

# СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ БИС(2,5-ДИХЛОРБЕНЗОЛСУЛЬФОНАТА) ТРИ(МЕТА-ТОЛИЛ)ВИСМУТА И БИС(1-НАФТАЛИНСУЛЬФОНАТА) ТРИ(ПАРА-ТОЛИЛ)ВИСМУТА

**Е.С. Механошина, А.В. Рыбакова, В.В. Шарутин**

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Взаимодействием три(мета-толил)висмута с 2,5-дихлорбензолсульфоновой кислотой в присутствии трет-бутилгидропероксида в эфире получен бис(2,5-дихлорбензолсульфонат) три(мета-толил)висмута (**1**) с выходом 83 %. Аналогично получен бис(1-нафталинсульфонат) три(пара-толил)висмута (**2**), выход 78 %. Соединения **1** и **2** синтезированы также по реакции триарилвисмута с аренсульфоновой кислотой в присутствии кислорода воздуха с выходом до 20 %. По данным рентгеноструктурного анализа, проведенного при 293 К на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (двухкоординатный CCD – детектор, Mo  $K_{\alpha}$ -излучение,  $\lambda = 0,71073$  Å, графитовый монохроматор) кристаллов **1** [ $C_{33}H_{27}O_6S_2Cl_4Bi$ ,  $M$  934,45; сингония моноклинная, группа симметрии  $C2/c$ ; параметры ячейки:  $a = 42,153(17)$ ,  $b = 11,644(5)$ ,  $c = 14,659(7)$  Å;  $\alpha = 90,00$  град.,  $\beta = 102,73(2)$  град.,  $\gamma = 90,00$  град.;  $V = 7018(5)$  Å<sup>3</sup>; размер кристалла  $0,33 \times 0,28 \times 0,13$  мм<sup>3</sup>; интервалы индексов отражений  $-65 \leq h \leq 65$ ,  $-18 \leq k \leq 18$ ,  $-22 \leq l \leq 22$ ; всего отражений 90667; независимых отражений 14068;  $R_{int} = 0,0709$ ; GOOF 0,997;  $R_1 = 0,0435$ ,  $wR_2 = 0,0683$ ; остаточная электронная плотность  $1,41/-1,58$  e/Å<sup>3</sup>] и **2** [ $C_{41}H_{35}O_6S_2Bi$ ,  $M$  896,79; сингония моноклинная, группа симметрии  $P2_1/n$ ; параметры ячейки:  $a = 17,624(14)$ ,  $b = 11,898(6)$ ,  $c = 20,118(12)$  Å;  $\alpha = 90,00$  град.,  $\beta = 99,17(4)$  град.,  $\gamma = 90,00$  град.;  $V = 4165(5)$  Å<sup>3</sup>; размер кристалла  $0,5 \times 0,46 \times 0,27$  мм<sup>3</sup>; интервалы индексов отражений  $-31 \leq h \leq 22$ ,  $-20 \leq k \leq 20$ ,  $-35 \leq l \leq 36$ ; всего отражений 91024; независимых отражений 24316;  $R_{int} = 0,2080$ ; GOOF 1,059;  $R_1 = 0,1083$ ,  $wR_2 = 0,2566$ ; остаточная электронная плотность  $7,23/-5,92$  e/Å<sup>3</sup>] атомы висмута имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию. Аксиальные углы OBiO равны  $179,64(9)^\circ$  и  $174,4(2)^\circ$  соответственно; суммы углов CBiC в экваториальной плоскости составляют  $360^\circ$ . Длины аксиальных связей Bi–O равны  $2,291(3)$ ,  $2,297(3)$  Å и  $2,269(8)$ ,  $2,272(7)$  Å; интервалы изменения длин экваториальных связей Bi–C составляют  $2,176(4)$ – $2,187(3)$  Å и  $2,159(10)$ – $2,214(8)$  Å. В структурах **1** и **2** присутствуют внутримолекулярные контакты между атомами висмута и кислорода сульфонатных лигандов. Расстояния Bi $\cdots$ O=S составляют  $3,309(3)$ ,  $3,518(3)$  Å и  $3,355(14)$ ,  $3,458(15)$  Å, что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов висмута и кислорода ( $3,59$  Å). В кристаллах **1** и **2** присутствуют межмолекулярные контакты H $\cdots$ O ( $2,44$ – $2,72$  Å и  $2,53$ – $2,65$  Å). Кроме того, в кристаллах **1** наблюдаются межмолекулярные контакты Cl $\cdots$ H ( $2,81$  Å). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2153155 (**1**), № 2157446 (**2**); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

**Ключевые слова:** три(мета-толил)висмут, три(пара-толил)висмут, 2,5-дихлорбензолсульфоновая, 1-нафталинсульфоновая, кислота, трет-бутилгидропероксид, бис(2,5-дихлорбензолсульфонат) три(мета-толил)висмута, бис(1-нафталинсульфонат) три(пара-толил)висмута, синтез, строение, рентгеноструктурный анализ.

