руды были вскрыты скважинами 178, 182, 188 и др. Одновременно при участии ВСЕГЕИ была составлена Геологическая карта Тулукуевской ВТС масштаба 1 : 25 000. Началась интенсивная разведка Стрельцовского месторождения и развернулись поиски новых объектов.

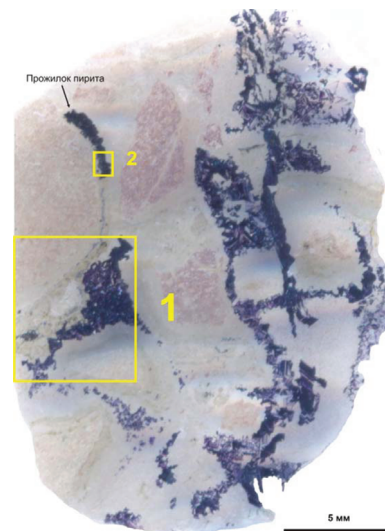
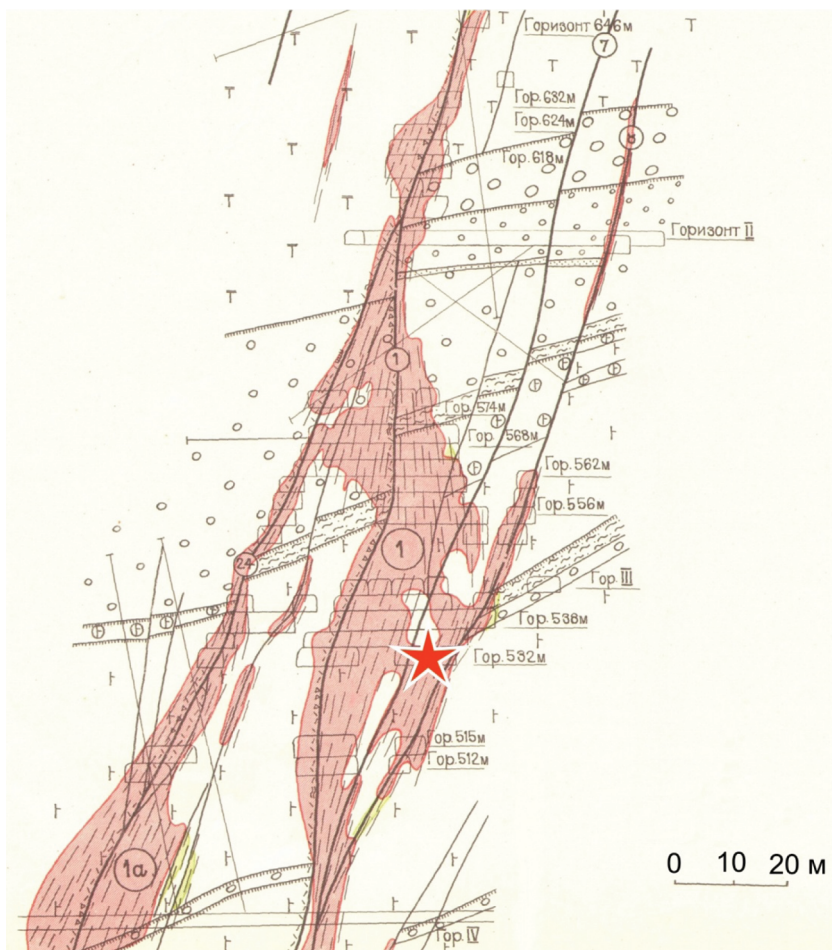


Рис. 2. Прозрачно-полированный шлиф (обр. 3217-б)

1, 2 – участки, выбранные для проведения микроанализа

Рис. 1. Фрагмент геологического разреза по Центральному участку Стрельцовского месторождения (Атлас структурно-морфологических типов рудных образований месторождений Стрельцовского рудного поля, 1982)

Звездочкой показана принципиальная позиция обр. 3217-б

му времени залежи с высоким содержанием урана отработаны. Добыча ориентируется на рядовые руды, что ведет к сокращению добычи металла.

Рассматриваемый образец урановой руды (3217-б) из коллекции А. О. Розенцвита взят техником-геологом В. М. Егоровой в 1965 г. из шахты 1, вскрывшей верхнюю часть центральной рудной залежи Стрельцовского месторождения. Здесь рудная зона пересекает все стратифицированные образования Тулукуевской кальдеры, в том числе нижний покров андезибазальтов-микродолеритов (рис. 1).

Прозрачно-полированный шлиф из этого образца (рис. 2) представляет собой базальную брекчию аргиллизированных микродолеритов, которые «цементируются» гидротермальными образованиями. Это крупнокристаллический темно-фиолетовый флюорит, анкерит, кальцит и различные генерации кварца. Последовательность гидротермального минералообразования недостаточно ясна. Наиболее ранним, вероятно, является флюорит, однако урановая минерализация в данном образце ассоциирует главным образом с анкеритом и пиритом. Прожилки флюорита ориентированы произвольно и местами представляют собой цемент разнородных по составу обломков. Наиболее поздние – кальцит и халцедоновидный кварц. Кроме анкерита, урановая минерализация наблюдается в прожилке пирита, а также во флюорите. Главное наше внимание было обращено на наличие в нем урановых минералов.

Флюорит образует агрегаты идиоморфных кристаллов, имеющих осцилляторный тип зональности. Для него характерно чередование ростовых полос разной окраски (0,05–0,005 мм), причём

слабоокрашенные зоны чередуются с тёмно-фиолетовыми и тёмно-бордовыми (до черноты).

Сопоставлены два снимка (рис. 3), на которых видно реальное размещение урановых минералов не только во флюорите, но и в карбонатном веществе, кварце и измененном андезибазальте. Главным ориентиром является жила темно-фиолетового флюорита. На рентгеновском снимке она имеет светлосерую окраску.

Анализ результатов микронзондовых измерений позволяет выделить три морфологические разновидности урановых минералов: дендритовидные* (поликомпонентные) Si-U метгель, коффинит и уранинит; уранинит-настурановые (первичные кристаллы); ксеноморфные, возможно, реликтовые формы уранинита.

Дендритовидная форма характерна для прожилков при слабом увеличении. При увеличении снимков видно, что эти прожилки состоят из агрегата Si-U метгеля, коффинита с вкрапленностью мельчайших квадратных и сфероидальных кристаллов уранинита (рис. 4, табл. 1, 2).

Дендритовидная (поликомпонентная) ассоциация урановых минералов широко проявлена в анкерите, а также наблюдается в кварце и массивном флюорите. Тончайшие прожилки, имеющие ден-

* Дендритовидная форма кристаллов характерна для льда, самородного золота, самородного серебра, меди, псиломелана и других минералов. Возникает в результате кристаллизации по тонким трещинам или в вязкой низкотемпературной среде. Нередко наблюдаются древовидные узорчатые формы, часто в карбонатной среде [2].

