

БРОМОАНТИМОНАТЫ(III) VS БРОМОВИСМУТАТЫ(III): ОТЛИЧИЯ В СКЛОННОСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ ПОЛИЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ¹

© 2023 г. А. Н. Усольцев¹, И. В. Корольков¹, С. А. Адонин¹, *

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

*e-mail: adonin@niic.nsc.ru

Поступила в редакцию 27.09.2022 г.

После доработки 28.10.2022 г.

Принята к публикации 02.11.2022 г.

Синтезированы бромидные комплексы Sb(III) с двухзарядными катионами на основе пиридинов – (PyC₃)₃[Sb₂Br₉]₂ (I), (PyC₄)[Sb₂Br₈] (II), (PyC₅)₂[α-Sb₄Br₁₆] (III), (PyC₆)₂[Sb₂Br₁₀] (IV), (4-MePyC₂)₂[Sb₂Br₁₀] (V), (4-MePyC₃)₂[α-Sb₄Br₁₆] (VI), (4-MePyC₅)₂[α-Sb₄Br₁₆] (VII) и охарактеризованы методом РСА (CCDC № 2204718–2204724). Представлено сравнение структур данных соединений с родственными бромовисмутатами(III).

Ключевые слова: сурьма, висмут, галогенидные комплексы, полиядерные комплексы, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0132344X22600400, **EDN:** UPZMDC

Гомолигандные галогенидные комплексы, или галогенометаллаты (ГМ), составляют обширный класс координационных соединений, который, будучи известным на протяжении многих десятилетий, остается объектом живого интереса химиков-неоргаников [1, 2]. Среди областей потенциального применения можно отметить фотокатализ (особенно для производных Cu [3, 4] и Ag [5, 6]), пьезоэлектрические материалы [7–9] и др., особое внимание привлекают иодидные комплексы Pb(II), которые могут применяться [10–18] в качестве светопоглощающих компонентов солнечных батарей и фотодетекторов.

С точки зрения кристаллохимии, наибольшее разнообразие демонстрируют ГМ элементов 14 и 15 групп: известны анионы различного состава и геометрии (до 8- и 18-ядерных для Bi(III) [19, 20] и Pb(II) [21] соответственно), а также одно-, двух- и трехмерные (для Pb(II) и Sn(II)) координационные полимеры. Так, для Bi(III) известно более 40 структурных типов ГМ, и можно ожидать, что это число не является окончательным [22].

Вопрос “почему ГМ типа X образуется в ходе реакции Y” остается нерешенной проблемой. Считается, что в растворах существуют фрагменты с низкой ядерностью, которые претерпевают самосборку с образованием более сложных структур лишь при формировании кристаллических фаз [23]. Доказано, что на исход реакций получения ГМ (т.е. на образование ГМ определенного типа) влияет несколько факторов, в частности, растворитель и соотношение реагентов. Однако наиболее важную роль играет природа катиона, соль которого используется в синтезе [24]. К сожалению, многочисленные попытки поиска корреляций между природой катион-анионных нековалентных взаимодействий и предпочтительным образованием ГМ того или иного типа [23, 25] пока не увенчались успехом. Нельзя исключать, что общий ответ на поставленный выше вопрос не существует в принципе. Тем не менее, очевидно, что новые исследования в этой области требуют большего количества экспериментальных данных о структурах различных ГМ.

Ранее отмечалось [26], что галогеноантимонаты (ГА) и галогеновисмутаты (ГВ) часто демонстрируют структурное сходство (что кажется логичным, учитывая их место в Периодической системе).

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0132344X22600400 для авторизованных пользователей.

Мы решили проверить, насколько схожими будут структуры ГА и ГВ, образующихся в аналогичных условиях и в присутствии одинаковых органических катионов. Для наших экспериментов мы выбрали дибромидные соли 1,1'-(алкан-1,ω-диил)-бис(пиридиния): их существенным преимуществом является возможность получения серий подобных соединений с практически количественными выходами взаимодействием соответствующих замещенных пиридинов и 1,ω-дибромалканов (реагенты обоих этих классов сравнительно дешевы и доступны) [27–30]. Далее, данные соединения обозначены как PyC_n^{2+} (Py = замещенный пиридин, n = число метиленовых фрагментов).

