

УДК 549.02+548.736

НОВЫЙ МИНЕРАЛ – ЧИСТЯКОВАИТ, $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2(\text{F}, \text{OH}) \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}^*$

© 2006 г. Н. В. Чуканов, Г. А. Сидоренко, И. С. Наумова, А. Е. Задов, В. И. Кузьмин

Представлено академиком В.С. Урусовым 19.05.2005 г.

Поступило 02.06.2005 г.

Новый минерал – водный ураниларсенат алюминия обнаружен в ходе детального изучения образцов урановых минералов месторождения Бота-Бурум (Южный Казахстан) из коллекции Е.В. Копчевой, собранных в 50-е годы и хранящихся в Минералогическом музее Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС). Минерал получил название чистяковаит в честь старшего научного сотрудника ВИМС Натальи Ильиничны Чистяковой, известного специалиста в области рентгеноспектрального анализа, выполнившей большое количество микрондовых анализов минералов урана. Чистяковаит – это второй (после арсенураношпатита) ураниларсенат алюминия, найденный в природе.

Месторождение Бота-Бурум приурочено к карбонатизированным девонским фельзит-порфирам и их туфобрекчиям. Первичная гидротермальная минерализация здесь представлена преимущественно настураном и сульфидами; широким распространением пользуется арсенопирит. В результате окисления последнего в зоне гипергенеза образовался комплекс разнообразных арсенатов – натриевый ураноспинит, скородит, мансфельдит, метацейнерит, трегерит, арсениосидерит и др. [1, 2].

Чистяковаит образует несовершенные, сильно уплощенные по {100} прозрачные кристаллы желтого цвета размером до 2 мм и их сростки (рис. 1). Минерал хрупкий, обладает совершенной спайностью по {100} и несовершенной – по {001}; излом ступенчатый. Твердость по шкале Мооса

около 2^{1/2}. Плотность, измеренная методом микрообъемометрии (метод М.М. Василевского) с использованием ультрамикровесов МП 4504 (фирма “Sartorius”, Германия) и калиброванной барометрической трубки-капилляра, равна 3.62(2) г/см³ (среднее по 5 измерениям). В УФ-лучах минерал под ртутной лампой высокого давления СВД-120 ($\lambda_{\text{max}} = 365$ нм) проявляет яркую зеленую люминесценцию. При нагревании в атмосфере аргона до 850°C (навеска 8.35 мг, скорость нагрева 4°C/мин) чистяковаит теряет 12.2% массы. В разбавленной соляной кислоте при комнатной температуре растворяется без выделения газа.

Микроскопические исследования установили, что минерал оптически двуосный, отрицательный; показатели преломления равны: $n_p = 1.557(2)$, $n_m = 1.580(1)$, $n_g = 1.580(1)$; $2V_{\text{изм}} = -10(5)^\circ$, $-25^\circ < 2V_{\text{выч}} < 0^\circ$. Ориентировка: $X = a$; $Z \approx b$. Дисперсия не наблюдается. Минерал микроскопически бесцветный.

ИК-спектр чистяковаита, запрессованного в виде таблетки с бромистым калием, регистрировали на двухлучевом спектрофотометре “Specord 75 IR” в диапазоне волновых чисел 400–4000 см⁻¹; при этом в пучок сравнения помещали аналогичную таблетку из чистого КВг. Полученная спектрограмма (рис. 2) содержит полосы (см⁻¹; s – сильная полоса; w – слабая полоса; sh – плечо; ν – валентные колебания; δ – деформационные колебания): 3475 sh (ν -H₂O, ν -OH⁻); 3360 s , 3130 sh (ν -H₂O), 1665 sh , 1640 (δ -H₂O); 1480 w , 1397 w ; 1055 sh , 1029 (ν -PO₄³⁻); 940 s , 905 sh , 888 s (ν -UO₂²⁺); 814 s (ν -AsO₄³⁻); 743 s ; 595, 580 sh , 505 sh (δ -PO₄³⁻); связи Al–O в октаэдрах); 479. Расщепление полос δ -H₂O и ν -UO₂²⁺ свидетельствует о присутствии в минерале как разнотипных молекул воды, так и разнотипных катионов уранила. Присутствие в ИК-спектре широкого плеча при 3130 см⁻¹ свидетельствует о том, что часть молекул воды образует очень прочные водородные связи. В целом ИК-спектр чистяковаита индивидуален и является его важной диагностической характеристикой, поз-

*Новый минерал чистяковаит одобрен Комиссией по новым минералам и названиям минералов ВМО и утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 5 апреля 2005 г.

