

Е. В. КОПЧЕНОВА, А. С. АВДОНИН, Г. А. СИДОРЕНКО

**СТАДИЙНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ  
ТОНКОДИСПЕРСНОГО НАСТУРАНА В АЛЬБИТИТАХ**

Гидротермальная урановая минерализация, связанная со щелочными метасоматитами, обычно представлена весьма тонкодисперсными выделениями минералов, детальное исследование которых связано с большими трудностями. Определение химического состава этих минералов является сложной аналитической задачей, так как выделить их в чистом виде практически невозможно. Особенности химического состава тонкодисперсного настурана и продуктов его изменения в альбититах удалось выявить лишь с помощью рентгеновского микроанализатора IXA-3A, позволяющего анализировать мелкие включения без предварительного выделения их из породы.

Геолого-структурная и петрографическая характеристика изучаемых ураноносных альбититов приведена в работе В. И. Казанского и др. (1970). Урановые минералы здесь обычно располагаются в цементе интенсивно катаклазированных альбититов и приурочены к скоплениям темноцветных минералов — хлорита, эгирина, рибекита и др. Представлены они тонкодисперсными выделениями окислов и гидроокислов (настурана, уранинита, гидронастурана, ургита), силикатов (коффинита, болтвудита) и весьма сильно измененных урано-титановых минералов, описание которых приведено в статье Е. В. Копченовой и др. (1970). В незначительных количествах встречаются браннерит и давидит.

При минералогическом изучении ураноносных альбититов наблюдалось замещение колломорфных выделений черного непрозрачного настурана гидронастураном и затем сургучно-красными и желтыми вторичными образованиями. С помощью рентгеновского микроанализатора удалось проследить постепенное изменение химического состава минералов, развивающихся по настурану. Результаты исследований изложены в настоящей статье.

**Методические особенности исследования  
урановых минералов на рентгеновском микроанализаторе**

Высокая дисперсность выделений изучаемых урановых минералов, неоднородность и сложность химического состава, включающего воду и элементы, резко отличающиеся по атомному номеру, недостаточная теплопроводность и термостойкость значительно усложняют исследование их с помощью зонда. Основным критерием правильности анализа мелкодисперсных минералов обычно является сумма содержаний замеченных компонентов, близкая к 100%. При анализе изучаемых минера-

лов этим критерием не всегда возможно пользоваться, так как многие минералы содержат воду и другие элементы, неопределяемые микроанализатором используемой модели. Поэтому для контроля правильности и оценки возможности анализа минералов, содержащих воду, с помощью зонда проведено изучение крупных выделений бетауранотила, микрохимический анализ которого точно соответствует его составу. Сравнение данных, полученных с помощью зонда и микрохимическим методом, дано в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение результатов анализа с помощью зонда (I) и микрохимическим методом (II)

Определяемый элемент и линия	Настуран			Бетауранотил			Шеелит		
	Iоб/IЭт	С		Iоб/IЭт	С		Iоб/IЭт	С	
		I	II		I	II		I	II
UM <sub>β1</sub>	0,683	71,5	71,0	0,518	56,7	55,5			
SiK <sub>α1</sub>				0,031	4,7	4,54			
CaN <sub>α1</sub>				0,025	4,8	4,66	0,094	13,9	13,8
PbM <sub>α1,2</sub>	0,057	6,8	6,7						
WM <sub>α1,2</sub>							0,52	62,5	63,5

Iоб/IЭт — относительная интенсивность, С — концентрация, вес.%; ускоряющее напряжение 20 кВ, угол выхода рентгеновского излучения 20°

Результаты анализа бетауранотила показывают принципиальную возможность исследования с помощью зонда гидратированных урановых минералов. Анализ минерала проводился при токах поглощенных электронов 10, 15, 20, 30 *на*<sup>1</sup>. При этом вариации величины относительной интенсивности урана лежат в пределах погрешности измерений.

При исследовании настурана и продуктов его изменения особое внимание обращалось на их однородность.

Каждое выделение минерала, химический состав которого приводится в табл. 2, исследовалось в поглощенных и обратно-рассеянных электронах, проводилась одновременная запись интенсивности рентгеновского излучения двух компонентов и тока поглощенных электронов при линейном перемещении образца под зондом.

