

(что может быть около полости, по которой циркулируют растворы) ширина ореола не зависит от объема рассеивающего тела. С учетом ведущей роли диффузии в рассеянии элементов в стороны от рудных тел на изученных месторождениях выходы Р. И. Дубова могут быть распространены и на случай, рассматриваемый авторами настоящей работы. Следовательно, наличие зависимости между параметрами рудных тел и окаймляющих их ореолов должно рассматриваться как дополнительное подтверждение того, что объем гидротермальных растворов в рудовмещающих полостях был ограничен и значительной циркуляции растворов в участках рудоотложения не происходило.

Выявляемые, по данным изучения ореолов, особенности движения растворов при формировании урановых месторождений исследуемой группы согласуются с представлениями А. Г. Бетехтина [6] о причинах движения гидротермальных растворов при формировании жильных месторождений.

Как известно, согласно представлениям Бетехтина, движение гидротермальных растворов связывается с образованием в раскрывающихся на глубине трещинах вакуума, засасывающего растворы. В рассматриваемом случае при образовании урановых рудных тел приоткрывание трещинных полостей приводило к тому, что гидротермальные растворы под воздействием разности давлений с большой скоростью устремлялись в эти полости, выполняя их. Количество (объем) гидротермальных растворов, поступивших в полость, естественно, ограничивалось объемом самой полости. Приоткрывание полостей трещин вследствие возобновления текто-

нических движений и соответственно поступление в них рудоносных растворов могло происходить неоднократно. Отражение этого можно видеть в пульсирующем развитии процесса минералообразования на рассматриваемых месторождениях: в многостадийности процесса минералообразования и возникновении нескольких генераций настурана [2].

Очевидно, рассмотренный механизм движения гидротермальных растворов мог иметь место и при формировании других гидротермальных месторождений. Но в целом он, по видимому, не является универсальным для образования гидротермальных месторождений и отражает частный случай формирования данной группы урановых месторождений.

Поступила в Редакцию 18/X 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Янишевский и др. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1963.
2. А. И. Тишкин и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Докл. советских ученых. Т. 3. М., Атомиздат, 1959, стр. 101.
3. А. Д. Каблук и Г. И. Веретенов. «Геология рудных месторождений», № 2, 20 (1960).
4. А. Д. Каблук и др. Использование ореолов рассеяния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений (методическое руководство). М., «Недра», 1964.
5. Р. И. Дубов. В сб. «Геохимия рудных месторождений». М., «Наука», 1964.
6. А. Г. Бетехтин. В сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.

Акцессорный торуранинит из нефелиновых сиенитов Тувы

Ю. Л. КАПУСТИН

УДК 549.51

Приведены данные о находке уранинита в нефелиновых сиенитах юго-восточной Тувы. Уранинит представлен двумя генерациями и отличается аномальным составом: в нем отсутствуют шестивалентный уран и свинец. Кроме того, изученный уранинит содержит около 27% ThO_2 , что также является необычным для уранинитов. Минерал имеет цериевый состав редких земель. По физическим свойствам минерал близок к теоретическому соединению $(\text{U}, \text{Th})\text{O}_2$.

Уранинит до сих пор считался характерным акцессорным минералом кислых пород (гранитоидов) и их пегматитов. Известны единичные находки этого минерала в щелочных поро-

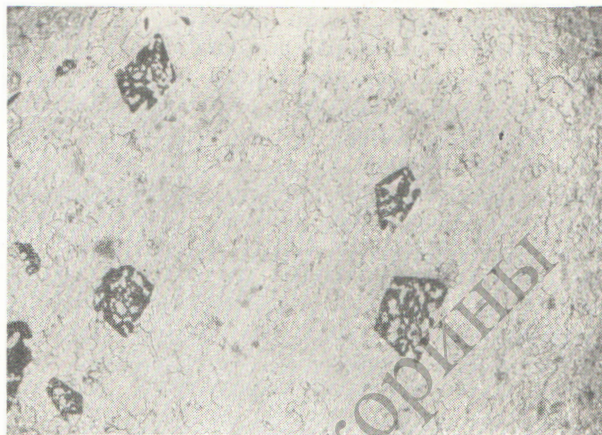
дах [1]. В нефелинсодержащих породах уранинит до сих пор не отмечался. Нами он обнаружен в щелочных массивах Коргерге-Даба, Пичехоль и Улан-Эрге (Сангилен, юго-восточная Тува), причем по своим свойствам и составу минерал резко отличается от обычных уранинитов из гранитных пегматитов.

