

СТРУКТУРА БАРБИТУРАТОВ КАЛИЯ И ЦЕЗИЯ

© 2018 г. Н. Н. Головнев*, ^a, М. С. Молокеев*, **, ***, М. К. Лесников*

*Сибирский федеральный университет, Россия, 660041 Красноярск, Свободный пр-т, 79

**Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Россия,
660036 Красноярск, Академгородок 50, стр. 38

***Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия,
680021 Хабаровск, ул. Серышева, 47

^aE-mail: ngolovnev@sfu-kras.ru

Поступила в редакцию 22.11.2017 г.

Методом порошкового РСА определены кристаллические структуры *катена*-[K(μ_6 -Hba-O, O, O, O', O', O'')] (I) и *катена*-[Cs(μ_6 -Hba-O, O, O, O', O', O'')] (II), H₂ba – барбитуровая кислота, C₄H₄N₂O₃. Кристаллографические данные: I – $a = 14.1603$ (4), $b = 3.68977$ (9), $c = 10.9508$ (3) Å, $\beta = 82.226$ (1)°, $V = 566.90$ (3) Å³, пр. гр. P2₁/n, Z = 4; II – $a = 14.652$ (1), $b = 11.7275$ (7), $c = 3.8098$ (3) Å, $\beta = 79.140$ (6)°, $V = 642.90$ (8) Å³, пр. гр. C2/m, Z = 4. Сопоставлена структурная топология комплексов щелочных металлов с барбитуровой кислотой и некоторыми ее производными. Изучена термическая устойчивость комплексов I и II в воздушной атмосфере.

Ключевые слова: барбитураты калия и цезия, синтез, структура, термическое разложение

DOI: 10.1134/S0044457X18100070

Барбитуровая кислота (H₂ba) – родоначальник важного класса болеутоляющих лекарств – “барбитуратов” [1]. Как потенциально полифункциональный N, N', O, O', O''-координированный лиганд H₂ba способна образовывать с ионами металлов комплексы различного состава с полезными функциональными свойствами. Кислота H₂ba и ее анион Hba⁻ могут участвовать в многочисленных водородных связях (ВС) и склонны к самоассоциации, что делает богатой их супрамолекулярную химию [2]. В структурном отношении барбитуратные комплексы металлов пока недостаточно изучены [3].

В настоящей работе синтезированы *катена*-(μ_6 -барбитурато-O, O, O, O', O', O'')калия, [K(μ_6 -Hba-O, O, O, O', O', O'')] (I), и *катена*-(μ_6 -барбитурато-O, O, O', O', O'', O'')цезия, [Cs(μ_6 -Hba-O, O, O, O', O', O'')] (II). Методом РСА порошка установлена их структура, а также изучено термическое разложение. Калий присутствует в организме, поэтому информация о строении его барбитурата может быть полезной в медицине и фармацевтике.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В синтезах I и II использовали барбитуровую кислоту (х.ч.), КОН (х.ч.) и Cs₂CO₃ (х.ч.).

В 3 мл воды при нагревании (~90°C) растворяли 0.2 г (1.6 ммоль) H₂ba, затем к горячему раствору добавляли эквимолярное количество КОН (0.09 г). Полученный прозрачный раствор (рН 6) медленно охлаждали до комнатной температуры. Через сутки раствор с белым мелкокристаллическим осадком отфильтровывали, промывали 1 мл воды и 1 мл ацетона, сушили на воздухе до постоянной массы. Получили 0.174 г комплекса I, выход 66%.

Синтез комплекса II проводили по аналогичной методике, но вместо КОН использовали Cs₂CO₃ при молярном соотношении Cs₂CO₃ : H₂ba = 1 : 2. Получили 0.202 г комплекса II, выход 49%. Нам не удалось выделить монокристаллы этих соединений из водного раствора.

Термический анализ комплексов (8.79 мг I и 9.18 мг II) проводили на приборе SDT-Q600 (TA Instruments, USA) в токе воздуха (50 мл/мин) в интервале температур 22–350°C при скорости нагревания 10 град/мин. Состав выделяющихся газов определяли с помощью ИК-спектрометра Nicolet380 (Thermo Scientific, USA), совмещенно с термическим анализатором.