## Введение

В последние годы активно изучается биологическая активность дикарбоксилатов триарилвисмута [1–6], которые также могут быть использованы для получения других классов соединений, например в синтезе дисульфонатов триарилвисмута, когда диацетат трифенилвисмута при действии трифторметансульфоновой кислоты превращался в соответствующий дисульфонат, весьма эффективный в реакциях гликозилирования при комнатной температуре. Этот промотирующий агент продемонстрировал преимущества перед большинством современных тиогликозидных активаторов, а именно высокую растворимость и стабильность к действию воздуха и света [7]. Ряд бис(аренсульфонатов) триарилвисмута синтезирован из трифенил-, трис(мета-толил)- и трис(2-метокси,5-бромфенил)висмута и аренсульфоновой кислоты в эфире [8]. В качестве

## Химия элементоорганических соединений

окислителя использовали пероксид водорода, поскольку в присутствии *трет*-бутилгидропероксида не наблюдалось образование целевого продукта. При соотношении исходных реагентов 1:2:1 (мольн.) из реакционной смеси выделяли дисульфонаты триарилвисмута  $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_3\text{Me}_{2-3,4})_2$  [9], (*m*-Tol) $_3\text{Bi}(\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_3\text{Me}_{2-3,4})_2$  [10] и [(2-MeO)(5-Br) $\text{C}_6\text{H}_3$ ] $_3\text{Bi}(\text{OSO}_2\text{Ph})_2$  [11] с выходом до 85 %. Показано, что реакция *трис*(2-метокси,5-бромфенил)висмута с бензолсульфоновой кислотой (1:2 мольн.), проходящая в растворе диэтилового эфира в присутствии кислорода воздуха, сопровождалась образованием *бис*(бензолсульфоната) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)висмута [11], который через 48 ч был выделен из реакционной смеси с выходом 7 %. Очевидно, что в отсутствие пероксида роль окислителя триарилвисмута выполнял кислород воздуха. Из дихлорида трифенилвисмута и трифлата серебра может быть получен *бис*(трифторметансульфонат) трифенилвисмута, реакции которого с донорными лигандами, такими как оксид трифенилфосфина, аминопиридин и бипиридил, приводят к образованию ионных комплексов с катионами пятикоординированного висмута [12, 13].

В настоящей работе рассматриваются вопросы синтеза и особенностей строения *бис*(2,5-дихлорбензолсульфоната) три(*мета*-толил)висмута (**1**) и *бис*(1-нафталинсульфоната) три(*пара*-толил)висмута (**2**).

### Экспериментальная часть

**Бис(2,5-дихлорбензолсульфонат) три(*мета*-толил)висмута (1).** А) К смеси 0,12 г (0,25 ммоль) три(*мета*-толил)висмута и 0,11 г (0,50 ммоль) дихлорбензолсульфоновой кислоты в 15 мл эфира прибавляли при перемешивании 0,03 г (0,25 ммоль) *трет*-бутилгидропероксида. Выдерживали при комнатной температуре 18 ч. Образовавшиеся бесцветные кристаллы собирали, промывали эфиром и сушили. Получили 0,19 г (83 %) **1** с  $T_{\text{разл}} = 170$  °С. ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3067, 2972, 2951, 1450, 1375, 1244, 1198, 1150, 1099, 1061, 999, 891, 816, 772, 687, 615, 538, 517, 419. Найдено, %: С 42,36; Н 2,98.  $\text{C}_{33}\text{H}_{27}\text{O}_6\text{S}_2\text{Cl}_4\text{Bi}$ . Вычислено, %: С 42,40; Н 2,89.

Б) Смесь 0,12 г (0,25 ммоль) три(*мета*-толил)висмута и 0,11 г (0,50 ммоль) дихлорбензолсульфоновой кислоты в 15 мл эфира выдерживали при комнатной температуре 18 ч. Удаляли растворитель, остаток перекристаллизовывали из бензола. Бесцветные кристаллы фильтровали и сушили. Получили 0,04 г (17 %) **1**.

Аналогично получали *бис*(1-нафталинсульфонат) три(*пара*-толил)висмута (**2**). Бесцветные кристаллы с  $T_{\text{разл}} = 99$  °С. ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3086, 3061, 3032, 2920, 1506, 1479, 1391, 1346, 1290, 1261, 1206, 1186, 1159, 1134, 1022, 993, 935, 804, 772, 685, 608, 577, 521, 473, 417. Найдено, %: С 54,69; Н 4,06.  $\text{C}_{41}\text{H}_{35}\text{O}_6\text{S}_2\text{Bi}$ . Вычислено, %: С 54,91; Н 3,93.

