

УДК 546.593+547.491+546.162'14+546.185+547.53.024+548.312.2

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ДИЦИАНОДИОДОАУРАТОВ ТЕТРА(*пара*-ТОЛИЛ)СУРЬМЫ $[p\text{-Tol}_4\text{Sb}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$ И АЛКИЛТРИФЕНИЛФОСФОНИЯ $[\text{Ph}_3\text{PAlk}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$, Alk = Me, CH_2CN

© 2020 г. В. В. Шарутин¹, О. К. Шарутина¹, А. Н. Ефремов¹*, О. С. Ельцов²

¹Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

²Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

*e-mail: efremov_an94@mail.ru

Поступила в редакцию 26.11.2019 г.

После доработки 10.02.2020 г.

Принята к публикации 11.03.2020 г.

Взаимодействием дицианоодиодоаурата калия с галогенидами тетра(*пара*-толил)сурьмы и алкилтрифенилфосфония в водном растворе синтезированы кристаллические комплексы золота красного цвета $[p\text{-Tol}_4\text{Sb}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$ (I), $[\text{Ph}_3\text{PMe}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$ (II), $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CN}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$ (III), строение которых установлено методами ИК-спектроскопии, спектроскопии ЯМР и РСА (CIF files CCDC № 1901681 (I), 1912903 (II), 1912919 (III)). Катионы тетра(*пара*-толил)сурьмы и алкилтрифенилфосфония имеют искаженную тетраэдрическую координацию. Дицианоодиодоауратные анионы имеют плоское строение с квадратной координацией атома золота. Образование пространственной сетки кристаллов обусловлено слабыми водородными связями $\text{CN}\cdots\text{H}-\text{C}$ между катионами и анионами (2.39, 2.59 Å (I), 2.70, 2.48, 2.52, 2.68 Å (II), 2.73, 2.50, 2.67, 2.44 Å (III)). В комплексе III анионы одного из двух типов взаимодействуют между собой, образуя 1D ступенчатые цепочки вдоль направления кристаллографической оси *a* благодаря взаимодействиям $\text{I}\cdots\text{I}$.

Ключевые слова: дицианоодиодоаурат калия, дицианоодиодоаурат тетра(*пара*-толил)сурьмы, дицианоодиодоаурат метилтрифенилфосфония, дицианоодиодоаурат цианометилтрифенилфосфония, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0132344X20090030

Внимание исследователей к дицианидным комплексам золота вызвано их использованием при получении материалов с различными фотохимическими и фотофизическими свойствами [1–8]. Также показано, что они являются действующими метаболитами некоторых лекарственных препаратов [9]. Анионы $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ могут образовывать каркасные полимеры и олигомеры, обладающие люминесцентными свойствами [4, 5, 8–11]. Цианогалогенидные комплексы трехвалентного золота применяются в качестве сенсоров летучих органических соединений (ДМФА, диоксан, пиридин, этиленгликоль) [12] и как прекурсоры в синтезе дицианидов [13]. В настоящее время известно несколько цианидных комплексов одновалентного золота [14–16] и цианогалогенидных комплексов трехвалентного золота с органическими и неорганическими катионами [12, 13, 17–20], однако комплексы $[\text{Kat}]^+[\text{Au}(\text{CN})_2\text{Hal}_2]^-$ с элементоорганическими катионами не изучены.

С целью установления особенностей синтеза и строения дицианоодиодоауратных комплексов тетраарилсурьмы и тетраорганилфосфония в на-

стоящей работе впервые синтезированы и структурно охарактеризованы дицианоодиодоаураты тетра(*пара*-толил)сурьмы $[p\text{-Tol}_4\text{Sb}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$ (I) и алкилтрифенилфосфония $[\text{Ph}_3\text{PAlk}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]$, Alk = Me (II), CH_2CN (III).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез дицианоодиодоаурата тетра(*пара*-толил)сурьмы (I). К раствору 100 мг (0.192 ммоль) хлорида тетра(*пара*-толил)сурьмы в 10 мл воды прибавляли раствор 104 мг (0.192 ммоль) дицианоодиодоаурата калия в 5 мл воды, перемешивали и выдерживали при 20°C в течение 14 ч. После испарения воды, твердый остаток сушили и перекристаллизовывали из смеси растворителей ацетонитрил–этиловый спирт (2 : 1 объемн.). При медленном испарении растворителей наблюдали образование красных кристаллов. Выход I 179 мг (94%). $T_{\text{разл}} = 161^\circ\text{C}$.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3047, 3020, 2980, 2916, 2862, 2166, 2156, 1913, 1643, 1589, 1492, 1442, 1396,

1317, 1211, 1190, 1118, 1068, 1039, 1012, 848, 796, 696, 632, 584, 480, 439, 430.

ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 ; 600 МГц; δ , м.д.): 2.41 (с., 12Н, $-\text{CH}_3$), 7.48 (д., 8Н, аром. *m*-Н, $^3J_{\text{HH}} = 7.86$ Гц), 7.63 (д., 8Н, аром. *o*-Н, $^3J_{\text{HH}} = 7.86$ Гц). ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 ; 151 МГц; δ , м.д.): 21.16 ($-\text{CH}_3$), 102.41 (CN), 124.69 (C_i), 130.97 (C_m), 135.04 (с., C_o), 142.68 (C_p).

Найдено, %: С 36.39; Н 2.90.
Для $\text{C}_{30}\text{H}_{28}\text{N}_2\text{I}_2\text{SbAu}$
вычислено, %: С 36.43; Н 2.86.

Соединения II и III синтезировали по аналогичной методике.

II: темно-красные кристаллы, выход 96%, $T_{\text{пл}} = 143^\circ\text{C}$.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3049, 2991, 2978, 2908, 2164, 1585, 1483, 1436, 1334, 1321, 1190, 1159, 1112, 1028, 997, 923, 910, 850, 786, 744, 719, 688, 503, 491, 443, 432, 418.

ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 ; 600 МГц; δ , м.д.): 3.15 (д., 3Н, $J_{\text{H-P}} = 14.61$ Гц, $-\text{CH}_3$), 7.79–7.76 (м., 12Н, аром. *m*- и *o*-Н), 7.91–7.89 (м., 3Н, аром. *p*-Н). ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 ; 151 МГц; δ , м.д.): 7.26 (д., CH_3 , $J_{\text{C-P}} = 56.07$ Гц), 102.45 (CN), 119.86 (д., C_i , $J_{\text{C-P}} = 88.17$ Гц), 130.10 (д., C_o , $J_{\text{C-P}} = 13.00$ Гц), 133.22 (д., C_m , $J_{\text{C-P}} = 10.75$ Гц), 134.82 (д., C_p , $J_{\text{C-P}} = 3.16$ Гц).

Найдено, %: С 32.28; Н 2.42.
Для $\text{C}_{21}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{PI}_2\text{Au}$
вычислено, %: С 32.33; Н 2.33.

III: темно-красные кристаллы, выход 93%, $T_{\text{пл}} = 128^\circ\text{C}$.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3059, 2900, 2866, 2254, 2160, 1585, 1483, 1436, 1382, 1342, 1317, 1247, 1236, 1188, 1163, 1111, 1026, 995, 842, 827, 771, 752, 740, 719, 688, 549, 499, 493, 459, 445, 420.

ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 ; 600 МГц; δ , м.д.): 5.70 (д., 2Н, $J_{\text{H-P}} = 15.87$ Гц, $-\text{CH}_2\text{CN}$), 7.87–7.83 (м., 12Н, аром. *m*- и *o*-Н), 8.02–8.00 (м., 9Н, аром. *p*-Н). ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 ; 151 МГц; δ , м.д.): 14.04 (д., C-7, $J_{\text{C-P}} = 55.05$ Гц), 102.45 (CN), 112.78 (д., CN, $J_{\text{C-P}} = 9.06$ Гц), 116.11 (д., C_i , $J_{\text{C-P}} = 88.64$ Гц), 130.65 (д., C_o , $J_{\text{C-P}} = 13.42$ Гц), 133.75 (д., C_m , $J_{\text{C-P}} = 11.01$ Гц), 136.11 (д., C_p , $J_{\text{C-P}} = 3.07$ Гц).

Найдено, %: С 32.78; Н 2.23.
Для $\text{C}_{22}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{PI}_2\text{Au}$
вычислено, %: С 32.82; Н 2.13.

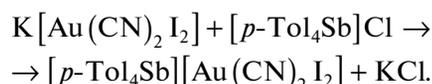
ИК-спектры комплексов I–III регистрировали на ИК-спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S в области 4000–400 cm^{-1} (таблетки KBr). Спектры ЯМР ^1H (600 МГц), ^{13}C (151 МГц) регистрировали на ЯМР-спектрометре Bruker AVANCE NEO в ДМСО- d_6 . Для спектров ЯМР ^1H и ^{13}C использовали в качестве внутреннего стандарта сигналы растворителя.