Указанные массивы Тувы сложены трахитоидными гастингситовыми и эгирино-гастингситовыми нефелиновыми сиенитами. Они прорывают толщу мраморов и кристаллических сланцев протерозойского возраста [2]. В интрузивных массивах широко развиты пегма-

титы, образующие секущие жилы, реже — шпировидные тела, согласно залегающие в нефелиновых сиенитах. Большая часть пегматитов располагается в периферических частях массивов, а отдельные жилы встречаются во вмещающих мраморах. Большинство пегматитовых тел обладает текстурной и минералогической зональностью. Периферические зоны их мелкозернистые, а центральные сложены пегматоидным агрегатом нефелина, микроклина и гастингсита или эгирина и лепидомелана. В центральных частях тел проявились метасоматические процессы: канкринитизация (наиболее ранняя), альбитизация и цеолитизация. В пегматитах установлены акцессорные редкометалльные минералы: эвдиалит-эвколит, ринколит, гиортдалит, лопарит, катаплеит, торит, розенбушит, сейдозерит, лейкофан, эпидидимит, нептунит, гентгельвин, бритолит, рамзаит, ловенит, астрофиллит, циркон и др.

Наиболее молодыми породами в массивах нефелиновых сиенитов являются секущие дайки мелкозернистых аплитовидных гранитов (Коргере-Даба), которые также содержат акцессорные редкометалльные минералы: уранинит, фергусонит, монацит, циртолит и торит.

Акцессорный уранинит обнаружен в пегматитах нефелиновых сиенитов. Установлены две генерации этого минерала. Уранинит I образует кубические кристаллы и выделения неправильной формы размером до 2—3 мм, вросшие в нефелин или микроклин. Чаще он присутствует в шпировидных пегматитах. Уранинит I ассоциирует с гиортдалитом, лепидомеланом, бритолитом, выделяясь в ходе кристаллизации пегматита несколько позже этих минералов. Кристаллы его обычно плохо образованы, с индукционными гранями или со ступенчатой штриховкой. Уранинит II присутствует только в альбитизированных участках пегматитов, преимущественно жильных, и ассоциирует с альбитом, цирконом, торитом, флюоритом и пиритом. Образует метакристаллы, имеющие форму кубов, с подчиненным развитием граней октаэдра. Кристаллы, как правило, имеют неровные грани, а центральные их части переполнены включениями альбита (до 40% объема минерала) (рис. 1). В отдельных случаях выделения уранинита цементируют массу альбита (Коргере-Даба, Пичехоль). В микротрещинах среди альбититов обнаружены скопления листообразных или скелетообразных кристаллов уранинита квадратного сечения площадью до 2—4 мм² при толщине



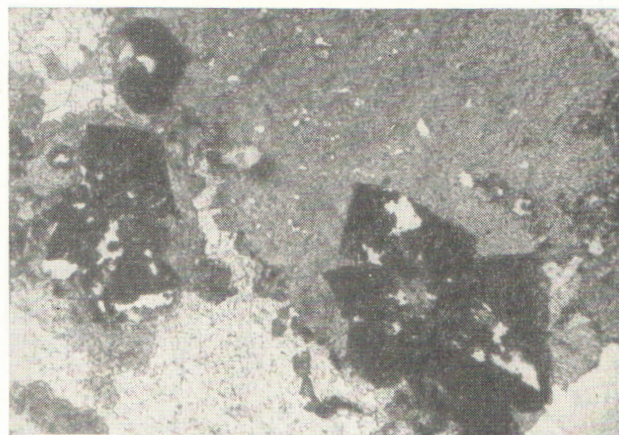
Р и с. 1. Метакристаллы уранинита (черное) с включениями альбита.