РСА. Порошковые рентгенограммы I и II сняты на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы Bruker (линейный детектор VANTEC, CuK α -излучение). В ходе эксперимента были выбраны разные размеры шелей первичного пучка: 0.6 мм в диапазоне углов 2 θ = 5°–70° и 2 мм в диапазоне

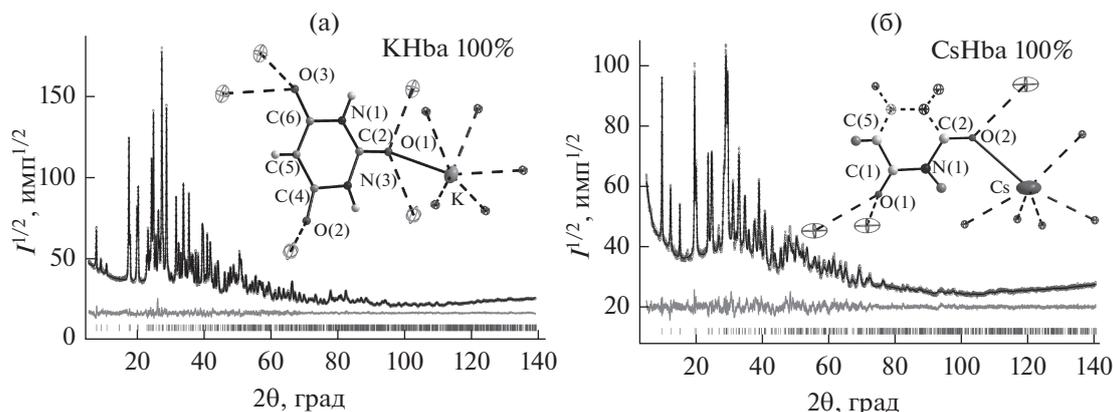


Рис. 1. Экспериментальная (точки), теоретическая (линия) и разностная (линия внизу) рентгенограммы кристаллов I (а) и II (б) после уточнения методом Ритвельда. На вставках к каждой рентгенограмме показаны независимые части ячейки структур. Незакрашенными эллипсоидами показаны ближайшие связанные атомы, химические связи между атомами независимой части ячейки и соседними атомами обозначены штриховой линией. Эллипсоиды тепловых параметров тяжелых атомов показаны на уровне 50%-ной вероятности.

70°–120°. Шаг сканирования (0.016°) оставался постоянным на всех участках, время экспозиции на каждом шаге составляло 1.5 с для всех диапазонов углов. Впоследствии были вычислены стандартные отклонения интенсивностей всех точек рентгенограммы, затем интенсивности и стандартные отклонения всех точек высокоугловой части умножены на нормирующий коэффициент 0.3. Уточнение Ритвельда, реализованное в программе TOPAS 4.2 [4], учитывает стандартное отклонение каждой точки посредством введения в МНК веса каждой точки $w_i = 1/\sigma(I_i)^2$. В этой методике происходит выравнивание весов слабых высокоугловых и сильных низкоугловых рефлексов, тогда как в обычном эксперименте веса неравноценны и экспериментальные данные о структуре, содержащиеся в высокоугловой области рентгенограммы, имеют меньшее значение.

Положение пиков на рентгенограммах I и II определено в программе EVA (2004 release) из программного пакета DIFFRAC-PLUS, поставляемого Bruker. Параметры ячейки I определены по программе TOPAS 4.2 [4]. Поиск параметров дал моноклинную ячейку: $a = 14.138$, $b = 3.682$, $c = 10.934$ Å, $\beta = 82.21^\circ$ ($GOOF(24) = 22.8$). Непроиндексированные рефлекссы не обнаружены. Законы погасания однозначно указали на пр. гр. $P2_1/n$. Структура решена методом моделирования в прямом пространстве с последующим смоделированным отжигом в программе TOPAS 4.2. Объем ячейки отвечал 9–10 неводородным атомам в независимой части, что соответствует одному иону $C_4H_3N_2O_3^-$ (Nba^-) и одному иону K^+ в независимой части ячейки. Смоделированный отжиг дал модель структуры, в которой ион K^+ и все атомы иона Nba^- находятся в общих позициях. С использованием этой модели проведено уточнение