В настоящей работе нами было получено семь новых бромантимонатов(III): $(\text{PyC}_3)_3[\text{Sb}_2\text{Br}_9]_2$ (I), $(\text{PyC}_4)[\text{Sb}_2\text{Br}_8]$ (II), $(\text{PyC}_5)_2[\alpha\text{-Sb}_4\text{Br}_{16}]$ (III), $(\text{PyC}_6)_2[\text{Sb}_2\text{Br}_{10}]$ (IV), $(4\text{-MePyC}_2)_2[\text{Sb}_2\text{Br}_{10}]$ (V), $(4\text{-MePyC}_4)_2[\alpha\text{-Sb}_4\text{Br}_{16}]$ (VI) и $(4\text{-MePyC}_3)_2[\alpha\text{-Sb}_4\text{Br}_{16}]$ (VII). Обсуждены их кристаллические структуры, а также представлено сравнение с релевантными комплексами Bi(III) , полученными и описанными ранее.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез проводили на воздухе. Исходные реагенты получали из коммерческих источников. Дибромиды 1,1'-(алкан-1,ω-диил)-бис(пиридиния) получали по общей методике, описанной в литературе [31]: соответствующий пиридин и 1,ω-дибромалкан (2.1 : 1) растворяли в кипящем ацетонитриле и кипятили в течение 12 ч, что вело к образованию продуктов в виде белого порошка с выходами, близкими к количественным.

Синтез I–VII. В начальных экспериментах 100 мг (0.34 ммоль) Sb_2O_3 растворяли 4 мл HBr , затем добавляли раствор эквивалентного количества PyC_nBr_2 в 4 мл HBr . Во всех случаях через некоторое время (от десятков минут до 12 ч) образовывались бледно-желтые кристаллы, пригодные для проведения РСА. После определения структуры соотношение реагентов в последующих синтезах меняли соответствующим образом, что вело к повышению выхода (73–87%).

РСА. Детали экспериментов приведены в приложении с дополнительной информацией. Дифракционные данные для монокристаллов получены при 130 К на дифрактометре Agilent Xcalibur с двухкоординатным детектором AtlasS2 (MoK_α -излучение, λ 0.71073 Å, ω -сканирование) при $T = 140$ К. Интегрирование, учет поглощения, определение

параметров элементарной ячейки проведены с использованием пакета программ CrysAlisPro. Кристаллические структуры расшифрованы с использованием программы SHELXT и уточнены полноматричным МНК в анизотропном (за исключением атомов водорода) приближении с использованием программ SHELX 2014/7 [32] и ShelXle [33].

Полные таблицы межатомных расстояний и валентных углов, координаты атомов и параметры атомных смещений депонированы в Кембриджский банк структурных данных (CCDC № 2204718–2204724; <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/>).

Рентгенофазовый анализ проводили с помощью дифрактометра Shimadzu XRD-7000. Построение дифрактограмм и обработка данных проводили с помощью программы X'Pert Plus.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структуры I–VII принадлежат к четырем типам. Структуры I, IV и V содержат биядерные анионы $[\text{Sb}_2\text{Br}_{10}]^{4-}$ и $[\text{Sb}_2\text{Br}_9]^{3-}$ соответственно, которые состоят из двух октаэдров $\{\text{SbBr}_6\}$ с общей гранью либо ребром (рис. 1). Данные мотивы сравнительно типичны для ГМ элементов 15 группы [26], но не для Sb(III) : согласно данным CSD, известно лишь 4 и 15 структур с анионами $[\text{Sb}_2\text{Br}_{10}]^{4-}$ [34–36] и $[\text{Sb}_2\text{Br}_9]^{3-}$ [35, 37–45] соответственно.

