

БИС(БРОМДИФТОРАЦЕТАТ) ТРИ-ПАРА-ТОЛИЛВИСМУТА. СИНТЕЗ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ

В.С. Сенчури

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Взаимодействием три(*пара*-толил)висмута с бромдифторуксусной кислотой в присутствии *трет*-бутилгидропероксида в эфире получен *бис*(бромдифторацетат) три(*пара*-толил)висмута. По данным рентгеноструктурного анализа, проведенного при 293 К на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (двухкоординатный CCD – детектор, MoK α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор) кристалла [C₂₅H₂₁O₄F₄Br₂Bi, *M* 830,22; сингония триклинная, группа симметрии *P*-1; параметры ячейки: *a* = 10,292(8), *b* = 11,752(9), *c* = 12,693(9) Å; $\alpha = 89,42(2)$ град., $\beta = 78,04(3)$ град., $\gamma = 78,04(3)$ град.; *V* = 1424,8(18) Å³; размер кристалла 0,73×0,57×0,41 мм; интервалы индексов отражений $-13 \leq h \leq 13$, $-15 \leq k \leq 15$, $-16 \leq l \leq 16$; всего отражений 45443; независимых отражений 7096; *R*_{int} 0,1030; GOOF 1,049; *R*₁ = 0,0739, *wR*₂ = 0,1834; остаточная электронная плотность 2,11/–2,78 e/Å³] атом висмута имеет искаженную тригонально-бипирамидальную координацию. Аксиальный угол OBiO равен 172,2(3)°, сумма углов SBiC в экваториальной плоскости составляет 360,6°. Длины аксиальных связей Bi–O равны 2,275(8) Å и 2,295(8) Å; интервал изменения длин экваториальных связей Bi–C составляет 2,187(10)–2,212(13) Å. В структуре *бис*(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута присутствуют внутримолекулярные контакты между атомами висмута и кислорода карбоксилатных лигандов. Расстояния Bi⋯O=C составляют 3,127(10) и 3,159(10) Å, что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов висмута и кислорода (3,59 Å). В кристалле отсутствуют межмолекулярные контакты H⋯Hal. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структуры депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1923097; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Ключевые слова: три(*пара*-толил)висмут, бромдифторуксусная кислота, *бис*(бромдифторацетат) три(*пара*-толил)висмута, синтез, строение, рентгеноструктурный анализ.

Введение

В последние годы активно изучается биологическая активность дикарбоксилатов триарилвисмута [1–6]. Однако, если число структурно охарактеризованных дикарбоксилатов трифенилвисмута достигает 25 соединений по данным Кембриджского банка структурных данных [7], то для дикарбоксилатов тритолилвисмута этот показатель ограничивается тремя соединениями с *мета*-толильными заместителями [8], одним с *орто*-толильными – аддукт *бис*(хлорацетата) три(*орто*-толил)висмута с хлоруксусной кислотой [9] и двумя с *пара*-толильными – *бис*(пентафторбензоат) и *бис*(хлорацетат) три(*пара*-толил)висмута [10, 11].

В настоящей работе рассматриваются синтез и особенности строения *бис*(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута, полученного окислением три(*пара*-толил)висмута *трет*-бутилгидропероксидом в присутствии бромдифторуксусной кислоты (1:1:2 мольн.).

Экспериментальная часть

Синтез *бис*(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута. Смесь 0,300 г (0,62 ммоль) три(*пара*-толил)висмута, 0,218 г (1,24 ммоль) бромдифторуксусной кислоты и 0,086 г (0,62 ммоль) 65%-ного водного раствора *трет*бутилгидропероксида в 20 мл диэтилового эфира выдерживали при комнатной температуре 24 ч. После испарения растворителя остаток перекристаллизовывали из смеси бензол-гептан (5:1 объемн.). Получили 0,449 г (87 %) светло-желтых кристаллов *бис*(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута с т. разл. 161 °С. ИК-спектр, (ν , см⁻¹): 3090, 2954, 2868, 1689, 1560, 1541, 1487, 1356, 1190, 1143, 1051, 997, 795, 418.