Пичехоль. Прозрачный шлиф, николи параллельны, × 56.

менее 0,05 мм. Отдельные пластинки минерала изогнуты и деформированы.

В Улан-Эргинском массиве альбитизация развита среди пегматитов с канкринитом и урансодержащим везувианом (до 1,82% U₃O₈). В процессе альбитизации везувиан осветляется, а в микропрожилках альбита, которыми он пронизан, появляются редкие мелкие (0,05—0,005 мм) кристаллы уранинита II (рис. 2). Это позволяет предполагать, что значительная часть урана заимствована из более ранних урансодержащих везувиана, ринколита, торита и других минералов, подвергшихся изменению.

Свойства и состав уранинита обеих генераций почти идентичны (табл. 1). В уранините I



Р и с. 2. Сrostки микрокристаллов уранинита (черное) в измененном урансодержащем везувиане.

Улан-Эрге. Прозрачный шлиф, николи параллельны, × 124.

Химический состав некоторых образцов уранинита и ториянита

Таблица 1

Компонент	Уранинит								Ториянит			
	Коргере-Даба *		Пичехоль *		Онтарио, Канада [3]	Коннектикут, США [4]	Барингер-Хилл, США [4]	Норвегия, Арендаль [3]	Истен, США [3]		Сибирь, СССР [3]	
	вес. %	атомн. кол-во	вес. %	атомн. кол-во								
	вес. %											
UO ₃	Не обн.		Не обн.		52,04	13,27	46,75	40,60	33,15	—	—	—
UO ₂	62,27	0,2306	63,86	0,2363	13,55	72,25	19,89	23,07	4,44	37,93	20,40	14,10
ThO ₂	26,00	0,100	27,45	0,1040	13,56	7,20	7,57	4,60	38,47	58,80	64,30	74,2
Tb ₂ O ₃	9,87	0,0585	3,49	0,0205	3,43	—	11,22	12,24	2,49	—	0,70	6,3
Fe ₂ O ₃	Не обн.		Не обн.		0,47	0,11	0,58	1,02	1,57	0,90	—	3,1
FeO	1,40	0,0200	2,42	0,0336	—	—	—	—	—	—	—	—
PbO	Не обн.		Не обн.		11,05	4,35	10,16	10,92	5,21	—	12,50	—
CaO	Не обн.		1,05		0,27	0,18	—	0,86	0,97	—	—	—
H ₂ O	Не опр.		1,78		1,54	0,68	2,54	4,96	4,39	—	—	—
Прочие	—		—		2,75	0,15	1,22	2,48	8,70	1,55	0,50	0,8
Сумма	99,54	—	100,05	—	98,36	98,29	99,93	100,75	99,39	99,18	98,40	98,5
Удельный вес	9,52	—	9,48	—	—	9,733	8,01	7,49	6,68	—	9,00	—

* Данные автора.

(Коргере-Дабинский массив) несколько выше содержание редких земель, чем в уранините II (Пичехоль).

Описываемый уранинит имеет черный цвет, зернистый (а не раковистый, как у большинства метамиктных образцов из гранитных пегматитов) излом и почти металлический блеск.

Под микроскопом в проходящем свете почти непрозрачен и лишь в тонких осколках просвечивает желто-зеленым цветом. В отраженном свете серый, с очень слабым буроватым оттенком. Имеет однородное строение. Ураниниты той и другой генерации близки по отражательной способности, которая составляет 19—20% (измерена на приборе ФМЭ-1 с желтым светофильтром). Изотропен, внутренние рефлексы слабые, желто-зеленые. Стандартные реактивы на минерал почти не действуют: он лишь слегка бурет или покрывается иризирующей пленкой при длительном воздействии FeCl₃ или царской водки.

Для дальнейшего изучения уранинита отбирался материал крупностью 0,2—0,05 мм; проверка чистоты материала проводилась в иммерсионных препаратах.

