

УДК 546.87:546.121

**МОНО- И БИЯДЕРНЫЕ ИОДИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ Вi(III)  
С 2,2'-БИПИРИДИЛОМ И 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ: СИНТЕЗ И СТРУКТУРА****С.А. Адонин<sup>1,2</sup>, М.Н. Соколов<sup>1,2</sup>, В.П. Федин<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*

E-mail: adonin@niic.nsc.ru

<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия**Статья поступила 28 января 2015 г.*

Моноядерные комплексы  $TVA[Bi(NN)_4]$  ( $TVA$  = тетра-*n*-бутиламмоний,  $NN$  = 2,2'-бипиридил (**1**) и 1,10-фенантролин (**2**)) были получены реакцией  $BiI_3$ , иодистото тетра-*n*-бутиламмония и соответствующего лиганда в ацетоне с последующей кристаллизацией из смеси бензол/ацетон. При изменении растворителя, используемого при кристаллизации, на этанол получены биядерные комплексы  $[Bi_2(NN)_2I_6]$  (**3** и **4**). Кристаллическая структура соединений определена методом РСА.

DOI: 10.15372/JSC20150414

**Ключевые слова:** висмут, иодидные комплексы, 2,2'-бипиридил, 1,10-фенантролин, кристаллические структуры.

Химия полиядерных иодидных комплексов висмута(III) (иодовисмутатов) интенсивно развивается на протяжении последних лет [ 1, 2 ]. Интерес к этой области вызван как прикладными, так и фундаментальными аспектами; в частности, данные соединения могут рассматриваться как прекурсоры фотокаталитических материалов, основанных на  $BiOI$ , изучению которых в последнее время уделяется особое внимание [ 3—8 ]. Кроме того, соединения данного класса проявляют термохромные свойства [ 9 ].

Одним из наиболее примечательных свойств иодовисмутатов является разнообразие их структурных типов, которое обусловлено особенностями координационной химии как висмута, так и иодидного лиганда. В настоящее время известны иодовисмутаты различной нуклеарности (от 1 до 8) [ 10—22 ]. Учитывая, что данные системы являются лабильными и нередко чрезвычайно чувствительны к условиям синтеза (противоион [ 23 ], используемый растворитель [ 24 ]), а также склонны образовывать координационные полимеры, можно утверждать, что систематическое изучение иодовисмутатов является достаточно сложной задачей.

По мнению ряда исследователей, концепция "строительных блоков" неприменима в данной области химии [ 2 ]. Тем не менее можно предположить, что смешаннолигандные иодидные комплексы  $Bi(III)$ , особенно малой нуклеарности, могут играть такую роль, в частности, при синтезе гетерометаллических иодовисмутатных комплексов [ 25—29 ]. В настоящее время известно несколько примеров иодидных комплексов  $Bi(III)$ , содержащих  $N,N$ -бидентатные лиганды [ 30—33 ] и, по меньшей мере, одно гетерометаллическое соединение, содержащее  $Ag(I)$  и фрагменты  $\{Bi(phen)\}$  [ 34 ]. Таким образом, можно утверждать, что синтез смешаннолигандных иодидных комплексов  $Bi(III)$  является актуальной проблемой.

В настоящей работе нами был выполнен синтез  $TVA[Bi(bipy)_4]$  (**1**) и  $TVA[Bi(phen)_4]$  (**2**), а также показана возможность образования как моноядерных, так и биядерных комплексов

( $[\text{Bi}_2\text{I}_6(\text{NN})_2]$ , NN = bipy, phen) в зависимости от растворителя, использованного при кристаллизации.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все процедуры выполнялись на воздухе. Растворители были очищены согласно стандартным методикам; все реактивы были получены из коммерческих источников и использованы без дополнительной очистки. Анализы выполнены в Аналитической лаборатории ИНХ СО РАН. ИК спектры ( $4000\text{—}400\text{ см}^{-1}$ , KBr) были записаны на спектрометре Scimitar FSC-2000.