ИК-спектр записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 см⁻¹.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Mo K α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [12]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программ SHELXL/PC [14] и OLEX2 [13]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{экв}}(\text{C})$). Кристаллографические данные и результаты уточнения структуры приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры

Параметр	Значение
Формула	C ₂₅ H ₂₁ O ₄ F ₄ Br ₂ Bi
<i>M</i>	830,22
<i>T</i> , К	293,15
Сингония	Триклинная
Пр. группа	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	10,292(8)
<i>b</i> , Å	11,752(9)
<i>c</i> , Å	12,693(9)
α , град	89,42(2)
β , град	78,04(3)
γ , град	71,86(5)
<i>V</i> , Å ³	1424,8(18)
<i>Z</i>	2
ρ (выч.), г/см ³	1,935
μ , мм ⁻¹	9,045
<i>F</i> (000)	784,0
Форма кристалла (размер, мм)	обломок (0,73×0,57×0,41)
Область сбора данных по θ , град	5,92–56,98
Интервалы индексов отражений	-13 ≤ <i>h</i> ≤ 13, -15 ≤ <i>k</i> ≤ 15, -16 ≤ <i>l</i> ≤ 16
Измерено отражений	45443
Независимых отражений	7096
<i>R</i> _{int}	0,1030
Переменных уточнения	328
GOOF	1,049
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	<i>R</i> ₁ = 0,0739, <i>wR</i> ₂ = 0,1834
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ = 0,0999, <i>wR</i> ₂ = 0,2008
Остаточная электронная плотность (min/max), е/Å ³	2,11/-2,78

Таблица 2

Длины связей и валентные углы

Связь <i>d</i> , Å		Угол ω , °	
Bi(1)–O(1)	2,275(8)	O(1)Bi(1)O(3)	172,2(3)
Bi(1)–O(3)	2,295(8)	C(1)Bi(1)C(11)	110,2(4)
Bi(1)⋯O(2)	3,127(10)	C(11) Bi (1)C(21)	136,7(4)
Bi(1)⋯O(4)	3,159(10)	C(1) Bi (1)C(21)	113,1(5)
Bi(1)–C(1)	2,187(10)	C(1)Bi(1)O(1)	86,9(4)
Bi(1)–C(11)	2,190(12)	C(11)Bi(1)O(1)	91,0(4)
Bi(1)–C(21)	2,212(13)	C(21)Bi(1)O(1)	91,0(4)

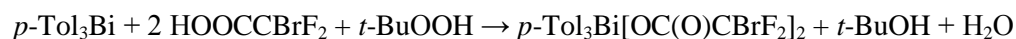
Связь d , Å		Угол ω , °	
O(1)–C(8)	1,287(15)	C(1)Bi(1)O(3)	86,0(3)
O(2)–C(8)	1,227(16)	C(11)Bi(1)O(3)	94,7(4)
O(3)–C(18)	1,268(14)	C(21)Bi(1)O(3)	88,5(4)
O(4)–C(18)	1,215(16)		

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1923097; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Обсуждение результатов

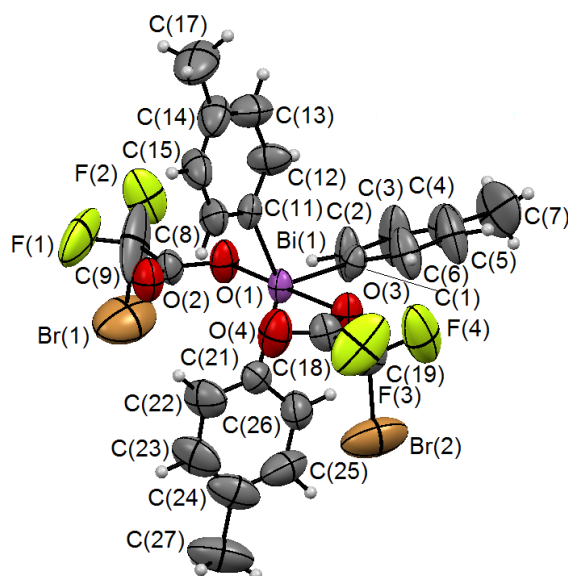
В данной работе было изучено взаимодействие три(*пара*-толил)висмута с бромдифторуксусной кислотой (2:1 мольн.) в присутствии *трет*-бутилгидропероксида, а также структурно охарактеризован продукт реакции: *бис*(бромдифторацетат) три(*пара*-толил)висмута.