Ритвельда в программе TOPAS 4.2. Никакие ограничения на длины связей или углы не налагали, кроме координат атомов Н в ионе Nba^- . Тепловой параметр (ТП) иона K^+ уточнен в анизотропном приближении, остальных атомов – в изотропном приближении. После уточнения все ТП имели нормальные значения. Основные кристаллографические характеристики I и параметры эксперимента: $C_4H_3KN_2O_3$, $M_r = 166.1782$, $a = 14.1603$ (4), $b = 3.68977$ (9), $c = 10.9508$ (3) Å, $\beta = 82.226$ (1)°, $V = 566.90$ (3) Å³, пр. гр. $P2_1/n$, $Z = 4$, $\rho_x = 1.947$ г/см³, $\mu = 7.734$ мм⁻¹, интервал 2θ 5°–140°, 1083 рефлекса, 94 уточняемых параметра, $R_B = 1.00\%$, $R_{wp} = 3.29\%$, $R_{exp} = 1.93\%$, $R_p = 2.94\%$, $\chi^2 = 1.71$. Разностная рентгенограмма и независимая часть ячейки показаны на рис. 1а.

Параметры ячейки и пр. гр. II определены по программе TOPAS 4.2. Поиск параметров дал моноклинную базоцентрированную ячейку: $a = 14.657$, $b = 11.712$, $c = 3.796$ Å, $\beta = 79.30^\circ$ ($GOOF(23) = 18.3$). Непроиндексированным остался лишь один слабый рефлекс, который мы отнесли к примеси. Анализ погасаний рефлекссов дал три возможных варианта пр. гр.: $C2$, Cm , $C2/m$. Сначала было решено искать структуру в наиболее высокосимметричной пр. гр. $C2/m$. Структура решена методом моделирования в прямом пространстве с последующим отжигом в программе TOPAS 4.2. Объем ячейки соответствовал 4–5 неводородным атомам в независимой части ячейки, что означает расположение ионов в частных позициях. Сгенерированы один ион $C_4H_3N_2O_3^-$ (Nba^-) и один ион Cs^+ в независимой части ячейки. При этом все атомы имеют динамическую заселенность позиции [4, 5], позволяющую считать несколько атомов, попавших в

Таблица 1. Геометрические характеристики ВС в структурах I и II

D–H...A	d, Å			Угол DHA, град	Преобразование для атома A
	D–H	H...A	D...A		
Структура I					
N1–H1...O3	0.99(6)	1.81(5)	2.785(6)	168(4)	–x, –y, 1 – z
N3–H3...O2	0.88(6)	2.01(6)	2.795(5)	149(6)	–x, 1 – y, –z
Структура II					
N1–H1...O1	1.03(3)	1.80(2)	2.83(2)	173(2)	1/2 – x, 1/2 – y, 1 – z

одну малую область, за один. Смоделированный отжиг дал модель структуры, в независимой части ячейки которой находится половина ионов Cs^+ и половина Hba^- . Используя эту модель, провели уточнение Ритвелда в программе TOPAS 4.2. Никакие ограничения на длины связей или углы не налагали, кроме координат атомов H в ионе Hba^- . ТП иона Cs^+ уточнен в анизотропном приближении, остальных атомов – в изотропном приближении; после уточнения все атомы имели нормальные значения. Окончательно было решено остановиться на модели в пр. гр. $C2/m$ и не искать структуру в пр. гр. $C2$, Cm . Кристалл II: $\text{C}_4\text{H}_3\text{CsN}_2\text{O}_3$, $M_r = 259.9844$, $a = 14.652$ (1), $b = 11.7275$ (7), $c = 3.8098$ (3) Å, $\beta = 79.140$ (6)°, $V = 642.90$ (8) Å³, пр. гр. $C2/m$, $Z = 4$, $\rho_x = 2.686$ г/см³, $\mu = 44.478$ мм⁻¹, интервал 2θ 5°–140°, 651 рефлекс, 87 уточняемых параметров, $R_B = 1.99\%$, $R_{wp} = 4.16\%$, $R_{exp} = 2.22\%$, $R_p = 3.67\%$, $\chi^2 = 1.87$. Разностная рентгенограмма и независимая часть ячейки II изображены на рис. 16.