Этот способ дает возможность наиболее полно судить об однородности минерала, о характере и взаимозависимости в распределении компонентов.

Измерение интенсивности рентгеновского излучения проводилось в 10—15 точках, одновременно на двух спектрометрах, что позволяло контролировать правильность установки образца в держателе, судить о качестве полировки, исключить ошибки, обусловленные смещением зонда на исследуемом образце с первоначально установленной точки из-за недостаточной электропроводности образца после напыления.

Последнее обстоятельство очень важно при анализе исследуемых минералов, так как мелкодисперсность выделений и неоднородность состава налагают дополнительные ограничения на толщину напыляемого слоя.

В качестве эталонов применялись: для урана — синтетическое соединение состава UO<sub>2</sub> = 43,14%; UO<sub>3</sub> = 46,16%; Na<sub>2</sub>O = 10,3%; для свинца — PbS; для кальция — CaF<sub>2</sub>; для остальных элементов — чистые металлы.

Расчет концентраций проводился способом гипотетического состава

<sup>1</sup> *на* — наноампер = 10<sup>-9</sup> а.

Таблица 2. Состав и свойства настурана и продуктов его изменения (вес. % %)

Оксиды	Настуран	Стадии изменения								
		I Гидронастуран-ургит	II Ургит		III Силикат урана, кальция и свинца				Среднее из 4 анализов	
	1	2	3	4	5	6	7	8		
UO <sub>2</sub>	71									
UO <sub>3</sub>	71	65	71	69	69,5	66,5	69	71	69,0	
PbO	18,6	16,5	10—16	5—10	3,2	5	4,5	4,2	4,2	
ZrO <sub>2</sub>	3,6	3,3	1,7	2,5		Не обнаружено			—	
CaO	3,1	1,1	2,2	2,6	5,5	5,7	5,8	4,9	5,5	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	0,6	0,4	0,5		Не обнаружено			—	
SiO <sub>2</sub>	0,7	2,5	6,7	6,7	14	16	16,3	15,5	15,4	
TiO <sub>2</sub>	0,3		Не обнаружено			Не обнаружено			—	
Сумма	97,6	89	87,5—93,5	86,3—91,3	92,2	93,2	95,6	95,6	94,1	
Форма выделения	Скопления округлых или кольчатых выделений	Скопления округлых выделений, переходящих в сплошные с сетью мелких трещин	Мелкие трещиноватые неоднородные выделения		Трещиноватые, достаточно крупные (до 0,1 мм) выделения					
Цвет, прозрачность	Черный, непрозрачный, иногда чуть просвечивает по краям	Неоднородный бурый, лимонно-желтый с переходом в красный; полупрозрачный	Желтый, красный, полупрозрачный		Желтый, зеленовато-желтый, прозрачный					
Оптические свойства	В отраженном свете серый; R=12,5—16% %	В проходящем свете изотропный; N=1,70—1,78. В отраженном свете серый; R < 12%	В проходящем свете изотропный; N=1,620—1,680		Анизотропный с аномальными синими тонами интерференции N <sub>α'</sub> = 1,714; N <sub>β'</sub> = 1,703					
Рентгено-структурные данные	Настуран	Рентгеноаморфный; иногда сильно диффузные линии настурана	Очень слабо раскристаллизованный до рентгеноаморфного		Структура типа болтвудита-казолита					