Химическими анализами установлен резко аномальный состав образцов по сравнению с обычными уранинитами. Прежде всего обращает на себя внимание полное отсутствие шестивалентного урана* (не обнаруженного

и после повторных определений), содержание которого в уранинитах редко составляет меньше 20—24% и лишь в исключительных случаях достигает 13% [3, 4]. В обоих образцах не обнаружен свинец. Определение свинца полярографическим методом (выполнено А. В. Быковой) в образце из Пичехоля показало, что содержание PbO равно 0,018%. Тувинские образцы характеризуются исключительно высоким содержанием тория (26—27,4% ThO₂), что является наиболее существенным их отличием от обычных уранинитов.

В табл. 1 для сравнения приведены результаты химических анализов уранинита и ториянита из других районов. При этом были подобраны данные для образцов, отобранных преимущественно из щелочных пород (ториянит) или из пород, сильно обогащенных торием и редкими землями (уранинит).

Расшифровка состава редких земель в тувинских образцах методом бумажной хроматографии (аналитики А. В. Быкова и А. Н. Манухова) и рентгеноспектральным методом (аналитик Р. Л. Баринский) показала, что более половины от ΣTR представлено церием (табл. 2).

* Параллельный химический анализ уранинита из пегматитов Карелии показал, что он содержит обычные для этого минерала количества UO₃ и Pb.

Состав редких земель в уранинитах и торанитах ($\Sigma TR_2O_3 = 100\%$)

Таблица 2

Минерал	Район местонахождения	La	Ce	Pr	Nb	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu	Y	Автор, аналитик
Уранинит	Коргере-Дабба Тува, СССР	8	57	7	18	4	0,1	3	0,4	2,1	—	0,4	—	—	—	—	Р. Л. Баринский
»	Пичехоль, Тува, СССР	8,5	45,3	7,8	22,2	5,2	—	10,4	—	—	—	—	—	—	—	—	А. В. Быкова
»	То же	6	58	6	17	4	0,1	7	0,5	0,8	—	0,6	—	—	—	3	А. Н. Манухова
»	Карелия, СССР	8	8	4	8	4	4	4	—	12	12	12	4	8	4	8	[10]
»	То же	2	5	—	2	2	3	6	2	8	6	12	4	14	4	30	[10]
»	» »	3	3	Сл.	6	6	3	10	—	13	6	13	3	10	3	21	[10]
»	Украина, СССР	2	4	1	3	2	1	7	—	8	7	12	3	8	2	40	Р. Л. Баринский
»	Карелия, СССР	0,3	0,6	0,5	2	6	0,3	9,5	1,8	11	2	6,5	1,3	7	1,2	50	[9]
»	Сибирь, СССР	2	3	1	3	3	1	10	1	14	4	17	1	10	1	29	Р. Л. Баринский
Тораниит	Мадагаскар	9,7	55	6,6	24	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	[9]
»	Цейлон	10	41	9	25	6,3	0,3	3,1	0,5	1,9	0,5	0,8	0,2	1,1	0,3	Н.О.	[11]
»	Полярная Сибирь, СССР	9	52	7	24	4	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	Р. Л. Баринский

Состав тувинских уранинитов, рассчитанный по данным химических анализов, выражается следующими формулами:



Удельный вес изученного уранинита (9,48—9,52) несколько выше обычного (6,5—9,0). Это объясняется отсутствием в минерале UO_3 , так как удельный вес уранинита снижается прямо пропорционально увеличению содержания UO_2 . Теоретический удельный вес соединения UO_2 составляет 10,88, но при содержании в нем тория он снижается и при соотношении $U : Th = 1 : 1$ составляет 10,36 [3], а при соотношении $U : Th = 2 : 1$ равен 10,62. Значения удельного веса для тувинских образцов несколько занижены по сравнению с теоретическим.