Структуры I и II депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1554996 и 1554997 соответственно). Результаты можно получить на сайте www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Независимая часть ячейки I содержит катион K^+ и анион Hba^- (рис. 1а). Атом O1 иона Hba^- связан с тремя ионами K^+ , атом O2 – с одним ионом K^+ , атом O3 – с двумя ионами K^+ . Диапазон длин связей K–O составляет 2.741(4)–2.935(4) Å. Ионы K^+ находятся в центре искаженных октаэдров (рис. 2а, 2б), объединенных в пары общим ребром. Эти пары связаны между собой мостиковыми ионами Hba^- с образованием трехмерного каркаса, в котором можно выделить кольца $r(4)$, $r(12)$ (рис. 2а), также характерные для ряда комплексов металлов с 2-тиобарбитуровой (H_2tba) [6] и 1,3-диэтил-2-тиобарбитуровой (HDetba) кисло-

тами [7, 8]. Межмолекулярные ВС N–H...O (табл. 1), связывающие ионы Hba^- в бесконечные цепочки вдоль оси c (рис. 2а), образуют 6- и 8-членные циклы (супрамолекулярные мотивы $S(6)$ и $R_2^2(8)$), присутствующие в других комплексах металлов с H_2ba [9] и H_2tba [6].

Независимая часть ячейки II содержит по половине ионов Cs^+ и Hba^- . Плоскость симметрии m проходит через атомы C2 и C5, размножает атомные позиции N1, C1, O1 и, таким образом, формирует полный ион Hba^- (рис. 1б). Длины связей C–O, C–N, C–C и соответствующие валентные углы в Hba^- совпадают с найденными в I и в других соединениях [9, 10]. В отличие от I, в соединении II каждый атом O иона Hba^- связан с двумя катионами металла (рис. 1б). Ион Cs^+ , аналогично иону K^+ , окружен шестью атомами O шести анионов Hba^- по вершинам искаженного октаэдра. Длины связей Cs–O (3.05(2)–3.14(2) Å) согласуются с литературными данными [10]. Как и в соединении I, октаэдры CsO_6 общими ребрами объединены в пары, связанные мостиковыми ионами Hba^- в трехмерный каркас (рис. 2в, 2г). В одной проекции структуры KHba и CsHba похожи и имеют одинаковые мотивы (рис. 2а, 2в). В другой проекции видны различия (рис. 2б, 2г), которые являются следствием того, что атом O2 иона Hba^- в II координирован к двум ионам металла, а в I – лишь к одному иону металла, атом O1 в I, напротив, координирован к большему числу ионов металла, чем в II. Как и в I, в кристалле II ВС N–H...O (табл. 1) между ионами Hba^- формируют бесконечные цепочки вдоль оси b (рис. 2в), а также замыкают 6- и 8-членные циклы ($S(6)$ и $R_2^2(8)$). Структуру II и I стабилизирует π – π -взаимодействие между анионами Hba^- по типу “голова-к-голове” [11], параметры которого даны в табл. 2 [12]. Общее в структуре соединений I и II – образование однотипных 6- и 12-членных циклов, цепочек из связанных ВС ионов Hba^- и одинаковой