Институт проблем химической физики
Российской Академии наук,
Черноголовка Московской обл.
Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья, Москва
НПО “Регенератор”, Москва



Рис. 1. Агрегат кристаллов чистяковаита (аншлиф, изображение в обратно-рассеянных электронах).

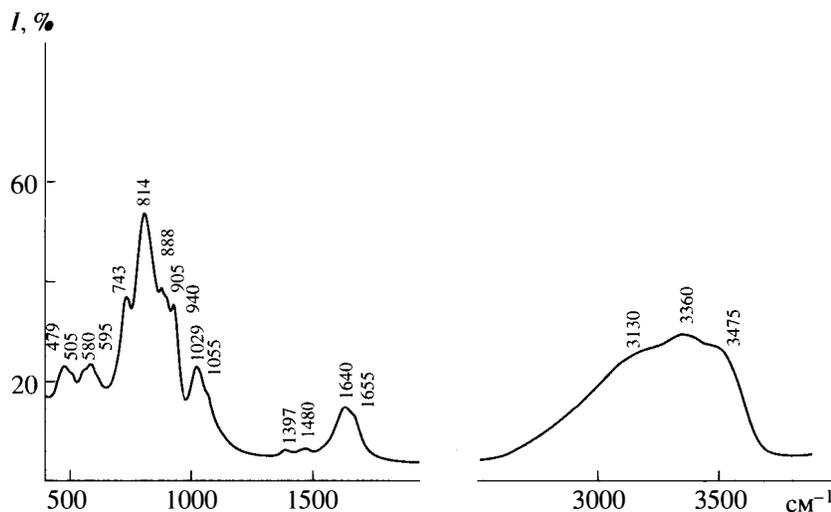


Рис. 2. ИК-спектр чистяковаита.

воляющей надежно отличать этот минерал от арсенатных членов групп отэнита и метаотэнита.

Химический состав минерала изучен методом локального рентгеноспектрального анализа, на микроанализаторе JXA-8100 (фирма JEOL, Япония). Для предотвращения разрушения образца под электронным пучком использовали расфокусированный зонд. Для Al, U, As, P выполнено 7 локальных анализов при условиях: $V = 20$ кВ, $I = 10$ нА, диаметр пучка 50 мкм; для F: $V = 15$ кВ, $I = 70$ нА, диаметр пучка 50–60 мкм. Для калибровки микроанализатора использованы следующие этало-

ны: микроклин для Al, UO_2 для U, InAs для As, GaP для P, SrF_2 для F. Среднее содержание главных компонентов (мас. %; в скобках дана погрешность измерения): Al_2O_3 4.99 (± 0.1), UO_3 58.34 (± 0.3), As_2O_5 21.40 (± 0.15), P_2O_5 1.23 (± 0.1), F 1.1 (± 0.1); H_2O (из термогравиметрических данных) 12.2 (± 0.1), $-O = F_2 - 0.46$, сумма 98.80.

Эмпирическая формула чистяковаита, рассчитанная на $(AsO_4, PO_4)_2$ с учетом баланса валентностей, имеет вид:
 $Al_{0.96}(UO_2)_{2.00}[(AsO_4)_{1.83}(PO_4)_{0.17}][F_{0.57}(OH)_{0.31}] \cdot 6.50H_2O$.