Длины связей $\text{Sb}-\text{Br}_{\text{конц}}$ и $\text{Sb}-\mu_2\text{-Br}$ в I, IV и V приведены в табл. 1. Их сопоставление с литературными данными для соответствующих бромовисмутатов(III) показывает, что длины $\text{M}-\text{Br}_{\text{конц}}$ схожи, в то время как $\text{M}-\mu_2\text{-Br}$ заметно больше для соединений Sb(III) . Согласно данным CSD, наибольшие расстояния $\text{Bi}-\mu_2\text{-Br}$ для $[\text{Bi}_2\text{Br}_{10}]^{4-}$ и $[\text{Bi}_2\text{Br}_9]^{3-}$ составляют 3.172 [46] и 3.229 Å [25]. Наиболее вероятной причиной является влияние неподеленной пары, которое должно быть существенно выше в случае Sb(III) .

Альфа-изомеры (согласно классификации, предложенной нами ранее [2]) анионов $[\text{M}_4\text{X}_{16}]^{4-}$ не являются необычными для Bi(III) [2]. Для Sb(III) , они были описаны в нескольких структурах иодо- [47, 48] и двух – бромантимонатов [49, 50] соответственно. В I–VII есть три соединения с анионами данных типов (III, VI и VII) (рис. 2).

Комплекс II содержит биядерные анионы $[\text{Sb}_2\text{Br}_8]^{2-}$, в которых атомы Sb являются пентакоординированными (рис. 3). Подобные структуры крайне редки для Bi(III) [51, 52], который практи-

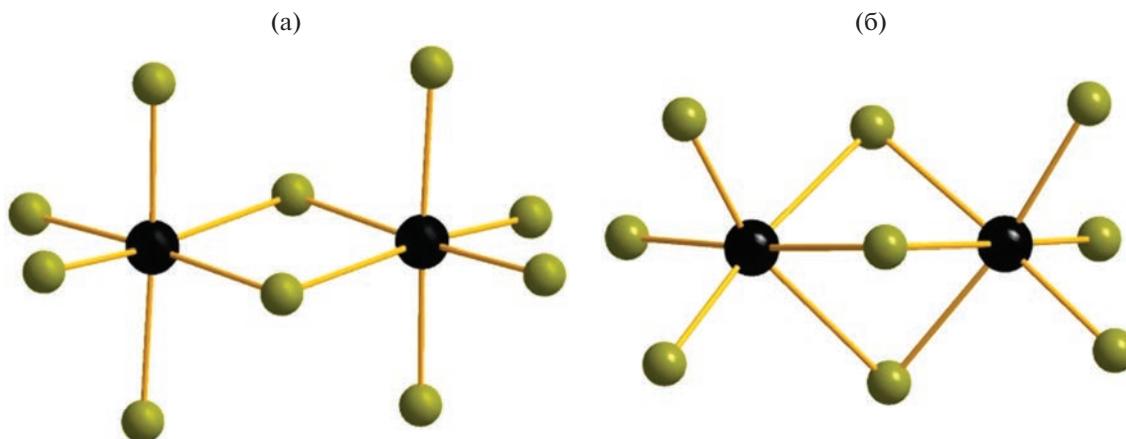


Рис. 1. Анионы $[Sb_2Br_{10}]^{4-}$ (а) и $[Sb_2Br_9]^{3-}$ (б). Здесь и далее атомы Sb обозначены черным, Br оливково-зеленым цветом.

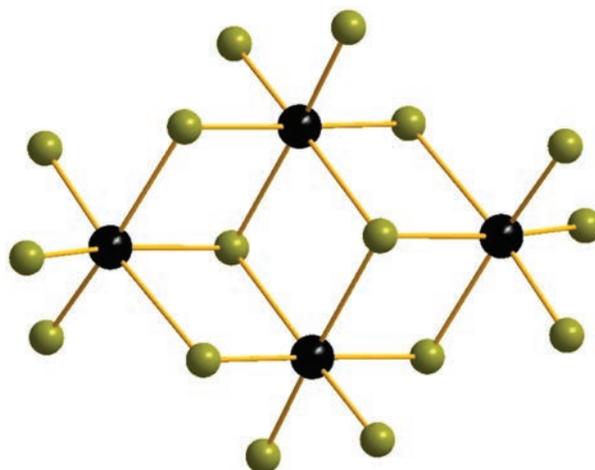


Рис. 2. Анион $[\alpha-Sb_4Br_{16}]^{4-}$.