**Рентгеноструктурный анализ (РСА)** проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Mo  $K_{\alpha}$ -излучение,  $\lambda = 0,71073$  Å, графитовый монохроматор) при 293 К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [14]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программ SHELXL/PC [15] и OLEX2 [16]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ( $U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{экр}}(\text{C})$ ). Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур **1**, **2**

Параметр	(1)	(2)
Формула	$\text{C}_{33}\text{H}_{27}\text{O}_6\text{S}_2\text{Cl}_4\text{Bi}$	$\text{C}_{41}\text{H}_{35}\text{O}_6\text{S}_2\text{Bi}$
<i>M</i>	934,45	896,79
Сингония	Моноклинная	Моноклинная
Пр. группа	<i>C2/c</i>	<i>P2<sub>1</sub>/n</i>
<i>a</i> , Å	42,153(17)	17,624(14)
<i>b</i> , Å	11,644(5)	11,898(6)
<i>c</i> , Å	14,659(7)	20,118(12)

Окончание табл. 1

Параметр	(1)	(2)
$\alpha$ , град.	90,00	90,00
$\beta$ , град.	102,73(2)	99,17(4)
$\gamma$ , град.	90,00	90,00
$V$ , Å <sup>3</sup>	7018(5)	4165(5)
$Z$	8	4
$\rho$ (выч.), г/см <sup>3</sup>	1,769	1,430
$\mu$ , мм <sup>-1</sup>	5,490	4,375
$F(000)$	3648,0	1776,0
Размер кристалла, мм	0,33×0,28×0,13	0,5×0,46×0,27
Область сбора данных по $\theta$ , град.	5,94–67,78	4,46–87,7
Интервалы индексов отражений	$-65 \leq h \leq 65$ , $-18 \leq k \leq 18$ , $-22 \leq l \leq 22$	$-31 \leq h \leq 33$ , $-20 \leq k \leq 20$ , $-35 \leq l \leq 36$
Измерено отражений	90667	91024
Независимых отражений	14068	24316
$R_{int}$	0,0709	0,2080
Переменных уточнения	418	454
GOOF	0,997	1,059
$R$ -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0435$ , $wR_2 = 0,0683$	$R_1 = 0,1083$ , $wR_2 = 0,2566$
$R$ -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,1043$ , $wR_2 = 0,0830$	$R_1 = 0,3198$ , $wR_2 = 0,3774$
Остаточная электронная плотность (min/max), е/Å <sup>3</sup>	1,41/–1,58	7,23/–5,92

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структурах 1, 2

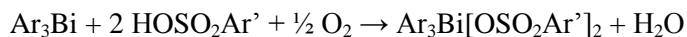
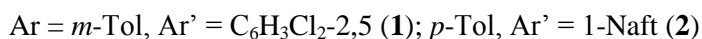
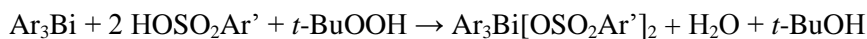
Связь $d$ , Å		Угол $\omega$ , °	
<b>1</b>			
Bi(1)–O(1)	2,297(3)	O(1)Bi(1)O(4)	179,64(9)
Bi(1)–O(4)	2,291(3)	C(1)Bi(1)C(11)	116,25(13)
Bi(1)⋯O(2)	3,309(2)	C(1)Bi(1)C(21)	119,19(14)
Bi(1)⋯O(6)	3,518(3)	C(11)Bi(1)C(21)	124,56(14)
Bi(1)–C(1)	2,187(3)	O(1)S(1)C(31)	105,05(16)
Bi(1)–C(11)	2,185(4)	O(2)S(1)O(1)	109,46(17)
Bi(1)–C(21)	2,176(4)	O(2)S(1)C(31)	105,42(19)
S(1)–O(1)	1,496(3)	O(3)S(1)O(1)	110,54(18)
S(1)–O(2)	1,436(3)	O(3)S(1)O(2)	118,0(2)
S(1)–O(3)	1,428(3)	O(3)S(1)C(31)	107,43(19)
S(1)–C(31)	1,780(4)	O(4)S(2)C(41)	105,00(19)
<b>2</b>			
Bi(1)–O(1)	2,269(8)	O(1)Bi(1)O(4)	174,4(2)
Bi(1)–O(4)	2,272(7)	C(1)Bi(1)C(11)	128,0(3)
Bi(1)⋯O(2)	3,355(9)	C(1)Bi(1)C(21)	115,1(3)
Bi(1)⋯O(5)	3,458(8)	C(11)Bi(1)C(21)	116,9(3)
Bi(1)–C(1)	2,167(8)	O(1)S(1)C(31)	105,2(5)
Bi(1)–C(11)	2,159(10)	O(2)S(1)O(1)	109,4(6)
Bi(1)–C(21)	2,214(8)	O(2)S(1)C(31)	108,3(6)
S(1)–O(1)	1,485(8)	O(3)S(1)O(1)	110,2(6)
S(1)–O(2)	1,442(9)	O(3)S(1)O(2)	115,9(7)
S(1)–O(3)	1,451(10)	O(3)S(1)C(31)	107,3(6)
S(1)–C(31)	1,754(13)	O(4)S(2)C(41)	103,6(4)