Одним из методов синтеза дикарбоксилатов триарилвисмута является реакция окислительного присоединения с участием триарилвисмута, карбоновой кислоты и пероксидного окислителя. Данный метод хорошо изучен для трифенилвисмута и различных карбоновых кислот [11, 15–24], но практически не исследован для толильных производных. Установлено, что реакция три(*пара*-толил)висмута с бромдифторуксусной кислотой в присутствии *трет*-бутилгидропероксида протекала по обычной схеме:



По данным РСА, атом висмута в соединении имеет искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с аксиально расположенными карбоксильными группами (см. рисунок). Аксиальный угол OBiO равен 172,2(3)°, сумма углов CBiC в экваториальной плоскости составляет 360,6°. Длины аксиальных связей Bi–O равны 2,275(8) Å и 2,295(8) Å, длины связей Bi–C изменяются в интервале 2,187(10)–2,212(13) Å.

Внутримолекулярные расстояния Bi⋯O=C в молекуле соединения незначительно отличаются друг от друга (3,127(10) и 3,159(10) Å) и меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов висмута и кислорода (3,59 Å) [25]. Необходимо отметить, что в кристалле *бис*(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута отсутствуют межмолекулярные контакты H⋯Hal. Наиболее короткие расстояния H⋯Br (3,22 Å) и H⋯F (3,31 Å) превышают суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов водорода и брома (2,93 Å) и водорода и фтора (2,57 Å) [25].



Общий вид молекулы *бис*(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута

Выводы

Установлено, что взаимодействие три(*пара*-толил)висмута с бромдифторуксусной кислотой в присутствии *трет*-бутилгидропероксида приводит к образованию бис(бромдифторацетата) три(*пара*-толил)висмута. Бромдифторацетатные лиганды, имеющие в составе карбоксильных групп атомы кислорода с неподеленными электронными парами, обуславливают дополнительную координацию с центральным атомом висмута, что приводит к увеличению его координационного числа до 7.

Благодарности

Выражаю благодарность проф. В.В. Шарутина за рентгеноструктурный анализ кристалла соединения.