**Синтез ТВА $[\text{Bi}(\text{bipy})\text{I}_4]$  (1).** 250 мг (0,423 ммоль)  $\text{BiI}_3$  и 156 мг (0,423 ммоль) иодистого *n*-тетрабутиламмония (ТВАI) растворили в 20 мл ацетона. Затем при интенсивном перемешивании добавили раствор 66 мг (0,423 ммоль) bipy в 1 мл ацетона. К полученному оранжевому раствору добавили 15 мл бензола. При постепенном упаривании растворителя при комнатной температуре через 1 сутки образуются светло-оранжевые кристаллы **1**. Выход 80 %. Для  $\text{C}_{26}\text{H}_{44}\text{N}_3\text{I}_4\text{Bi}$  вычислено, %: С 28,0, Н 3,98, N 3,77. Найдено, %: С 27,9, Н 4,02, N 3,80.

ИК,  $\text{см}^{-1}$ : 3097 ср, 3052 ср, 3006 сл, 2954 с, 2868 с, 2015 сл, 1706 сл, 1591 с, 1565 сл, 1475 с, 1461 ср, 1433 с, 1377 ср, 1342 сл, 1312 ср, 1244 сл, 1210 сл, 1170 ср, 1151 ср, 1097 сл, 1069 сл, 1033 сл, 1007 с, 870 ср, 805 сл, 768 с, 730 ср, 643 ср, 624 ср, 498 сл, 449 сл, 404 сл.

**Синтез ТВА $[\text{Bi}(\text{phen})\text{I}_4]$  (2).** Процедура синтеза аналогична описанной выше для **1**, за исключением добавления phen· $\text{H}_2\text{O}$  (84 мг) вместо bipy. Испарение растворителя ведет к одновременному образованию **2** и сольвата ТВА $[\text{Bi}(\text{phen})\text{I}_4]\cdot 0,4\text{C}_6\text{H}_6$  (**2a**), который, согласно данным элементного анализа, полностью теряет сольватные молекулы бензола при выдерживании образца на воздухе в течение 1 дня, также образуя **2**. Общий выход (**2+2a**) 80 %. Для  $\text{C}_{26}\text{H}_{44}\text{N}_3\text{I}_4\text{Bi}$  вычислено, %: С 29,5, Н 3,89, N 3,69. Найдено, %: С 29,4, Н 3,93, N 3,84.

ИК,  $\text{см}^{-1}$ : 3045 ср, 2956 с, 2928 с, 2896 с, 1620 сл, 1587 сл, 1571 сл, 1514 с, 1465 с, 1378 ср, 1344 ср, 1315 сл, 1219 сл, 1141 ср, 1098 ср, 1031 сл, 1006 сл, 893 сл, 861 сл, 847 с, 774 сл, 721 с, 637 ср, 469 сл, 416 ср.

**Синтез  $[\text{Bi}_2(\text{bipy})_2\text{I}_6]$  (3) и  $[\text{Bi}_2(\text{phen})_2\text{I}_6]$  (4).** В обоих случаях процедуры аналогичны вышеописанным для **1** и **2**, за исключением добавления 10 мл этанола вместо бензола. Испарение растворителя ведет к одновременному образованию кристаллов **1** и **3** или **2** и **4** соответственно. **3** и **4** были идентифицированы по кристаллографическим параметрам [32] и [41].

**Рентгеноструктурное исследование (РСА).** Кристаллографические данные и результаты уточнения структуры приведены в табл. 1. Рентгеноструктурный анализ проведен с использованием дифрактометров Bruker Apex Duo (при 150 К для **[2]**) и Bruker X8 Apex (при 298 К для **[2]·0,4C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>** и **[1]**) (графитовый монохроматор,  $\text{MoK}_\alpha$ ,  $\lambda = 0,71073\text{ \AA}$ ,  $\varphi$ - и  $\omega$ -сканирование). Все структуры расшифрованы прямым методом и уточнены полноматричным МНК в анизотропном приближении (кроме атомов водорода) с помощью комплекса программ SHELXTL [43]. Поглощение учтено эмпирически по программе SADABS [44]. Атомы водорода были уточнены в геометрически рассчитанных позициях по модели наездника.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Образование моно- и биядерных комплексов.** Как указано выше, как моно- (**1**, **2**), так биядерные (**3**, **4**) комплексы могут быть получены реакцией  $\text{BiI}_3$ , ТВАI и соответствующего N,N-лиганда в ацетоне. Примечательно, что элементный состав образующихся соединений не зависит от молярного соотношения реагентов (в обоих случаях 1:1:1). Критическую роль в данном случае играет растворитель, применяемый для кристаллизации: в то время как использование смеси ацетон/бензол (или толуол) позволяет получить чистые комплексы ТВА $[\text{Bi}(\text{NN})\text{I}_4]$ , добавление этанола ведет к одновременному образованию ТВА $[\text{Bi}(\text{NN})\text{I}_4]$  и  $[\text{Bi}_2(\text{NN})_2\text{I}_6]$ . Механизм данного явления неясен. Соотношение между моно- и биядерными формами может быть оценено как 1:1, хотя можно предположить, что оно может варьироваться. Структуры биядерного комплекса  $[\text{Bi}_2(\text{bipy})_2(\mu_2\text{-I})_2\text{I}_4]$  и его phen-содержащего аналога были опубликованы ранее [32, 41], однако подходы к синтезу значительно отличаются как друг от друга, так и от исполь-

