

КООРДИНАЦИОННЫЕ  
СОЕДИНЕНИЯ

УДК 546.591+547.491+546.162'14+546.185+547.53.024+548.312.2

ДИЦИАНОДИБРОМОАУРАТЫ АЛКИЛТРИФЕНИЛФОСФОНИЯ  
[Ph<sub>3</sub>PAlk][Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>], Alk = CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)-2,  
CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>-*cyclo*, CH<sub>2</sub>Ph, CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CN-4

© 2020 г. В. В. Шарутин<sup>а</sup>, О. К. Шарутина<sup>а</sup>, Н. М. Тарасова<sup>а, \*</sup>, А. Н. Ефремов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. В.И. Ленина, 76, Челябинск, 454080 Россия

\*e-mail: tarasovanm@susu.ru

Поступила в редакцию 09.04.2019 г.

После доработки 08.05.2019 г.

Принята к публикации 29.09.2019 г.

Из дицианодибромоаурата калия и хлоридов алкилтрифенилфосфония в воде синтезированы кристаллические комплексы желтого цвета [Ph<sub>3</sub>PAlk][Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>], где Alk = CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)-2 (I), CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>-*cyclo* (II · 1/2PhH), CH<sub>2</sub>Ph (III), CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CN-4 (IV), строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа. В кристаллах I–IV присутствуют тетраэдрические катионы алкилтрифенилфосфония (СРС 104.8(2)°–114.1(2)°, Р–С 1.782(6)–1.825(5) Å). В квадратных анионах [Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>]<sup>–</sup> *транс*-углы САuС и ВгAuВг равны 178.8(2)°–180.0(5)° и 178.38(3)°–180.00(3)°, связи Au–С и Au–Вг – 2.001(7)–2.205(9) Å и 2.4086(14)–2.4276(18) Å соответственно. В формировании структуры кристаллов участвуют слабые водородные связи N···H–С и прочные связи N···H–О в комплексе I, контакты Вг···H–С в кристаллах дицианодибромидов I, III и IV.

**Ключевые слова:** дицианодигалогениды органилтрифенилфосфония, синтез, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0044457X20020154

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интерес исследователей вызывают комплексы дицианидов металлов в связи с их использованием при получении полупроводниковых и оптически и магнитно-активных материалов, которые приобретают при этом разнообразные свойства [1–7]. Кроме того, некоторые из них являются препаратами-метаболитами лекарств на основе Au(I) [8]. Формирование олигомерных структур из анионов [Au(CN)<sub>2</sub>]<sup>–</sup> приводит к появлению люминесцентных свойств [4, 9–12]. Однако комплексы дицианодигалогенидов с различными катионами, демонстрирующие подобные свойства [13–15], мало исследованы. Известно несколько цианидных комплексов Au(I) [16, 17] и цианодигалогенидных комплексов Au(III) с аммонийными катионами [18–21], однако информация о комплексах [Kat]<sup>+</sup>[Au(CN)<sub>2</sub>Hal<sub>2</sub>]<sup>–</sup> с элементоорганическими катионами в литературе отсутствует.

С целью установления особенностей синтеза и строения дицианодибромоауратных комплексов тетраорганилфосфония в настоящей работе впервые синтезированы и структурно охарактеризованы дицианодибромоаураты алкилтрифенилфосфония [Ph<sub>3</sub>PAlk][Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>], где Alk = CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)-2 (I),

CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>-*cyclo* (II · 1/2PhH), CH<sub>2</sub>Ph (III), CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CN-4 (IV).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

K[Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>] получали по методике [18], комплексы I–IV – смешением водных растворов хлоридов алкилтрифенилфосфония с раствором дицианодибромидов калия [17].

[Ph<sub>3</sub>PCH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH-2)]<sup>+</sup>[Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>]<sup>–</sup> (I) кристаллизовали из 13 мл смеси MeCN с *i*-PrOH (8 : 5). При медленном испарении растворителя наблюдали образование ярко-желтых кристаллов. Выход 95%, *t*<sub>пл</sub> = 160.1°C. ИК-спектр ( $\nu$ , см<sup>–1</sup>): 3267 (OH), 3055 (C<sub>Ar</sub>–H); 2931, 2902, 2852, 2179 (CN); 1909, 1822, 1788, 1597, 1585, 1510, 1502, 1483, 1456, 1436 (P–Ph); 1382, 1359 (C<sub>Ar</sub>–OH); 1315 (C<sub>Ar</sub>–OH); 1274, 1247, 1234 (C<sub>Ar</sub>–OH); 1178 (C<sub>Ar</sub>–OH); 1159 (C<sub>Ar</sub>–OH); 1111, 1087, 1043, 1026, 999 (P–Ph); 935, 867, 860, 815, 771, 758, 750, 723, 709, 690, 655, 615, 599, 553, 518, 503, 497, 489, 449, 428.

|   | С      | Н     |
|---|--------|-------|
| Найдено, %:   | 41.59; | 2.90. |
| Для C <sub>27</sub> H <sub>22</sub> AuBr <sub>2</sub> N <sub>2</sub> OP |        |       |
| вычислено, %:   | 41.67; | 2.86. |

Аналогично синтезировали соединения II–IV (в случае соединения II вместо *i*-PrOH добавляли 5 мл бензола).

