

СТРУКТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ

УДК 548.73

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]$ © 2013 г. Л. Б. Сerezкина, Е. В. Пересыпкина*, Н. А. Неклюдова, А. В. Вировец*,
В. Н. Сerezкин

Самарский государственный университет

E-mail: Lserezkh@ssu.samara.ru

* Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск

Поступила в редакцию 18.08.2011 г.

Проведены синтез, ИК-спектроскопическое и рентгеноструктурное исследования монокристаллов $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]$ ($a = 8.5264(2)$, $b = 13.8438(4)$, $c = 10.7284(2)$ Å, $\beta = 103.543(1)^\circ$, пр. гр. $P2_1/n$, $Z = 2$, $R = 0.0258$). Основными структурными единицами кристаллов являются двухъядерные группировки состава $[(\text{UO}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$, относящиеся к кристаллохимической группе $A_2K^{02}B_4^{01}$ ($A = \text{UO}_2^{2+}$, $K^{02} = \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, $B^{01} = \text{CH}_3\text{COO}^-$) комплексов уранила. Координационный полиэдр атомов урана – гексагональная бипирамида UO_8 , в аксиальных позициях которой находятся атомы кислорода иона уранила. Урансодержащие группировки объединены за счет электростатического взаимодействия с катионами гуанидиния, а также системой водородных связей, в образовании которых участвуют атомы водорода катионов гуанидиния и атомы кислорода ионов уранила, оксалат- и ацетат-ионов. Результаты ИК-спектроскопического исследования соединения хорошо согласуются с данными рентгеноструктурного анализа.

DOI: 10.7868/S0023476113020239

В литературе есть описание ацетатооксалатоуранила гуанидиния $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [1]. Синтезированный $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4$ (I) оказался безводным соединением. В связи с отсутствием данных о структуре I или его двухводного аналога [1] предприняты рентгеноструктурное и ИК-спектроскопическое исследование полученных кристаллов I.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез. К нагретому на водяной бане водному раствору оксалата уранила (0.7 ммоль $\text{UO}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в 7 мл воды) приливали концентрированные растворы ацетата аммония (1.7 ммоль $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ в 2 мл воды) и нитрата гуанидиния (1.4 ммоль $\text{CN}_3\text{H}_6\text{NO}_3$ в 2 мл воды) и ледяную уксусную кислоту (0.7 ммоль). Мольное соотношение реагентов составляло $1 : 2.5 : 2 : 1$. При выдерживании полученного прозрачного раствора на воздухе через $3-4$ дня формировались желтые игольчатые кристаллы состава $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4$ (I). Приведенная методика отличалась от описанной в [1] добавлением уксусной кислоты в качестве дополнительного реагента и использованием соли гуанидиния в виде нитрата. В методике [1] $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ выпадал в виде желтого осадка сразу после добавления соли гуанидиния.

Рентгеноструктурный анализ (РСА). Строение I установлено методом РСА монокристаллов. Кристаллографические характеристики, детали дифракционного эксперимента и уточнения структуры приведены в табл. 1. Структура расшифрована прямым методом и уточнена в анизотропном приближении для неводородных атомов. Атомы водорода найдены геометрически и уточнены в изотропном приближении в модели наездника с $U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1.2U_{\text{экви}}(X_i)$ для групп NH_2 и $U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1.5U_{\text{экви}}(X_{ij})$ для метильных групп, где $U_{\text{экви}}(X)$ – эквивалентные тепловые параметры атома, с которым связан атом водорода.

Координаты атомов и величины тепловых параметров депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC № 815951). Основные длины связей и величины валентных углов приведены в табл. 2.