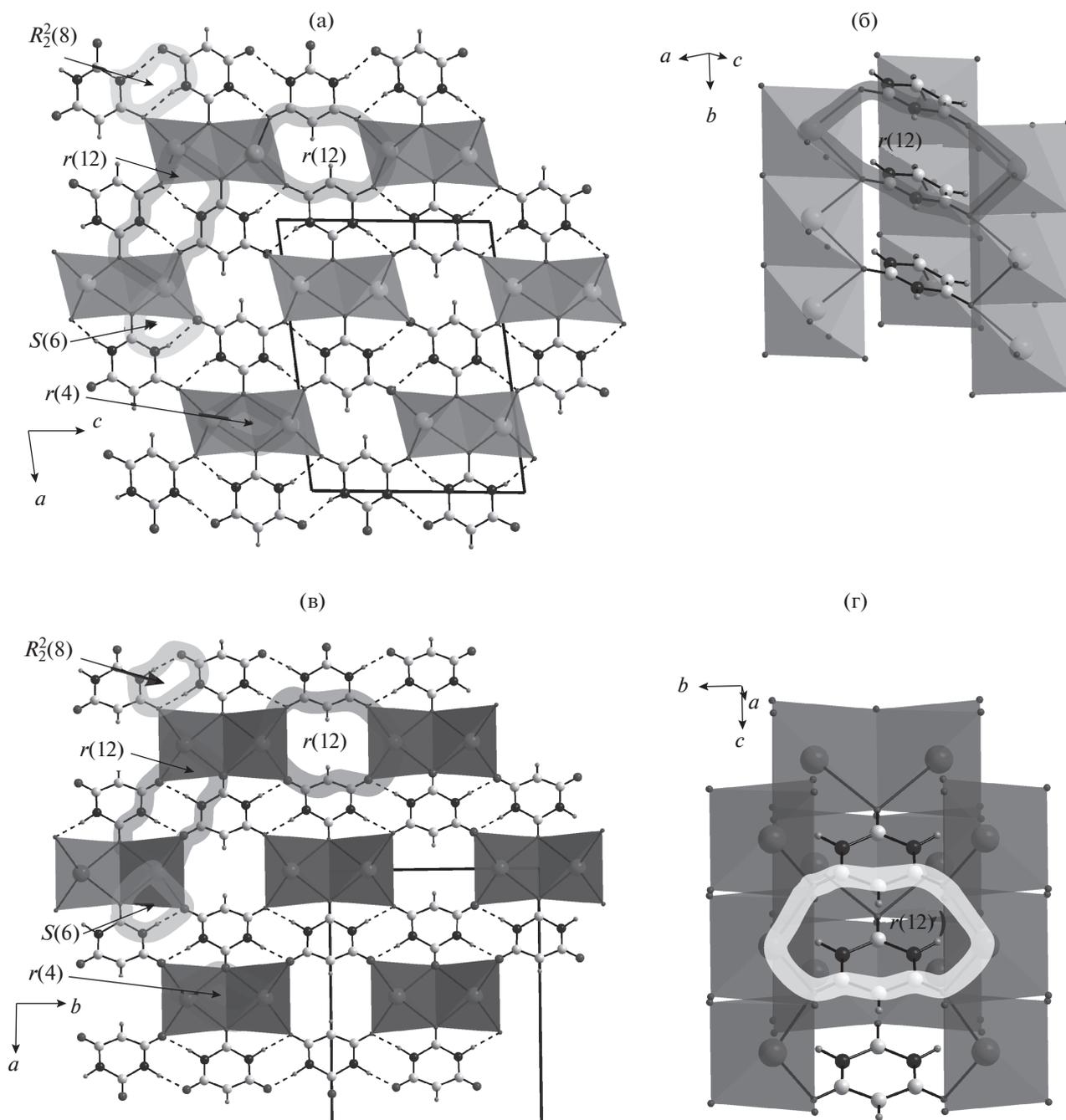


Рис. 2. Трехмерный каркас в KNbO_3 представлен в двух проекциях: а – вдоль оси b , б – вдоль оси $a + c$, трехмерный каркас в CsNbO_3 – в двух проекциях: в – вдоль оси c , г – вдоль оси $a - c$. ВС обозначены штриховыми линиями, структурные мотивы отмечены сплошными линиями.

π - π -упаковки. Различие проявляется в числе ионов металлов, связанных с атомами O1 и O2.

Представляет интерес сравнить мостиковые способы координации иона Nba^- и нейтральной молекулы H_2ba в комплексах щелочных металлов. В $[\text{Li}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Hba})]_n$ [9] реализуется только μ_2 -

O,O'-способ координации Hba^- . В полимерных солевых сокристаллах $\text{M}(\text{H}_2\text{ba})\text{X}$ ($\text{M} = \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$; $\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) [13], $\text{M}(\text{H}_2\text{ba})(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Hba})$ ($\text{M} = \text{Na}, \text{K}$) и $\text{K}(\text{H}_2\text{ba})_{0.5}(\text{H}_2\text{O})_{1.5}(\text{Hba})$ [14], $\text{Rb}(\text{H}_2\text{ba})(\text{H}_2\text{O})(\text{Hba})$ [15] наряду с концевым имеют место следующие типы мостиковой координации

Таблица 2. Параметры π - π -взаимодействия ионов Hba^- в структурах I и II

Cg_i-Cg_j	$d(Cg-Cg), \text{Å}$	$\alpha, \text{град}$	$\beta, \text{град}$	$\gamma, \text{град}$	$Cg_{i-p}, \text{Å}$	Сдвиг, Å
I						
$Cg_1-Cg_1^i$	3.690(3)	0	22.36	22.36	3.412(2)	1.404
II						
$Cg_1-Cg_1^i$	3.81(2)	0	31.00	31.00	3.27(1)	1.962

Примечание. Структура I: Cg_1 – плоскость кольца N1, C2, N3, C4, C5, C6; Cg_1^i получено из Cg_1 преобразованием $[x, -1+y, z]$. Структура II: Cg_1 – плоскость кольца N1, N1', C1, C2, C2', C5; Cg_1^i получено из Cg_1 преобразованием $[x, y, -1+z]$. Cg_{i-p} – длина перпендикуляра, опущенного из центра i -го кольца на плоскость второго кольца.