**[Ph<sub>3</sub>PC<sub>6</sub>H<sub>10</sub>-*cyclo*][Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>] (II) · 1/2C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>**: желтые кристаллы, выход 89%, *t*<sub>пл</sub> = 188.5°C. ИК-спектр (*v*, см<sup>-1</sup>): 3086 (C<sub>Ar</sub>-H); 3057 (C<sub>Ar</sub>-H); 3030 (C<sub>Ar</sub>-H); 2935, 2897, 2856, 2210 (CN); 2176 (CN); 1973, 1826, 1587, 1485, 1454 (P-Ph); 1438 (P-Ph); 1340, 1323, 1298, 1271, 1215, 1193, 1176, 1163, 1122, 1109, 1026, 997 (P-Ph); 918, 887, 850, 823, 748, 723, 690, 543, 526, 516, 497, 464, 449, 426.

|  | C      | H     |
|--|--------|-------|
| Найдено, %:  | 43.80; | 3.72. |
| Для C <sub>29</sub> H <sub>29</sub> AuBr <sub>2</sub> N <sub>2</sub> P |        |       |
| вычислено, %:  | 43.90; | 3.69. |

**[Ph<sub>3</sub>PCN<sub>2</sub>Ph][Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>] (III)**: желтые кристаллы, выход 91%, *t*<sub>пл</sub> = 166.2°C. ИК-спектр (*v*, см<sup>-1</sup>): 3062 (C<sub>Ar</sub>-H); 3039 (C<sub>Ar</sub>-H); 2949, 2912, 2852, 2214 (CN); 2168 (CN); 1982, 1913, 1832, 1600, 1585, 1573, 1496, 1485, 1456 (P-Ph); 1436 (P-Ph); 1400, 1336, 1317, 1232, 1188, 1159, 1134, 1111, 1070, 1028, 997 (P-Ph); 972, 916, 850, 831, 785, 756, 750, 719, 696, 688, 580, 513, 503, 497, 449, 424.

|  | C      | H     |
|--|--------|-------|
| Найдено, %:  | 42.48; | 2.93. |
| Для C <sub>27</sub> H <sub>22</sub> AuBr <sub>2</sub> N <sub>2</sub> P |        |       |
| вычислено, %:  | 42.54; | 2.92. |

**[Ph<sub>3</sub>PCN<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-CN-4][Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>] (IV)**: желтые кристаллы, выход 93%, *t*<sub>пл</sub> = 155.3°C.

ИК-спектр (*v*, см<sup>-1</sup>): 3088 (C<sub>Ar</sub>-H); 3062 (C<sub>Ar</sub>-H); 3039 (C<sub>Ar</sub>-H); 2951, 2910, 2852, 2239 (Ph-CN); 2227 (Ph-CN); 2166 (CN); 1606, 1587, 1506, 1483, 1436 (P-Ph); 1406, 1340, 1321, 1236, 1188, 1163, 1141, 1111, 1024, 997, 850, 839, 829, 771, 746, 736, 719, 688, 563, 528, 503, 493, 466, 449, 422.

|  | C      | H     |
|--|--------|-------|
| Найдено, %:  | 42.58; | 2.76. |
| Для C <sub>28</sub> H <sub>21</sub> AuBr <sub>2</sub> N <sub>3</sub> P |        |       |
| вычислено, %:  | 42.72; | 2.69. |

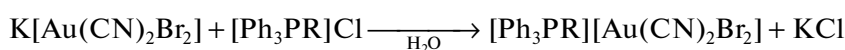
Дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) соединений I–IV проводили на комплексе синхронного термического анализа Netzsch 449C Jupiter.

ИК-спектры (400–4000 см<sup>-1</sup>) комплексов I–IV регистрировали на ИК-фурье-спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S (таблетирование с KBr).