чески всегда имеет октаэдрическое координационное окружение в галогенидных комплексах. Длины связей $Sb-Br_{конц}$ и $Sb-\mu_2-Br$ составляют 2.524–2.659 и 2.940–3.156 Å соответственно.

В табл. 2 приведены все имеющиеся на сегодняшний день данные о структурах бромантимонатов(III) и бромовисмутатов(III) с 1,1'-(ал-

кан-1,ω-диил)-бис(пиридилий)-дикатионами, включая как данную работу, так и опубликованные ранее результаты (часть из которых была также получена нами). Как следует из оригинальных статей, практически все эти соединения были получены по аналогичной или, по меньшей мере,

Таблица 1. Длины связей $Sb-Br_{конц}$ и $Sb-\mu_2-Br$ в I, IV, V

Комплекс	$Sb-Br_{конц}$, Å	$Sb-\mu_2-Br$, Å
I	2.567–2.670	2.988–3.216
IV	2.668–2.792	2.953–3.064
V	2.602–2.809	3.138–3.208

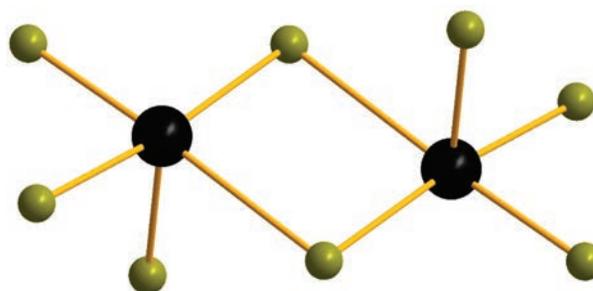


Рис. 3. Анион $[\alpha-Sb_2Br_8]^{2-}$.

Таблица 2. Бромантимонаты(III) и бромовисмутаты(III) с 1,1'-(алкан-1,ω-дил)-бис(пиридиний)-дicationами (обобщение)

Катион	Sb(III)	Литература	Bi(III)	Литература
PyC ₂	[Sb ₂ Br ₁₀] ⁴⁻ /[SbBr ₅] ²⁻	[53]	[Bi ₂ Br ₁₀] ⁴⁻	[54]
PyC ₃	[Sb ₂ Br ₉] ³⁻ (I)	Настоящая работа	[Bi ₂ Br ₉] ³⁻	[55]
PyC ₄	[Sb ₂ Br ₈] ²⁻ (II)	»	[BiBr ₆] ³⁻	[56]
PyC ₅	[α-Sb ₄ Br ₁₆] ⁴⁻ (III)	»	[Bi ₂ Br ₉] ³⁻	[56]
PyC ₆	[Sb ₂ Br ₁₀] ⁴⁻ (IV)	»	[BiBr ₆] ³⁻	[28]
(4-MePy)C ₂	[Sb ₂ Br ₁₀] ⁴⁻ (V)	»	[Bi ₂ Br ₁₀] ⁴⁻	[27]
(4-MePy)C ₃	[α-Sb ₄ Br ₁₆] ⁴⁻ (VI)	»	n/a	n/a
(4-MePy)C ₄	[Sb ₂ Br ₈] ²⁻ /[α-Sb ₄ Br ₁₆] ⁴⁻	[57]	[BiBr ₆] ³⁻	[27]
(4-MePy)C ₅	[α-Sb ₄ Br ₁₆] ⁴⁻ (VII)	Настоящая работа	[Bi ₂ Br ₁₀] ⁴⁻	[27]
(3-MePy)C ₂	[Sb ₂ Br ₉] ³⁻	[55]	[Bi ₂ Br ₁₁] ⁵⁻ /[BiBr ₆] ³⁻	[58]
(3-MePy)C ₃	[β-Sb ₄ Br ₁₆] ⁴⁻	[55]	[Bi ₂ Br ₉] ³⁻	[55]
(3-MePy)C ₄	[α-Sb ₄ Br ₁₆] ⁴⁻	[55]	n/a	n/a

схожей схеме (кислые растворы Sb(III) с избытком бромидного лиганда). Этот факт позволяет провести прямое сопоставление полученных данных.