Дебаеграмма тувинского минерала не отличается от дебаеграмм эталонных образцов уранинита и характеризуется четкими и тонкими линиями. Параметр элементарной ячейки a_0 , вычисленный для двух тувинских образцов, равен соответственно 5,54 и 5,53 Å ± 0,04. Эти значения несколько превышают теоретическое ($a_0 = 4,47$ Å), установленное для синтетического соединения UO_2 [5]. В то же

время для обычных образцов уранинита значение a_0 колеблется в пределах 5,48—5,42 Å. Известно, что параметр элементарной ячейки уранинита уменьшается пропорционально увеличению содержания UO_3 [6]. При повышении содержания тория он, наоборот, возрастает. Для ThO_2 $a_0 = 5,61$ Å, а при соотношении $U : Th = 1 : 1$ $a_0 = 5,54$ Å. Соединению с соотношением $U : Th = 2 : 1$ соответствует значение $a_0 = 5,48—5,49$ Å [3].

Как показывают результаты химических анализов, в уранините из Тувы отношение $U : Th = 2 : 1$. Хотя искусственным путем получены все члены изоморфного и изоструктурного ряда уранинит—тораниит, в природе промежуточные разности со столь большим содержанием тория исключительно редки. Установлены разновидности тораниита, весьма обогащенные ураном, с соотношением $U : Th = 1 : 1$, но и в этом случае часть урана находится в шестивалентном состоянии [4]. Тувинский уранинит представляет собой разновидность, максимально обогащенную торием (торуранинит).

К настоящему времени минералы группы уранинита изучены достаточно хорошо, но в номенклатуре их существует путаница, в значительной степени обусловленная оби-

лием синонимов, для которых отсутствуют четкие количественные разграничения. Состав минералов рассматриваемой группы определяется прежде всего соотношением урана и тория. Кроме крайних членов ряда — собственно уранинита и торианита — необходимо выделять также уранинит, обогащенный торием (торуранинит) и торианит, обогащенный ураном (ураноторианит). Граница между обеими разновидностями должна соответствовать минералу с соотношением $U : Th = 1 : 1$. Поскольку уранинит постоянно содержит примесь тория, а торианит — примесь урана, к собственно ураниниту необходимо относить минерал с соотношением $U : Th \geq 5 : 1$ (в атомных количествах); именно в этом интервале находится отношение $U : Th$ почти во всех уранинитах из гранитных пегматитов. К торианиту необходимо относить минерал с соотношением $U : Th \leq 1 : 5$. В этом случае ураноторианит соответствует минералам с соотношением $U : Th$ от 1:5 до 1:1, а торуранинит — от 1:1 до 5:1. А. И. Тишкин [4] относит к ураноторианиту все промежуточные разновидности минералов с соотношением $U : Th$ от 3:1 до 1:3. Это неверно, так как в соответствии с принятыми международными правилами [7, 8] граница, разделяющая поля уранинита и торианита, должна проводиться по минералу с соотношением $U : Th = 1 : 1$. Минерал из Тувы должен быть отнесен к торураниниту.

Желательно также выделять в качестве отдельной разновидности уранинит, содержащий большое количество редких земель (свыше 20 ат. %), сохранив за ним одно название (например, брёггерит). Все изученные к настоящему времени образцы уранинита отличаются резким преобладанием редких земель иттриевой группы (до 70—80% от ΣTR) над цериевыми [9]. Для торианита, наоборот, типично преобладание цериевых земель. В тувинских образцах количество цериевых редких земель почти в 10 раз превышает содержание иттриевых. Преимущественное вхождение церия в уранинит естественно, так как церианит (CeO_2) изоструктурен с уранинитом и параметр его кристаллической решетки ($a_0 = 5,42 \text{ \AA}$) очень близок к параметру кристаллических решеток минералов ряда уранинит — торианит. Экспериментально подтверждено существование твердых растворов CeO_2 в UO_2 . Известно также, что существует изоморфный ряд $UO_2 - TR_2O_3$ (кубическая модификация с параметром $a_0 = 5,69 - 5,50 \text{ \AA}$ [9]). Возможно, что вхождение

церия в решетку описанных уранинитов облегчено присутствием в них значительных количеств тория. Возможно также, что преимущественное вхождение церия объясняется валентностью урана, который целиком находится в четырехвалентной форме (соединение UO_2 , изоструктурное с CeO_2). Резкое преобладание церия над другими лантаноидами и близость структуры CeO_2 к UO_2 позволяют предположить, что церий в изученных образцах находится также в четырехвалентном состоянии. В целом состав редких земель в тувинском уранините чрезвычайно близок к их составу в образцах торианита из Мадагаскара [9] и Полярной Сибири (см. табл. 2).