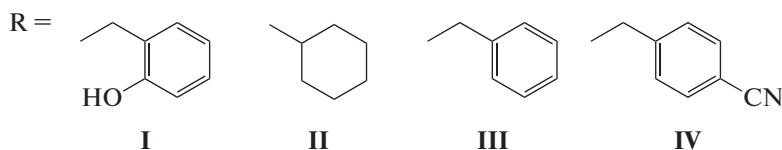
РСА (дифрактометр Bruker D8 QUEST, MoK<sub>α</sub>-излучение, λ = 0.71073 Å, графитовый монохроматор) кристаллов I–IV (CCDC 1899748 (I), 1899750 (II · 1/2PhH), 1899752 (III), 1899758 (IV); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>) проводили при 296(2) К с использованием для обработки данных программ SMART и SAINT-Plus [22], SHELXL/PC [23], OLEX2 [24].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексы соединений I–IV моментально образовывались при смешении водных растворов соответствующих солей:



I–IV



После удаления воды и кристаллизации вещества из смеси MeCN с *i*-PrOH (8 : 5) или бензолом (для комплекса II · 1/2PhH) (8 : 5) получали прозрачные кристаллы желтого цвета. Выделенные кристаллы устойчивы на воздухе, хорошо растворяются в хлороформе, дихлорметане и ацетонитриле, не растворяются в воде и спиртах при комнатной температуре. Из данных ДСК следует, что все соединения стабильны до 150°C. На кривых ДСК соединений I, III, IV присутствуют эндотермические пики плавления комплексов при

160.1, 166.2 и 155.3°C соответственно. Для комплекса II · 1/2PhH наблюдается эндотермический пик при 103.8°C, соответствующий разложению сольвата II · 1/2PhH с потерей массы ~4%, а также эндотермический пик плавления при 188.5°C без уменьшения массы.

Известно, что полосы поглощения цианогрупп органических и неорганических соединений вследствие отсутствия значительного влияния окружения на колебания этих связей находятся в достаточно узком интервале: 2200–2000 см<sup>-1</sup> [25]

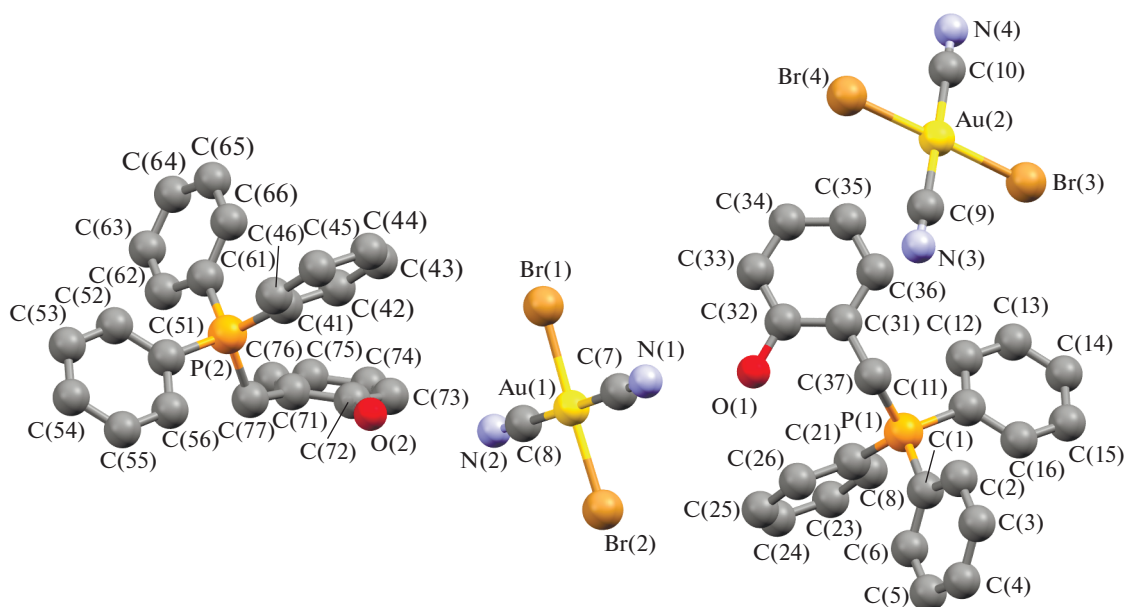


Рис. 1. Общий вид комплекса I (атомы водорода не показаны).

и легко обнаруживаются в ИК-спектрах. Также отмечается, что для дицианопроизводных Au(III) наблюдается значительное снижение интенсивности данных полос поглощения по сравнению с дицианопроизводными Au(I) [26, 27]. Так, для соединений I–III полосы валентных колебаний CN-групп имеют низкую интенсивность и располагаются при 2179, 2210; 2176, 2214 и 2168  $\text{см}^{-1}$  соответственно. Для комплекса IV наблюдается полоса средней интенсивности при 2239  $\text{см}^{-1}$ , относящаяся, очевидно, к цианогруппе ароматического кольца катиона, а также слабые полосы цианогрупп аниона при 2227 и 2166  $\text{см}^{-1}$ . Колебаниям связей P–C<sub>Ar</sub> в спектрах соединений I, II · 1/2PhH, III, IV соответствуют полосы при 1436, 1438, 1436, 1436  $\text{см}^{-1}$ , попадающие в область 1450–1435  $\text{см}^{-1}$ , охарактеризованную ранее для подобных производных [25]. Кроме того, в спектре I наблюдается полоса поглощения при 3267  $\text{см}^{-1}$ , связанная с валентными колебаниями OH-группы, и ряд полос, отвечающих колебаниям связи C–OH, наиболее интенсивными из которых являются полосы при 1234, 1315 и 1359  $\text{см}^{-1}$  [25].