РСА кристаллов I–III проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (Mo K_α -излучение, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) при 293 К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [21]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены по программам SHELXL/PC [22] и OLEX2 [23]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положения атомов водорода определены геометрически по модели “наездника”. Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2.

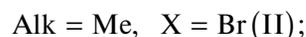
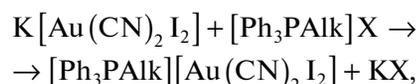
Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CIF files CCDC № 1901681 (I), 1912903 (II), 1912919 (III); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk/structures>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комплекс I синтезировали из дицианоидиодоурата калия и хлорида тетра(*para*-толил)сурьмы в водном растворе:



Получение комплексов II и III, содержащих фосфорорганические катионы, осуществляли по аналогичной методике из дицианоидиодоурата калия и бромида или хлорида алкилтрифенилфосфония соответственно:



После испарения воды, высушивания твердого остатка и перекристаллизации его из смеси ацетонитрила с этиловым спиртом получали устойчивые на воздухе кристаллы красного цвета.

ИК-спектроскопия – надежный метод для идентификации органических соединений, со-

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I–III

Параметр	Значение		
	I	II	III
<i>M</i>	989.06	780.11	805.12
Сингония	Моноклинная	Моноклинная	Триклинная
<i>T</i> , К	293.15	293.15	293.15
Пр. гр.	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>	<i>P</i> $\bar{1}$
<i>a</i> , Å	12.870(7)	11.225(6)	8.681(3)
<i>b</i> , Å	15.510(6)	12.300(4)	12.433(7)
<i>c</i> , Å	16.600(6)	17.280(5)	13.016(6)
α , град	90.00	90.00	66.61(2)
β , град	104.91(2)	92.764(17)	84.32(2)
γ , град	90.00	90.00	70.89(2)
<i>V</i> , Å ³	3202(3)	2383.0(16)	1217.5(10)
<i>Z</i>	4	4	2
ρ (выч.), г/см ³	2.051	2.174	2.196
μ , мм ⁻¹	7.367	8.840	8.656
<i>F</i> (000)	1832.0	1432.0	740.0
Размер кристалла, мм	0.23 × 0.18 × 0.15	0.3 × 0.15 × 0.08	0.22 × 0.19 × 0.12
2 θ , град	5.72–58.54	6.62–67.58	5.92–80.7
Интервалы индексов отражений	$-17 \leq h \leq 17$, $-21 \leq k \leq 21$, $-22 \leq l \leq 22$	$-17 \leq h \leq 17$, $-18 \leq k \leq 19$, $-27 \leq l \leq 26$	$-15 \leq h \leq 15$, $-22 \leq k \leq 22$, $-23 \leq l \leq 23$
Всего отражений	78498	88941	103809
Независимых отражений	8664 ($R_{\text{int}} = 0.0422$)	9510 ($R_{\text{int}} = 0.0438$)	15357 ($R_{\text{int}} = 0.0623$)
Отражений с $I > 2\sigma(I)$	6450	6193	7476
Число уточняемых параметров	329	245	265
GOOF	1.040	1.009	1.008
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0.0490$, $wR_2 = 0.1136$	$R_1 = 0.0440$, $wR_2 = 0.0917$	$R_1 = 0.0530$, $wR_2 = 0.0806$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0.0719$, $wR_2 = 0.1286$	$R_1 = 0.0849$, $wR_2 = 0.1084$	$R_1 = 0.1465$, $wR_2 = 0.1000$
Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å ³	3.56/–2.96	2.29/–2.55	1.36/–1.50