Hba^- и H_2ba : $\mu_2\text{-O, O}'$, $\mu_2\text{-O, O}$, $\mu_3\text{-O, O, O}'$, $\mu_3\text{-O, O, O}$, $\mu_3\text{-O, O}', O''$, $\mu_4\text{-O, O, O}', O''$, $\mu_5\text{-O, O, O}' O' O''$. В комплексах I и II каждый лиганд Hba^- связан с шестью ионами металла, что, в отличие от сокристаллов, можно объяснить отсутствием при их образовании конкурентной координации галогенид-ионов или H_2ba . В сокристаллах $\text{M}(\text{H}_2\text{ba})(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Hba})$ ($\text{M} = \text{Na}, \text{K}$) и $\text{K}(\text{H}_2\text{ba})_{0.5}(\text{H}_2\text{O})_{1.5}(\text{Hba})$ [14] независимые ионы K^+ имеют КЧ = 8 или 6. В отличие от сокристаллов, в KHba содержится один тип лиганда и ион K^+ имеет октаэдрическое окружение.

Топологический анализ по программе ToposPro [16] позволил более детально установить различие в строении каркасов барбитуратов щелочных металлов. Для этого ионы Hba^- были представлены узлами с координатами в центре тяжести молекулы. В соединении I ион K^+ связан с 6 ионами Hba^- и каждый ион Hba^- связан с 6 ионами K^+ ; к тому же точечные символы этих двух узлов – K^+ и Hba^- – получились одинаковыми ($4^{12.6^3}$). Поэтому, несмотря на то, что узлы химически различны, в нашем случае с топологической точки зрения они эквивалентны и, следовательно, сетка представляет собой унинодальную трехмерную сетку (6) с точечным символом ($4^{12.6^3}$), известную под названием *psi (alfa-Po)* (рис. 3а). В соединении II ион Cs^+ также координирован с 6 ионами Hba^- и каждый ион Hba^- аналогично связан с 6 ионами Cs^+ . Точно так же узлы Cs^+ и Hba^- одинаковы с топологической точки зрения, но точечный символ каждого ($4^{11.6^4}$) отличается от такового для соединения I. Поэтому сетка в II представляет собой унинодальную трехмерную сетку (6) с точечным символом ($4^{11.6^4}$), известную под названием *sqc885* (рис. 3б). Эту сетку соединения CsHba можно получить из сетки *psi* ($4^{12.6^3}$) KHba посредством замены одного из 4-членных циклов на 6-членный. По-видимому, больший ионный радиус Cs^+ ($r(\text{Cs}^+) = 1.70 \text{Å} > r(\text{K}^+) = 1.38 \text{Å}$) [17] способствует образованию бо-

лее длинных циклов. Стоит отметить, что в тиобарбитуратных комплексах KHtba [18] и THtba [19], как и в соединении I, установлена топология ($4^{12.6^3}$), а в RbHtba и CsHtba [20] – ($4^{11.6^4}$), как и в соединении II, хотя кристаллы соединений MHba и MHtba ($\text{M} = \text{K}, \text{Tl}, \text{Rb}, \text{Cs}$) не изоструктурны. Поэтому увеличение ионного радиуса M^+ от $\text{M} = \text{K}, \text{Tl}$ до $\text{M} = \text{Rb}, \text{Cs}$ привело к изменению топологии барбитуратных и тиобарбитуратных комплексов. В комплексах же MDetba ($\text{M} = \text{K}, \text{Tl}, \text{Rb}, \text{Cs}$) [21, 22] топология одинакова ($4^{10.6^5}$) *mol1* и не зависит от ионного радиуса M^+ . Возможно, отсутствие влияния M^+ на топологию – следствие того, что Detba^- по размерам больше ионов Htba^- и Hba^- и влияние природы иона M^+ не столь значительно. Стоит отметить, что в CsDetba топология сетки ($4^{10.6^5}$), а в II и CsHtba топология сетки ($4^{11.6^4}$), поэтому в структуре CsDetba еще меньше 4-членных циклов, чем в II и CsHtba . Таким образом, не только больший размер иона M^+ , но и больший размер лиганда препятствует формированию малых циклов, и точечный символ сеток содержит все больше циклов с длиной > 4 узлов. В подтверждение предложенной выше интерпретации можно привести еще несколько примеров.