Можно отметить несколько интересных моментов. Во-первых, для Sb(III) есть шесть случаев, в которых в структуре присутствуют четырехъядерные дискретные анионы (почти всегда [α-Sb₄Br₁₆]⁴⁻), но нет соответствующих бромовисмутатов(III) (практически всегда для аналогичных катионов они образуют биядерные анионы). Во-вторых, ни в одном из случаев не наблюдается образования комплексов с моноядерными [SbBr₆]³⁻. В случаях, когда Bi(III) образует [BiBr₆]³⁻, Sb(III) образует би- или даже тетраядерные анионы (случай необычного полиморфизма с катионом (4-MePy)C₄²⁺ был описан нами ранее [57] и представляется особенно интересным). Эти наблюдения можно обобщить следующим образом: “висмут, как правило, в аналогичных условиях образует дискретные ГМ-анионы с меньшей ядерностью, чем сурьма”.

Авторы сообщают, что у них нет конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-73-10040) и (частично) – Минобрнауки РФ (структурная характеристика образцов, 121031700313-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu L.-M., Wu X.-T., Chen L. // *Coord. Chem. Rev.* 2009. V. 253. № 23–24. P. 2787. <https://doi.org/10.1016/J.CCR.2009.08.003>
2. Adonin S.A., Sokolov M.N., Fedin V.P. // *Coord. Chem. Rev.* 2016. V. 312. P. 1. <https://doi.org/10.1016/J.CCR.2015.10.010>
3. Yue C.-Y., Hu B., Lei X.-W. et al. // *Inorg. Chem.* 2017. V. 56. № 18. P. 10962. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b01171>
4. Lei X.-W., Yue C.-Y., Wang S. et al. // *Dalton Trans.* 2017. V. 46. № 13. P. 4209. <https://doi.org/10.1039/c7dt00262a>
5. Lei X.-W., Yue C.-Y., Wu F. et al. // *Inorg. Chem. Commun.* 2017. V. 77. P. 64. <https://doi.org/10.1016/J.INOCHE.2017.01.010>
6. Lei X.-W., Yue C.-Y., Zhao J.-Q. et al. // *Inorg. Chem.* 2015. V. 54. № 22. P. 10593. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.5b01324>