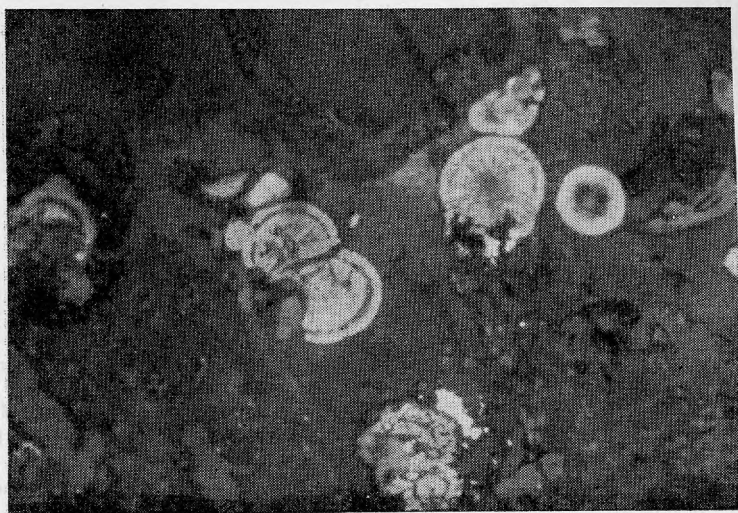


Рис. 1. Настуран и продукты его изменения, аншлиф, увел. 450

(1), с введением теоретических поправок на поглощение и атомный номер (11, 12). Физико-химические свойства и условия определения состава урановых минералов альбититов и контрольных минералов (табл. 1) с точки зрения анализа с помощью зонда принципиально не отличаются, поэтому можно считать, что анализ первых проведен с той же точностью.

### Результаты исследований

Урановые минералы в изучаемых альбититах обычно представлены настураном и продуктами его изменения, характеристика которых приведена в табл. 2.

С помощью рентгеновского микроанализатора изучено изменение химического состава минералов в процессе их постепенного замещения.

Настуран образует черные округлые или кольчатые колломорфные выделения (рис. 1). При микроскопическом изучении установлено, что обычно он совершенно непрозрачен, но иногда слабо просвечивает в тонких краях. В отраженном свете серый,  $R=12,5-16\%$ . Рентгенографические исследования подтверждают принадлежность минерала к настурану.

Основными химическими компонентами настурана являются уран и свинец, в распределении которых наблюдается четкая корреляция (табл. 2, рис. 2). Кремний, цирконий, титан и железо, присутствующие в небольших количествах, по всей вероятности являются механическими примесями.

Постепенно настуран замещается неоднородным полупрозрачным агрегатом бурой, сургучно-красной или желтой окраски (I стадия). Первоначальная колломорфность выделений настурана при этом замещения полностью сохраняется (рис. 1). В проходящем свете эти продукты изменения настурана полупрозрачны; показатель преломления их в более прозрачных светлых участках колеблется от 1,70 до 1,78. В отраженном свете они серые; отражательная способность меньше 12%. По результатам рентгенографического исследования минерал рентгеноаморфен; на дебаеграммах отдельных проб наблюдаются слабые диффузные отражения диспергированного настурана.

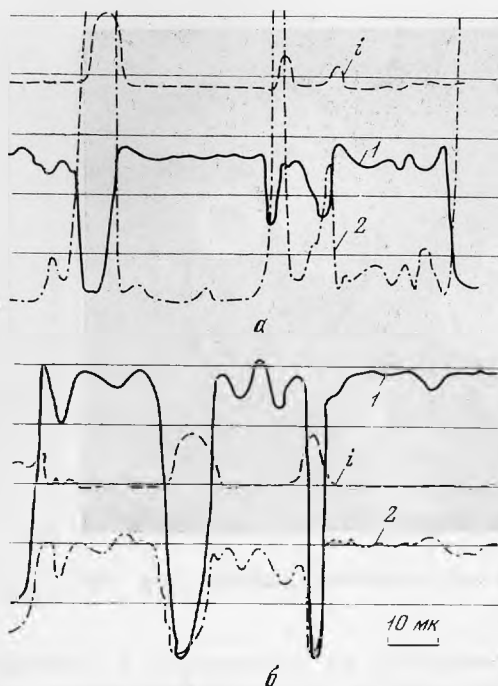


Рис. 2. Характер распределения урана, свинца, кремния и ток поглощенных электронов  $I$  в настуране при линейном перемещении образца

$a$  — интенсивность  $M_{\beta_1}$  линии урана (1) и  $K_{\alpha}$  линии кремния (2);  
 $b$  — интенсивность  $M_{\beta_1}$  урана (1) и  $M_{\alpha_1}$  свинца (2)

Химический состав желтого гидратированного настурана близок к составу исходного минерала (табл. 2). Несколько понижается содержание основных компонентов — урана и свинца, но соотношение между ними остается постоянным. Низкую сумму окислов, полученных при анализе (89%), по всей вероятности нужно объяснить сильной гидратацией минерала. По химическому составу и свойствам минерал может быть отнесен к гидронастурану — ургиту.