Несмотря на похожее строение молекул и общую для всех комплексов I–IV триклинную сингонию (табл. 1), имеются существенные отличия в их кристаллической структуре. Для соединения I характерны два типа кристаллографически независимых катионов [Ph<sub>3</sub>PR]<sup>+</sup> и мономерных дицианодинитроауратных анионов, а для соединений II · 1/2PhH–IV – катионы алкилтрифенилфосфония и по два типа центросимметричных кристаллографически независимых анионов. Анионы первого типа участвуют в образовании

решеток кристаллов, располагаясь на ребрах и по центру граней кристаллических ячеек соединений II · 1/2PhH и III соответственно и образуя водородные связи с катионами. Анионы второго типа удалены от других частиц в решетке и не образуют с ними контактов, располагаясь в узлах (I) и на гранях (III) кристаллической ячейки. Кроме того, дибромдицианопроизводное II · 1/2PhH содержит сольватные молекулы бензола, не участвующие в формировании кристаллической структуры (рис. 1–4).

Геометрия атомов фосфора в катионах несколько искажена и отличается от тетраэдрической: углы CPC испытывают отклонения от теоретического значения и составляют 104.8(2)°–114.1(2)°, 105.2(2)°–113.0(2)° (I), 106.0(3)°–110.8(3)° (II · 1/2PhH), 106.8(3)°–110.8(3)° (III), 107.44(17)°–111.44(18)° (IV); длины связей P–C<sub>Ph</sub> (1.791(5)–1.800(5), 1.790(4)–1.796(5) Å (I), 1.791(6)–1.799(6) Å (II · 1/2PhH), 1.782(6)–1.811(7) Å (III), 1.792(4)–1.797(4) Å (IV)) близки между собой, как и расстояния P–C<sub>Alk</sub> (1.825(5), 1.825(4) Å (I), 1.806(7) Å (II · 1/2PhH), 1.799(7) Å (III), 1.818(4) Å (IV)). Связи золото–углерод в анионах [Au(CN)<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>]<sup>−</sup> отклоняются от линейной конфигурации, углы CAuC равны 179.0(2)°, 178.8(2)° (I), 180.0(5)°, 180.0(5)° (II · 1/2PhH), 180.0(5)°, 179.999(1)° (III), 180.0(4)°, 179.999(1)° (IV). Расстояния Au–C в анионах I отличаются друг от друга существенно: 2.009(6), 2.205(9) Å и 2.015(7), 2.001(7) Å. В центросимметричных анионах длины связей Au–C (2.070(8), 2.070(8) и 2.142(8), 2.142(8) в II · 1/2PhH, 2.065(8), 2.065(8) и