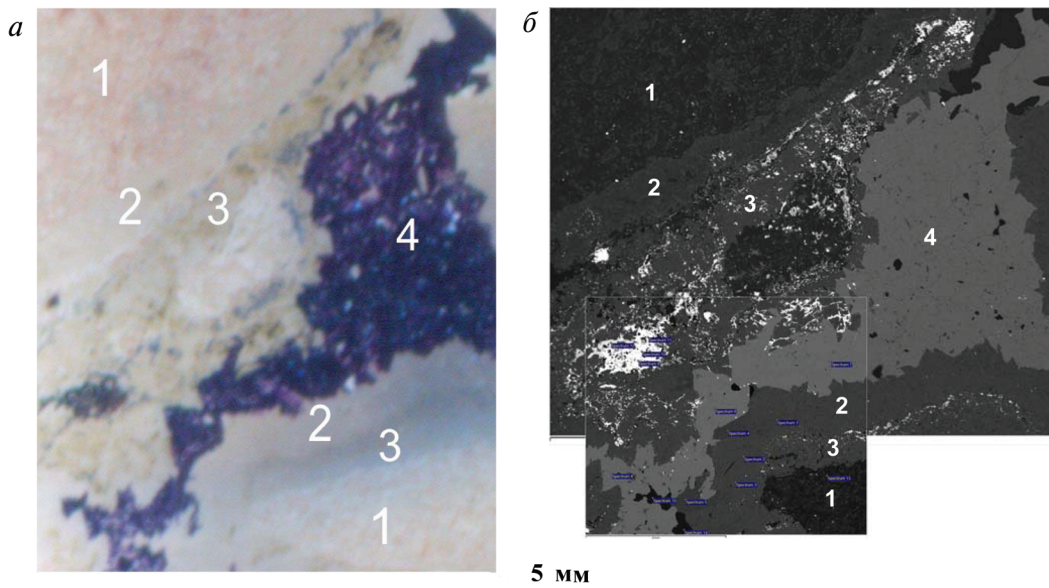


Рис. 3. Участок для проведения микроанализов (*а* – изображение в проходящем свете, *б* – обратно рассеянные электроны (ОРЭ))

1 – измененный андезибазальт с микрокристаллами альбита; *2* – анкерит с редкой тонкой вкрапленностью урановых минералов; *3* – урановорудная жила преимущественно в ОРЭ матрице; *4* – крупнокристаллический флюорит с редкой вкрапленностью урановых минералов

дритовидный облик (рис. 4, *а*), нередко пересекают границы массивного флюорита с анкеритом (рис. 4, *б*). Это свидетельствует о том, что коффинит образовывался одновременно с анкеритом и флюоритом. По результатам микрозондирования, состав минеральных форм здесь варьирует от Si-U метатгеля (SiO_2 11,25–15,32%) и коффинита (SiO_2 8,81–9,85%) до настурана ($\text{SiO}_2 < 1,66\%$), в котором содержание UO_2 превышает 90% (табл. 2). При более сильном увеличении видно, что ураниниты приурочены к осевым частям дендритов и обладают более высокой отражательной способностью. Во внутренних частях анкеритовых жил поликомпонентная урановая ассоциация образует крупные гнезда, сливающиеся между собой в сплошные массы, среди которых есть редкие включения анкерита или кварца (рис. 5, 6, табл. 3, 4).

На рис. 5, 6 преобладает серый фон, свойственный Si-U метатгелю и коффиниту, причем в точках зондирования последнего отражательный фон ярче. Они различаются по содержанию кремнезема (в метатгеле 13,56–16,93, в коффините 9,66–10,97%). В микрокристаллах уранинита кремнезем практически отсутствует. Валовое содержание UO_2 в метатгеле 64,35–66,20, в коффините 70,05–71,95, в уранините 90,68–94,42%. Уранинит или настуран отличаются наиболее высокой отражательной способностью, по форме это прямоугольные и округлые сечения размером 3–5 мкм. Некоторые кристаллы имеют признаки сфероидальной текстуры.

В основном поликомпонентная (дендритовидная) минеральная ассоциация урановых минералов сосредоточена в краевых частях флюоритовых жил, на некотором удалении имеются гнезда коффинита.

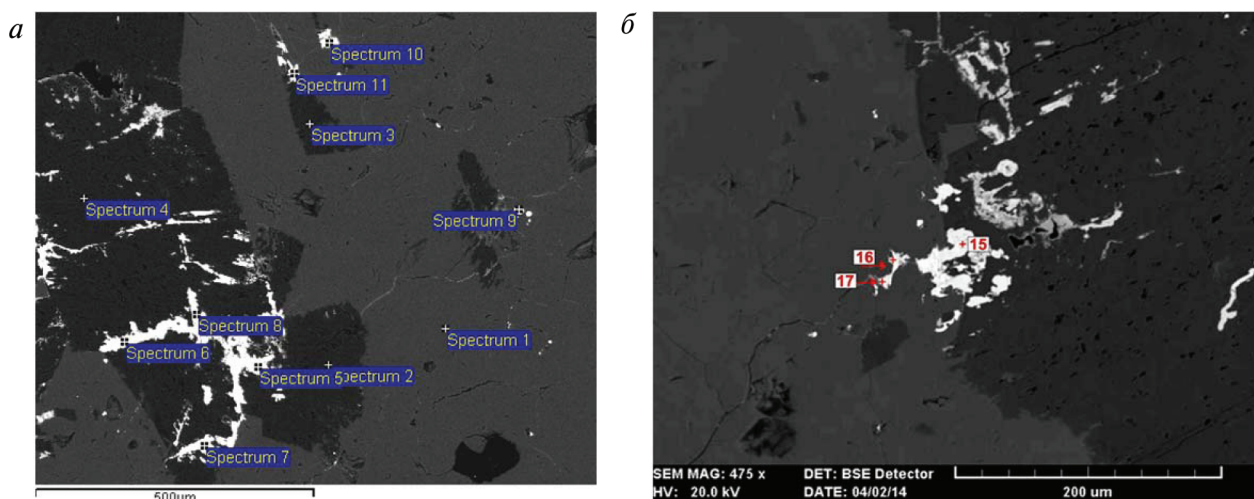


Рис. 4. Микрофотография. Дендритовидные формы наложения поликомпонентной многофазной ОРЭ (Si-U метатгель, коффинит, уранинит) урановой минерализации (*а*, *б*) на темно-фиолетовый флюорит (более светлый) и анкерит (более темный)

Химический состав (вес.%) урановых минералов в анкерите и массивном флюорите *

Спектр (Spectrum)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	FeO	PbO	UO ₂	Минерал
5	1,40	12,53	—	0,35	0,00	70,86	Si-U метгель
6	0,98	15,32	—	0,72	0,00	69,57	»
7	0,74	14,61	—	0,48	0,00	59,64	»
8	0,79	14,23	—	0,74	0,00	76,98	»
10	0,00	8,60	—	0,38	0,82	63,68	Коффинит
11	0,83	11,25	2,82	1,01	2,91	69,72	»

* Исследован обр. 3217-6 (см. табл. 1–7), прочерк – ниже пределов обнаружения.