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в структурах I–III*

Связь	Длина, Å	Угол	ω, град
I			
Au(1)–I(1)	2.6112(10)	I(2)Au(1)I(1)	176.88(3)
Au(1)–I(2)	2.5977(10)	C(8)Au(1)I(1)	89.6(3)
Au(1)–C(8)	2.001(8)	C(8)Au(1)I(2)	90.2(3)
Au(1)–C(9)	1.999(9)	C(9)Au(1)I(1)	91.1(2)
Sb(1)–C(1)	2.084(7)	C(9)Au(1)I(2)	89.1(2)
Sb(1)–C(21)	2.088(7)	C(9)Au(1)C(8)	179.2(4)
Sb(1)–C(31)	2.093(8)	C(1)Sb(1)C(21)	109.2(3)
Sb(1)–C(11)	2.098(8)	C(1)Sb(1)C(31)	109.8(3)
N(1)–C(8)	1.133(11)	C(1)Sb(1)C(11)	109.9(3)
N(2)–C(9)	1.133(11)	C(21)Sb(1)C(31)	106.4(3)
C(34)–C(37)	1.526(14)	C(21)Sb(1)C(11)	112.5(3)
C(4)–C(7)	1.497(10)	C(31)Sb(1)C(11)	108.9(3)
II			
Au(1)–I(1)	2.6030(8)	I(1)Au(1)I(2)	177.656(18)
Au(1)–I(2)	2.6118(7)	C(9)Au(1)I(1)	90.92(16)
Au(1)–C(9)	2.002(6)	C(9)Au(1)I(2)	91.38(16)
Au(1)–C(8)	2.026(6)	C(9)Au(1)C(8)	178.7(2)
P(1)–C(11)	1.796(4)	C(8)Au(1)I(1)	88.33(16)
P(1)–C(21)	1.787(5)	C(8)Au(1)I(2)	89.38(16)
P(1)–C(1)	1.798(5)	C(11)P(1)C(1)	108.4(2)
P(1)–C(7)	1.791(5)	C(21)P(1)C(11)	110.8(2)
N(2)–C(9)	1.132(7)	C(21)P(1)C(1)	109.4(2)
N(1)–C(8)	1.075(8)	C(21)P(1)C(7)	108.5(2)
C(4)–C(3)	1.364(10)	C(7)P(1)C(11)	109.9(2)
C(1)–C(2)	1.379(7)	C(7)P(1)C(1)	109.9(3)
III			
Au(1)–I(1) ¹	2.6199(11)	I(1) ¹ Au(1)I(1)	180.000(14)
Au(1)–I(1)	2.6199(11)	C(9) ¹ Au(1)I(1) ¹	90.51(12)
Au(1)–C(9)	2.004(4)	C(9)Au(1)I(1) ¹	89.49(12)
Au(1)–C(9) ¹	2.004(4)	C(9) ¹ Au(1)I(1)	89.49(12)
Au(2)–I(2) ²	2.6194(11)	C(9)Au(1)I(1)	90.51(12)
Au(2)–I(2)	2.6194(11)	C(9) ¹ Au(1)C(9)	180.0
Au(2)–C(10)	2.008(4)	I(2) ² Au(2)I(2)	180.0
Au(2)–C(10) ²	2.008(4)	C(10) ² Au(2)I(2) ²	90.30(12)
P(1)–C(11)	1.790(3)	C(10)Au(2)I(2) ²	89.70(12)
P(1)–C(1)	1.781(3)	C(10) ² Au(2)I(2)	89.70(12)
P(1)–C(21)	1.786(3)	C(10)u(2)I(2)	90.30(12)
P(1)–C(7)	1.826(3)	C(10)Au(2)C(10) ²	179.999(1)
N(1)–C(9)	1.137(5)	C(11)P(1)C(7)	110.26(16)
N(3)–C(8)	1.137(5)	C(1)P(1)C(11)	108.76(16)
N(2)–C(10)	1.120(5)	C(1)P(1)C(21)	110.21(15)
C(7)–C(8)	1.452(5)	C(1)P(1)C(7)	110.41(16)
C(2)–C(1)	1.388(5)	C(21)P(1)C(11)	111.65(15)
C(1)–C(6)	1.379(5)	C(21)P(1)C(7)	105.53(16)

* Преобразования симметрии: ¹ –x, –y, 1 – z; ² –x, 2 – y, –z.

державших цианогруппу, так как область поглощения данной группы находится в достаточно узком интервале значений от 2200 до 2000 см^{-1} [24]. Поэтому цианиды легко идентифицировать по наличию полосы средней интенсивности в указанной области. Так, полосы поглощения валентных колебаний связи $\text{C}\equiv\text{N}$ обнаружены при 2156, 2164, 2160 см^{-1} в спектрах соединений I, II и III соответственно. В ИК-спектре соединения I при 480 см^{-1} наблюдается интенсивная полоса поглощения валентных колебаний связей $\text{Sb}-\text{C}$, также присутствуют полосы поглощения асимметричных и симметричных валентных колебаний метильных групп при 2916 и 2862 см^{-1} соответственно. Полоса поглощения связей $\text{P}-\text{Ph}$ в спектрах соединений II и III зарегистрирована при 1436 см^{-1} в обоих случаях, что соответствует области поглощения 1450–1435 см^{-1} , приведенной в [24].