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

| Параметр   | Значение   |   |  |  |
|--|--|---|--|--|
|  | I  | II · 1/2PhH   | III  | IV   |
| <i>M</i>   | 778.21   | 793.30  | 762.22   | 787.23   |
| Сингония   | Триклинная   | Триклинная  | Триклинная   | Триклинная   |
| Пр. гр.  | $P\bar{1}$   | $P\bar{1}$  | $P\bar{1}$   | $P\bar{1}$   |
| <i>a</i> , Å   | 12.672(9)  | 7.834(7)  | 9.726(8)   | 10.452(5)  |
| <i>b</i> , Å   | 12.729(7)  | 9.857(9)  | 11.636(9)  | 10.699(8)  |
| <i>c</i> , Å   | 18.303(9)  | 20.990(15)  | 13.549(10)   | 13.798(7)  |
| $\alpha$ , град  | 105.14(2)  | 94.58(3)  | 67.30(3)   | 69.05(3)   |
| $\beta$ , град   | 102.34(3)  | 97.06(3)  | 71.11(3)   | 74.741(19)   |
| $\gamma$ , град  | 104.72(3)  | 110.96(4)   | 70.08(3)   | 78.23(3)   |
| <i>V</i> , Å <sup>3</sup>                                    | 2629(3)  | 1489(2)   | 1296.9(17)   | 1379.8(14)   |
| <i>Z</i>   | 2  | 2   | 2  | 2  |
| $\rho_{\text{выч}}$ , г/см <sup>3</sup>                      | 1.966  | 1.770   | 1.952  | 1.895  |
| $\mu$ , мм <sup>-1</sup>                                     | 8.718  | 7.699   | 8.833  | 8.306  |
| <i>F</i> (000)   | 1480.0   | 762.0   | 724.0  | 748.0  |
| Размер кристалла, мм   | 0.24 × 0.16 × 0.08   | 0.2 × 0.15 × 0.08   | 0.44 × 0.14 × 0.1  | 0.13 × 0.13 × 0.1  |
| Область сбора данных по 2 $\theta$ , град                    | 5.86–61.14   | 5.76–54.72  | 6.24–56.84   | 5.98–64.24   |
| Интервалы индексов отражений                                 | $-18 \leq h \leq 18,$<br>$-18 \leq k \leq 18,$<br>$-26 \leq l \leq 26$ | $-9 \leq h \leq 10,$<br>$-12 \leq k \leq 12,$<br>$-26 \leq l \leq 26$ | $-13 \leq h \leq 12,$<br>$-15 \leq k \leq 15,$<br>$-18 \leq l \leq 18$ | $-15 \leq h \leq 15,$<br>$-15 \leq k \leq 15,$<br>$-20 \leq l \leq 20$ |
| Измерено отражений   | 160074   | 31522   | 36900  | 89930  |
| Независимых отражений  | 16036<br>( $R_{\text{int}} = 0.0790$ )                                 | 6627<br>( $R_{\text{int}} = 0.0515$ )                                 | 6469<br>( $R_{\text{int}} = 0.0448$ )                                  | 9619<br>( $R_{\text{int}} = 0.0848$ )                                  |
| Отражений с $I > 2\sigma(I)$                                 | 10766  | 4665  | 4808   | 5517   |
| Переменных уточнения   | 615  | 319   | 301  | 319  |
| <i>GOOF</i>  | 1.023  | 1.071   | 1.116  | 1.012  |
| <i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$                    | $R_1 = 0.0415,$<br>$wR_2 = 0.0728$                                     | $R_1 = 0.0385,$<br>$wR_2 = 0.0836$                                    | $R_1 = 0.0440,$<br>$wR_2 = 0.1056$                                     | $R_1 = 0.0454,$<br>$wR_2 = 0.0657$                                     |
| <i>R</i> -факторы по всем отражениям                         | $R_1 = 0.0849,$<br>$wR_2 = 0.0860$                                     | $R_1 = 0.0686,$<br>$wR_2 = 0.0933$                                    | $R_1 = 0.0687,$<br>$wR_2 = 0.1166$                                     | $R_1 = 0.1178,$<br>$wR_2 = 0.0795$                                     |
| Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å <sup>3</sup> | 2.89/–2.04   | 0.87/–1.42  | 2.58/–1.26   | 0.67/–0.92   |

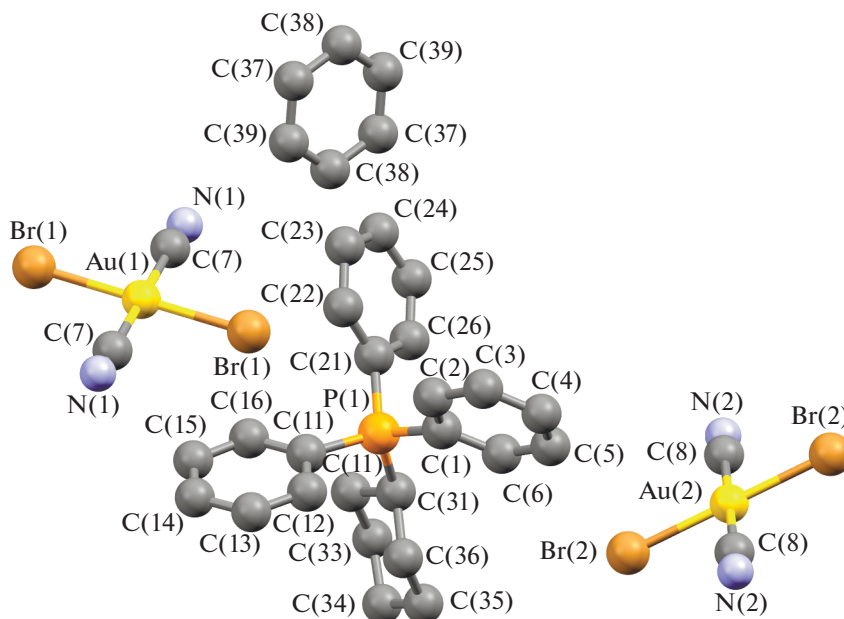


Рис. 2. Общий вид комплекса II · 1/2PhH.