ИК-спектр поглощения I записывали на спектрофотометре Perkin-Elmer Spectrum 100 в области $400-4000 \text{ см}^{-1}$. Образец готовили в виде таблетки с KBr. В табл. 3 представлено отнесение полос поглощения, проведенное по данным [4–6].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Координационным полиэдром атома урана в структуре I является гексагональная бипирамида UO_8 , в аксиальных позициях которой находятся

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]$

<i>M</i>	984.43
Сингония, пр. гр., <i>Z</i>	Моноклинная, $P2_1/n$, 2
<i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> , Å	8.5264(2), 13.8438(4), 10.7284(2)
β , град	103.5430(10)
<i>V</i> , Å ³	1231.14(5)
<i>D_x</i> , г/см ³	2.656
Излучение; λ , Å	MoK α ; 0.71073
μ , см ⁻¹	13.222
<i>T</i> , К	150.0(2)
Размер образца, мм	0.10 × 0.05 × 0.03
Дифрактометр	Bruker-Nonius X8Apex, CCD
Тип сканирования	φ и ω
Учет поглощения, <i>T_{min}</i> , <i>T_{max}</i>	0.3515, 0.6925
θ_{max} , град	29.72
Пределы <i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>	-11 < <i>h</i> < 11, -19 < <i>k</i> < 14, -11 < <i>l</i> < 14
Число отражений: измеренных/независимых (<i>N₁</i>), <i>R_{int}</i> /с $I > 2\sigma(I)$ (<i>N₂</i>)	6978/2816, 0.0299/2375
Метод уточнения	Полноматричный МНК по F^2
Весовая схема	$w = 1/[\sigma^2(F_o^2) + (0.0160P)^2 + 0.0000P]$, $P = (F_o^2 + 2F_c^2)/3$
Число параметров	166
Учет экстинкции, коэффициент	0.00062(7)
<i>wR₂</i> по <i>N₁</i>	0.0490
<i>R₁</i> по <i>N₂</i>	0.0258
<i>S</i>	1.050
$\Delta\rho_{\text{max}}/\Delta\rho_{\text{min}}$, э/Å ³	0.853/-1.150
Программы	SADABS [2], SHELXTL ver. 5.10 [3]

атомы кислорода ионов уранила (рис. 1). Отметим, что в почти линейных (угол O=U=O равен 178.3°) ионах UO_2^{2+} расстояния U–O1 (1.757 Å) и U–O2 (1.762 Å) практически совпадают, хотя атом O2 участвует в образовании водородных связей с атомами водорода катиона гуанидиния, а атом O1 входит только в состав иона уранила. Из шести атомов кислорода экваториальной плоскости полиэдра атома урана два принадлежат тетраэдратно-мостиковому оксалат-иону (тип координации K^{02}), четыре входят в состав двух бидентатно-циклических ацетат-ионов (тип координации B^{01}). Обозначения типов координации лигандов и

Таблица 2. Основные геометрические параметры структуры $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]^*$

Гексагональные бипирамиды UO_8				
Связь	<i>d</i> , Å	Ω , %**	Угол	ω , град
U–O1	1.757(3)	21.90	O1UO2	178.29(15)
U–O2	1.762(3)	22.09	O3UO4	52.34(10)
U–O3	2.478(3)	9.11	O3UO6	64.60(10)
U–O4	2.468(3)	9.25	O6UO5	52.17(10)
U–O5	2.507(3)	8.63	O8UO5	63.18(10)
U–O6	2.448(3)	9.59	O8UO7a	64.15(10)
U–O7a	2.508(3)	9.52	O4UO7a	64.15(10)
U–O8	2.478(3)	9.91		
Оксалат-ион				
Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град	
C5–O7	1.243(5) × 2	O7C5O8	126.3(4) × 2	
C5–O8	1.255(6) × 2	O7C5C5	117.1(5) × 2	
C5–C5a	1.519(9)	O8C5C5	116.6(5) × 2	
Ацетат-ионы				
Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град	
C1–O3	1.273(6)	O3C1O4	118.2(4)	
C1–O4	1.269(6)	O3C1C2	120.5(4)	
C1–C2	1.459(6)	O4C1C2	121.2(4)	
C3–O5	1.263(5)	O5C3O6	117.9(4)	
C3–O6	1.281(5)	O5C3C4	121.9(4)	
C3–C4	1.486(6)	O6C3C4	120.2(4)	

* Коды симметрии *a*: -*x*, -*y*, -*z* + 1.

** Здесь и далее Ω – телесный угол (в процентах от 4π ср), под которым общая грань полиэдров ВД соседних атомов видна из ядра любого из них.

кристаллохимические формулы даны в соответствии с систематикой [7].