В спектре ЯМР ^1H соединения I наблюдаются характерные для толильного фрагмента дублеты *m*- и *o*-протонов при 7.48 и 7.63 м.д. соответственно, а также синглет метильной группы при 2.41 м.д. Сигналы протонов фенильных колец комплексов алкилтрифенилфосфония представляют собой мультиплеты *p*-протонов при 7.91–7.89 (II) и 8.02–8.00 (III) м.д., *m*- и *o*-протонов при 7.79–7.76 (II) и 7.87–7.83 (III) м.д. Протоны алкильных фрагментов комплексов II и III обнаруживаются в спектрах ЯМР ^1H в виде дублетов с расщеплением на атоме фосфора при 3.15 и 5.70 м.д. с КССВ 14.61 и 15.87 Гц соответственно. В спектре ЯМР ^{13}C комплекса I все сигналы наблюдаются в виде синглетов, в спектрах ЯМР ^{13}C комплексов II и III – в виде дублетов с соответствующими константами за счет спин-спинового взаимодействия с атомом фосфора. Углерод цианогруппы обнаруживается при 102.41 (I), 102.45 (II) и 102.45 (III) м.д. Сигнал углерода цианогруппы при катионе представляет собой дублет при 112.78 м.д. с КССВ 9.06 Гц.

По данным РСА, соединения I–III представляют собой ионные комплексы с тетраэдрической координацией центрального атома в катионе и плоским дицианодииодоауратным анионом. В кристалле III присутствуют по два типа centrosymmetric кристаллографически независимых дицианодииодоауратных анионов (рис. 1).

Тетраэдрическая координация атомов сурьмы в катионе соединения I и фосфора – в II и III искажена в незначительной степени. Углы CSbC или CPC отклоняются от теоретического значения и варьируются в пределах 106.4(3)°–112.5(3)° (I), 108.4(2)°–110.8(2)° (II), 105.53(16)°–111.65(15)° (III). В катионе тетра(*nara*-толил)сурьмы среднее значение длин связей $\text{Sb}-\text{C}$ составляет 2.091(8) Å. В фосфорорганическом катионе комплекса II расстояния $\text{P}-\text{C}$ близки между собой вне зависимости от природы заместителя (1.796(4) (Ph),

1.787(5) (Ph), 1.798(5) (Ph), 1.791(5) (CH_3) Å). Наличие цианогруппы в катионе структуры III обуславливает большую длину связи $\text{P}-\text{C}_{\text{Alk}}$ (1.826(3) Å) по сравнению с расстояниями $\text{P}-\text{C}_{\text{Ph}}$ (1.790(3), 1.781(3), 1.786(3) Å). Квадратные анионы $[\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]^-$ отклоняются от плоской конфигурации незначительно, углы CAuC равны 179.2(4)° (I), 178.7(2)° (II), 180.0°, 179.999(1)° (III). Расстояния $\text{Au}-\text{C}$ в анионах I, II и III меньше суммы ковалентных радиусов атомов золота и углерода (2.03 Å [25]) и составляют соответственно 2.001(8), 1.999(9) Å (I), 2.002(6), 2.026(6) Å (II), 2.004(4), 2.004(4) и 2.008(4), 2.008(4) Å (III). Длины связей $\text{Au}-\text{I}$ равны 2.6112(10), 2.5977(10) Å (I), 2.6030(8), 2.6118(7) Å (II), 2.6199(11) и 2.6194(11) Å (III).

Образование пространственной сетки кристаллов обусловлено слабыми водородными связями $\text{CN}\cdots\text{H}-\text{C}$ между катионами и анионами (2.39, 2.59 Å (I), 2.70, 2.48, 2.52, 2.68 Å (II), 2.73, 2.50, 2.67, 2.44 Å (III)). Катионы комплексов I и II связаны между собой $\text{C}-\text{H}\cdots\text{I}$ -взаимодействиями, расстояние от атома водорода до плоскости бензольного кольца составляет 2.77 и 2.82 Å соответственно (рис. 2а, 2б). Катионы комплекса III взаимодействуют между собой посредством водородных связей $\text{C}_{\text{Ph}}-\text{H}\cdots\text{NC}_{\text{Alk}}$ (2.72 Å). В данном комплексе анионы одного из двух типов также взаимодействуют между собой, образуя 1D цепочки вдоль направления кристаллографической оси *a* благодаря взаимодействиям $\text{I}\cdots\text{I}$ (рис. 2в). Расстояния $\text{I}\cdots\text{I}$ меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов иода (4.30 Å) и составляют 3.93 Å, что указывает на взаимодействия галоген \cdots галоген. Как показано на рис. 2в, анионы одного из двух типов ориентированы таким образом, что иодидные лиганды образуют ступенчатую цепь. Это, в свою очередь, приводит к параллельному выравниванию групп $[\text{Au}(\text{CN})_2\text{I}_2]^-$ вдоль направления кристаллографической оси *a*. Углы $\text{Au}-\text{I}\cdots\text{I}$ между связанными парами анионов составляют 141.90°, что обеспечивает ступенчатый мотив. Данное $\text{I}\cdots\text{I}$ взаимодействие относится к типу I, так как разность углов $\text{Au}-\text{I}\cdots\text{I}$ равна 0° [26].