Таблица 1. Сравнительные данные для чистяковаита и родственных минералов

Характеристика	Чистяковаит	Тредголдит	Арсенураношпатит (полноводная форма)	Арсенураношпатит (частично дегидратированная форма)
		$\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2\text{F} \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_{0.5}\text{Al}_{0.5}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
	<i>P2/m, P2</i> или <i>Pm</i>	<i>Cc</i> или <i>C2/c</i>	<i>P4₂/n?</i>	Тетрагональный?
Параметры элементарной ячейки				
<i>a</i> , Å	19.99	20.25	7.16	7.15
<i>b</i> , Å	9.79	9.85	7.16	7.15
<i>c</i> , Å	19.62	19.75	30.37	20.52
β , °	110.7	111.4	90	90
<i>Z</i>	8	8	2	2
Сильные линии дифрактограммы порошка <i>d</i> , Å (<i>I</i> , %)	9.34 (100), 9.14 (100), 4.93(18), 4.87(20), 4.76(27), 4.69(17), 3.55(14.5)	9.43(100), 5.35(50), 4.93(40), 4.10(40), 3.729(40), 3.474 (80), 3.366 (60), 2.197(60)	14.62(100), 7.62(100), 5.03(80), 3.59(60), 3.49(90), 3.24(40)	10.54(100), 5.13(60), 3.54(100), 3.17(50), 2.25(50)
Оптические параметры:				
<i>n_p</i>	1.557	1.573 (расчёт)	≤1.538	1.564
<i>n_m</i>	1.580	1.583	1.538	1.594
<i>n_g</i>	1.580	1.588	1.542	1.596
<i>-2V</i>	10	70	52	28
<i>D</i> , г/см ³	3.62	3.4	2.52 (расчёт)	3.20 (расчёт)
Источник	Настоящая работа	[5]	[4]	[4]

Примечание. Согласно структурным данным [6] пр. гр. тредголдита *Cc*.

Упрощенная формула: $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2(\text{F}, \text{OH}) \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$.

Корректность определений химического состава, показателей преломления и плотности минерала подтверждается хорошей сходимостью по критерию Гладстоуна–Дейла (при использовании значений коэффициентов из работы Дж.А. Мандарино (J.A. Mandarino), 1981 [3], $1 - K_p/K_C = 0.00$ для $D_{\text{изм}}$; $1 - K_p/K_C = 0.01$ для $D_{\text{выч}}$).

Из-за трещиноватости и микроблочного строения кристаллов чистяковаита (рис. 1) попытки изучить его кристаллическую структуру оказались безуспешными.

Рентгенограмма порошка чистяковаита (дифрактометр ДРОН-3, CuK_α -излучение) дана в табл. 1. Согласно дифрактограмме новый минерал моноклинный, пр. гр. *P2/m*, *P2* или *Pm* (систематических погасаний нет); параметры элементарной ячейки: $a = 19.99(1)$ Å, $b = 9.79(1)$ Å, $c = 19.62(2)$ Å, $\beta = 110.7(2)^\circ$; $V = 3592(6)$ Å³; $Z = 8$, $d = 3.585$ г/см.

Природные алюминиевые уранилфосфаты достаточно разнообразны. По меньшей мере 10 минеральных видов принадлежат к этому семейству: это фурунгит, мороит, мундит, фуралюмит, ранун-

кулит, сабугалит, тредголдит, триангулит, упалит и ураношпатит. Для большинства из них местом первой находки является Кобокобо (Киву, ДР Конго). В то же время до сих пор был известен только один минеральный вид, относящийся к семейству алюминиевых ураниларсенатов – арсенураношпатит, впервые описанный на месторождении Менценшванд (горы Шварцвальд, Германия). Для этого минерала известны две формы, различающиеся параметрами элементарной ячейки и физическими свойствами – полноводная и частично дегидратированная [4].

По параметрам элементарной ячейки и стехиометрии ($\text{Al} : \text{U} : (\text{As} + \text{P}) = 1 : 2 : 2$) чистяковаит изоструктурен или гомеотипен с тредголдитом [5, 6], от которого отличается составом, являясь арсенатом с незначительной изоморфной примесью фосфора и относительно высоким содержанием фтора, а также более низким содержанием воды. Сравнительные характеристики чистяковаита и некоторых родственных ему минералов даны в табл. 2.