Основной структурной группировкой являются centrosymmetric димеры состава $[(\text{UO}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$, относящиеся к кристаллохимической группе $A_2K^{02}B_4^{01}$ комплексов уранила ($A = \text{UO}_2^{2+}$). Связывание этих димеров в каркас осуществляется за счет электростатических взаимодействий с внешнесферными катионами гуанидиния, а также за счет системы водородных связей, в образовании которых участвуют атомы водорода катионов гуанидиния и атомы кислорода ионов уранила, оксалат- и ацетат-ионов (табл. 4).

Результаты ИК-спектроскопического анализа находятся в полном соответствии с составом и данными РСА монокристаллов. Характеристическая полоса поглощения антисимметричного валентного колебания иона уранила проявляется

Таблица 3. Отнесение полос поглощения в ИК-спектре $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]^*$

Волновые числа, см^{-1}	Отнесение	Волновые числа, см^{-1}	Отнесение
3456 с.	$\nu(\text{NH})$	1319 ср.	$\nu_s(\text{OCO})_{\text{оксал}}$
3399 с.		1269 сл.	
3274 с.		1086 сл.	$\gamma(\text{CH}_3)$
3204 с.		1051 ср.	
2975 сл.	$\nu_s(\text{CH}_3)$	1023 сл.	$\nu_{as}(\text{UO}_2^{2+}),$ $\nu(\text{C}-\text{C})$
2924 сл.		934 с.	
1687 с.	$\nu_{as}(\text{OCO})_{\text{оксал}}$	848 сл.	$\nu_s(\text{UO}_2^{2+})$
1670 с.		794 с.	$\delta(\text{OCO})_{\text{оксал}}$
1651 с.		695 с.	$\delta(\text{COO})_{\text{ацет}}$
1540 с.	683 с.		
1475 с.	$\nu_{as}(\text{COO})_{\text{ацет}}$	548 ср.	$\delta(\text{NH})$
1414 с.		506 ср.	$\delta(\text{OCO})_{\text{оксал}}$
1384 ср.	$\delta_s(\text{CH}_3)$		

* Интенсивности полос: с. – сильная, ср. – средняя, сл. – слабая.

при 934 см^{-1} [4, 5]. Наличие полосы поглощения в области 1319 см^{-1} , отвечающей симметричному валентному колебанию группировки $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, в соответствии с [6] согласуется с тетрадентатно-мостиковым (K^{02}) типом координации оксалато-групп. Валентные колебания (антисимметричное и симметричное) групп CH_3COO^- проявляются в

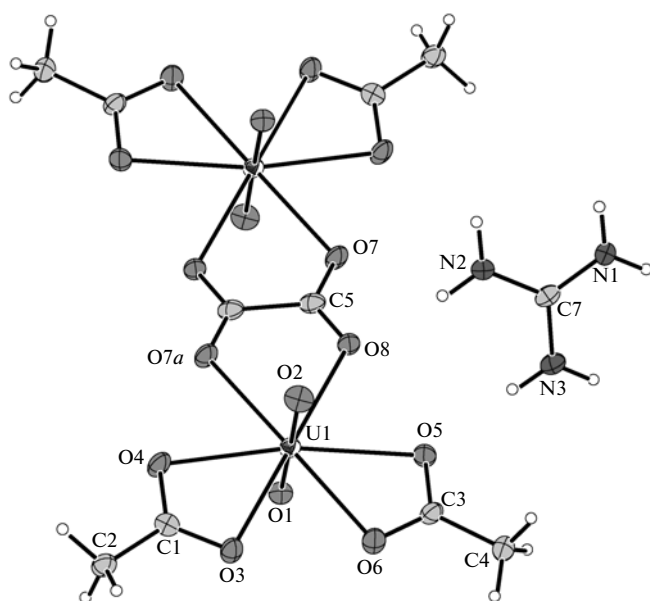


Рис. 1. Катион $(\text{C}(\text{NH}_2)_3)^+$ и анион $[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$ в соединении **I** (эллипсоиды 50%-ной вероятности).

области, отвечающей характеристическим колебаниям бидентатно-циклических ацетатогрупп (тип координации B^{01}). Несмотря на заметную вариацию длин связей в координационной сфере атомов урана, объем полиэдра Вороного–Дирихле атомов урана в **I** (9.4 \AA^3), имеющего форму гексагональной призмы, хорошо согласуется со средним значением $9.2(3) \text{ \AA}^3$ [8] для атомов $\text{U}(\text{VI})$ в кислородном окружении.