Рассмотрим другой тип сеток с КЧ = 3 и 4, в отличие от предыдущих сеток с КЧ = 6. Так, соединения LiDetba и NaDetba [21] ($r(\text{Li}^+) = 0.59 \text{Å}$, $r(\text{Na}^+) = 0.99 \text{Å}$ [17]) обладают сеткой (4) с точечным символом ($4^2.6^4$), а AgDetba с большим ионным радиусом металла ($r(\text{Ag}^+) = 1.02 \text{Å}$ [17]) обладает сеткой ($4^2.6^3.8$) [23], т.е. в ней по сравнению с ($4^2.6^4$) присутствует дополнительный 8-членный цикл вместо 6-членного. Наличие лиганда малого размера, например молекулы воды, наоборот, может приводить к образованию большего количества 4-членных циклов. Так, $\text{M}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Detba})_2$ ($\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}$) [24] и $\text{M}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{Htba})_3$ ($\text{M} = \text{Eu}, \text{Sm}$) [25, 26] обладают топологической сеткой ($4^4.6^2$), в которой доминируют 4-членные циклы.

Согласно кривым ТГ и ДСК, комплексы I и II (рис. 4) безводные. В воздушной атмосфере I на-

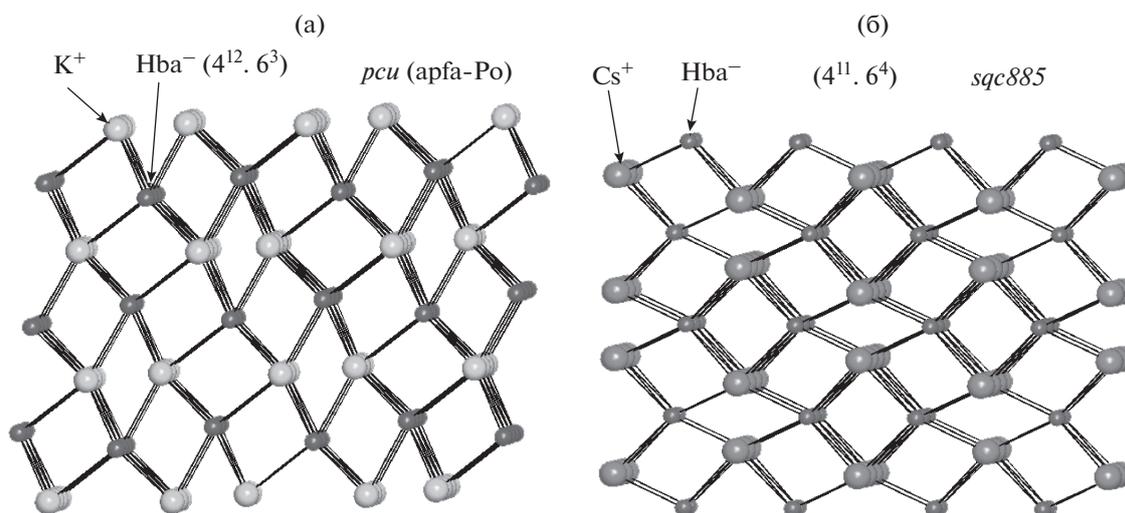


Рис. 3. Топологические сетки для соединений КНба (а) и CsНба (б), в которых ион металла и анион Нба⁻ представлены узлами, находящимися в центрах масс ионов. На рисунке указаны точечные символы и топологические типы полученных сеток.

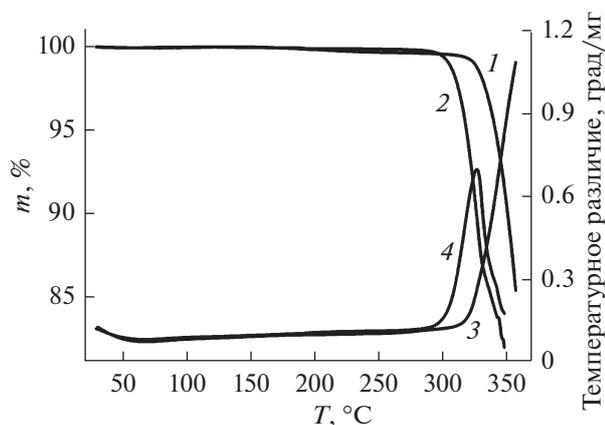


Рис. 4. Кривые ТГ (1) и ДСК (3) для комплекса I, ТГ (2) и ДСК (4) для комплекса II при разложении на воздухе.