## Кристаллографические данные и детали дифракционных экспериментов

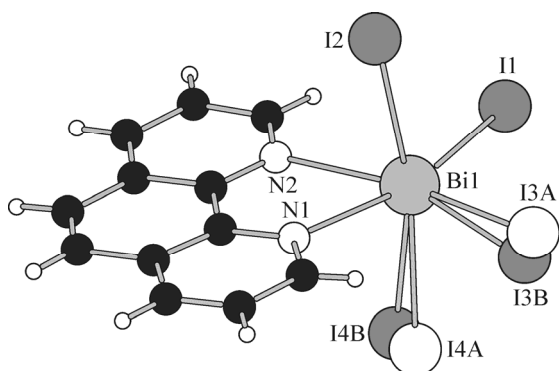
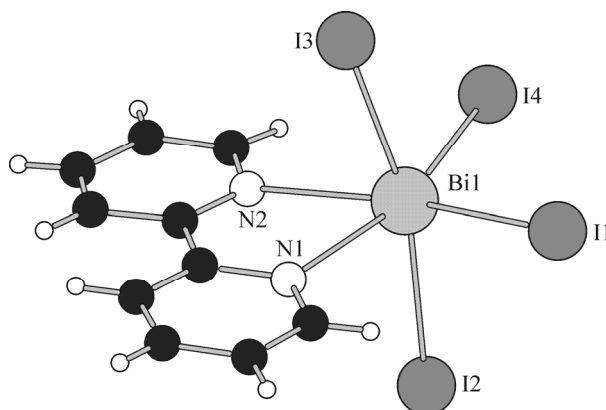
Параметр	Соединение		
	1	2	2·0.4C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Брутто-формула	C <sub>26</sub> H <sub>44</sub> BiI <sub>4</sub> N <sub>3</sub>	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> BiI <sub>4</sub> N <sub>3</sub>	C <sub>30,40</sub> H <sub>46,40</sub> BiI <sub>4</sub> N <sub>3</sub>
<i>M<sub>r</sub></i>	1115,22	1139,24	1170,48
Сингония, пр. гр.	Моноклинная, <i>P2<sub>1</sub>/c</i>	Моноклинная, <i>Cc</i>	Моноклинная, <i>P2<sub>1</sub>/c</i>
Температура, К	296	296	150
<i>a, b, c, Å</i>	12,526(4), 18,178(6), 16,483(5)	12,102(4), 19,817(7), 15,856(7)	11,3646(3), 20,7656(5), 17,2832(6)
$\beta$ , град.	104,571(10)	95,922(9)	108,535(1)
<i>V, Å<sup>3</sup></i>	3632(2)	3782(2)	3867,14(19)
<i>Z</i>	4	4	4
$\rho$ , мм <sup>-1</sup>	8,27	7,95	7,77
Размеры кристалла, мм	0,20×0,10×0,05	0,20×0,15×0,10	0,20×0,06×0,06
<i>T<sub>min</sub>; T<sub>max</sub></i>	0,289; 0,683	0,299; 0,504	0,305; 0,653
Число измер., независ. и набл. [ <i>I</i> > 2 $\sigma$ ( <i>I</i> )] отражений	26276, 7411, 5841	13106, 6602, 5856	25815, 7910, 6211
<i>R<sub>int</sub></i>	0,063	0,035	0,035
Область сканирования по $\theta$ , град.	$\theta_{\max} = 26,5$ ; $\theta_{\min} = 2,0$	$\theta_{\max} = 26,4$ ; $\theta_{\min} = 2,0$	$\theta_{\max} = 26,5$ ; $\theta_{\min} = 1,6$
Диапазон индексов <i>h, k, l</i>	-15 ≤ <i>h</i> ≤ 15, -21 ≤ <i>k</i> ≤ 22, -20 ≤ <i>l</i> ≤ 15	-15 ≤ <i>h</i> ≤ 14, -24 ≤ <i>k</i> ≤ 24, -19 ≤ <i>l</i> ≤ 17	-14 ≤ <i>h</i> ≤ 14, -26 ≤ <i>k</i> ≤ 25, -17 ≤ <i>l</i> ≤ 21
<i>R</i> [ <i>F</i> <sup>2</sup> > 2 $\sigma$ ( <i>F</i> <sup>2</sup> )]; <i>wR</i> ( <i>F</i> <sup>2</sup> ); <i>S</i>	0,030; 0,074; 1,00	0,074; 0,221; 1,02	0,042; 0,110; 1,05
$\Delta\rho_{\max}$ ; $\Delta\rho_{\min}$ , е/Å <sup>-3</sup>	0,79; -0,95	2,84; -1,47	2,29; -1,29
Абсолютный структурный параметр	—	0,979(5)	—