К настоящему времени установлено строение еще двух оксалатоацетатных комплексов уранила $(\text{NH}_4)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**II**) [9] и $\{\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2\}_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**III**) [10] с двухъядерными урансодержащими группировками $[(\text{UO}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$, которые, как и **I**, принадлежат к кристаллохимической группе $A_2K^{02}B_4^{01}$. Геометрические характеристики димеров в структурах кристаллов **I–III** похожи, например расстояние $\text{U}-\text{U}$ в димерах **I** (6.42 \AA) близко к установленному в **II** (6.41 \AA) или **III** (6.47 \AA). Основные различия структур **I–III** обусловлены влиянием природы внешнесферных катионов R на характер взаимной упаковки димеров $[(\text{UO}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$. Поскольку в структурах **I–III** удалось установить координаты всех без исключения атомов, для сравнительного анализа невалентных контактов, реализующихся между указанными димерами и катионами R (в **II** и **III** и молекулами кристаллизационной воды), использован метод молекулярных полиэдров Вороного–Дирихле (ММПВД) [11]. В рамках ММПВД учитываются все теоретически возможные невалентные контакты между атомами A и Z , полиэдры Вороного–Дирихле (ПВД) которых в структуре кристаллов имеют общую грань, хотя содержатся в составе разных ионов или молекул. При этом для каждого типа контактов A_i и Z_j рассчитывается их общее количество (k_{ij}), диапазон соответствующих им межатомных расстояний ($d_{\min} - d_{\max}$) и общая площадь (S_{ij}) граней ПВД.

Результаты анализа с помощью ММПВД показывают (табл. 5), что состав и строение катионов R существенно влияет на характер невалентных взаимодействий A/Z , реализующихся в структурах рассматриваемых кристаллов $R_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Так, в **III** между атомами, которые находятся в составе димеров $[(\text{UO}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$, ионов диэтиламмония и молекул воды, реализуются только 4 из 15 теоретически возможных типов невалентных контактов, а именно: H/H , H/C , H/O и O/O . В кристаллах **II**, которые отличаются от **III** только природой ионов R (аммоний вместо диэтиламмония), кроме четырех указанных типов контактов присутствуют невалентные взаимодействия C/O . Максимальное разнообразие типов невалентных контактов (9 из 15 возможных) наблюдается в структуре **I**, в которой кроме

Таблица 4. Водородные связи в структуре комплекса $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]^*$

N–H...O	Расстояние, Å			Угол N–H...O, град	Ω (N–H), %	Ω (H...O), %
	N...O	N–H	H...O			
N1–H1...O4	3.059(5)	0.88	2.31	143.1	33.3	15.0
N1–H1...O7	3.391(5)	0.88	2.60	150.1	33.2	12.1
N1–H1...O3	2.998(5)	0.88	2.14	164.5	33.2	17.0
N2–H2...O6	2.865(5)	0.88	2.01	164.0	33.5	21.9
N2–H2...O8	2.948(5)	0.88	2.11	158.1	33.2	19.2
N3–H3...O2	3.090(5)	0.88	2.35	142.3	32.8	16.8
N3–H3...O5	2.984(5)	0.88	2.14	159.1	33.0	17.8

* Учтены контакты с расстояниями $\text{H}\cdots\text{O} < 3.0 \text{ \AA}$ и $\Omega(\text{H}\cdots\text{O}) > 12 \%$.

Таблица 5. Характеристики межмолекулярных невалентных контактов в структурах некоторых комплексов уранила, относящихся к кристаллохимической группе $A_2K^{02}B^{01}_4$ *