Таким образом, дицианодииодоауратные комплексы тетра(*nara*-толил)сурьмы и алкилтрифенилфосфония, полученные из соответствующих галогенидов тетра(*nara*-толил)сурьмы, алкилтрифенилфосфония и дицианодииодоаурата калия в воде, имеют ионное строение с мономерными дицианодииодоауратными анионами. Структурная организация комплекса III обусловлена не только водородными связями с участием цианогруппы, как и в других комплексах, но и галоген–галогеновыми взаимодействиями между атомами иода.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

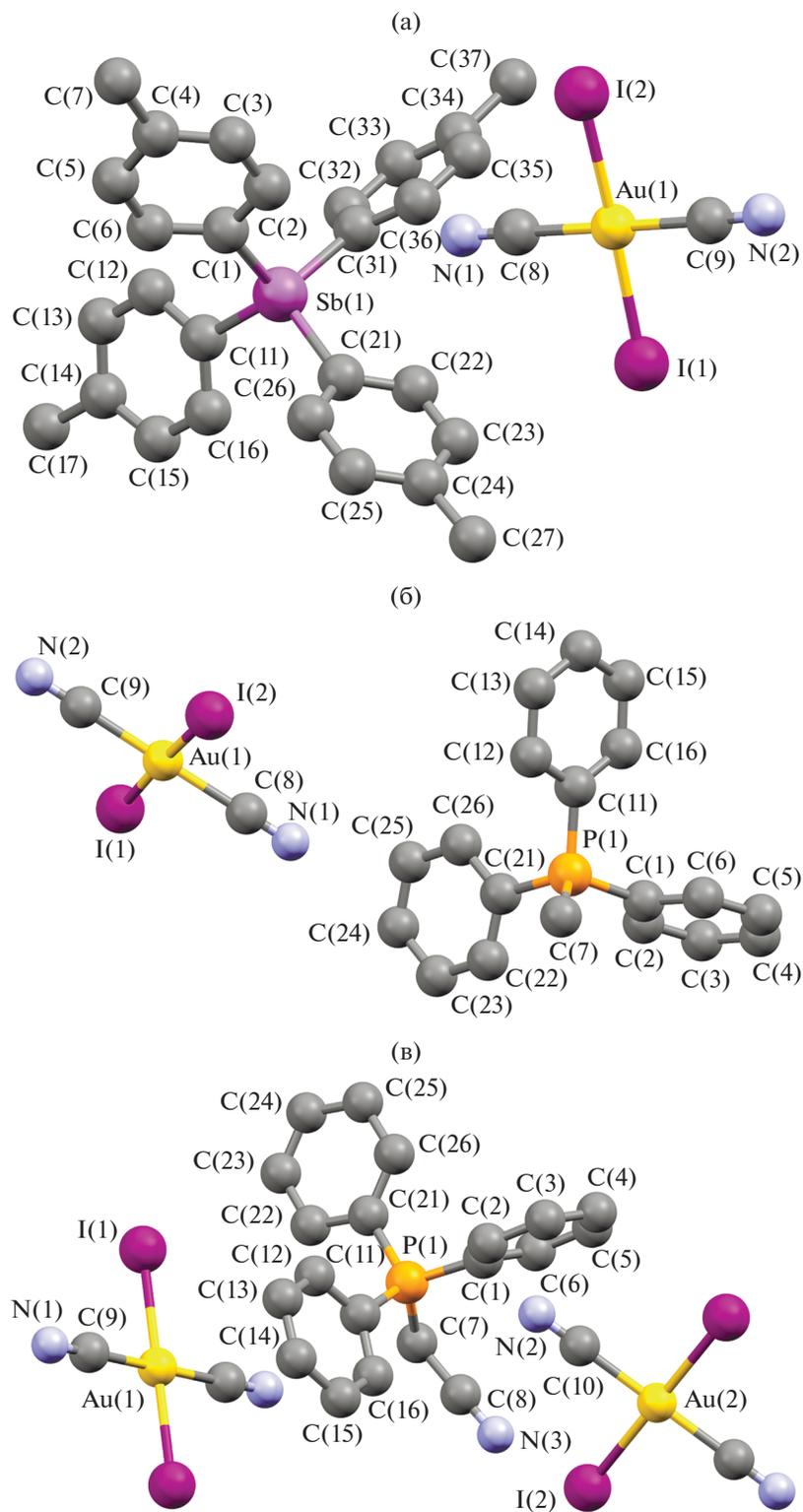


Рис. 1. Общий вид комплексов I (а), II (б), III (в).

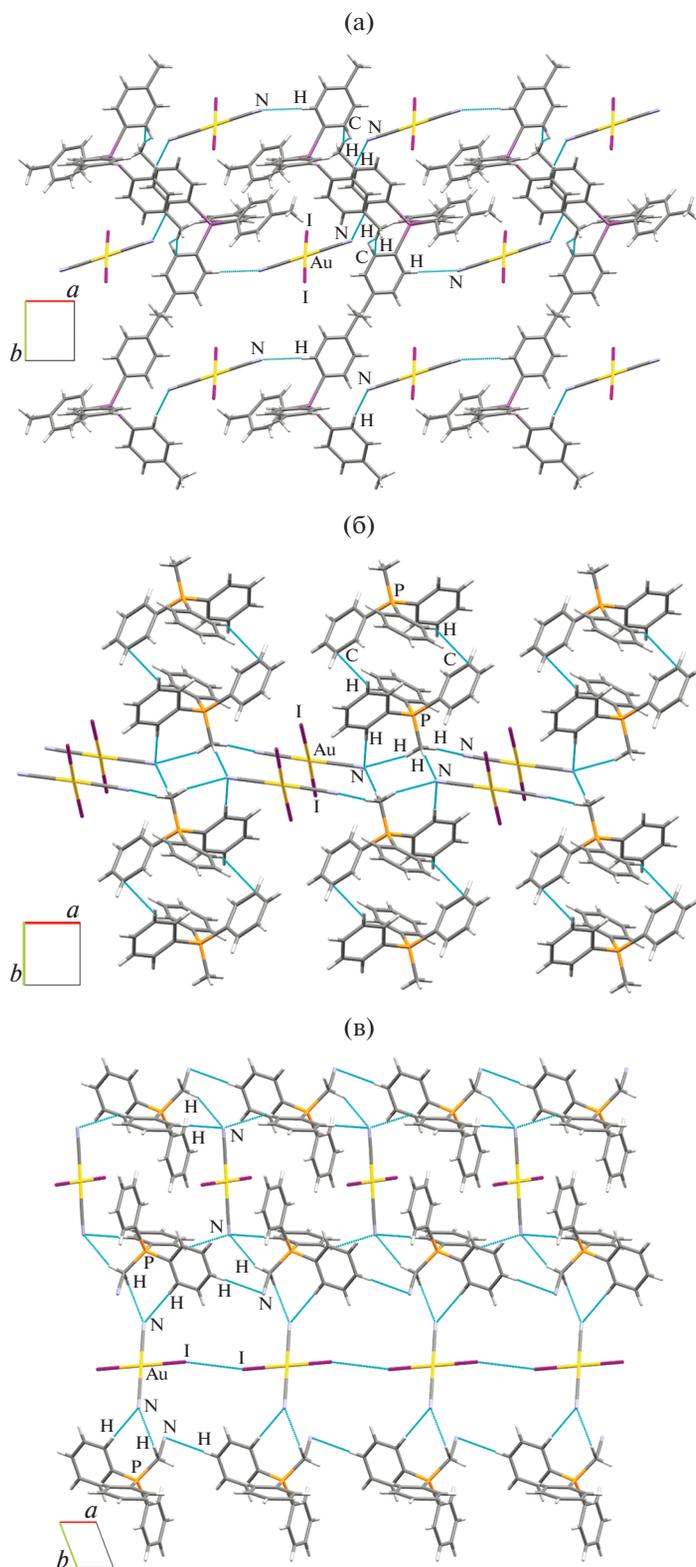


Рис. 2. Взаимодействия между ионами комплекса I (а), II (б), III (в). Вид с плоскости ab .