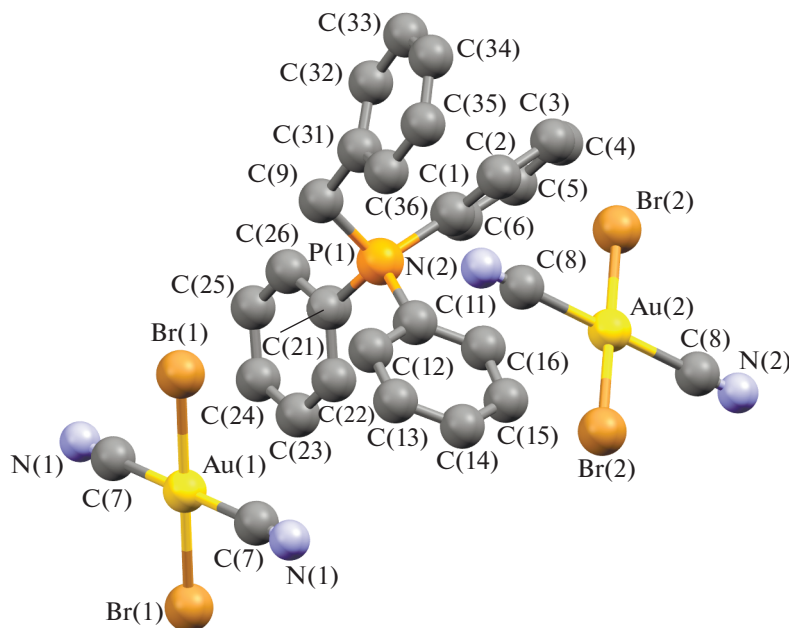


Рис. 3. Общий вид комплекса III.

2.065(10), 2.065(10) в III, 2.065(8), 2.065(8) и 2.065(10), 2.065(10) Å в IV) близки к сумме ковалентных радиусов атомов (2.05 Å [28]). Длины связей Au–Br в дицианодинбромоауратных анионах равны 2.4086(14)–2.4259(16) Å (I), 2.412(2)–2.4276(18) Å (II · 1/2PhH),

2.412(2)–2.4228(18) Å (III), 2.4138(13)–2.4254(12) Å (IV).

Ассоциация анионов за счет контактов Au···Au и Au···Br···Au [13, 14] в кристаллах отсутствует, что, вероятно, объясняется большим объемом