Тип контакта	$(\text{CN}_3\text{H}_6)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]$ (I)					$(\text{NH}_4)_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (II)					$\{\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2\}_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (III)				
	k_{ij}	d_{\min}	d_{\max}	S_{ij}	Δ_{AZ}	k_{ij}	d_{\min}	d_{\max}	S_{ij}	Δ_{AZ}	k_{ij}	d_{\min}	d_{\max}	S_{ij}	Δ_{AZ}
O/O	36	3.29	4.67	25.6	3.6	40	3.27	3.71	34.5	4.3	8	3.39	4.16	0.4	<0.1
N/O	32	3.22	4.01	9.7	1.4										
C/O	28	3.24	4.27	17.8	2.5	16	3.79	3.79	4.3	0.5					
C/N	16	3.42	3.97	9.6	1.3										
C/C	6	3.56	3.91	1.6	0.2										
H/O	188	2.01	4.26	394.6	55.3	264	1.94	3.88	486.2	61.0	284	1.80	4.58	535.3	55.7
H/N	20	2.88	3.64	15.6	2.2										
H/C	72	2.86	4.10	34.5	4.8	48	3.41	3.80	43.0	5.4	64	2.88	3.91	47.9	5.0
H/H	148	2.45	4.28	204.0	28.6	96	1.83	4.91	229.2	28.8	246	2.21	4.57	376.7	39.2
Всего	546	2.01	4.67	712.9	100.0	464	1.83	4.91	797.3	100	602	1.80	4.58	960.3	100.0

* k_{ij} – общее количество невалентных межмолекулярных контактов, приходящихся на одну формульную единицу $R_2[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$; S_{ij} – общая площадь граней ПВД, отвечающих контактам A/Z ; Δ_{AZ} – парциальный вклад (%) невалентных контактов A/Z в величину 0S , равную общей площади граней ПВД.

пяти упомянутых типов взаимодействий встречаются контакты N/O, C/N, H/N и C/C (табл. 5). Отметим, что в кристаллах I–III атомы азота содержатся только в составе внешнесферных ионов R. Отсутствие невалентных контактов с участием атомов азота в II и III вызвано тем, что в их структуре присутствуют атомы N с КЧ 4, тогда как в I содержатся атомы N с КЧ 3, причем в I на один димер приходится шесть атомов азота, тогда как в II или III – только два. В структурах II и III ПВД sp^3 -гибридизованных атомов N представляет собой искаженный тетраэдр, грани которого эквивалентны четырем связям (N–H или N–C). В то же время три грани ПВД sp^2 -гибридизованного атома N в I не в состоянии образовать замкнутый полиэдр, поэтому обязательно возникают дополнительные небольшие грани, отвечающие межмолекулярным невалентным контактам

N/Z (по шесть на каждый атом N). По данным ММПВД в I в роли атомов Z выступают атомы C и H (соседнего иона гуанидиния) или O (ионов уранила или карбоксильных групп). За счет совокупности контактов C/N, H/N и C/C ионы гуанидиния в I попарно объединены в “дикатионы” (рис. 2), в которых плоскости двух соседних ионов располагаются параллельно друг другу на расстоянии (δ) 3.40 Å. Образование “дикатионов” с параллельной ориентацией плоских ионов гуанидиния, которое, по-видимому, можно рассматривать как π -стэкинг, встречается в ряде изученных комплексов уранила (например, в кристаллах $\text{NH}_4(\text{CN}_3\text{H}_6)[\text{UO}_2(\text{SeO}_3)_2]$ [12], $\delta = 3.38 \text{ \AA}$).

Как известно [11], в рамках ММПВД относительную роль межмолекулярных контактов разной природы можно количественно охарактери-