Литература

1. Stability and Toxicity of *Tris*-tolyl Bismuth(V) Dicarboxylates and Their Biological Activity Towards / Y.C. Ong, V.L. Blair, L. Kedzierski et al. // *Leishmania Major*. Dalton Trans. – 2015. – V. 44. – P. 18215–18226. DOI: 10.1039/c5dt03335g.
2. Tiekink, E.R.T. Antimony and Bismuth Compounds in Oncology / E.R.T. Tiekink // *Crit. Rev. Oncol. / Hematol.* – 2002. – V. 42, № 3. – P. 217–224. DOI: org/10.1016/S1040-8428(01)00217-7.
3. Synthesis, Characterization and In Vitro Cytotoxicity Screening of Some Triaryl(bismuth(V) Di(*N*-salicylidene)amino Carboxylates and the Crystal Structure of (2-HOC₆H₄CH=NCH₂CO₂)₂Bi(C₆H₅)₃ / G.-C. Wang, J. Xiao, Y.-N. Lu et al. // *Appl. Organomet. Chem.* – 2005. – V. 19, № 1. – P. 113–117. DOI: 10.1002/aoc.749.
4. Synthesis, Crystal Structures, DNA Interaction and Anticancer Activity of Organobismuth(V) Complexes / L. Cui, C. Bi, Y. Fan et al. // *Inorgan. Chim. Acta.* – 2015. – V. 437, № 1. – P. 41–46. DOI: 10.1016/j.ica.2015.07.008.
5. Synthesis, Characterization and Cytotoxicity of Some Triaryl(bismuth(V) Di(*N*-*p*-toluenesulfonyl) Aminoacetates and the Crystal Structure of (4-CH₃C₆H₄SO₂NHCH₂CO₂)₂Bi(C₆H₄Cl-4)₃ / L.Yu, Y.-Q. Ma, G.-C. Wang et al. // *Appl. Organomet. Chem.* – 2004. – V. 18, № 4. – P. 187–190. DOI: 10.1002/aoc.609.
6. Comparative Stability, Toxicity and Anti-leishmanial Activity of Triphenyl Antimony(V) and Bismuth(V) α -Hydroxy Carboxylato Complexes / R.N. Duffin, V.L. Blair, L. Kedzierski et al. // *Dalton Trans.* – 2018. – V. 47. – P. 971–980. DOI: 10.1039/C7DT04171C.
7. Cambridge Crystallographic Data Center. 2019. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).
8. Шарутин, В.В. Синтез и строение дикарбоксилатов три-*мета*-толилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчурин // *Журн. неорган. химии.* – 2014. – Т. 59, № 1. – С. 42–46. DOI: 10.7868/S0044457X14010164.
9. Андреев, П.В. Строение аддукта бис(хлорацетата) три(*о*-толил)висмута с хлоруксусной кислотой / П.В. Андреев // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия».* – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 59–65. DOI: 10.14529/chem190307.
10. Особенности строения дикарбоксилатов триарилвисмута Ar₃Bi[OC(O)R]₂ / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина и др. // *Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения.* – 2002. – Т. 2, № 9. – С. 59–64.
11. Шарутин, В.В. Дикарбоксилаты триарилвисмута Ar₃Bi[OC(O)R]₂, Ar = *p*-Tol, R = CH₂Cl; Ar = Ph, R = C₆H₄OMe-2, CH=CHPh / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.Н. Ефремов // *Журн. неорган. химии.* – 2019. – Т. 64, № 2. – С. 159–164. DOI: 10.1134/S0044457X19020181.
12. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
13. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures From Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
14. OLEX2: Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program / O.V. Dolomanov, L.J. Bourhis, R.J. Gildea et al. // *J. Appl. Cryst.* – 2009. – V. 42. – P. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.

15. Додонов, В.А. Синтез и некоторые реакции диацилатов трифенилвисмута / В.А. Додонов, А.В. Гушин, Т.Г. Брилкина // Журн. общ. химии. – 1985. – Т. 55, № 1. – С. 73–80.
16. Додонов, В.А. Синтез диацилатов трифенилвисмута / В.А. Додонов, А.В. Гушин, А.В. Ежова // Журн. общ. химии. – 1988. – Т. 58, № 9. – С. 2170–2171.
17. Особенности строения дикарбоксилатов трифенилвисмута / И.В. Егорова, В.В. Шарутин, Т.К. Иваненко и др. // Коорд. химия. – 2006. – Т. 32, № 9. – С. 672–679.
18. *Bis*(but-2-enoato-κO)triphenylbismuth(V) / P.V. Andreev, N.V. Somov, O.S. Kalistratova et al. // Acta Cryst. – 2013. – V. E69, № 6. – m 333. DOI: 10.1107/S1600536813013317.
19. Synthesis and Structural Study of TriphenylbismuthBis(Salicylate) / K. Feham, A. Benkadari, A. Chouaih et al. // Crystal Structure Theory and Applications. – 2013. – V. 2, no. 1. – P. 28–33. DOI: 10.4236/csta.2013.21004.
20. Шарутин, В.В. Синтез и строение *bis*(пентахлорбензоата)трифенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина // Журн. неорганической химии. – 2014. – Т. 59, № 6. – С. 734–737. DOI: 10.7868/S0044457X14060208.
21. Facile One-Pot Synthesis of Triphenylbismuth(V) *Bis*(carboxylate) Complexes / I. Kumar, P. Bhattacharya, K.H. Whitmire et al. // Organometallics. – 2014. – V. 33, № 11. – P. 2906–2909. DOI: 10.1021/om500337z.
22. Kumar, I. Structural Diversity in Phenyl Bismuth(III) *Bis*(carboxylate) Complexes / I. Kumar, P. Bhattacharya, K.H. Whitmire // J. Organomet. Chem. – 2015. – V. 794. – P. 153–167. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2015.06.023.
23. Synthesis of Triphenylbismuth *Bis*(2-methylpropenoate) / V.A. Verkhovyykh, O.S. Kalistratova, A.I. Grishina et al. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 61–65.
24. Synthesis and Structures of Triphenylbismuth *Bis*[3-(2-Furyl)Acrylate] $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})]_2$ and Triphenylbismuth Di-*meta*-nitrocinnamate $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_4)_2$ / A.A. Gusakovskaya, O.S. Kalistratova, P.V. Andreev et al. // Cryst. Rep. – 2018. – V. 63, № 2. – P. 186–190. DOI: 10.1134/S1063774518020062.
25. Consistent Van der Waals Radii for the Whole Main Group / M. Mantina, A.C. Chamberlin, R. Valero et al. // J. Phys. Chem. A. – 2009. – V. 113, iss. 19. – P. 5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.