Таблица 2

Химический состав (вес.%) урановых минералов в зоне контакта анкерита и массивного флюорита

Номер точки	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	PbO	ThO ₂	UO ₂	Минерал
15	9,85	3,17	0,13	1,03	0,21	0,71	84,90	Коффинит
16	1,66	2,65	1,39	0,45	2,03	1,40	90,42	Уранинит
17	8,81	4,66	—	1,12	1,77	—	83,64	Коффинит

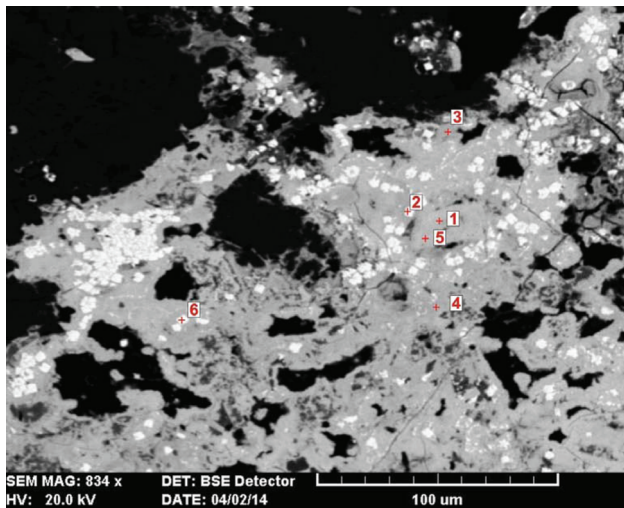


Рис. 5. Микрофотография в режиме ОПЭ. Микрористаллы уранинита-настурана (белое) в Si-U метгеле и коффините (серое). Вмещающая среда (чёрное) анкерит и кварц (табл. 3)

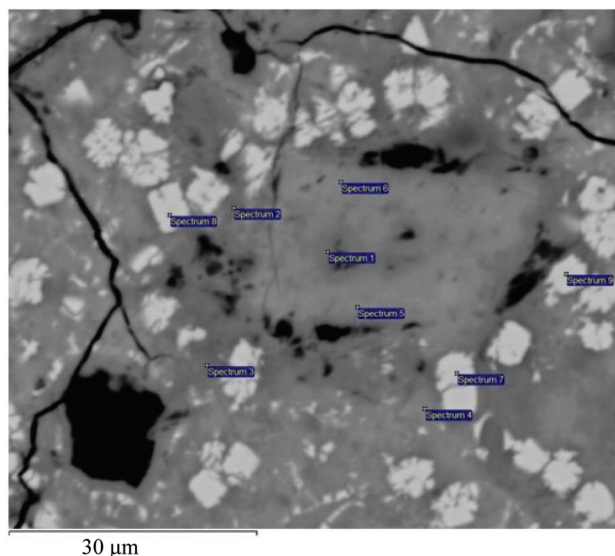


Рис. 6. Детализация рис. 5. Три разновидности урановых минералов: уранинит (Sp. 7, 8, 9), коффинит (Sp. 4, 5, 6) и Si-U метгель (Sp. 1, 2, 3) (табл. 4)

Таблица 3

Химический состав (вес.%) и особенности распределения урановых минералов в анкерите и кварце

Номер точки	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	PbO	ThO ₂	UO ₂	Минерал
1	0,75	8,47	2,14	0,33	1,44	86,87	Коффинит
2	0,40	0,55	1,15	2,75	0,89	94,27	Уранинит
3	1,60	15,46	3,33	0,90	0,41	78,31	Si-U метгель
4	1,22	14,00	2,51	0,49	0,68	81,10	»
5	1,30	9,05	2,37	1,73	0,71	84,85	Коффинит
6	0,08	0,41	1,00	2,51	0,47	95,52	Уранинит

Химический состав (вес.%) метагеля, коффинита и уранинита

Спектр (Spectrum)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	PbO	ThO ₂	UO ₂	Минерал
1	1,62	16,93	1,74	2,51	0,56	0,00	0,00	64,35	Si-U метагель
2	1,09	13,56	1,50	1,76	0,80	0,00	0,69	64,63	»
3	1,07	16,03	1,57	1,79	1,23	0,00	0,00	66,20	»
4	1,07	10,77	0,68	1,98	0,52	0,00	0,00	71,95	Коффинит
5	0,99	10,97	0,93	2,10	0,63	0,00	0,00	70,05	»
6	0,53	9,66	0,57	2,13	0,87	0,00	0,00	70,72	»
7	0,00	0,00	0,00	1,04	0,46	2,01	1,20	94,42	Уранинит
8	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	1,88	0,00	90,68	»
9	0,00	0,00	0,00	0,89	0,49	2,40	0,00	93,25	»

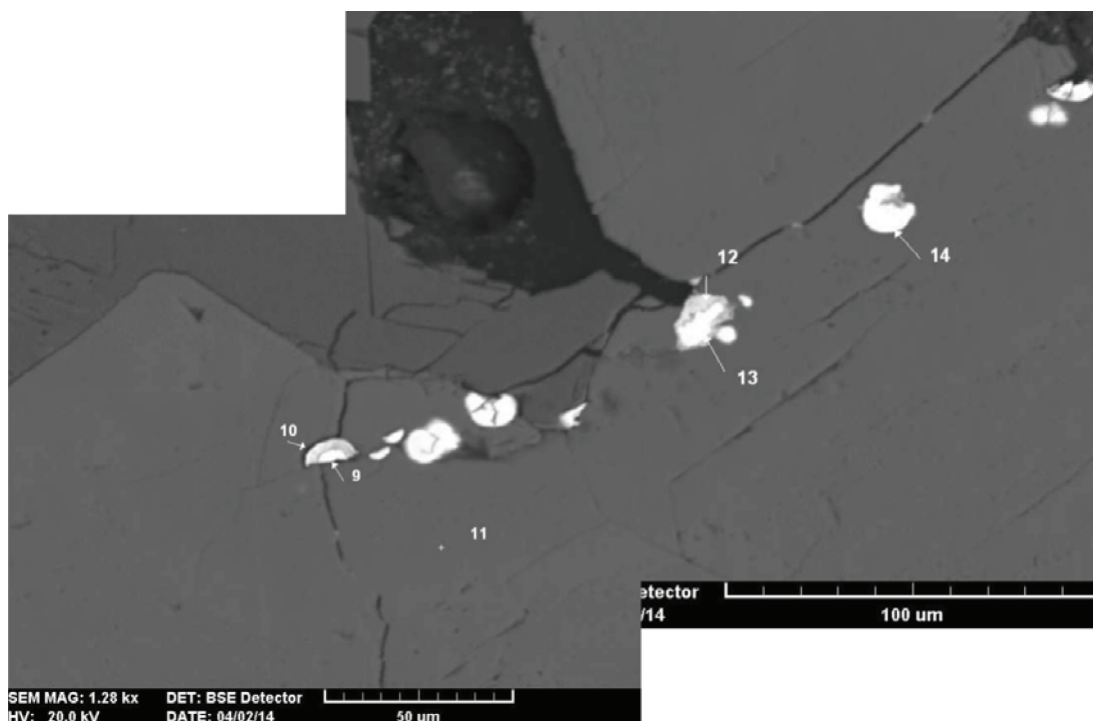


Рис. 7. Панорамная шивка микрофотографий (ОРЭ). Цепочка зерен уранинита в массивном флюорите