Следующей, II стадией изменения является неоднородный, трещиноватый агрегат слабо раскристаллизованного гидратированного окисла урана, форма которого уже не соответствует первичным выделениям настурана. Окраска агрегатов минерала неоднородная красновато-бурая, красная или желтая. Минерал полупрозрачный; в наиболее прозрачных светлых участках в проходящем свете изотропный;  $N$  колеблется в пределах 1,620—1,680. При рентгенографическом исследовании установлено, что агрегат весьма слабо раскристаллизован, участками рентгеноаморфен.

Химический состав минерала II стадии изменения непостоянен; выявляются особенно резкие колебания содержания свинца и кремния (табл. 2, рис. 3). Не исключена возможность, что острые пики на кривой интенсивности рентгеновского излучения свинца обусловлены реликтами гидронастурана или неравномерным распределением радиогенного свинца, образующегося при разложении настурана.

Конечный продукт изменения настурана (III стадия) представлен трещиноватыми относительно крупными выделениями (до 0,03—0,1 мм) достаточно однородного желтого или зеленовато-желтого минерала, местами образующего радиальные агрегаты вытянутых кристаллов. Минерал прозрачный, анизотропный с темными аномальными зеленовато-синими тонами интерференции и низким двупреломлением.  $Ng' = 1,714$ ;  $Np' = 1,703$ .

По рентгенографическим данным обладает кристаллической структурой типа силикатов урана болтвудита — казолита.

Рис. 3. Характер распределения урана (1), свинца (2) и ток поглощенных электронов  $i$  во второй стадии изменения настурана

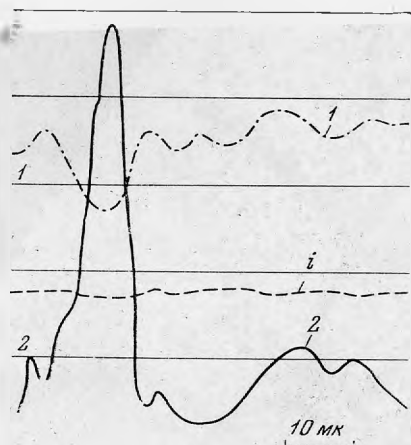
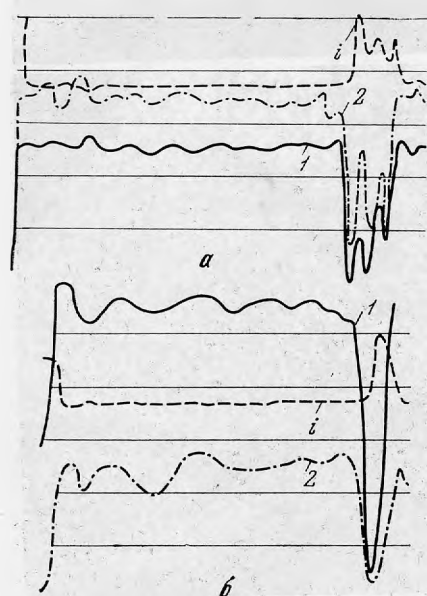


Рис. 4. Характер распределения урана, свинца, кремния, кальция и ток поглощенных электронов  $i$  в свинцово-кальциевом силикате урана



а — интенсивность  $M_{\beta_1}$  урана (1) и  $K_{\alpha}$  кремния (2),  
 б —  $M_{\beta_1}$  урана (1) и  $M_{\alpha_1}$  свинца (2),  
 в —  $M_{\beta_1}$  урана (1) и  $K_{\alpha}$  кальция (2)

По химическому составу конечная III стадия изменения представлена силикатом урана, свинца и кальция (табл. 2, рис. 4, 5), в котором отмечается четкая корреляция в распределении основных компонентов. Совсем исчезают цирконий и железо. Соотношение окислов в минерале, вычисленное по среднему из четырех анализов, равняется  $(Ca, Pb)O \cdot 2UO_3 \cdot 2SiO_2$ .