Программы: APEX2 (Bruker-AXS, 2004), SAINT (Bruker-AXS, 2004), SHELXS97 (Sheldrick, 1998), SHELXL97 (Sheldrick, 1998), SHELXTL (Bruker-AXS, 2004), CIFTAB-97 (Sheldrick, 1998).

зованных нами. Комплекс с *biру* был получен "прямым" синтезом (BiI<sub>3</sub>+*biру* в ацетонитриле), в то время как синтез комплекса с *phen* нетривиален (*phen*, BiI<sub>3</sub> и Mn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, смесь вода/этанол, автоклав). Очевидно, авторами [32] была предпринята попытка получения гетерометаллического комплекса, которая оказалась безуспешной.

В целом, наблюдаемый эффект влияния растворителя согласуется с ранее сделанными наблюдениями и выводами о том, что иодидные комплексы Bi(III) благодаря сравнительно низкой энергии связей Bi—I и их высокой лабильности подвержены влиянию катиона и растворителя, что может вызвать перегруппировки молекулярной структуры даже в твердом теле [23, 24].

**Кристаллические структуры.** Структуры комплексов **1** и **2** состоят из катионов TBA и анионов [(NN)BiI<sub>4</sub>]<sup>-</sup>. В обоих случаях атом Bi имеет искаженное октаэдрическое окружение, состоящее из бидентатного N,N-координированного лиганда и четырех иодидных лигандов. О комплексах, содержащих анион [Bi(phen)I<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, сообщалось ранее; роль катиона в опубликованных структурах играли протонированный 1,10-фенантролин или катионный комплекс Bi(III) соответственно [30, 40]. В обоих случаях при синтезе в качестве растворителя был использован ацетонитрил.

Рис. 1. Структура аниона  $[\text{Bi}(\text{phen})\text{I}_4]^-$  в **2a**Рис. 2. Структура аниона **1**

Т а б л и ц а 2

Длины связей в известных полипиридил-галогенидных комплексах Bi(III)