Сенчурин Владислав Станиславович – доктор химических наук, профессор, кафедра теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск). 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: senchurinvs@susu.ru.

Поступила в редакцию 4 сентября 2020 г.

DOI: 10.14529/chem200404

TRIS(PARA-TOLYL)BISMUTH BIS(BROMODIFLUOROACETATE). SYNTHESIS AND STRUCTURE FEATURES

V.S. Senchurin, senchurinvs@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The interaction of tri(*para*-tolyl)bismuth with *tert*-butyl hydroperoxide and bromodifluoroacetic acid in diethyl ether have synthesized *tris*(*para*-tolyl)bismuth *bis*(bromodifluoroacetate). The X-ray diffraction pattern for the crystal has been obtained at 293 K on an automatic diffractometer D8 Quest Bruker (MoK_α -radiation, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, graphite monochromator), the results are $[\text{C}_{25}\text{H}_{21}\text{O}_4\text{F}_4\text{Br}_2\text{Bi}]$, $M 830.22$, the triclinic syngony, the symmetry group $P-1$; cell parameters: $a = 10.292(8)$, $b = 11.752(9)$, $c = 12.693(9) \text{ \AA}$, $\alpha = 89.42(2)$ degrees, $\beta = 78.04(3)$ degrees, $\gamma = 78.04(3)$ degrees; $V = 1424.8(18) \text{ \AA}^3$; the crystal size is $0.73 \times 0.57 \times 0.41 \text{ mm}$; intervals of reflection indexes are $-13 \leq h \leq 13$, $-15 \leq k \leq 15$, $-16 \leq l \leq 16$; total reflections 45443; independent ref-

lections 7096; R_{int} 0.1030; GOOF 1.049; $R_1 = 0.0739$, $wR_2 = 0.1834$; residual electron density 2.11/–2.78 e/Å³], the bismuth atom have a distorted trigonal-bipyramidal coordination. The OB–iO axial angle is 172.2(3) degrees; the sum of the CBiC angles in the equatorial plane is 360.6. The Bi–O and Bi–C bond lengths are 2.275(8), 2.295(8) Å and 2.187(10)–2.212(13) Å. The Bi···O=C distances are 3.127(10) and 3.159(10) Å, which is less than the sum of the van der Waals radii of bismuth and oxygen (3.59 Å). There are no intermolecular contacts H···Hal in the crystal. Complete tables of coordinates of atoms, bond lengths and valence angles for the structure are deposited at the Cambridge Structural Data Bank (no. 1923097; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: *tri(para-tolyl)bismuth, bromodifluoroacetic acid, tris(para-tolyl)bismuth bis(bromodifluoroacetate), synthesis, structure, X-ray analysis.*