7. *Bi W., Leblanc N., Mercier N. et al.* // Chem. Mater. 2009. V. 21. № 18. P. 4099.
<https://doi.org/10.1021/cm9016003>
8. *Wojta M., Bator G., Jakubas R. et al.* // J. Phys. Condens. Matter 2003. V. 15. № 33. P. 5765.
<https://doi.org/10.1088/0953-8984/15/33/310>
9. *Leblanc N., Mercier N., Allain M. et al.* // J. Solid State Chem. 2012. V. 195. P. 140.
<https://doi.org/10.1016/J.JSSC.2012.03.020>
10. *Marchenko E.I., Fateev S.A., Petrov A.A. et al.* // J. Phys. Chem. C. 2019. V. 123. № 42. P. 26036.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b08995>
11. *Frolova L.A., Anokhin D.V., Piryazev A.A. et al.* // J. Phys. Chem. Lett. 2017. V. 8. № 7. P. 1651.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.7b00210>
12. *Belich N.A., Tychinina A.S., Kuznetsov V.V. et al.* // Mendeleev Commun. 2018. V. 28. № 5. P. 487.
<https://doi.org/10.1016/j.mencom.2018.09.011>
13. *Fateev S.A., Petrov A.A., Khrustalev V.N. et al.* // Chem. Mater. 2018. V. 30. № 15. P. 5237.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b01906>
14. *Petrov A.A., Sokolova I.P., Belich N.A. et al.* // J. Phys. Chem. C. 2017. V. 121. № 38. P. 20739.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b08468>
15. *Fateev S.A., Stepanov N.M., Petrov A.A. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 7. P. 992.
<https://doi.org/10.1134/S0036023622070075>
16. *Fateev S.A., Khrustalev V.N., Simonova A.V. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 7. P. 997.
<https://doi.org/10.1134/S0036023622070087>
17. *Petrov A.A., Marchenko E.I., Fateev S.A. et al.* // Mendeleev Commun. 2022. V. 32. № 3. P. 311.
<https://doi.org/10.1016/j.mencom.2022.05.006>
18. *Petrov A.A., Fateev S.A., Khrustalev V.N. et al.* // Chem. Mater. 2020. V. 32. № 18. P. 7739.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c02156>
19. *Sharutin V.V., Egorova I.V., Klepikov N.N. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2009. V. 54. № 11. P. 1768.
<https://doi.org/10.1134/S0036023609110126>
20. *Krautscheid H.* // Zeitschrift Anorg. Allg. Chem. 1995. V. 621. № 12. P. 2049.
<https://doi.org/10.1002/zaac.19956211212>
21. *Krautscheid H., Vielsack F.* // Angew. Chem. Int. Ed. 1995. V. 34. № 18. P. 2035.
<https://doi.org/10.1002/anie.199520351>
22. *Adonin S.A., Sokolov M.N., Fedin V.P.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2017. V. 62. № 14.
<https://doi.org/10.1134/S0036023617140029>
23. *Mercier N., Louvain N., Bi W.* // CrystEngComm. 2009. V. 11. № 5. P. 720.
<https://doi.org/10.1039/b817891g>
24. *Adonin S.A., Gorokh I.D., Novikov A.S. et al.* // Polyhedron. 2018. V. 139.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2017.11.002>
25. *Adonin S.A., Gorokh I.D., Samsonenko D.G. et al.* // Polyhedron. 2019. V. 159. P. 318.
<https://doi.org/10.1016/J.POLY.2018.12.017>
26. *Fisher G.A., Norman N.C.* // Adv. Inorg. Chem. 1994. V. 41. P. 233.
[https://doi.org/10.1016/S0898-8838\(08\)60173-7](https://doi.org/10.1016/S0898-8838(08)60173-7)
27. *Kotov V.Y., Ilyukhin A.B., Simonenko N.P. et al.* // Polyhedron. 2017. V. 137. P. 122.
<https://doi.org/10.1016/J.POLY.2017.08.016>
28. *Kotov V.Y., Simonenko N.P., Ilyukhin A.B.* // Mendeleev Commun. 2017. V. 27. № 5. P. 454.
<https://doi.org/10.1016/J.MENCOM.2017.09.007>
29. *Kotov V.Y., Ilyukhin A.B., Sadovnikov A.A. et al.* // Mendeleev Commun. 2017. V. 27. № 3. P. 271.
<https://doi.org/10.1016/J.MENCOM.2017.05.018>
30. *Buikin P.A., Rudenko A.Y., Baranchikov A.E. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2018. V. 44. № 6. P. 373.
<https://doi.org/10.1134/S1070328418060015>
31. *Chang J.-C., Ho W.-Y., Sun I.-W. et al.* // Polyhedron. 2010. V. 29. № 15. P. 2976.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2010.08.010>
32. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. № 1. P. 3.
<https://doi.org/10.1107/S2053229614024218>
33. *Hübschle C.B., Sheldrick G.M., Dittrich B. et al.* // J. Appl. Crystallogr. 2011. V. 44. № 6. P. 1281.
<https://doi.org/10.1107/S0021889811043202>
34. *Zhang W., Sun Z., Zhang J. et al.* // J. Mater. Chem. C. 2017. V. 5. № 38. P. 9967.
<https://doi.org/10.1039/c7tc02721d>
35. *Stewart J.M., McLaughlin K.L., Rossiter J.J. et al.* // Inorg. Chem. 1974. V. 13. № 11. P. 2767.
<https://doi.org/10.1021/ic50141a046>
36. *Terao H., Ninomiya S., Hashimoto M. et al.* // J. Mol. Struct. 2010. V. 965. № 1–3. P. 68.
<https://doi.org/10.1016/J.MOLSTRUC.2009.11.040>
37. *Kharrat H., Kamoun S., Michaud F.* // Acta Crystallogr. E. 2013. V. 69. № 7. P. M353.
<https://doi.org/10.1107/S1600536813014335>
38. *Sun Z., Zeb A., Liu S. et al.* // Angew. Chem. Int. Ed. 2016. V. 55. № 39. P. 11854.
<https://doi.org/10.1002/anie.201606079>
39. *Hall M., Nunn M., Begley M.J. et al.* // Dalton Trans. 1986. № 6. P. 1231.
<https://doi.org/10.1039/DT9860001231>
40. *Wojtaś M., Jakubas R., Ciunik Z. et al.* // J. Solid State Chem. 2004. V. 177. № 4–5. P. 1575.
<https://doi.org/10.1016/J.JSSC.2003.12.011>
41. *Bujak M., Zaleski J.* // Acta Crystallogr. E. 2007. V. 63. № 1. P. M102.
<https://doi.org/10.1107/S1600536806051920>
42. *Jaschinski B., Blachnik R., Reuter H.* // Z. Anorg. Allg. Chem. 1999. V. 625. № 4. P. 667.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3749\(199904\)625:4<667::AID-ZAAC667>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3749(199904)625:4<667::AID-ZAAC667>3.0.CO;2-B)