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2153155 (1); № 2157446 (2) deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

### Обсуждение результатов

Из-за наличия в карбоксилатном лиганде потенциального координирующего центра (карбонильного атома кислорода) во всех известных дикарбоксилатах триарилвисмута имеют место внутримолекулярные взаимодействия  $\text{Bi}\cdots\text{O}(=\text{C})$  [17]. Наличие дополнительного внутримолекулярного взаимодействия  $\text{Bi}\cdots\text{O}(=\text{C})$  в дикарбоксилатах триарилвисмута подтверждается выравниванием длин связей  $\text{C}-\text{O}$  и  $\text{C}=\text{O}$  в карбоксильной группе (разность значений длин указанных связей не превышает  $0.09 \text{ \AA}$ ). Карбоксилатные заместители в указанных соединениях имеют, как правило, относительно фрагмента  $\text{Ar}_3\text{Bi}$  *цис*-ориентацию, причем один из экваториальных углов  $\text{S}\text{BiC}$  со стороны контактов  $\text{Bi}\cdots\text{O}(=\text{C})$  значительно увеличен, что приводит к уменьшению двух других углов [18–31]. Несмотря на то, что сульфонатная группа имеет два потенциальных координирующих центра (ПКЦ), в *бис*(аренсульфонатах) триарилвисмута, как правило, не наблюдается дополнительная координация атома висмута с одним из ПКЦ [17, 32]. Однако в молекуле *бис*(бензолсульфоната) трифенилвисмута [33] имеется некоторое укорочение связей  $\text{Bi}\cdots\text{O}=\text{S}$  [ $3,129(5)$  и  $3,431(6) \text{ \AA}$ ] по сравнению с суммой ван-дер-ваальсовых радиусов ( $3.8 \text{ \AA}$ ) [34], но это скорее исключение, чем правило.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей строения *бис*(2,5-дихлорбензолсульфоната) три(*мета*-толил)висмута и *бис*(1-нафталинсульфоната) три(*пара*-толил)висмута, которые получали по реакции окислительного присоединения из триарилвисмута и аренсульфоновой кислоты в присутствии *трет*-бутилгидропероксида в эфире с выходом до 83 % по методике, описанной в [11], либо в присутствии кислорода воздуха (выход целевого продукта до 17 %).



После перекристаллизации продукта реакции из смеси бензол – октан получали прозрачные бесцветные кристаллы, растворимые в аренах и полярных органических растворителях и нерастворимые в алифатических углеводородах. Строение соединений **1**, **2** было изучено с помощью ИК-спектроскопии и РСА.

ИК-спектр соединения **1** содержит характерную полосу валентных колебаний углеродного скелета ароматических фрагментов в области  $1450 \text{ см}^{-1}$ . Также наблюдаются полосы поглощения средней интенсивности валентных колебаний связей  $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{H}$  при  $3088, 3067 \text{ см}^{-1}$ ; плоскостные деформационные колебания этих же связей расположены при  $1099 \text{ см}^{-1}$ , внеплоскостные деформационные колебания – при  $891, 816 \text{ см}^{-1}$  [35–37]. Полосы поглощения сильной интенсивности при  $1244 \text{ см}^{-1}$  и средней интенсивности при  $1150 \text{ см}^{-1}$  относятся к асимметричным и симметричным валентным колебаниям сульфонатной группы  $\text{SO}_3$ . Также содержится высокоинтенсивная полоса поглощения валентных колебаний связи  $\text{S}-\text{O}$  при  $687 \text{ см}^{-1}$ . Интенсивная полоса поглощения в области  $516 \text{ см}^{-1}$  соответствует валентным колебаниям связей  $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{S}$ . Колебаниям связей  $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{Cl}$  в спектре **1** отвечает полоса высокой интенсивности при  $771 \text{ см}^{-1}$ .

В ИК-спектре соединения **2** наблюдаются характерные полосы валентных колебаний углеродного скелета ароматических фрагментов при  $1506, 1479 \text{ см}^{-1}$ . Полосы поглощения валентных колебаний метильных групп расположены при  $3032 \text{ см}^{-1}$  (асимметричные колебания) и при  $2920 \text{ см}^{-1}$  (симметричные колебания). Валентным колебаниям связей  $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{H}$  отвечают полосы поглощения средней интенсивности при  $3086, 3061 \text{ см}^{-1}$ ; плоскостным деформационным колебаниям этих связей – полосы при  $1022, 993 \text{ см}^{-1}$ ; внеплоскостным деформационным колебаниям – полосы при  $935, 804 \text{ см}^{-1}$ . Также содержатся характерные полосы поглощения:  $1290 \text{ см}^{-1}$  (полоса сильной интенсивности) и  $1159, 1134 \text{ см}^{-1}$  (полосы средней интенсивности), которые относятся к асимметричным и симметричным валентным колебаниям сульфонатной группы  $\text{SO}_3$ . Полоса поглощения валентных колебаний связи  $\text{S}-\text{O}$  расположена при  $685 \text{ см}^{-1}$  (сильной интенсивности). В спектре **2** присутствует полоса поглощения средней интенсивности при  $521 \text{ см}^{-1}$ , соответствующая валентным колебаниям связей  $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{S}$ . Валентным колебаниям связей  $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{Cl}$  отвечает полоса сильной интенсивности при  $772 \text{ см}^{-1}$ .