Химический состав (вес.%) минералов в массивном флюорите

Номер точки	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	MoO ₂	PbO	ThO ₂	UO ₂	Минерал
9	0,13	1,26	1,66	1,06	0,30	—	2,17	—	93,42	Уранинит (центр зерна)
10	—	1,44	3,87	—	1,60	0,46	3,12	—	89,51	Уранинит (оболочка)
12	1,30	—	1,76	—	—	27,97	63,38	—	5,59	Молибдат свинца
13	—	—	—	—	S 12,79; Pb 85,83; U 1,38%			—	—	Галенит
14	—	0,88	2,43	0,55	—	—	1,94	0,71	93,49	Уранинит (чистый)

Сингенетическая (акцессорная) вкрапленность уранинита или настурана, находящаяся в массивном, однородном по текстуре флюорите (рис. 7, табл. 5), имеет прямоугольные или округлые очертания кристаллов. Размеры зерен до 10–15 мкм. Они рассеяны во внутренних частях флюоритовой жилы и, вероятно, это первичные кристаллы ура-

нинита, непосредственно связанные с кристаллизацией флюорита. В анкеритовой жиле подобные формы уранинита не встречены, что позволяет предполагать их более ранний возраст по сравнению с поликомпонентной ассоциацией.

Подобные микрокристаллы уранинита встречаются (участок микрозондирования 2 на рис. 2) в про-

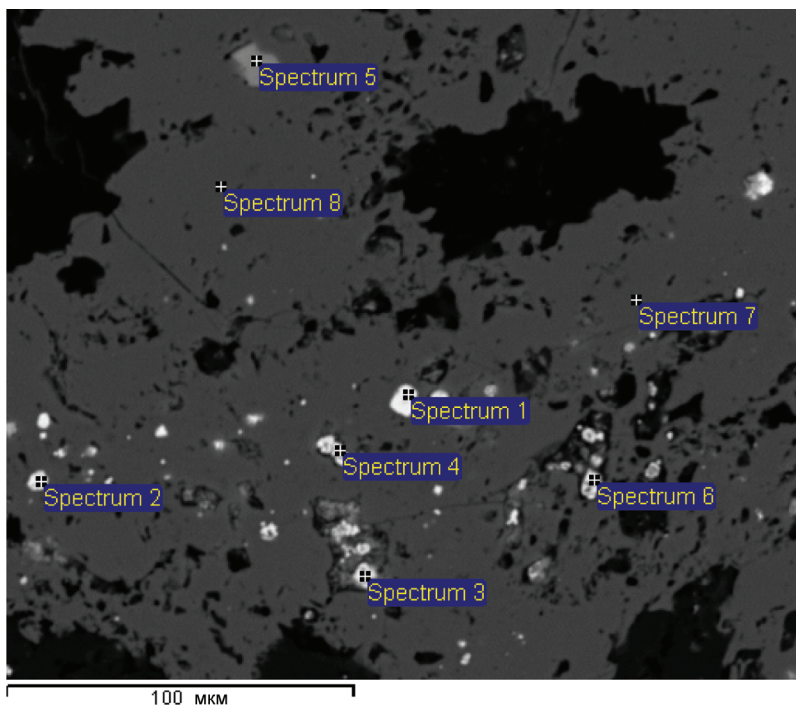


Таблица 6
Химический состав (вес.%)
уранинитов в пирите

Спектр (Spectrum)	PbO	ThO ₂	UO ₂
1	2,32	1,29	92,01
2	3,70	1,23	83,90
3	2,68	0,00	92,67
4	4,30	1,24	84,24
6	3,21	0,00	87,91

Рис. 8. Формы нахождения микрокристаллов уранинита в пирите

жилке пирита (рис. 8) на контакте между микродолеритом и анкеритом. В пирите выделяется полоска длиной 4 мм, сечением около 500 мкм, насыщенная мелкими кристаллами уранинита (рис. 8, табл. 6). Размер зерен от 1 до 7 мкм. Кроме урана (87,91–92,67%), в этих минералах присутствуют свинец до 4,3 и торий до 1,29%.

Ксеноморфные кристаллы или реликты кристаллов уранинита встречаются во внутренних частях жил массивного флюорита. В зернах размером от 1–3 до 15–20 мкм содержание UO₂ достигает 92–96,5%, что в сочетании с повышенным содержанием PbO и низким SiO₂ позволяет отнести их к ураниниту (рис. 9, табл. 7). В отдельных зернах отмечается повышенное содержание титана, железа и кремнезема, что позволяет предполагать наличие в них браннеритовой составляющей (Sp. 10). Это, возможно, реликты более ранних минеральных

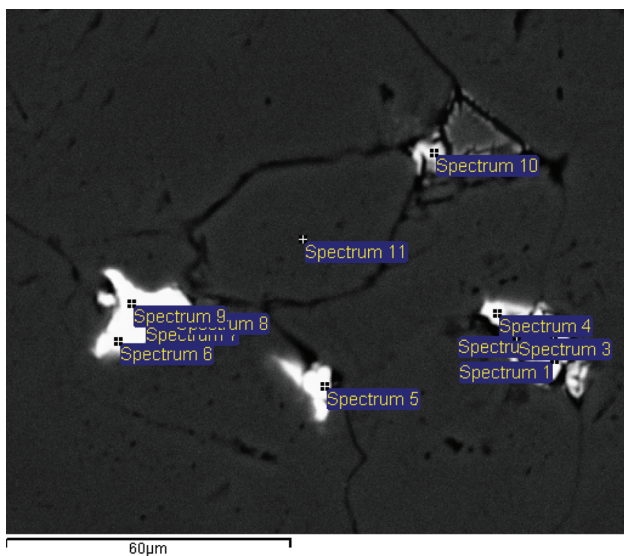


Рис. 9. Ксеноморфные метасоматические или обломочные зерна уранинита в массивном флюорите

форм урана либо метасоматические образования по трещинам во флюорите.

Достоверно установлено [4, 5], что формирование Стрельцовского уранового месторождения завершилось образованием достаточно мощной пострудной флюоритовой жилы. Несмотря на уникальную геологическую позицию, эта жила оказалась безрудной в отношении урана. Этот факт стал почти стандартным индикатором бесперспективности безурановых флюоритовых жил при прогнозировании урана. Несмотря на пострудный характер флюоритовой жилы, целесообразно отметить её геохимические особенности (рис. 10, табл. 8).

Пострудный флюорит светло-фиолетовый и зеленый, характеризуется низким содержанием урана (1,7 ppm) и тория (5,2 ppm), но очень высокой суммой РЗЭ (134,33 ppm), причем максимальным содержанием для средней части шкалы РЗЭ и исключительным максимумом Sm, Eu, Gd, Tb, Dy с постепенным снижением в сторону Lu. Характерно очень низкое содержание легких La, Ce, Pr. Апикальную часть спайдер-диаграммы занимают Gd (35,6 ppm) и Eu (9,6 ppm). Относительно высоким содержанием Eu (1,6 ppm) отличается высокорadioактивный (U 813 ppm) флюорит 3217-б. Главная флюоритовая жила, являющаяся пострудной в отношении урановой минерализации, отличается резко нестандартным распределением РЗЭ. Структура полученных спайдер-диаграмм сохраняет черты высокорadioактивных флюоритов. Этот факт, вероятно, необходимо учитывать в поисковой практике.