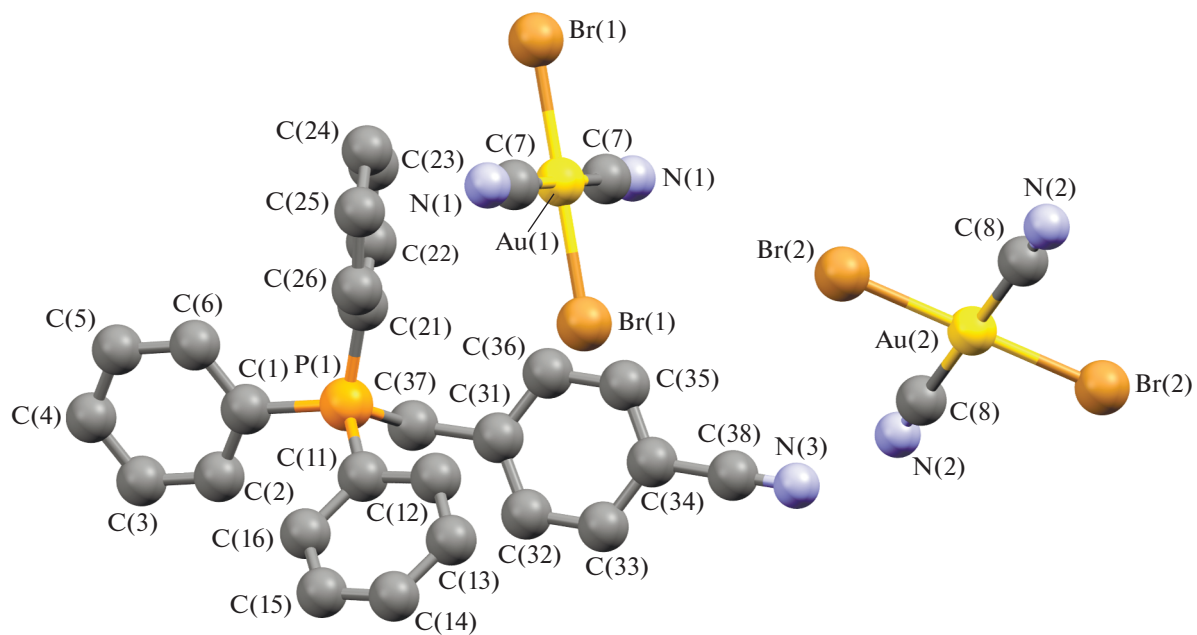
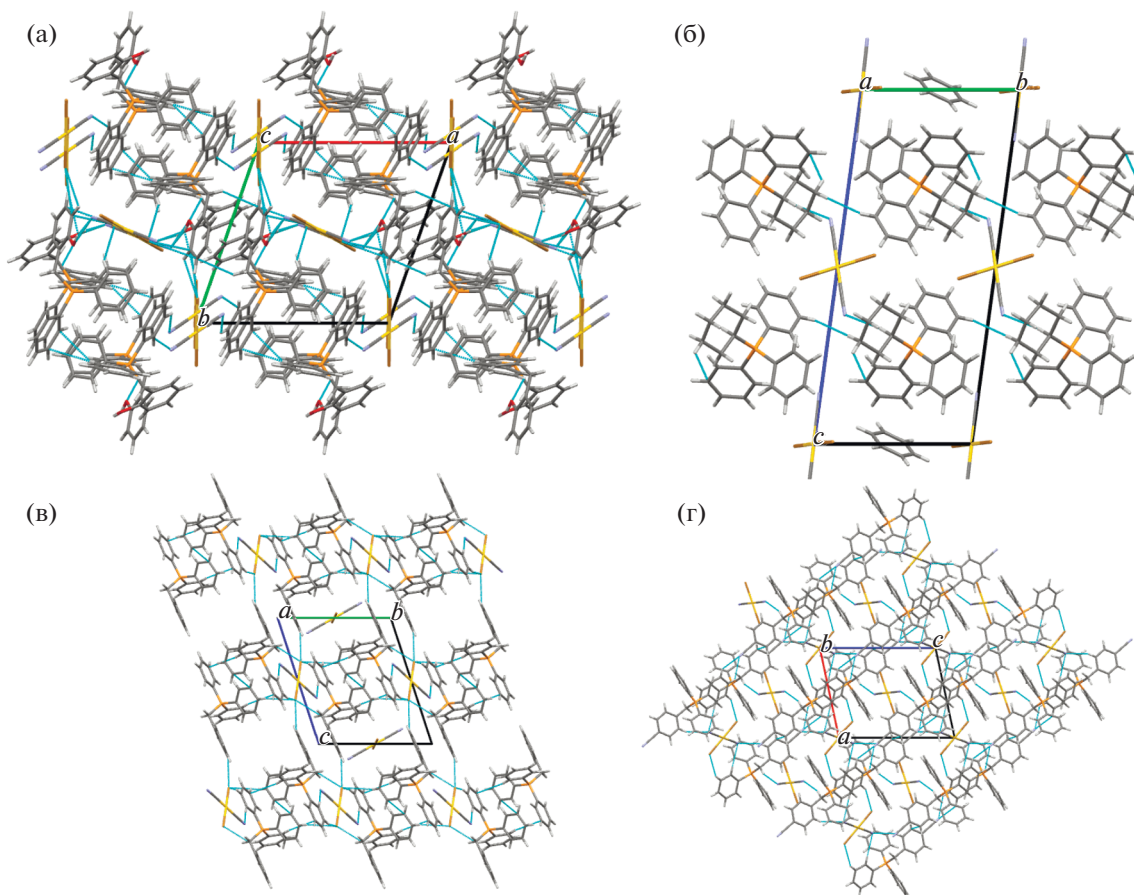


Рис. 4. Общий вид комплекса IV.

Рис. 5. Вид кристаллической упаковки комплекса I вдоль оси  $c$  (а), комплексов II (б) и III (в) вдоль оси  $a$ , комплекса IV вдоль оси  $b$  (г).

фосфорорганических катионов, исключая возможность сближения анионов и образования из них полимерных цепей. Слабые взаимодействия  $N\cdots H-C$  между катионами и анионами (2.00–2.65 Å (I), 2.53 Å (II · 1/2PhH), 2.69 Å (III), 2.54–2.85 Å (IV)) и  $W\cdots H-C$  (2.80–3.20 Å (I), 2.93–3.03 Å (III), 2.85 Å (IV)) структурируют их в единое целое. Кроме того, за формирование структуры комплекса I отвечают контакты  $W\cdots C_{Ar}$  (3.41 Å) и прочные водородные связи аниона с гидроксильной группой катиона  $N\cdots H-O$  (2.05 Å, 77% от суммы ван-дер-ваальсовых радиусов) [29] (рис. 5а–5г). Наименьшее число контактов наблюдается в кристалле комплекса II · 1/2PhH, решетка которого характеризуется наименее плотной упаковкой:  $\rho_{выч} = 1.770$  г/см<sup>3</sup>. Анионы данного комплекса, в отличие от остальных, не образуют контактов  $W\cdots H-C$ . Более плотная упаковка наблюдается у дицианодибромидов I и III:  $\rho_{выч} = 1.966$  и  $1.952$  г/см<sup>3</sup> соответственно. Плотность кристаллической упаковки соединения IV составляет  $\rho_{выч} = 1.895$  г/см<sup>3</sup>.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В кристаллах дицианодибромидоуратных комплексов алкилтрифенилфосфония, синтезированных из  $[Ph_3PAlk]Cl$  и  $K[Au(CN)_2Br_2]$  в воде, дицианодибромидоурат-анионы мономерны. Структура кристаллов сформирована за счет водородных связей катионов с анионами.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Южно-Уральский государственный университет благодарит за финансовую поддержку Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 4.6151.2017/8.9).