Окислы	Средний весовой %	Молекулярное количество $\times 1000$	Молекулярное отношение
$UO_3$	69	2412	1
$CaO$	5,5	981	
$PbO$	4,2	188	0,5
$SiO_2$	15,4	2563	1

Недостаток суммы свинца и кальция по отношению к урану и кремнию по всей вероятности может восполняться катионами оксония или замещением части O на OH и формулу минерала можно представить

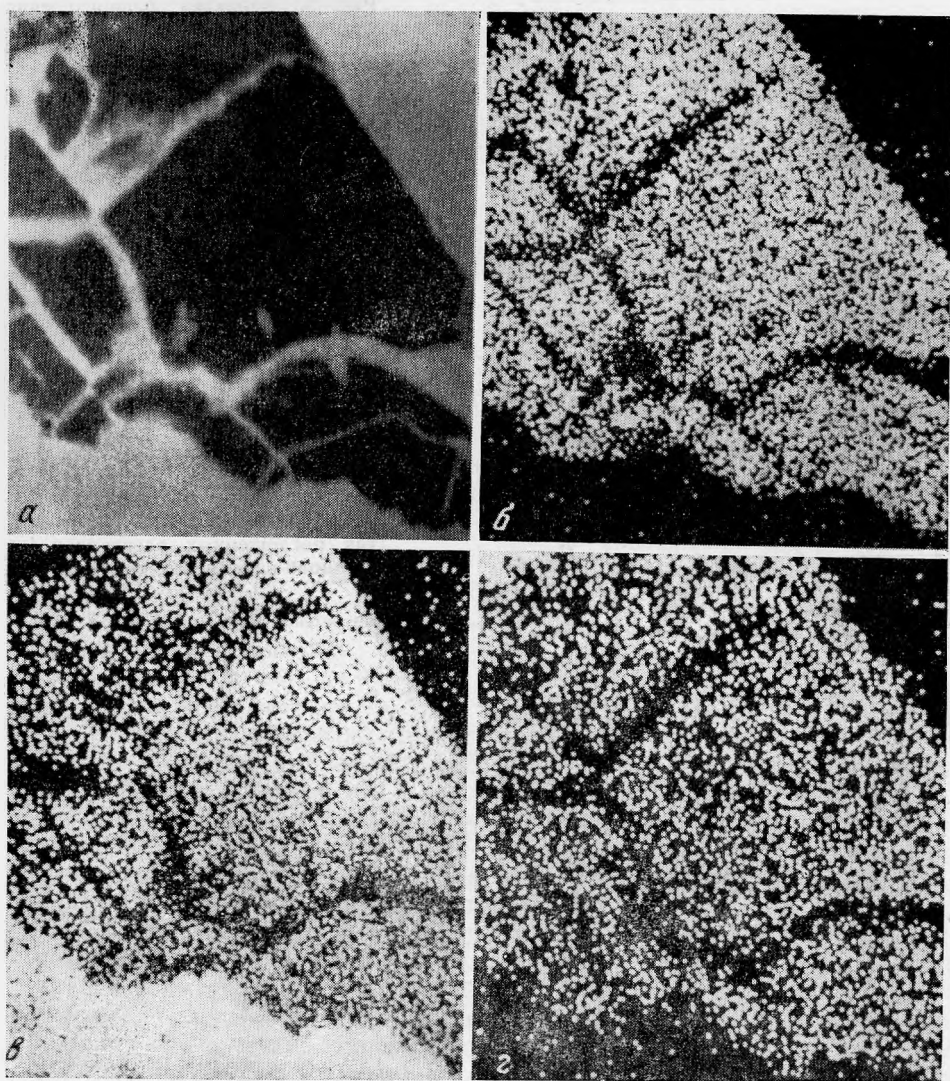


Рис. 5. Силикат урана, свинца и кальция в поглощенных электронах (а) и в характеристическом рентгеновском излучении урана (б), кремния (в) и кальция (г).  
Увел. 600

в виде:  $(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Ca}, \text{Pb})[(\text{UO}_2)(\text{SiO}_4)]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  или  $(\text{Ca}, \text{Pb})[(\text{UO}_2) \cdot (\text{SiO}_3\text{OH})]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  в зависимости от pH среды минералообразования. Судя по формуле, структура минерала должна быть близка к уранофану — бета — уранотилу, однако присутствие в нем крупного катиона  $\text{Pb}^{2+}$  (1.20 Å) определяет строение, аналогичное силикату крупного катиона калия-болтвудиту, предположительно изоструктурного силикату свинца-казолиту (7, 8, 13, 14).

Учитывая ограниченный изоморфизм между  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , нужно признать, что подобная формула может дать лишь общее представление о составе минерала. Минерал нуждается в дополнительном изучении.