Образование пострудной флюоритовой жилы авторы связывают с заключительной фазой эволюции риолитового очага (129–127 млн лет) [11, 12] и самыми поздними покровами андезибазальтов.

Аргунское урановое месторождение. Выявлено в 1979 г. в западной части Стрельцовского рудного узла. Это единственное крупное месторождение, которое до сих пор не эксплуатируется. Район месторождения отличается интенсивным проявлением молибденовой и флюоритовой минерализации.

Химический состав (вес.%) реликтовых кристаллов в массивном флюорите

Спектр (Spectrum)	MgO	SiO ₂	TiO ₂	FeO	PbO	UO ₂	Сумма
1	—	1,83	1,07	1,55	3,08	52,81	60,34
2	—	2,04	1,08	1,33	3,28	69,46	77,19
3	—	0,98	0,41	0,8	1,29	40,5	43,98
4	—	3,46	2,42	3,35	6,32	53	68,54
5	—	—	—	—	—	80,01	80,01
6	—	—	—	—	—	85,92	85,92
7	—	—	—	—	—	79,81	79,81
8	—	—	0,75	—	—	90,63	91,38
9	—	—	—	—	—	80,98	80,98
10	1,61	5,43	2,93	4,07	3,35	36,84	54,23

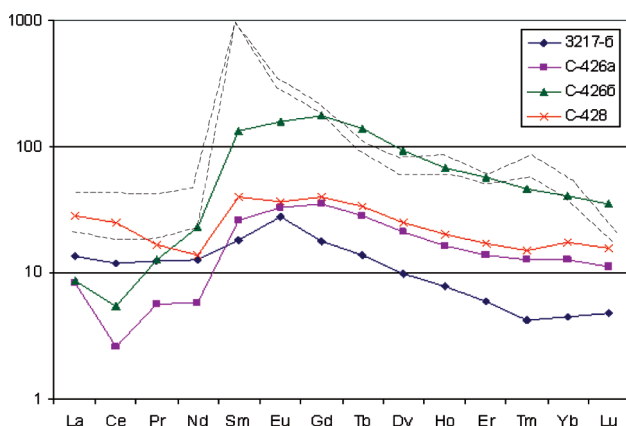


Рис. 10. Особенности распределения редкоземельных элементов в пострудной флюоритовой жиле в сопоставлении с поведением этих элементов в ураноносном флюорите [12] и уранините (пунктир) Стрельцовского рудного узла [1]

Таблица 8

Особенности состава редкоземельных элементов в пострудной флюоритовой жиле

Компоненты	Образцы			
	3217-6	C-426a	C-4266	C-428
ΣREE	31,52	32,57	134,33	62,73
LREE	22,45	12,96	47,51	39,26
HREE	9,07	19,61	86,82	23,47
L/H	2,48	0,66	0,55	1,67
Eu/Eu*	1,532	1,085	1,026	0,914

Часто жилы флюорита обнаруживают признаки дробления, перекристаллизации и окварцевания. Вероятно, кристаллизация собственно флюорита была неоднократной.

Крупнокристаллический флюорит обр. С-407 (рис. 11) имеет осцилляторный тип зональности и характеризуется чередованием бесцветных, синих и фиолетовых ростовых полос. Наиболее интенсивная окраска приурочена к центральным частям отдельных кристаллов, хотя она может повторяться на удалении от центра.

Флюорит подвергся локальному катаклазу, брекчированию. Мелкие прожилки сложены тонкозер-

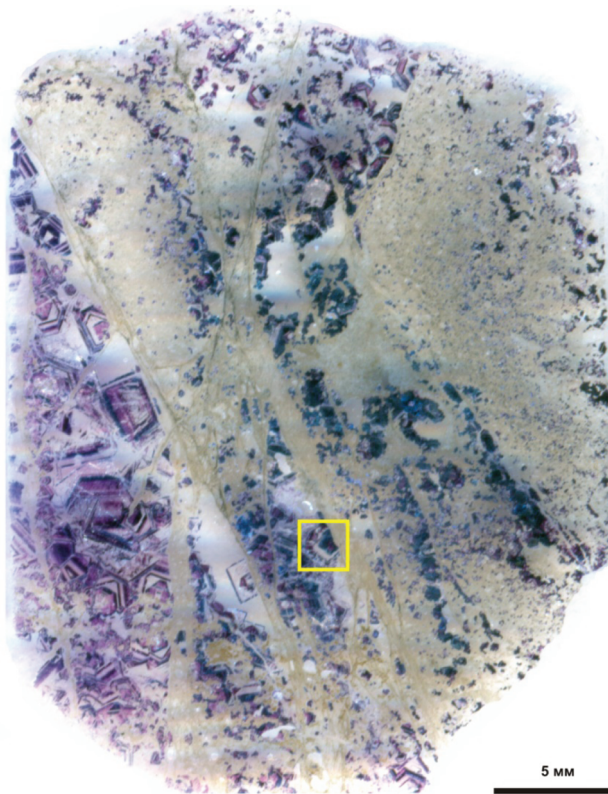


Рис. 11. Макроскопическое изображение прозрачно-полированного шлифа С-407. Выделен участок, детально представленный на рис. 12

нистым флюоритом и кварцем (рис. 12, зона 2). Наиболее поздними являются прожилки халцедонового кварца (зона 3).

Сделано более 50 определений состава микрокристаллов урана, а также галенита, сфалерита, молибденита и около 20 анализов состава вмещающей среды (флюорит, кварц, доломит, кальцит).

Среди обнаруженных в крупнокристаллическом флюорите рудных минеральных образований резко преобладают молибдаты уранила (рис. 13, табл. 9). Форма выделений — ромбические и ксеноморфные зерна размерами 3–10 мкм. Прочие аксессуарные минералы представлены галенитом, сфалеритом,

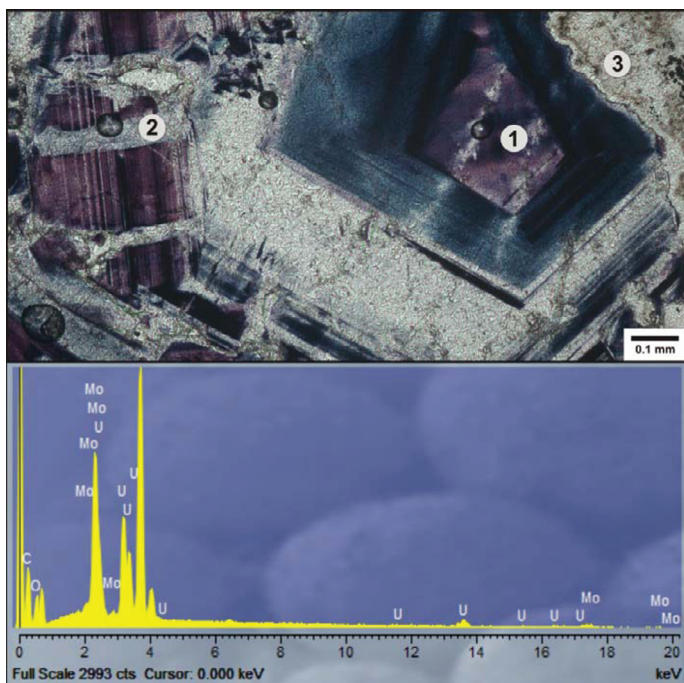


Рис. 12. Характерный облик флюорита и общий вид энергодисперсионного спектра микрокристалла молибдата уранила (умохоита ?) из зоны 1 (рис. 13, табл. 9). 1–3 – зоны