Как известно, нефелинсодержащие щелочные породы отличаются от гранитных комплексов резким преобладанием цериевых земель над иттриевыми. Образование в нефелиновых сиенитах Тувы уранинита, сильно обогащенного торием и редкими землями цериевой группы, несомненно обусловлено необычной средней минералообразованием и отражает общую геохимическую специфику образования этих пород. Для нефелиновых сиенитов Сангилена весьма характерно постоянное присутствие акцессорных минералов тория и церия. Однако в пегматитах этого массива многие акцессорные минералы (бритолит, циртолит, торит, ринколит, везувиан и др.) постоянно содержат также и примесь урана. Это явление для щелочных пород других регионов не характерно и является аномальным.

Не ясна также причина отсутствия свинца в исследованных образцах уранинита. Радиогенный свинец, образующийся при радиоактивном распаде урана и тория, постоянно обнаруживается в уранините, настуране и торианите. Тувинский уранинит обнаружен в палеозойском комплексе щелочных пород. При возрасте уранинита 200 млн. лет количество радиогенного свинца в нем должно составлять ~1,5%. Для некоторых щелочных массивов Тувы известны метасоматиты, возраст которых (по определению свинцовым методом) близок к мезозою (120—150 млн. лет). Эти данные требуют проверки, но и в этом случае в описанном уранините количество свинца должно было быть не менее 0,5—0,7%. Отсутствие свинца в исследованных образцах, по-видимому, объясняется его выносом, хотя в общем описанные ураниниты изменены очень слабо.

Поступила в Редакцию 4/VI 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. С. Макаров, И. М. Липова. «Геохимия», № 7, 715 (1962).
2. Р. М. Яшина. «Изв. АН СССР, сер. геол.», № 5, 17 (1957).
3. Дж. Д. Дэна и др. Система минералогии. М., Т. 1. Изд-во иностр. лит., 1951, стр. 156.
4. В кн. «Минералы». Т. 2. М., Изд-во «Наука», 1965, стр. 110.
5. V. Goldschmidt, L. Thomsen. Vidensk. Selsk. Skrifber, Mat. Naturw. Klass., 2, 25 (1923).
6. Г. А. Сидоренко. «Геохимия», № 1, 22 (1958).
7. «Зап. Всес. минералог. о-ва», ч. 94, вып. 5, 555 (1965).
8. Bull. Soc. frans. mineral. et cristallogr., 84, 13 (1961).
9. Е. И. Семенов. Минералогия редких земель. М., Изд-во АН СССР, 1963, стр. 46.
10. К. К. Жиров и др. «Геохимия», № 11, 828 (1961).
11. Е. И. Семенов, Р. Л. Баринский. «Геохимия», № 4, 314 (1958).

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

**АТОМИЗДАТ ИМЕЕТ В НАЛИЧИИ
СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:**

МОЗЖУХИН А. С., д-р биол. наук, **РАЧИН-СКИЙ Ф. Ю.**, канд. хим. наук. **Химическая профилактика радиационных поражений.** 1964, 244 стр., цена 95 к.

Монография посвящена актуальной проблеме изыскания средств химической профилактики радиационных поражений. В специальных главах книги рассматриваются вопросы защиты биологических объектов (микроорганизмы, высшие животные, человек) путем введения в организм перед облучением определенных химических соединений.

Изложение строится в основном на результатах, полученных авторами и их сотрудниками, имеющими наибольший опыт использования соединений, содержащих серу для профилактики поражений рентгеновскими и гамма-лучами.

Книга рекомендуется радиобиологам, химикам, работающим в области изыскания радиозащитных соединений, и врачам, занимающимся рентгено-радиотерапией злокачественных опухолей.

Заказы на книги направляйте по адресу: **Москва, В-71, Ленинский проспект, 15, Союзкнига, отдел научно-технической литературы, или в Атомиздат: Москва, К-31, ул. Жданова, 5/7.**

Атомиздат