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 4.6151.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Xiaobo L., Patterson H.* // *Materials*. 2013. V. 6. P. 2595. <https://doi.org/10.3390/ma6072595>
2. *Dechambenoit P., Ferlay S., Kyritsakas N. et al.* // *Cryst-EngComm*. 2011. V. 13. P. 1922. <https://doi.org/10.1039/C0CE00607F>
3. *Hill J.A., Thompson A.L., Goodwin A.L.* // *J. Am. Chem. Soc.* 2018. V. 138. P. 5886. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b13446>
4. *Assefa Z., Haire R.G., Sykora R.E.* // *J. Solid State Chem.* 2008. V. 181. P. 382. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2007.11.036>
5. *Brown M.L., Ovens J.S., Leznoff D.B.* // *Dalton Trans.* 2017. V. 46. P. 7169. <https://doi.org/10.1039/C7DT00942A>
6. *Chorazy S., Wyczesany M., Sieklucka B.* // *Molecules*. 2017. V. 22. P. 1902. <https://doi.org/10.3390/molecules22111902>
7. *Shaw C.F.* // *Chem. Rev.* 1999. V. 99. № 9. P. 2589. <https://doi.org/10.1021/cr980431o>
8. *Roberts R.J., Le D., Leznoff D.B.* // *Inorg. Chem.* 2017. V. 56. № 14. P. 7948. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b00735>
9. *Rawashdeh-Omary M.A., Omary M.A., Shankle G.E. et al.* // *J. Phys. Chem. B*. 2000. V. 104. № 26. P. 6143. <https://doi.org/10.1021/jp000563x>
10. *Colis J.C.F., Larochelle C., Fernández E.J. et al.* // *J. Phys. Chem. B*. 2005. V. 109. № 10. P. 4317. <https://doi.org/10.1021/jp045868g>
11. *Assefa Z., Kalachnikova K., Haire R.G. et al.* // *J. Solid State Chem.* 2007. V. 180. P. 3121. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2007.08.032>
12. *Ovens J.S., Leznoff D.B.* // *Chem. Mater.* 2015. V. 27. № 5. P. 1465. <https://doi.org/10.1021/cm502998w>
13. *Ovens J.S., Leznoff D.B.* // *Dalton Trans.* 2011. V. 40. P. 4140. <https://doi.org/10.1039/c0dt01772h>
14. *Шарутин В.В., Попкова М.А., Тарасова Н.М.* // *Вест. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. хим.* 2018. Т. 10. № 1. С. 55 (*Sharutin V.V., Popkova M.A., Tarasova N.M.* // *Bull. South Ural State Univ. Ser. Chem.* 2018. V. 10. № 1. P. 55). <https://doi.org/10.14529/chem180107>
15. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Popkova M.A.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. № 6. P. 607. <https://doi.org/10.1134/S0036023619060147>
16. Cambridge Crystallographic Data Center. 2018. <http://www.ccdc.cam.ac.uk>
17. *Ovens J.S., Geisheimer A.R., Bokov A.A. et al.* // *Inorg. Chem.* 2010. V. 49. P. 9609. <https://doi.org/10.1021/ic101357y>
18. *Pitteri B., Bortoluzzi M., Bertolasi V.* // *Transition Met. Chem.* 2008. V. 33. P. 649. <https://doi.org/10.1007/s11243-008-9092-9>
19. *Marangoni G., Pitteri B., Bertolasi V. et al.* // *Dalton Trans.* 1987. № 1. P. 2235. <https://doi.org/10.1039/DT9870002235>
20. *Ovens J.S., Truong K.N., Leznoff D.B.* // *Dalton Trans.* 2012. V. 41. P. 1345. <https://doi.org/10.1039/c1dt11741f>
21. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
22. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
23. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // *J. Appl. Cryst.* 2009. V. 42. P. 339. <https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
24. *Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К.* Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2006. 440 с.
25. *Бацанов С.С.* // *Журн. неорган. химии*. 1991. Т. 36. № 12. С. 3015 (*Batsanov S.S.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 1991. V. 3. P. 1694).
26. *Mukherjee A., Tothadi S., Desiraju G.R.* // *Accounts Chem. Res.* 2014. V. 47. № 8. P. 2514. <https://doi.org/10.1021/ar5001555>