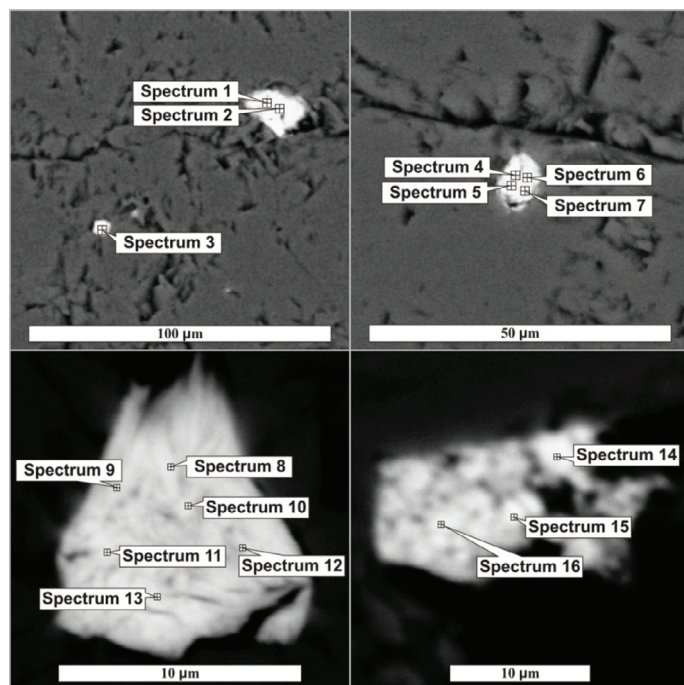


Рис. 13. Минеральные формы молибдатов уранила в массивном флюорите

а также уранинитом с незначительной примесью молибдена.

Разброс обусловлен морфологическими особенностями микропрепаратов (частичное скалывание акцессорных минералов при шлифовке) и малыми размерами анализируемых фаз.

В пересчете на грамм-атомы отношение оксидов молибдена к уранилу близко к единице (1:0,81). Учитывая формационно-генетическое сходство урановых месторождений Мерисвейл и Стрельцовско-

го рудного узла [6, 12], авторы полагают, что выявленные минеральные формы могут быть отнесены к группе умохоита [9, 15] (табл. 9).

Умохоит открыт в 1952 г. на уран-молибденовом месторождении Мерисвейл в штате Юта и встречен ниже зоны окисления в тесной ассоциации с уран-молибденовыми рудами [6]. В дальнейшем более крупнокристаллические формы умохоита (розетки) обнаружены в зоне цементации этого месторождения. Молибдаты уранила, относящиеся к умохоиту, выявлены и изучены также на Кызылсайском и Ботабурумском У-Мо месторождениях в Казахстане, на месторождении Кремнистое в Примурье [10]. В зоне окисления Стрельцовского уранового месторождения встречен метакальциоураноит [8].

В тонкозернистом кварц-флюоритовом агрегате (рис. 12, зона 2), в котором кварц имеет метасоматические контакты с флюоритом, наблюдается сыпь мельчайших зерен молибдатов уранила (рис. 14). В весовых процентах содержание урана и молибдена примерно равное (табл. 10), но атомарное отношение 0,63:1 не вписывается в формулу умохоита. В связи с отсутствием восстановителей этот минерал едва ли мог быть седовитом – $U(MoO_4)_2$.

В прожилке позднего халцедоновидного кварца, секущем крупнокристаллический флюорит (рис. 12, зона 3), наблюдаются только мелкие чешуйки молибденита размером 10–3 мкм.

Карбонатная урановая руда (обр. С-405). Это мелко-среднезернистый доломит, состоящий из угловатых, зубчатых и округлых зерен размером от 0,1 до 0,5 мм. Имеются линзы и прожилки кальцита. В доломите содержится 1,5% углеродистого вещества [13], которое локализуется в интерстициях между зернами доломита до 15 мкм (рис. 15, табл. 11). К ним тяготеют микрокристаллы урана. Оксиды урана, представленные в основном уранинитом, образуют мелкокристаллическую вкрапленность, также приуроченную к интерстициальным промежуткам в доломите. Среди них встречаются также молибдаты урана.

Обсуждение результатов. Изучением рудного вещества Стрельцовского месторождения занимались три поколения геологов. Исследованиями Л. П. Ищуковой, В. П. Роговой, А. О. Розенцвита, И. В. Мельникова, М. В. Вампилова, Г. Б. Наумова и при участии многих других геологов, в том числе первооткрывателей месторождений Стрельцовского рудного узла Л. П. Ищуковой, Ю. Г. Рогова, В. М. Кузнецова, В. А. Шлейдера, А. П. Семенова, А. Д. Кустова, В. И. Пулина, Р. Г. Карманова, В. П. Гришина, Ю. Н. Анисимова и др. [7], создана гигантская фактологическая база, позволяющая разрабатывать различные схемы минералообразования как для отдельных месторождений, так и для Стрельцовского рудного узла в целом. Из работ, посвященных изучению роли флюорита и фтора в процессах образования уранового оруденения, наиболее представительны, на наш взгляд, исследования А. О. Розенцвита (1967) и [1].

На ранних этапах изучения Стрельцовского месторождения (1963–1967) господствовали представления о низкотемпературном и малоглубинном

Химический состав (вес.%) молибдатов уранила в массивном флюорите (обр. С-407)

Спектр (Spectrum)	SiO ₂	SO ₃	FeO	MoO ₃	PbO	UO ₂	Сумма
1	—	—	0,63	26,22	—	37,53	64,37
2	—	—	0,84	25,08	—	36,29	62,2
3	—	—	0,34	15,42	—	25,04	40,8
4	—	—	0,47	18,41	—	28,36	47,25
5	—	—	—	18,16	—	25,9	44,07
6	—	—	—	18,63	—	27,4	46,03
7	—	—	—	17,78	—	27,76	45,54
8	—	—	0,71	27,86	—	39,31	67,88
9	—	—	0,61	23,82	—	35,11	59,53
10	—	—	0,58	25,79	—	37,09	63,46
11	—	—	0,62	24,25	—	35,53	60,4
12	—	—	0,57	23,45	—	34,83	58,84
13	—	—	0,64	24	—	34,15	58,79
14	2,93	—	1,76	17,76	—	30,25	52,7
15	10,37	4,41	1,71	16,65	2,9	34,81	70,85
16	3,31	2,96	1,95	19,16	4,77	33,53	65,67

Таблица 10

Химический состав (вес.%) молибдатов уранила в кварце (обр. С-407)