Комплекс	Bi—N (ср)	Bi—X (ср)	Bi—μX (ср)	Ссылка
$[\text{BiTPCCl}_2]\text{Cl} \cdot 2\text{CH}_2\text{Cl}_2^*$	2,62(5)	2,74(6)	—	[ 35 ]
$[\text{BiTPC}][(\text{NO}_3)_2]^*$	2,64(2)	2,74(6)	—	[ 35 ]
$[\text{CH}_3\text{Bi}(\text{bipy})\text{Cl}_2]$	2,534(9)	2,694(3)	—	[ 36 ]
$(\text{bipyH})[(\text{bipy})\text{BiCl}_3]$	2,48(3)	2,680(6)	—	[ 37 ]
$(\text{bipyH})[(\text{bipy})\text{BiCl}_3] \cdot 1,5\text{CH}_3\text{CN}$	2,500(7)	2,680(3)	—	[ 37 ]
$[\text{MeBi}(\text{tmeda})\text{Cl}_2]^*$	2,544(12)	2,702(4)	—	[ 38 ]
$[(\text{bian})\text{BiCl}_2(\mu\text{-Cl})_2]^*$	2,657(2)	2,5023(17)	2,8732(12)	[ 39 ]
$[(\text{phen})\text{BiCl}_3(\text{O-dmso})_2] \cdot \text{dmso}$	2,546(8)	2,686(3)	—	[ 40 ]
$[(\text{bipy})\text{Cl}_2\text{Bi}(\mu\text{-Cl})_2\text{BiCl}_3(\text{bipy})]$	2,57(3)	2,60(1)	2,752(8)	[ 41 ]
$[(\text{phen})_2\text{BiCl}_3]$	2,61(2)	2,661(9)	—	[ 42 ]
$[\text{MeBi}(\text{bipy})\text{Br}_2]$	2,500(4)	2,8269(7)	—	[ 38 ]
$[\text{MeBi}(\text{phen})\text{Br}_2]$	2,508(6)	2,843(1)	—	[ 38 ]
$[\text{MeBi}(\text{tmeda})\text{Br}_2] \cdot \text{THF}^*$	2,515(11)	2,881(4)	—	[ 38 ]
$[(\text{phen})(\text{BiBr}_3(\text{O-dmso})_2)] \cdot \text{dmso}$	2,571(6)	2,837(1)	—	[ 40 ]
$[(\text{bipy})\text{BiBr}_2(\mu\text{-Br})_2\text{BiBr}_2(\text{bipy})] \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}$	2,47(1)	2,730(2)	3,00(1)	[ 41 ]
$[(\text{phen})\text{BiBr}_2(\mu\text{-Br})_2\text{BiBr}_2(\text{phen})] \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}$	2,48(1)	2,717(3)	3,005(3)	[ 41 ]
$[(\text{phen})_2\text{BiBr}_3]$	2,61(3)	2,830(4)	—	[ 37 ]
$[(\text{phen})_2\text{BiBr}_3] \cdot \text{CH}_3\text{CN}$	2,50(7)	2,81(1)	—	[ 42 ]
$[(\text{bipy})_2\text{BiBr}_3]$	2,60(3)	2,825(4)	—	[ 42 ]
$[(\text{phen})\text{BiI}_2(\text{O-dmso})_3][(\text{phen})\text{BiI}_4]$	Катион: 2,53(2) Анион: 2,52(2)	3,008(3) 3,048(3)	— —	[ 40 ]
$[(\text{bipy})\text{BiI}_3(\text{O-dmso})]$	2,56(2)	2,962(4)	—	[ 40 ]
$[(\text{bipy})\text{BiI}_2(\mu\text{-Br})_2\text{BiI}_2(\text{bipy})] \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}$	2,47(1)	2,920(3)	3,236(2)	[ 41 ]
$[(\text{bipy})_2\text{BiI}_3] \cdot \text{CH}_2\text{Cl}_2$	2,64(3)	3,041(3)	—	[ 42 ]
$[(\text{phen})_2\text{BiI}_3] \cdot \text{CH}_2\text{Cl}_2$	2,62(2)	3,043(2)	—	[ 42 ]
$(\text{Bu}_4\text{N})[(\text{bipy})\text{BiI}_4]$	2,539(4)	3,042(1)	—	[ Данная статья ]
$(\text{Bu}_4\text{N})[(\text{phen})\text{BiI}_4] \cdot 0,4\text{C}_6\text{H}_6$	2,546(6)	3,021(3)	—	[ Данная статья ]
$(\text{Bu}_4\text{N})[(\text{phen})\text{BiI}_4]$	2,47(3)	3,029(3)	—	[ Данная статья ]

\* TPC = 1,4,7,10-тетраakis(2-пиридилметил)-1,4,7,10-тетраазациклодекан, bian = бис(2,4,6-(триметил)фенил-имино)аценафтен, tmeda = N,N,N',N'-тетраметилэтан-1,2-диамин.