43. Porter S.K., Jacobson R.A. // J. Chem. Soc. A. 1970. P. 1359.
<https://doi.org/10.1039/J19700001359>
44. Jha N.K., Rizvi S.S.A. // J. Inorg. Nucl. Chem. 1974. V. 36. № 7. P. 1479.
[https://doi.org/10.1016/0022-1902\(74\)80610-X](https://doi.org/10.1016/0022-1902(74)80610-X)
45. Wang Q., Zhang W.-Y., Shi P.-P. et al. // Chem. – An Asian J. 2018. V. 13. № 19. P. 2916.
<https://doi.org/10.1002/asia.201801056>
46. Wang Y.K., Wu Y.L., Lin X.Y. et al. // J. Mol. Struct. 2018. V. 1151. P. 81.
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.09.033>
47. Dennington A.J., Weller M.T. // Dalton Trans. 2018. V. 47. № 10. P. 3469.
<https://doi.org/10.1039/c7dt04280a>
48. Sharutin V.V., Pakusina A.P., Sharutina O.K. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2004. V. 30. № 8. P. 541.
<https://doi.org/10.1023/B:RUCCO.0000037432.61330.07>
49. Antolini L., Benedetti A., Fabretti A.C. et al. // Dalton Trans. 1988. № 9. P. 2501.
<https://doi.org/10.1039/DT9880002501>
50. Wojtaś M., Bil A., Gagor A. et al. // CrystEngComm. 2016. V. 18. № 14. P. 2413.
<https://doi.org/10.1039/c6ce00160b>
51. Alcock N.W., Ravindran M., Willey G.R. // Chem. Commun. 1989. № 15. P. 1063.
<https://doi.org/10.1039/C39890001063>
52. Krautscheid H. // Z. Anorg. Allg. Chem. 1999. V. 625. № 2. P. 192.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3749\(199902\)625:2<192::AID-ZAAC192>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3749(199902)625:2<192::AID-ZAAC192>3.0.CO;2-6)
53. Usoltsev A.N., Sukhikh T.S., Novikov A.S. et al. // Inorg. Chem. 2021.
<https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c03699>
54. Adonin S.A., Rakhmanova M.I., Samsonenko D.G. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2016. V. 450.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2016.06.010>
55. Usol'tsev A.N., Sokolov M.N., Fedin V.P. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 6. P. 827.
<https://doi.org/10.1134/S003602362106019X>
56. Adonin S.A., Gorokh I.D., Samsonenko D.G. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 469.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2017.08.058>
57. Usol'tsev A.N., Petrov M.D., Korol'kov I.V. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2021. V. 47. № 9. P. 620.
<https://doi.org/10.1134/S107032842108008X>
58. Adonin S.A., Sokolov M.N., Fedin V.P. // J. Struct. Chem. 2019. V. 60. № 10. P. 1655.
<https://doi.org/10.1134/S0022476619100111>