Спектр (Spectrum)	SiO ₂	SO ₃	FeO	MoO ₃	PbO	ThO ₂	UO ₂	Сумма
1	0,51	1,79	1,16	44,55	1,79	0,00	42,76	92,56
2	0,70	0,00	0,29	37,45	1,48	0,00	36,87	76,79
3	2,30	2,97	0,50	34,99	2,05	0,00	38,82	81,63
4	3,55	14,76	0,94	30,79	4,65	0,60	26,02	81,33
5	9,65	1,84	0,35	22,62	0,00	0,00	23,00	57,46

Таблица 11

Химический состав (вес.%) минералов (обр. С-405)

Спектр (Spectrum)	MgO	CaO	MnO	FeO	MoO ₃	UO ₂	Сумма
1	0,46	51,87	0,39	2,02	—	—	54,74
2	21,75	31,77	0,00	0,00	—	—	53,51
3	3,71	17,40	—	—	22,94	16,57	60,61

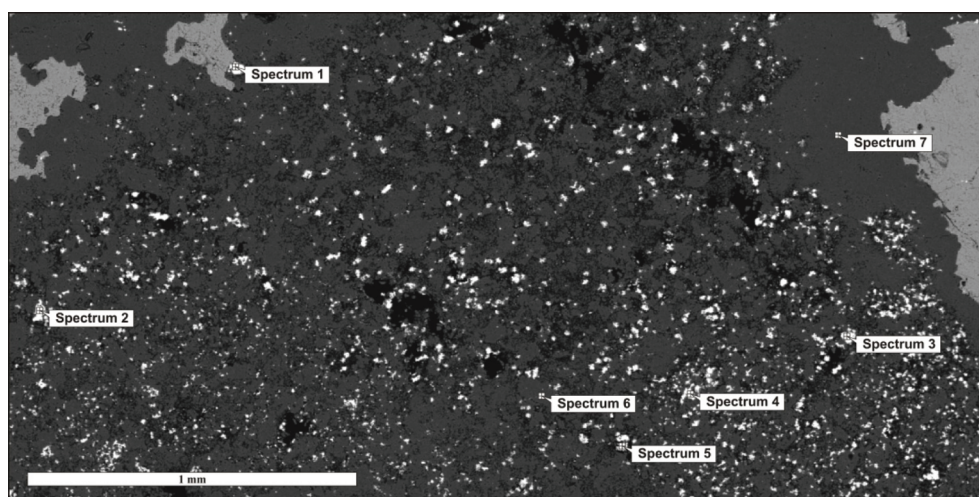


Рис. 14. Рассеянная вкрапленность микрокристаллов молибдатов уранила в кварце и на границах кварца с флюоритом (ОРЭ)

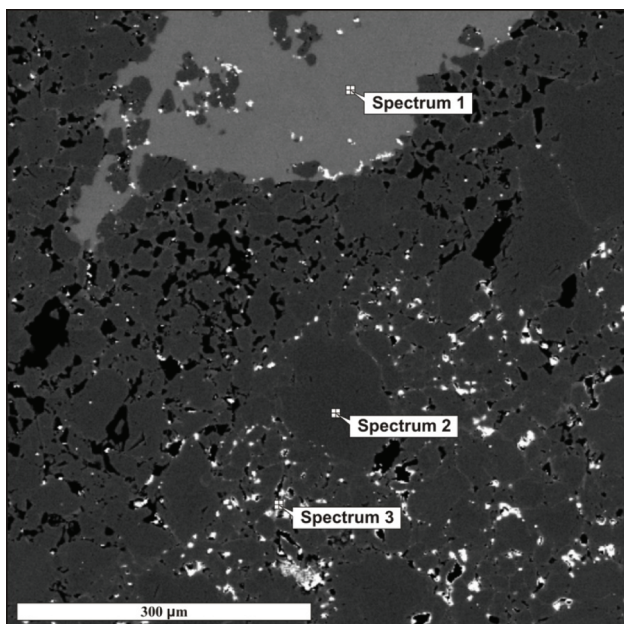


Рис. 15. Микрофотография распределения рудного вещества в доломите

(приповерхностном) образовании урановых руд [3, 8]. Установлено, что Главная флюоритовая жила Стрельцовского месторождения является пострудной по отношению к собственно урановым рудным залежам. Для собственно уранового оруденения характерен темно-фиолетовый флюорит. В настоящее время установлено, что флюориты Стрельцовского месторождения могут быть тесно связаны со всеми этапами гидротермальной деятельности [1, 4, 5, 12], в том числе с пострудными. Наибольшие подробности о взаимоотношениях флюорита с урановой минерализацией приводит А. О. Розенцвит (1967), особенно о морфологии и генезисе урановых минералов, обосновывая положение о том, что урановые минералы «вырастают» из ураноносных гелей. Авторы [9] считают, что перекристаллизация гелей приводит к разнообразию минеральных форм урана. На многочисленных микрофотографиях показано, как из ураноносного геля формируются сферокристаллы настурана, причем они нередко кристаллизуются на гранях кристаллов темно-фиолетового флюорита (рис. 16). Есть сведения о наличии молибдатов уранила в ассоциации

с настураном. Предположительно это молуранит, который в свою очередь замещается чешуйками молибденита.

По поводу роли коффинита и Si-U метатгеля в рудообразовании имеются расхождения. Ранее Л. П. Ищукова с соавторами [4, 5] рассматривала их как обычные минералы эндогенного рудообразования. Однако в [1] сделан вывод о том, что Si-U метатгели и коффинит являются вторичными и интерпретируются как разрушители первичных урановых минералов.

Авторы статьи, вслед за А. О. Розенцвитом [9], полагают, что наблюдаемый нами Si-U метатгель (рис. 5, 6), вероятно, является первичным веществом, из которого формировались настурановые руды Стрельцовского месторождения.

Возможно, причиной этих и других расхождений послужило то, что А. О. Розенцвит с соавторами изучал самую верхнюю часть Стрельцовского месторождения, и его исследования и работы других специалистов весьма убедительно свидетельствовали о приповерхностном характере рудообразования. Разрастание объемов Стрельцовского рудного поля «вширь и вглубь» позволило Л. П. Ищуковой, В. П. Роговой, И. В. Мельникову, Г. Б. Наумову, М. В. Вампилову и др. интерпретировать рудный узел как единую ассоциацию многочисленных среднетемпературных месторождений, которые формировались на глубинах от 100–200 до 1500 м (месторождение Антей).

Теперь, когда появилась возможность для более современных аналитических и изотопно-геохимических (SHRIMP и др.) исследований, необходимо корректно использовать их для более глубокого изучения вещественного состава месторождений и более точного определения этапов и длительности геологических процессов и в пределах Стрельцовского рудного узла. Первые шаги в оценке генезиса урановых руд отмечены в [1, 11–15]. В дальнейшем модели урановых месторождений, созданные Сосновской экспедицией и ППГХО, могут получать более точные возрастные и вещественные параметры. Именно рациональное использование этих возможностей будет содействовать решению проблемы воспроизводства ресурсной базы Стрельцовского рудного узла.