Найдено, что атомы висмута в **1** и **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию (рис. 1, 2).

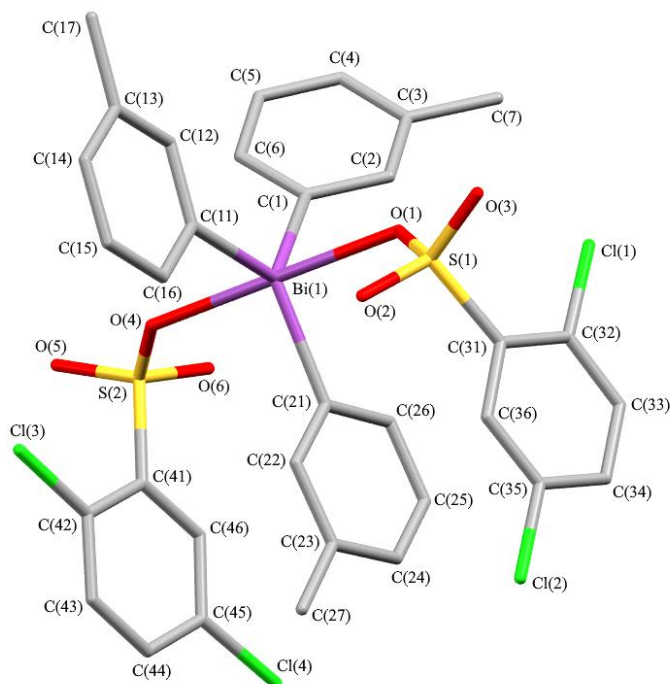


Рис. 1. Общий вид молекулы бис(2,5-дихлорбензолсульфоната)три(мета-толил)висмута (атомы водорода не показаны)

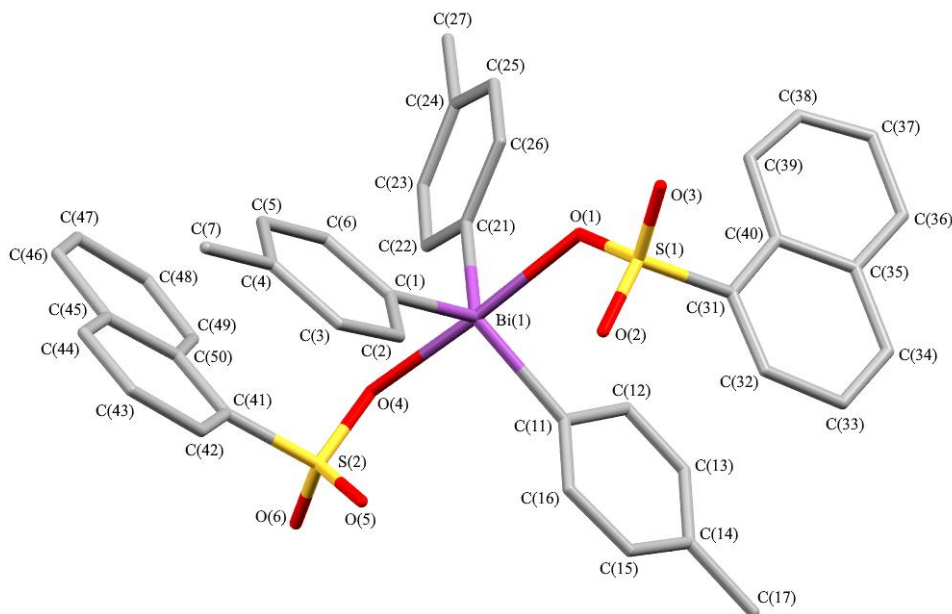


Рис. 2. Общий вид молекулы бис(1-нафталинсульфоната)три(пара-толил)висмута (атомы водорода не показаны)

Аксиальные углы  $\text{O}(\text{Bi})\text{O}$  равны  $179,64(9)^\circ$  и  $174,4(2)^\circ$  соответственно, сумма углов  $\text{C}(\text{Bi})\text{C}$  в экваториальной плоскости составляет  $360^\circ$ . Длины аксиальных связей  $\text{Bi}-\text{O}$  равны  $2,291(3)$ ,  $2,297(3)$  Å и  $2,269(8)$ ,  $2,272(7)$  Å; интервалы изменения длин экваториальных связей  $\text{Bi}-\text{C}$  составляют  $2,176(4)$ – $2,187(3)$  Å и  $2,159(10)$ – $2,214(8)$  Å. В структурах **1** и **2** присутствуют внутримолекулярные контакты между атомами висмута и кислорода сульфонатных лигандов. Расстояния