References

1. Ong Y.C., Blair V.L., Kedzierski L., Tuck K.L., Andrews P.C. Stability and Toxicity of *Tris*-tolyl Bismuth(V) Dicarboxylates and Their Biological Activity Towards *Leishmania Major*. *Dalton Trans.*, 2015, vol. 44, pp. 18215–18226. DOI:10.1039/c5dt03335g.
2. Tiekink E.R.T. Antimony and Bismuth Compounds in Oncology. *Crit. Rev. Oncol./Hematol.*, 2002, vol. 42, no. 3, pp. 217–224. DOI: org/10.1016/S1040-8428(01)00217-7.
3. Wang G.-C., Xiao J., Lu Y.-N., Xiao J., Lu Y.-N., Yu L., Song H.-B., Li J.-S., Cui J.-R., Wang R.-Q., Ran F.-X., Wang H.-G. Synthesis, Characterization and In Vitro Cytotoxicity Screening of Some Triaryl(bismuth(V) Di(N-salicylidene)amino Carboxylates and the Crystal Structure of (2-HOC₆H₄CH=NCH₂CO₂)₂Bi(C₆H₅)₃. *Appl. Organomet. Chem.*, 2005, vol. 19, no. 1, pp. 113–117. DOI:10.1002/aoc.749.
4. Cui L., Bi C., Fan Y., Li X., Meng X., Zhang N., Zhang Z. Synthesis, Crystal Structures, DNA Interaction and Anticancer Activity of Organobismuth(V) Complexes. *Inorgan. Chim. Acta.*, 2015, vol. 437, no. 1, pp. 41–46. DOI: 10.1016/j.ica.2015.07.008.
5. Yu L., Ma Y.-Q., Wang G.-C., Hai-Bin S., Hong-Geng W., Jin-Shan L., Jing-Rong C., Rui-Qing W. Synthesis, Characterization and Cytotoxicity of Some Triaryl(bismuth(V) Di(N-*p*-toluenesulfonyl) Aminoacetates and the Crystal Structure of (4-CH₃C₆H₄SO₂NHCH₂CO₂)₂Bi(C₆H₄Cl-4)₃. *Appl. Organomet. Chem.*, 2004, vol. 18, no. 4, pp. 187–190. DOI: 10.1002/aoc.609.
6. Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L., Andrews P.C. Comparative Stability, Toxicity and Anti-leishmanial Activity of Triphenyl Antimony(V) and Bismuth(V) α -Hydroxy Carboxylato Complexes. *Dalton Trans.*, 2018, vol. 47, pp. 971–980. DOI: 10.1039/C7DT04171C.
7. Cambridge Crystallographic Data Center. 2018. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).
8. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Synthesis and Structure of Tri-*m*-tolylbismuth Dicarboxylates. *Russ. J. Inorgan. Chem.*, 2013, vol. 58, no. 12, pp. 1470–1474. DOI: 10.1134/S003602361401015X.
9. Andreev P.V. Atomic Structure of Inclusion Complex of 3(*o*-Tolyl)bismuth Bis(Chloroacetate) with Chloroacetic Acid. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2019, vol. 11, no. 3, pp. 59–65. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem190307
10. Sharutin V.V., Egorova I.V., Sharutina O.K., Ivanenko T.K., Pushilin M.A., Gerasimenko A.V. [Structural Features of Triaryl(bismuth Dicarboxylates)]. *Khim. Komp. Model. Butlerov. Soobshchen. [Chem. Computat. Simul. Butlerov Commun.]*, 2002, vol. 2, no. 9, pp. 59–64. (in Russ.).
11. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N. Triaryl(bismuth Dicarboxylates Ar₃Bi[OC(O)R]₂, Ar = *p*-Tol, R = CH₂Cl; Ar = Ph, R = C₆H₄OMe-2, CH=CHPh. *Russ. J. Inorgan. Chem.*, 2019, vol. 64, no. 2, pp. 196–200. DOI: 10.1134/S0036023619020189.
12. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
13. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures From Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
14. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. OLEX2: Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program. *J. Appl. Cryst.*, 2009, vol. 42, pp. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.