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Xiaobo L., Patterson H. // *Materials*. 2013. V. 6. P. 2595. <https://doi.org/10.3390/ma6072595>
- Dechambenoit P., Ferlay S., Kyritsakas N. et al. // *Cryst. Eng. Comm.* 2011. V. 13. P. 1922. <https://doi.org/10.1039/C0CE00607F>
- 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>
- Assefaa Z., Haireb R.G., Sykorac R.E. // *J. Solid State Chem.* 2008. V. 181. P. 382. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2007.11.036>
- Brown M.L., Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Dalton Trans.* 2017. V. 46. P. 7169. <https://doi.org/10.1039/C7DT00942A>
- Chorazy S., Wyczesany M., Sieklucka B. // *Molecules*. 2017. V. 22. P. 1902. <https://doi.org/10.3390/molecules22111902>
- Shaw C.F. // *Chem. Rev.* 1999. V. 99. № 9. P. 2589. <https://doi.org/10.1021/cr980431o>
- Rawashdeh-Omary M.A., Omary M.A., Patterson H.H. // *J. Am. Chem. Soc.* 2000. V. 122. № 42. P. 10371. <https://doi.org/10.1021/ja001545w>
- 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>
- Colis J.C.F., Larochelle C., Ferna'ndez E.J. et al. // *J. Phys. Chem. B*. 2005. V. 109. № 10. P. 4317. <https://doi.org/10.1021/jp045868g>
- Assefaa Z., Kalachnikova K., Hairec R.G. et al. // *J. Solid State Chem.* 2007. V. 180. P. 3121. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2007.08.032>
- Roberts R.J., Le D., Leznoff D.B. // *Inorg. Chem.* 2017. V. 56. № 14. P. 7948. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b00735>
- Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Dalton Trans.* 2011. V. 40. P. 4140. <https://doi.org/10.1039/c0dt01772h>
- Ovens J.S., Truong K.N., Leznof D.B. // *Dalton Trans.* 2012. V. 41. P. 1345. <https://doi.org/10.1039/c1dt11741f>
- Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Chem. Mater.* 2015. V. 27. № 5. P. 1465. <https://doi.org/10.1021/cm502998w>
- Cambridge Crystallographic Data Center. 2018. deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>
- Sharutin V.V., Popkova M.A., Tarasova N.M. // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2018. V. 10. № 1. P. 55. [Шарутин В.В., Попкова М.А., Тарасова Н.М. // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. "Химия"*. Т. 10. № 1. С. 55.] <https://doi.org/10.14529/chem180107>
- Ovens J.S., Geisheimer A.R., Bokov A.A. et al. // *Inorg. Chem.* 2010. V. 49. P. 9609. <https://doi.org/10.1021/ic101357y>
- Pitteri B., Bortoluzzi M., Bertolasi V. // *Trans. Met. Chem.* 2008. V. 33. P. 649. <https://doi.org/10.1007/s11243-008-9092-9>
- Marangoni G., Pitteri B., Bertolasi V. et al. // *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 1987. № 1. P. 2235. <https://doi.org/10.1039/DT9870002235>
- Ovens J.S., Truong K.N., Leznoff D.B. // *Inorg. Chim. Acta*. 2013. V. 403. P. 127. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2013.02.011>
- Bruker (1998). SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.

23. Bruker (1998). SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
24. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Crystallogr. 2009. V. 42. P. 339.  
<https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
25. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2006. 440 с.
26. Jones L. // Inorg. Chem. 1964. V. 3. № 11. P. 1581.  
<https://doi.org/10.1021/ic50021a024>
27. Shorrock C.J., Jong H., Batchelor R.J. et al. // Inorg. Chem. 2003. V. 42. P. 3917.  
<https://doi.org/10.1021/ic034144>
28. Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al. // Dalton Trans. 2008. P. 2832.  
<https://doi.org/10.1039/b801115j>
29. Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R. et al. // J. Phys. Chem. A. 2009. V. 113. P. 5806.  
<https://doi.org/10.1021/jp8111556>