Заключение. Установлено, что во флюоритах находятся настуран, уранинит, коффинит, Si-U метатгель, молибдаты уранила, редко браннерит (раз-

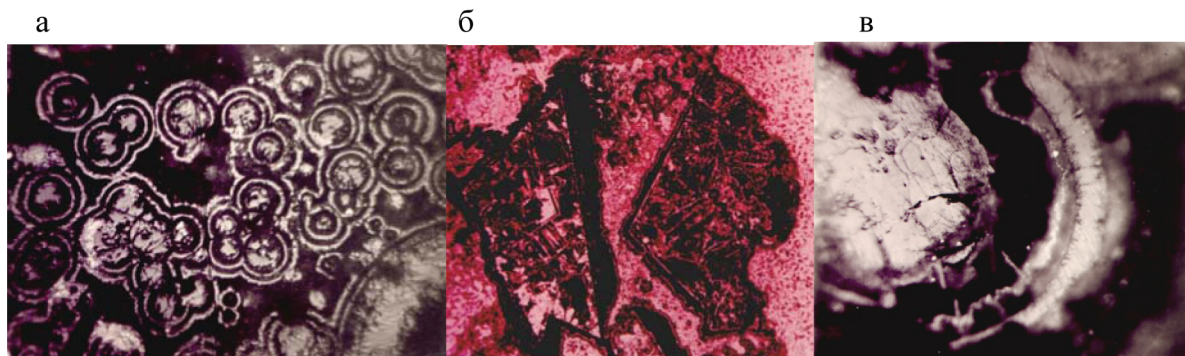


Рис. 16. а – концентрически-зональные агрегаты настурана, развивающиеся из ураноносных гелей, шахта 1, ув. $\times 1000$, полированный шлиф, иммерсия; б – обломки крупнокристаллического темно-фиолетового флюорита, покрытые каемками настурана с почковидной текстурой, скв. 312, глуб. 255 м, ув. $\times 25$; в – зональное строение флюорит-настурановой почки. Настуран слагает центральную и периферическую части почки (серое), между ними флюорит (черное). Оруденелый андезибазальт, скв. 312, глуб. 250 м. Полированный шлиф, иммерсия, ув. $\times 575$

мер 3–10 мкм). Кристаллизация флюорита тесно связана с гидротермальными рудоформирующими процессами. Состав урановых микроминералов во флюоритах, как правило, совпадает с вещественным составом урановых руд рассматриваемых урановых месторождений.

В отличие от флюорита Стрельцовского месторождения, в аналогичном крупнокристаллическом темно-фиолетовом флюорите Аргунского месторождения вместо уранинита и коффинита резко преобладают микрокристаллы молибдатов уранила. Высокое содержание молибдатов уранила, вероятно, обусловлено не только повышенным содержанием молибдена, но также высокой фугитивностью кислорода и низким содержанием серы в растворе. Наличие молибдатов уранила (вероятно, из группы умохоита) на Аргунском месторождении установлено впервые [15].

Авторы полагают, учитывая [1, 5], что крупнокристаллический фиолетовый флюорит Стрельцовского и Аргунского месторождений генетически связан с главными стадиями формирования урановых месторождений. Все микрокристаллы, находящиеся во флюорите, имеют гидротермальное происхождение и несомненно связаны с урановорудными процессами стрельцовского типа. Микрокристаллические рудные минералы в более поздних кварц-флюоритовых обособлениях и в прожилках халцедоновидного кварца, возможно, завершают гидротермальный процесс на этих месторождениях.

Выполненная работа позволяет предположить, что Si-U метателлы существовали, по-видимому, на всех стадиях уранового рудообразования (дендритоподобные формы в анкеритах и флюоритах), обнаруживаются признаки перехода этого геля в коффинит и сферолоидные кристаллы настурана и уранинита.

Не исключено, что Si-U метателлы являются одной из форм концентрации и миграции урана в эндогенном рудообразовании.

Вопрос о наличии тонкодисперсных минеральных фаз (растворенного) урана в темно-фиолетовых флюоритах остается открытым.

Авторы выражают глубокую благодарность главному геологу Приаргунского комбината С. И. Щукину и геологам А. Ю. Плаголеву, П. Г. Кузнецову, Л. В. Сердюк за содействие и участие в сборе первичных материалов по Стрельцовскому рудному узлу.

Шатков Георгий Афанасьевич – доктор геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Georgy_Shatkov@vsegei.ru>.

Антонов Антон Владимирович – науч. сотрудник, ЦИИ ВСЕГЕИ. <Anton_Antonov@vsegei.ru>.

Бутаков Павел Михайлович – геолог 1 кат., ВСЕГЕИ. <Pavel_Butakov@vsegei.ru>.

Сергеев Сергей Андреевич – канд. геол.-минер. наук, директор, ЦИИ ВСЕГЕИ, Ин-т наук о Земле СПбГУ. <Sergey_Sergeev@vsegei.ru>.

Кашин Сергей Васильевич – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Sergey_Kashin@vsegei.ru>.

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

2. Геологический словарь. В 3-х томах / гл. ред. О.В. Петров. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010–2012.

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

4. *Ищуклова Л.П., Игошин Ю.А., Авдеев Б.В.* и др. Геология Урулюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – С. 196–228.

5. *Ищуклова Л.П.* Урановые месторождения Стрельцовского рудного поля в Забайкалье. – Иркутск, 2007. – 260 с.

6. *Керр П.Ф.* Урановые месторождения района Мерисвейл, штат Юта // Рудные месторождения США. Т. II / Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – С. 529–546.

7. *Пятов Е.А.* Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР / под ред. Г.А. Машковцева. – М.: ВИМС, 2005. – 246 с.

8. *Рогова В.П.* и др. Баураноит и метакальциоураноит – новые минералы из группы гидроокислов урана / В.П. Рогова, Л.Н. Белова, Г.П. Кизияров, Н.Н. Кузнецова // Зап. ВМО. 1973. Ч. 102. № 1. – С. 75–81.

9. *Розенцвит А.О., Эпштейн Г.Ю.* О некоторых особенностях минералов, развивающихся из гелей сложного состава // Зап. ВМО. 1966. Ч. 94. № 4. – С. 401–408.

10. *Сидоренко Г.А.* и др. Умохоит: новые данные о минералогии и кристаллохимии / Г.А. Сидоренко, Р.К. Расцветаева, Н.В. Чуканов, Н.И. Чистякова, А.В. Барина // Зап. ВМО. 2003. Ч. 131. № 3. – С. 73–79.

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

12. *Шатков Г.А., Бутаков П.М.* Редкие земли как индикаторы генезиса флюоритовых и флюоритсодержащих месторождений Забайкалья // Регион. геология и металлогения. 2011. № 46. – С. 67–84.

13. *Шатков Г.А., Бутаков П.М.* Признаки участия уранилфторидов в формировании богатых урановых руд месторождений стрельцовского типа, Восточное Забайкалье // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 6. – С. 696–700.

14. *Шатков Г.А.* Актуальность концепции автономной активизации на современном этапе металлогенических исследований // Регион. геология и металлогения. 2013. № 55. – С. 77–86.

15. *Шатков Г.А.* и др. Молибдаты уранила во флюоритах и карбонатных урановых рудах Аргунского месторождения (Стрельцовский рудный узел) // Докл. РАН. 2014. Т. 456. № 6. – С. 712–716.