15. Dodonov V.A., Gushchin A.V., Brilkina T.G. [Synthesis and Some Reactions of Triphenylbismuth Diacylates]. *Zhurn. Obshch. Khimii* [*J. Gen. Chem.*], 1985, vol. 55, no. 1, pp. 73–80. (in Russ.).
16. Dodonov V.A., Gushchin A.V., Ezhova M.B. [Synthesis of Triphenylbismuth Diacylates]. *Zhurn. Obshch. Khimii* [*Journal of General Chemistry*], 1988, vol. 58, no. 9, pp. 2170–2171. (in Russ.).
17. Egorova I.V., Sharutin V.V., Ivanenko T.K., Nikolaeva N.A., Molokov A.A., Fukin G.K. Structures of Triphenylbismuth Dicarboxylates. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2006, vol. 32, no. 9, pp. 644–651. DOI: 10.1134/S1070328406090041.
18. Andreev P.V., Somov N.V., Kalistratova O.S., Gushchin A.V., Chuprunov E.V. *Bis*(but-2-enoato-κO)triphenylbismuth(V). *Acta Crystallogr. Section E: Structure Reports Online*, 2013, vol. 69, № 6, m333. DOI: 10.1107/S1600536813013317.
19. Feham K., Benkadari A., Chouaih A., Miloudi A., Boyer G., Abed D.E. Synthesis and Structural Study of Triphenylbismuth *Bis*(Salicylate). *Cryst. Struct. Theory Appl.*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 28–33. DOI: 10.4236/csta.2013.21004.
20. Sharutin V.V., Sharutina O.K. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth *Bis*(pentachlorobenzoate). *Russ. J. Inorgan. Chem.*, 2014, vol. 59, no. 6, pp. 558–560. DOI: 10.1134/S0036023614060199.
21. Kumar I., Bhattacharya P., Whitmire K.H. Facile One-Pot Synthesis of Triphenylbismuth(V) *Bis*(carboxylate) Complexes. *Organometallics*, 2014, vol. 33, no. 11, pp. 2906–2909. DOI: 10.1021/om500337z.
22. Kumar I., Bhattacharya P., Whitmire K.H. Structural Diversity in Phenyl Bismuth(III) *Bis*(carboxylate) Complexes. *J. Organomet. Chem.*, 2015, vol. 794, pp. 153–167. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2015.06.023.
23. Verkhovalykh V.A., Kalistratova O.S., Grishina A.I., Artemova V.G., Gushchin A.V. Synthesis of Triphenylbismuth *Bis*(2-methylpropenoate). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2015, vol. 7, no. 3, pp. 61–65.
24. Gusakovskaya A.A., Kalistratova O.S., Andreev P.V., Gushchin A.V., Somov N.V., Chuprunov E.V. Synthesis and Structures of Triphenylbismuth *Bis*[3-(2-Furyl)Acrylate] $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})]_2$ and Triphenylbismuth Di-*meta*-nitrocinnamate $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_4)_2$. *Crystallography Reports*, 2018, vol. 63, no. 2, pp. 186–190. DOI: 10.1134/S1063774518020062.
25. Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R., Cramer C.J., Truhlar D.G. Consistent Van der Waals Radii for the Whole Main Group *J. Phys. Chem. A.*, 2009, vol. 113, no. 19, pp. 5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.

Received 4 September 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сенчурин, В.С. *Бис*(бромдифторацетат) три-*пара*-толилвисмута. Синтез и особенности строения / В.С. Сенчурин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 72–78. DOI: 10.14529/chem200404

FOR CITATION

Senchurin V.S. Tris(Para-Tolyl)Bismuth Bis(Bromo-difluoroacetate). Synthesis and Structure Features. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2020, vol. 12, no. 4, pp. 72–78. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem200404