Рентгенографическое изучение вторичных силикатов, развивающихся по настурану, выполнено только порошковым методом (камера РКД и РКУ-114) вследствие высокой степени дисперсности и малых навесок исследуемого вещества. Все проанализированные пробы силиката дают



слабую дифракционную картину, что, по-видимому, обусловлено слабой степенью раскristаллизации и присутствием рентгеноаморфной фазы. Рассчитанные значения межплоскостных расстояний, приведенные в табл. 3 в сопоставлении с литературными данными для болтвудита и казолита, обнаруживают сходство минерала как с болтвудитом, так и с

Таблица 3

Значения межплоскостных расстояний новообразованного силиката в сопоставлении с данными для болтвудита (14) и казолита (7)

Болтвудит Хонеа		Новообразованный силикат						Казолит	
		6		7		8			
<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>
6,81	100	6,79	4	6,48	5	—	—	6,51	20
6,40	50	—	—	—	—	6,19	4	6,15	40
5,45	50	—	—	—	—	—	—	5,32	5
4,74	40	4,74	5	4,66	4	—	—	4,73	5
4,32	40	4,31	6	—	—	—	—	4,21	60
3,91	10	3,90	2	—	—	—	—	—	—
3,75	10	—	—	—	—	3,69	2	—	—
3,54	70	3,51	5	3,49	7	3,49	9	3,52	60
3,40	90	3,26	1	—	—	—	—	—	—
3,14	50	3,13	3	3,17	9	3,20	9	3,24	60
2,95	80	—	—	3,02	3	3,05	2	3,06	80
2,91	70	2,93	10	2,87	10	2,98	10	2,92	100
2,53	30	—	—	—	—	2,61	2	2,65	5
2,45	50	—	—	2,43	1	—	—	2,48	5
2,34	40	2,39	1	—	—	2,36	1	2,35	5
2,26	50	—	—	—	—	—	—	—	—
2,21	40	2,20	4	2,16	4	2,19	3	2,18	20
2,11	20	—	—	—	—	2,03	4	2,11	5
2,05	30	—	—	2,07	1	—	—	2,04	5
1,950	30	—	—	—	—	—	—	1,966	5
1,900	60	1,897	6	—	—	—	—	—	—
1,874	10	—	—	1,870	5	1,864	2	1,879	20
1,820	20	—	—	—	—	—	—	1,829	5
1,780	10	—	—	—	—	1,798	4	—	—
1,764	60	1,746	4	1,723	5	1,741	7	1,741	20
1,653	30	—	—	—	—	1,664	2	—	—

Примечание: для болтвудита по Хонеа (14) не приведены малые значения межплоскостных расстояний, а также несколько слабых дифракционных линий, не наблюдающихся для исследуемого силиката урана.

казолитом, однако он не является прямым аналогом этих минералов. Новообразованный силикат урана, свинца и кальция можно рассматривать как промежуточный член гипотетического изоморфного ряда «болтвудит — казолит»  $(\text{H}_3\text{O})\text{K}[\text{UO}_2(\text{SiO}_4)] \cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{Ca}[\text{UO}_2(\text{SiO}_4)] \cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{Pb}[\text{UO}_2(\text{SiO}_4)] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . По существу он представляет казолит, в котором значительная часть свинца замещена кальцием.

Инфракрасные спектры поглощения минералов последней стадии изменения настурана, полученные в области  $60-4000 \text{ см}^{-1}$  (аналитик А. А. Валуева), также позволяют отнести минерал к силикатам ( $450-550$  и  $990-1030 \text{ см}^{-1}$ ), содержащим воду ( $1640-1645$ ,  $3200$  и  $3380 \text{ см}^{-1}$ ). Однако в сравнении с ИК-спектрами болтвудитов Хонеа (14) спектр анализированных образцов (фиг. 6) более размыт, что говорит о струк-



турной разупорядоченности минерала (вполне логично при допущении Са—Рb-замещений) и отсутствии строгой фиксации воды. В форме механических примесей возможны окислы и гидроокислы урана.