Следует также отметить, что минерал, близкий по химическому составу к чистяковаиту, но с более высоким содержанием фтора был обнаружен авторами настоящей работы в зоне окисле-

Таблица 2. Рентгенографические данные для чистяковаита

$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{расчет}, \text{Å}$	hkl	$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{расчет}, \text{Å}$	hkl
4	16.36	16.290	-101	4.5	2.45	2.452	-308
100	9.34	9.350	200			2.449	603
100	9.14	9.177	002	8.5	2.338	2.337	800
18	4.93	4.930	-402	4	2.317	2.316	-633
1	4.90	4.895	020			2.314	-527
20	4.87	4.880	212	13	2.281	2.294	008
		4.873	-104			2.272	043
27	4.76	4.748	-313			2.270	-608
17	4.69	4.697	311	1	2.170	2.171	631, -409
		4.688	-121			2.169	416
		4.675	400	1	2.074	2.076	-245
10	4.57	4.588	004			2.075	-609
7	3.87	3.870	-105			2.073	-826
		3.864	-322	4.5	1.877	1.879	-351
12	3.84	3.850	320			1.878	-546, -918
		3.848	-223			1.877	038, 606
14.5	3.55	3.547	-315	4.5	1.873	1.873	-836, 641
4	3.50	3.504	510	5	1.866		
		3.494	-421	1	1.857		
4.5	3.31	3.329	-324	4.5	1.852		
		3.302	322	4	1.830		
9	3.105	3.101	502, -611, -216	4.5	1.820		
2	3.03	3.029	-232	1	1.762		
		3.028	-523	2.5	1.713		
5.5	2.80	2.797	-333	3	1.556		
		2.796	-307	2.5	1.536		
1	2.63	2.631	233	1	1.484		
		2.629	620	3	1.454		

ния месторождения Менценшванд (массив Шварцвальд, Германия), где он образует тончайшие трещиноватые удлиненно-пластинчатые кристаллы длиной до 1 мм в полостях. Этот минерал находится в ассоциации с уранофаном, студтитом, арсенураношпатитом, сабугалитом и казолитом. По данным микронзондового анализа, содержание главных компонентов в образце из Менценшванда следующее (мас. %): Al_2O_3 5.77, UO_3 59.73, As_2O_5 22.79, P_2O_5 1.69, F 1.82, $-O = F_2 -0.78$, сумма 91.02. Эмпирическая формула может быть записана в виде: $Al_{1.02}(UO_2)_{2.00}[(AsO_4)_{1.79}(PO_4)_{0.21}][F_{0.86}(OH)_{0.20}] \cdot nH_2O$. К сожалению, малое количество вещества и несовершенство кристаллов не позволили провести детальное исследование алюминиевого ураниларсената из Германии.

Эталонные образцы чистяковаита находятся в коллекции Е.В. Копченовой, хранящейся в Минералогическом музее ВИМС в Москве (инвентар-

ный номер 350/59) и в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва (регистрационный номер 3286/1).

Авторы выражают глубокую благодарность Н.И. Чистяковой за выполнение ею микронзондовых анализов исследованных минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копченова Е.В., Скворцова К.В. // ДАН. 1957. Т. 114. № 3. С. 634–639.
2. Сидоренко Г.А., Чуканов Н.В., Наумова И.С. // Зап. ВМО. 2004. № 6. С. 88–95.
3. Mandarino J.A. // Canad. Miner. 1981. V. 19. P. 441–450.
4. Walenta K. // Miner. Mag. 1978. V. 42. P. 117–128.
5. Deliens M., Piret P. // Bull. Miner. 1979. V. 102. P. 338–341.
6. Piret P., Declercq J.R., Wauters-Stoop D. // Acta cryst. 1979. V. 35. P. 3017–3020.