В структуре  $[2] \cdot 0,4C_6H_6$  анион  $[(phen)BiI_4]^-$  претерпевает ориентационное разупорядочение, обусловленное стремлением избежать близких контактов I...I в кристаллической структуре (рис. 1).

В противоположность этому, несольватированные комплексы **1** и **2** не имеют подобных контактов в твердом теле даже в том случае, когда иодид-лиганды упорядочены (рис. 2). Во всех случаях атомы С и N катионов ТВА имеют большие величины атомных смещений, и попытки расщепить позиции при уточнении структуры  $[2] \cdot 0,4C_6H_6$  приводят к удлинению расстояний С—С и С—N. В структурах **1** и **2** позиции атомов катиона не расщеплены.

Данные о расстояниях Bi—X и Bi—N в подобных комплексах приведены в табл. 2.

Таким образом, в данной работе показано, что в системе  $BiI_3$ —ТВАI—NN, где NN — полипиридилный лиганд, могут образовываться моно- и биядерные смешаннолигандные комплексы. Ключевым фактором является влияние растворителя, используемого при выделении комплексов из реакционного раствора.

Авторы благодарят к.х.н. П.А. Абрамова (ИНХ СО РАН) за интерес к работе и ценные замечания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-23-00013).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu L.-M., Wu X.-T., Chen L. // *Coord. Chem. Rev.* – 2009. – **253**. – P. 2787.
2. Mercier N., Louvain N., Bi W. // *CrystengComm.* – 2009. – **11**. – P. 720.
3. Hahn N.T., Hoang S., Self J.L., Mullins C.B. // *Am. Chem. Soc. Nano.* – 2012. – **6**. – P. 7712.
4. Wang Y., Deng K., Zhang L. // *J. Phys. Chem. C.* – 2011. – **115**. – P. 14300.
5. Zhang X., Ai Z., Jia F., Zhang L. // *J. Phys. Chem. C.* – 2008. – **112**. – P. 747.
6. Chang X., Huang J., Cheng C., Sui Q., Sha W., Ji G., Deng S., Yu G. // *Catal. Commun.* – 2010. – **11**. – P. 460.
7. Lei Y., Wang G., Song S., Fan W., Pang M., Tang J., Zhang H. // *Dalton Trans.* – 2010. – **39**. – P. 3273.
8. Zhang X., Zhang L. // *J. Phys. Chem. C.* – 2010. – **114**. – P. 19198.
9. Goforth A.M., Tershansy M.A., Smith M.D., Peterson L., Kelley J.G., DeBenedetti W.J.I., zur Loye H.-C. // *J. Amer. Chem. Soc.* – 2011. – **133**. – P. 603.
10. Krautscheid H., Vielsack F. // *Z. Anorg. Allg. Chem.* – 1999. – **625**. – P. 562.
11. Krautscheid H. // *Z. Anorg. Allg. Chem.* – 1999. – **625**. – P. 192.
12. Chabot B., Parthe E. // *Acta Crystallogr. B: Struct. Sci.* – 1978. – **34**. – P. 645.
13. Bowmaker G.A., Junk P.C., Lee A.M., Skelton B.W., While A.H. // *Austr. J. Chem.* – 1998. – **51**. – P. 293.
14. Feldmann C. // *Z. Kristallogr.: N. Cryst. Struct.* – 2001. – **216**. – P. 465.
15. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Kunkurdonova B.B., Platonova T.P. // *Russ. J. Inorg. Chem.* – 2011. – **56**. – P. 1272.
16. Okrut A., Feldmann C. // *Z. Anorg. Allg. Chem.* – 2006. – **632**. – P. 409.
17. Kuniak R., Ejsmont K. // *J. Mol. Struct.* – 1999. – **474**. – P. 275.
18. Carmalt C.J., Farruja L.J., Norman N.C. // *Z. Naturforsch. B: Chem. Sci.* – 1995. – **50**. – P. 1591.
19. Adonin S.A., Sokolov M.N., Arbatov P.A. et al. // *Inorg. Chim. Acta.* – 2014. – **419**. – P. 19.
20. Clegg W., Errington R.J., Fisher G.A., Green M.E., Hockless D.C.R., Norman N.C. // *Chem. Ber.* – 1991. – **124**. – P. 2457.
21. Eickmeier H., Jaschinski B., Heppm A., Nuss J., Reuter H., Blachnik R. // *Z. Naturforsch. B: Chem. Sci.* – 1999. – **54**. – P. 305.
22. Adonin S.A., Peresyapkina E.V., Sokolov M.N. et al. // *Russ. J. Coord. Chem.* – 2014. – **40**. – P. 867.
23. Bi W., Mercier N. // *Chem. Commun.* – 2008. – P. 5743.
24. Goforth A.M., Peterson L. Jr., Smith M.D., zur Loye H.-C. // *J. Solid State Chem.* – 2005. – **178**. – P. 3553.
25. Chai W.X., Wu L.M., Li L.Q., Chen L. // *Inorg. Chem.* – 2007. – **46**. – P. 1042.
26. Chai W.X., Wu L.M., Li L.Q., Chen L. // *Inorg. Chem.* – 2007. – **46**. – P. 8698.
27. Feldmann C. // *Inorg. Chem.* – 2011. – **40**. – P. 818.
28. Yuan M.-W., Li L.-H., Chen L. // *Z. Anorg. Allg. Chem.* – 2009. – **11**. – P. 1645.
29. Adonin S.A., Sokolov M.N., Smolentsev A.I., Kozlova S.G., Fedin V.P. // *Dalton Trans.* – 2013. – **42**. – P. 9818.
30. Li F., Yin H.-D., Zhai J., Wang D.-Q. // *Acta Crystallogr. E.* – 2006. – **62**. – P. m1170.