Электронная микроскопия продуктов изменения настурана (аналитик В. Т. Дубинчук) подтверждает минеральную (фазовую) неоднородность и выявляет как минимум две фазы: явно кристаллическую со стреловидными кристаллами и колломорфную, которая даже при дифракции электронов дает только порошковую картину (кольцевую), т. е. практически рентгеноаморфная фаза. Расчет этой порошковой картины показывает, что фаза кубическая со структурой типа уранинита, но с элементарной ячейкой размером 5,60 Å, что позволяет идентифицировать ее

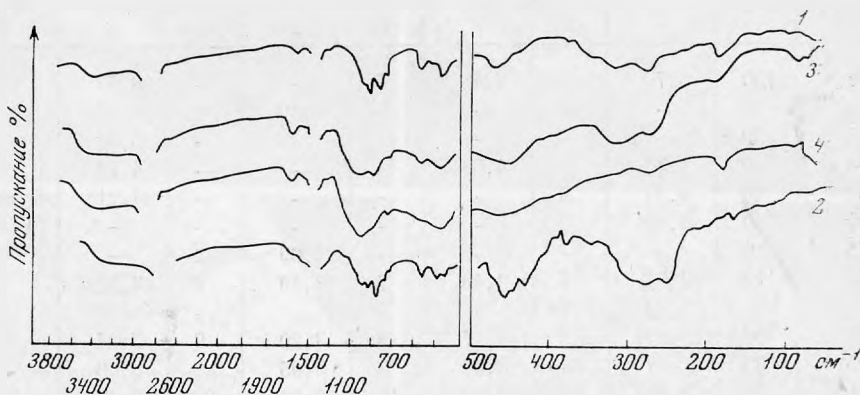


Рис. 6. ИК-спектры казолита (1), болтвудита (2) и силикатов урана, свинца и кальция (обр. 5—3 и обр. 8—4)

как  $PbUO_4$ . Рентгеноаморфность фазы объясняет «слабость» рентгеновской дифракционной картины, обусловленную тем, что лишь часть образца достаточно хорошо раскристаллизована.

Полученные результаты изучения последовательных стадий изменения настурана показывают, что настуран постепенно гидратируется и окисляется; четырехвалентный уран превращается в шестивалентный, вследствие чего черная окраска минерала замещается бурой, красной и затем желтой. Отобрать чистый настуран для определения  $UO_2$  и  $UO_3$  не представляется возможным ввиду слишком мелких размеров его включений. Во вторичных окрашенных продуктах изменения настурана весь уран находится в шестивалентной форме, что установлено с помощью микрохимического анализа.

При незначительном изменении общего содержания урана в продуктах замещения отмечается резкое снижение свинца (в 3—4 раза), что возможно объяснить образованием растворимых плумбатов в щелочных условиях.

При описании ураноносных альбититов продукты изменения настурана некоторыми исследователями относятся к группе ненадкевита.

По вопросу химической природы и состава силиката урана — ненадкевита — имеется много неясностей, что объясняется большой тонкостью выделений его в метасоматитах и невозможностью получить чистый минерал для исследования. Уже при первом описании ненадкевита (Петров, 1970) отмечалась большая неоднородность минерала; для различных разновидностей его приведены две разные кристаллохимические формулы (Гецева, Савельева, 1956). Указано, что под этим названием объединена группа минералов, различающихся по химическому составу и физическим свойствам.

Последние исследования В. И. Жуковой (1900, 1901) также подтверждают представления о том, что выделить ненадкевит в чистом виде практически невозможно, «на первый взгляд чистые мономинеральные пробы представляют собой смесь ненадкевита, кремнекислоты в форме халцедоноподобного вещества и железа в виде окислов и гидроокислов». Рентгенографические исследования большого числа ненадкевитов всегда отмечают рентгеноаморфное строение вещества. Лишь иногда на порошкограммах наблюдаются линии, соответствующие кристаллической структуре гетита или гематита, обусловленные примесями.

По данным В. И. Жуковой ненадкевит формировался в завершающую фазу высокотемпературного пневмато-гидротермального этапа натриевого метасоматоза и по времени образования близок к малакону, браннериту, апатиту и ураниниту.

Исследование музейных образцов ненадкевитов нескольких месторождений, проведенное авторами настоящей статьи, показало большую неоднородность их по физическим свойствам и химическому составу. Обычно они представляют собой весьма тонкодисперсные смеси гидроокислов или силикатов урана с халцедоном, опалом и минералами группы гидроокислов железа.