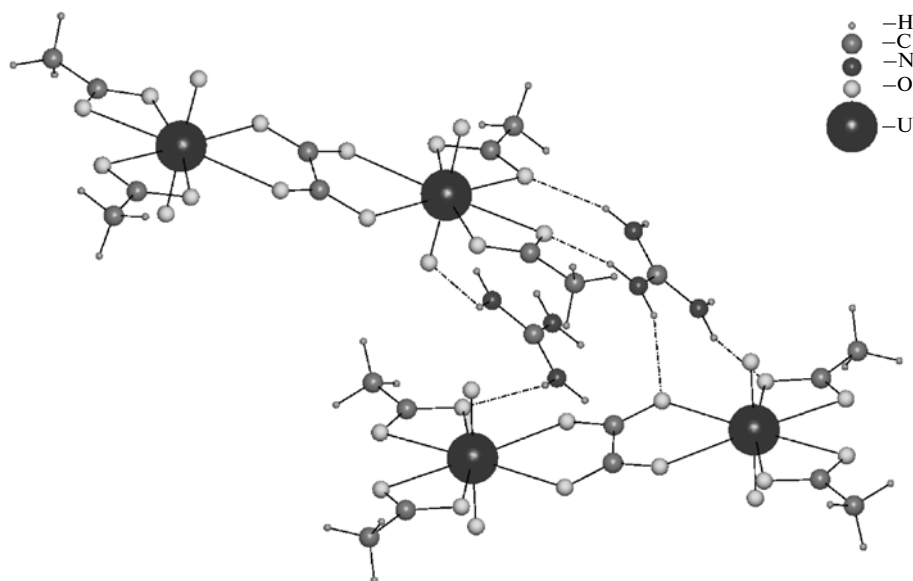


Рис. 2. Фрагмент структуры, показывающий связывание димеров $[(\text{UO}_2)_2(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$ за счет водородных связей (пунктирная линия) с участием «дикатиона» гуанидиния.

зывать параметром Δ_{AZ} , который указывает парциальный вклад (в процентах) невалентных контактов A/Z в величину 0S , равную общей площади граней ПВД, отвечающих всем межмолекулярным контактам. По имеющимся данным (табл. 5) в трех обсуждаемых соединениях основной вклад во взаимное связывание димеров $[(\text{UO}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{CH}_3\text{COO})_4]^{2-}$, ионов R и молекул воды (в II и III) вносят водородные связи (контакты Н/О с $\Delta_{\text{НО}}$ в диапазоне 55–61%) и дисперсионные взаимодействия (контакты Н/Н с $\Delta_{\text{НН}}$ в области 28–39%, Н/С с $\Delta_{\text{НС}} \sim 5\%$ и О/О с $\Delta_{\text{ОО}} \sim 4\%$). Все остальные типы контактов, реализующиеся в структурах I или II, имеют $\Delta_{AZ} < 3\%$, и их роль в образовании упаковки, по-видимому, менее существенна. Отметим, если в структурах II и III наиболее короткое $d(\text{U}-\text{U})$ в области 6.41–6.47 Å соответствует расстоянию $\text{U}-\text{U}$ в димерах, то в изученной структуре I самое короткое расстояние $\text{U}-\text{U}$ (6.06 Å) отвечает атомам урана соседних димеров, соединенных друг с другом не только водородными связями с участием «дикатиона» гуанидиния (рис. 2), но и совокупностью невалентных контактов (включая С/О, N/O, С/N, С/С, Н/N) между атомами соседних димеров и «дикатиона».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 02.740.11.0275) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-03-00206).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексные соединения урана / Под ред. Черняева И.И. М.: Наука, 1964. С. 198.
2. *Sheldrick G.M.* SADABS. Program for empirical X-ray absorption correction, Bruker-Nonius, 1990–2004.
3. *Sheldrick G.M.* // *Acta Cryst. A.* 2008. V. 64. № 1. P. 112.
4. *Накамото К.* ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 536 с.
5. *Володько Л.В., Комяк А.И., Умрейко Д.С.* Ураниловые соединения (спектры, строение). Минск: Изд-во БГУ, 1981. Т. 1. 432 с.
6. *Чумаевский Н.А., Минаева Н.А., Михайлов Ю.Н. и др.* // *Журн. неорган. химии.* 1998. Т. 43. № 5. С. 789.
7. *Serezhkin V.N., Vologzhanina A.V., Serezhkina L.B. et al.* // *Acta Cryst. B.* 2009. V. 65. № 1. P. 45.
8. *Сережкин В.Н., Блатов В.А., Шевченко А.П.* // *Координац. химия.* 1995. Т. 21. № 3. С. 163.
9. *Сережкина Л.Б., Вологжанина А.В., Неклюдова Н.А. и др.* // *Журн. неорган. химии.* 2008. Т. 53. № 8. С. 1285.
10. *Сережкина Л.Б., Вологжанина А.В., Неклюдова Н.А., Сережкин В.Н.* // *Кристаллография.* 2009. Т. 54. № 1. С. 65.
11. *Сережкин В.Н., Сережкина Л.Б., Пушкин Д.В.* // *Журн. физ. химии.* 2011. Т. 85. № 5. С. 914.
12. *Марухнов А.В., Пересыпкина Е.В., Вировец А.В. и др.* // *Координац. химия.* 2009. Т. 35. № 1. С. 42.