31. *Li H.-H., Wang M., Huang S.-W., Liu J.-B., Lin X., Chen Z.-R.* // *Synth. React. Inorg. Met.-Org. Nano-Met. Chem.* – 2011. – **41**. – P. 1351.
32. *Tershansy M.A., Goforth A.M., Smith M.D., Peterson L. Jr., zur Loye H.-C.* // *Acta Crystallogr. E.* – 2006. – **62**. – P. m2987.
33. *Li F., Yin H., Wang D.* // *Acta Crystallogr. E.* – 2006. – **62**. – P. m437.
34. *Li H., Li J., Wang M., Huang S., Gong A., Wu H., Chen Z.* // *J. Coord. Chem.* – 2012. – **65**. – P. 3851.
35. *Morfin J.-F., Tripier R., Baccon M.L., Handel H.* // *Inorg. Chim. Acta.* – 2009. – **362**. – P. 1781.
36. *Althaus H., Breuing H.J., Lork E.* // *Organometallics.* – 2001. – **20**. – P. 586.
37. *Bowmaker G.A., Harrowfield J.M., Lee A.M., Skelton B.W., White A.H.* // *Aust. J. Chem.* – 1998. – **51**. – P. 311.
38. *Benjamin S.J., Lewason W., Reid G., Rogers M.C., Warr P.R.* // *J. Organomet. Chem.* – 2012. – **708**. – P. 106.
39. *Hill N.J., Reeske G., Moore J.A., Cowley A.H.* // *Dalton Trans.* – 2006. – P. 4838.
40. *Bowmaker G.A., Junk P.C., Lee A.M., Skelton B.W., White A.H.* // *Aust. J. Chem.* – 1998. – **51**. – P. 317.
41. *Bowmaker G.A., Hannaway F.M.M., Junk P.C., Lee A.M., Skelton B.W., White A.H.* // *Aust. J. Chem.* – 1998. – **51**. – P. 325.
42. *Bowmaker G.A., Hannaway F.M.M., Junk P.C., Lee A.M., Skelton B.W., White A.H.* // *Aust. J. Chem.* – 1998. – **51**. – P. 331.
43. SHELXTL (Version 6.12), Bruker Advanced X-ray Solutions, Bruker AXS Inc., Madison Wisconsin, USA, 2004.
44. APEX2 (Version 1.08), SAINT (Version 7.03), and SADABS (Version 2.11), Bruker Advanced X-ray Solutions, Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 2004.