Химический состав изученных ненадкевитов, определенный с помощью микроанализатора, колеблется в широких пределах и четкой корреляции в распределении урана и кремния обычно не наблюдается. В отдельных образцах намечаются закономерные соотношения урана и кремния, однако даже эти образцы нельзя с полной уверенностью относить к силикатам. Не исключена возможность наличия в них тончайших механических смесей различных минералов, размеры включений которых ниже разрешающей способности зонда.

Рентгенографические данные для ненадкевитов также весьма непостоянны, многие из них рентгеноаморфны. Реже встречающиеся кристаллические различия имеют структуру, близкую к структуре болтвудита или казолита; нередко порошкограммы этих разновидностей содержат линии, соответствующие кристаллической структуре примесей — гетита, гематита, рутила, галенита и других минералов.

Таким образом, литературное описание и изучение музейных образцов показало, что ненадкевит представляет собой тонкодисперсные смеси нескольких минералов и название это является собирательным подобно названию «гуммит». Пользоваться им для обозначения определенных минералов едва ли рационально.

## Выводы

1. Методами микроскопического и рентгенографического изучения и определения изменения химического состава с помощью рентгеновского микроанализатора выявлено постепенное замещение настурана рентгеноаморфными гидроокислами урана — гидронастураном и ургитом, по которым затем развивается силикат урана, кальция и свинца, частично раскристаллизовывающийся с образованием минерала, имеющего кристаллическую структуру типа болтвудита-казолита. Силикат этот можно рассматривать как казолит, обогащенный кальцием.

2. Во вторичных красных и желтых продуктах изменения настурана с помощью микрохимического анализа установлено, что весь уран находится в шестивалентной форме.

При незначительном изменении общего содержания урана в них отмечается резкое снижение количества свинца (в 3—4 раза).

3. Результаты ИК-спектроскопии подтверждают возможность отнесения последней стадии изменения настурана к гидратированным силикатам типа казолита.

4. При электронной микроскопии выявляется минеральная неоднородность продуктов изменения настурана и присутствие кристаллической фазы среди рентгеноаморфных образований.

5. Учитывая, что продукты изменения настурана иногда называют ненадкевитом, для сравнения проведено изучение музейных образцов ненадкевита, которое показало, что он является тонкодисперсными смесями нескольких минералов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Батырев В. А., Рыдник В. И.* О количественном рентгеноспектральном микроанализе многокомпонентных систем.— Завод. лабор., 1970, № 6.
- Гецева Р. В., Савельева К. Т.* Руководство по определению урановых минералов. Госгеолтехиздат, 1956.
- Жукова В. И.* Новые данные о гипогенных силикатах урана.— Сб. «Вопросы прикладной радиогеологии», вып. 2. Атомиздат, 1967.
- Жукова В. И.* Минералогия и первичная зональность гидротермально-метасоматического месторождения урана в железорудной формации докембрия. Сб. «Месторождения урана: зональность и парагенезисы». Атомиздат, 1970.
- Казанский В. И., Крупенников В. А., Омельяненко Б. И., Прусс А. К.* О структурах и петрологических условиях образования ураноносных альбититов.— Геология рудных месторождений, 1968, № 1, 3—16.
- Копченова Е. В., Авдонин А. С., Сидоренко Г. А., Быков В. П.* К изучению тонкодисперсных урано-титановых минералов из альбититов.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1970, № 1, 78.
- Макеева В. И.* О кристаллической структуре казолита. Кристаллография, 1964, 9, № 5.
- Поваренных А. С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. «Наукова думка», 1966.
- Поликарпова В. А.* Ненадкевит — новый силикат урана.— Атомная энергия, 1956, № 3, 132.
- Поликарпова В. А.* Новые данные о ненадкевите.— Сб. «Вопросы геологии урана». Атомиздат, 1957.
- Adler J., Goldstein.* Absorption tables for electron probe microanalysis. Washington, NASA, 1965.
- Duncumb P., Reed S. I.* Quantitative electron probe microanalysis.— NBS Spec Publ., N 238, 1968.
- Fron del C., Ito J.* Boltwoodite, a new uranium silicate.— Science, 124, N 3228, 1956.
- Honea R. M.* New data on boltwoodite an alkali uranyl silicate.— Amer. Mineralogist, 46, N 1, 1961.