чинает разлагаться при $\sim 320^\circ\text{C}$ (рис. 4, кривая 1), а II менее устойчив и подвергается окислительному разложению уже при $\sim 300^\circ\text{C}$ (рис. 4, кривая 3). Оба соединения термически более устойчивы, чем барбитуровая кислота H_2ba , которая плавится с разложением при 245.0°C [10]. Окислительное разложение I и II сопровождается эндотермическими эффектами соответственно при $T > 360^\circ\text{C}$ и $\sim 330^\circ\text{C}$.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ Сибирскому федеральному университету в 2017–2019 г. (4.7666.2017/БЧ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левина Р.Я., Величко Ф.К. // Успехи химии. 1960. Т. 29. № 8. С. 929.
2. Mahmudov K.T., Kopylovich M.N., Maharramov A.M. et al. // Coord. Chem. Rev. 2014. V. 265. P. 1.
3. Cambridge Structural Database, Version 5.37. Cambridge, UK: Univ. of Cambridge, 2015.
4. Bruker AXS TOPAS V4: General profile and structure analysis software for powder diffraction data. User's Manual, Bruker AXS, Karlsruhe, Germany 2008.
5. Favre-Nicolin V., Černý R. // J. Appl. Crystallogr. 2002. V. 35. P. 734.
6. Головнев Н.Н., Молокеев М.С. 2-Тиобарбитуровая кислота и ее комплексы с металлами: синтез, структура и свойства. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. 252 с.
7. Golovnev N.N., Molokeev M.S., Vereshchagin S.N. // J. Struct. Chem. 2016. V. 57. № 1. P. 167.
8. Golovnev N.N., Molokeev M.S., Golovneva I.I. // Russ. J. Coord. Chem. 2015. V. 41. № 5. P. 300.
9. Golovnev N.N., Molokeev M.S., Lesnikov M.K., Vereshchagin S.N. // Russ. J. Inorg. Chem. 2017. V. 62. № 6. P. 746.
10. Golovnev N.N., Solovyov L.A., Lesnikov M.K. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2017. V. 467. P. 39.
11. Студ Дж. В., Этвуд Дж. Л. Супрамолекулярная химия. Ч. 1–2. М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. 895 с.
12. PLATON – A Multipurpose Crystallographic Tool. Utrecht University, Utrecht, The Netherlands. 2008.
13. Braga D., Grepioni F., Maini L. // Chem. Commun. 2010. V. 46. P. 7715.
14. Chierotti M.R., Gaglioti K., Gobetto R. et al. // Cryst. Eng. Comm. 2013. V. 15. P. 7598.
15. Gryl M., Stadnicka K. // Acta Crystallogr., Sect. E. 2011. V. 67. P. m571.

16. *Blatov V.A., Shevchenko A.P., Proserpio D.M.* // Cryst. Growth Des. 2014. V. 14. P. 3576.
17. *Shannon R.D., Prewitt C.T.* // Acta Crystallogr., Sect. B. 1969. V. 25. № 5. P. 925.
18. *Golovnev N.N., Molokeev M.S., Belash M.Y.* // J. Struct. Chem. 2013. V. 54. № 3. P. 566.
19. *Golovnev N.N., Molokeev M.S.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2016. V. 61. № 4. P. 442.
20. *Golovnev N.N., Molokeev M.S.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59. № 9. P. 943.
21. *Golovnev N.N., Molokeev M.S., Vereshchagin S.N. et al.* // Polyhedron. 2015. V. 85. P. 493.
22. *Molokeev M.S., Golovnev N.N., Vereshchagin S.N., Atuchin V.V.* // Polyhedron. 2015. V. 98. P. 113.
23. *Golovnev N.N., Molokeev M.S., Lutoshkin M.A.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2015. V. 60. № 5. P. 572.
24. *Golovnev N.N., Molokeev M.S., Samoilo A.S., Atuchin V.V.* // J. Coord. Chem. 2016. V. 69. № 6. P. 957.
25. *Golovnev N.N., Molokeev M.S.* // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40. № 9. P. 648.
26. *Golovnev N.N., Molokeev M.S., Sterkhova I.V. et al.* // J. Struct. Chem. 2017. V. 58. № 3. P. 539.