$\text{Bi}\cdots\text{O}=\text{S}$  составляют 3,309(3), 3,518(3) Å и 3,355(14), 3,458(15) Å, что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов висмута и кислорода (3,59 Å). В кристаллах **1** и **2** также присутствуют межмолекулярные контакты  $\text{H}\cdots\text{O}$  (2,44–2,72 Å и 2,53–2,65 Å). Кроме того, в кристаллах **1** наблюдаются межмолекулярные контакты  $\text{Cl}\cdots\text{H}$  (2,81 Å).

### Выводы

Установлено, что взаимодействие три(*мета*-толил)висмута и три(*пара*-толил)висмута с 2,5-дихлорбензолсульфоновой и 1-нафталинсульфоновой кислотами в эфире в присутствии трет-бутилгидропероксида приводит к образованию бис(2,5-дихлорбензолсульфоната) три(*мета*-толил)висмута и бис(2-нафталинсульфоната) три(*пара*-толил)висмута соответственно, в которых аренсульфонатные лиганды, имеющие в составе сульфонатных групп атомы кислорода с неподеленными электронными парами, дополнительно координируются через атом кислорода с центральным атомом висмута, что приводит к увеличению его координационного числа до 7. Указанные дисульфонаты триарилвисмута также получали из триарилвисмута и аренсульфоновой кислоты в эфире в присутствии кислорода воздуха с выходом до 17 %.

### Благодарности

Выражаем благодарность проф. В.В. Шарутину за рентгеноструктурный анализ кристаллов бис(2,5-дихлорбензолсульфоната) три(*мета*-толил)висмута, бис(2-нафталинсульфоната) три(*пара*-толил)висмута и помощь при работе над публикацией.

### 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. Vol. 44. P. 18215–18226. DOI: 10.1039/c5dt03335g.
2. Tiekink E.R.T. Antimony and Bismuth Compounds in Oncology // *Crit. Rev. Oncol. Hematol*. 2002. Vol. 42, № 3. P. 217–224. DOI: org/10.1016/S1040-8428(01)00217-7.
3. Synthesis, Characterization and *in vitro* Cytotoxicity Screening of Some Triarylbiomuth(V) Di(*N*-salicylidene)amino Carboxylates and the Crystal Structure of (2-HOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CH=NCH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Bi(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub> / G.-C. Wang, J. Xiao, Y.-N. Lu et al. // *Appl. Organomet. Chem*. 2005. Vol. 19, no. 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. Vol. 437, no. 1. P. 41–46. DOI: 10.1016/j.ica.2015.07.008.
5. Synthesis, Characterization and Cytotoxicity of Some Triarylbiomuth(V) Di(*N*-*p*-toluenesulfonyl) Aminoacetates and the Crystal Structure of (4-CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>2</sub>NHCH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Bi(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl-4)<sub>3</sub> / L. Yu, Y.-Q. Ma, G.-C. Wang et al. // *Appl. Organomet. Chem*. 2004. Vol. 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)  $\alpha$ -Hydroxy Carboxylato Complexes / R.N. Duffin, V.L. Blair, L. Kedzierski et al. // *Dalton Trans*. 2018. Vol. 47. P. 971–980. DOI: 10.1039/C7DT04171C.
7. Goswami M., Ellern A., Pohl N.L.B. Bismuth(V)-Mediated Thioglycoside Activation // *Angew. Chem., Int. Ed*. 2013. Vol. 52. P. 8441–8445. DOI: 10.1002/anie.201304099.
8. Аренсульфонаты тетра- и трифенилвисмута. Синтез и строение / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // *Изв. АН. Сер. хим.* 1999. Т. 48, № 12. С. 2350–2354.
9. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. Синтез и строение бис(3,4-диметилбензолсульфоната) трифенилвисмута // *Журнал. неорган. химии*. 2016. Т. 61, № 3. С. 334–337. DOI: 10.7868/S0044457X16030211.
10. Шарутин В.В., Шарутина О.К. Синтез и строение бис(3,4-диметилбензолсульфоната) трис(3-метилфенилвисмута) // *Журн. общ. химии*. 2016. Т. 86, № 5. С. 811–814.
11. Шарутин В.В., Шарутина О.К. Синтез и строение сольвата бис(бензолсульфоната) трис(5-бром-2-метоксифенил)висмута с толуолом // *Журн. неорган. химии*. 2016. Т. 61, № 8. С. 1023–1027. DOI: 10.7868/S0044457X16080158.

12. Coordination Complexes of  $\text{Ph}_3\text{Sb}_2^+$  and  $\text{Ph}_3\text{Bi}_2^+$ : Beyond Pnictonium Cations / A.P.M. Robertson, N. Burford, R. McDonald et al. // *Angew. Chem., Int. Ed.* 2014. Vol. 53, no. 13. P. 3480–3483. DOI: 10.1002/anie.201310613.

13. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. Синтез, реакции и строение арильных соединений пентавалентной сурьмы // *Коорд. химия.* 2020. Т. 46, № 10. С. 579–648. DOI: 10.31857/S0132344X20100011.

14. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.

15. 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.

16. OLEX2: Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program / O.V. Dolomanov, L.J. Bourhis, R.J. Gildea et al. // *J. Appl. Cryst.* 2009. Vol. 42. P. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.

17. Cambridge Crystallographic Data Center. 2019. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

18. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. Синтез и строение дикарбоксилатов три(мета-толил)висмута // *Журн. неорган. химии.* 2014. Т. 59, № 1. С. 42–46. DOI: 10.7868/S0044457X14010164.

19. Синтез и строение бис(фторбензоатов) трифенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина и др. // *Коорд. химия.* 2003. Т. 29, № 7. С. 496–501.

20. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. Дикарбоксилаты триарилвисмута  $\text{Ar}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$ , Ar = p-Tol, R =  $\text{CH}_2\text{Cl}$ ; Ar = Ph, R =  $\text{C}_6\text{H}_4\text{OMe-2}$ ,  $\text{CH}=\text{CHPh}$  // *Журн. неорган. химии.* 2019. Т. 64, № 2. С. 159–164. DOI: 10.1134/S0044457X19020181.

21. Синтез и строение диметакрилата трифенилсурьмы / А.В. Гущин, Д.В. Шашкин, Л.К. Прыткова и др. // *Журн. общ. химии.* 2011. Т. 81, № 3. С. 397–400. DOI: 10.1134/S107036321103008X.

22. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. Синтез и строение бис(1-адамantanкарбоксилата) трифенилвисмута // *Журн. неорган. химии.* 2011. Т. 56, № 10. С. 1644–1646. DOI: 10.1134/S003602361100202.

23. Синтез и структура бис[3-(2-фурил)акрилата] трифенилвисмута  $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})]_2$  и ди-мета-нитроциннамата трифенилвисмута  $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2\text{-m})_2$  / А.А. Гусаковская, О.С. Калистратова, П.В. Андреев и др. // *Кристаллография.* 2018. Т. 63, № 2. С. 203–207. DOI: 10.7868/S0023476118020066.

24. Синтез и строение дикарбоксилатов трис(5-бром-2-метоксифенил)висмута:  $[(\text{C}_6\text{H}_3(\text{Br-5})(\text{MeO-2}))_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{CHAl}_3]_2$  (Hal = F, Cl) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.А. Ермакова и др. // *Журн. неорган. химии.* 2017. Т. 62, № 8. С. 1049–1056. DOI: 10.7868/S0044457X17080050.

25. Synthesis and Structural Study of Triphenylbismuth Bis(salicylate) / K. Feham, A. Benkadari, A. Chouaih et al. // *Cryst. Struct. Theory Appl.* 2013. V. 2. P. 28–33. DOI: 10.4236/csta.2013.21004

26. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth Bis(3-phenylprop-2-enoate) / P.V. Andreev, N.V. Somov, O.S. Kalistratova et al. // *Crystallogr. Rep.* 2015. Vol. 60. P. 517–520. DOI: 10.1134/S1063774515040057.

27. Синтез и строение бис(2-фениламинобензоата) трифенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, М.А. Казаков и др. // *Журн. неорган. химии.* 2009. Т. 54, № 7. С. 1156–1159. DOI: 10.1134/S0036023609070171.

28. Особенности строения дикарбоксилатов трифенилвисмута / В.В. Шарутин, Т.К. Иваненко, Н.А. Николаева и др. // *Коорд. химия.* 2006. Т. 32, № 9. С. 672–679. DOI: 10.1134/S1070328406090041.

29. Синтез и строение бис(фенилкарборанилкарбоксилата) трифенилвисмута / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина и др. // *Журн. общ. химии.* 2010. Т. 80, № 10. С. 1630–1633. DOI: 10.1134/S1070363210100117.

30. Шарутин, В.В. Синтез и строение дикарбоксилатов трифенилвисмута  $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$  (R =  $\text{C}_6\text{H}_4\text{OMe-2}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_{2-3,5}$ ,  $\text{C}\equiv\text{CPh}$ ) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Л.В. Кощеева // *Журн. неорган. химии.* 2021. Т. 66, № 10. С. 1407–1411. DOI: 10.31857/S0044457X21100160 .

31. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Кошечева Л.В. Синтез и строение дикарбоксилатов трифенилвисмута  $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$  ( $\text{R} = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{F}-3, \text{C}_6\text{H}_3\text{F}_2-2,3, \text{C}_6\text{HF}_4-2,3,4,5$ ) // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 5. С. 758–762.
32. Шарутин В.В., Шарутина О.К. Синтез и строение *бис*(3,4-диметилбензолсульфоната) *трис*(3-метилфенил)висмута // Журн. общ. химии. 2016. Т. 86, № 5. С. 811–814. DOI: 10.1134/S1070363216050157.
33. R  ther R., Huber F., Preut H. Triorganoantimon- und Triorganobismut-disulfonate Kristall – und Molekülstrukturen von  $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{M}(\text{O}_3\text{SC}_6\text{H}_5)_2$  ( $\text{M} = \text{Sb}, \text{Bi}$ ) // Z. anorg. allg. Chem. 1986. Vol. 539. P. 110–126. DOI: 10.1002/zaac.19865390811.
34. Consistent Van der Waals Radii for the Whole Main Group / M. Mantina, A.C. Chamberlin, R. Valero et al. // J. Phys. Chem. A. 2009. Vol. 113, № 19. P. 5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.
35. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.
36. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: учебное пособие / А.В. Васильев, Е.В. Гриненко, А.О. Щукин и др. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.
37. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST): Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. URL: <https://sdb.sdb.aist.go.jp>.

**Механошина Евгения Сергеевна** – магистр кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: mexev@mail.ru.

**Рыбакова Анастасия Владимировна** – кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: rybakovaav@susu.ru

**Шарутин Владимир Викторович** – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: sharutin50@mail.ru

Поступила в редакцию 11 марта 2022 г.

DOI: 10.14529/chem220306

## SYNTHESIS AND STRUCTURE OF TRI(META-TOLYL)BISMUTH BIS(2,5-DICHLOROBENZENESULFONATE) AND TRI(PARA-TOLYL)BISMUTH BIS(1-NAPHTHALENESULFONATE)

**E.S. Mekhanoshina**, mexev@mail.ru

**A.V. Rybakova**, rybakovaav@susu.ru

**V.V. Sharutin**, sharutin50@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The interaction of tri(*meta*-tolyl)bismuth with 2,5-dichlorobenzenesulfonic acid in the presence of *tert*-butyl hydroperoxide in ether has led to tri(*meta*-tolyl)bismuth *bis*(2,5-dichlorobenzenesulfonate) (**1**) yielding 83%. Similarly, tri(*para*-tolyl)bismuth *bis*(1-naphthalenesulfonate) (**2**) has been obtained yielding 78%. Compounds **1** and **2** have also been synthesized by the reaction of triaryl bismuth with arenesulfonic acid in the presence of air oxygen yielding up to 20%. The X-ray structural analysis has been carried out on an automatic four-circle D8 Quest Bruker diffractometer (CCD detector, Mo  $K_\alpha$ -radiation,  $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$ , graphite monochromator) at 293 K. Crystals **1** [ $\text{C}_{33}\text{H}_{27}\text{O}_6\text{S}_2\text{Cl}_4\text{Bi}$ ,  $M 934.45$ ; monoclinic syngony, space group  $C2/c$ ; cell parameters:  $a = 42.153(17)$ ,  $b = 11.644(5)$ ,  $c = 14.659(7) \text{ \AA}$ ;  $\alpha = 90.00 \text{ deg.}$ ,  $\beta = 102.73(2) \text{ deg.}$ ,  $\gamma = 90.00 \text{ deg.}$ ;  $V = 7018(5) \text{ \AA}^3$ ; crystal size  $0.33 \times 0.28 \times 0.13 \text{ mm}^3$ ; index ranges  $-65 \leq h \leq 65$ ,  $-18 \leq k \leq 18$ ,  $-22 \leq l \leq 22$ ; total reflections 90667; independent reflections 14068;  $R_{\text{int}} = 0.0709$ ;  $GOOF 0.997$ ;  $R_1 = 0.0435$ ,  $wR_2 = 0.0683$ ; residual electron density



(max/min) 1.41/–1.58 e/Å<sup>3</sup>], and **2** [C<sub>41</sub>H<sub>35</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub>Bi, *M* 896.79; monoclinic syngony, space group *P*2<sub>1</sub>/*n*; cell parameters: *a* = 17.624(14), *b* = 11.898(6), *c* = 20.118(12) Å; α = 90.00 deg., β = 99.17(4) deg., γ = 90.00 deg.; *V* = 4165(5) Å<sup>3</sup>; crystal size 0.5×0.46×0.27 mm<sup>3</sup>; index ranges –31 ≤ *h* ≤ 22, –20 ≤ *k* ≤ 20, –35 ≤ *l* ≤ 36; total reflections 91024; independent reflections 24316; *R*<sub>int</sub> = 0.2080; *GOOF* 1.059; *R*<sub>1</sub> = 0.1083, *wR*<sub>2</sub> = 0.2566; residual electron density (max/min) 7.23/–5.92 e/Å<sup>3</sup>]. The bismuth atoms have a distorted trigonal-bipyramidal coordination. The OBiO axial angles are 179.64(9) and 174.4(2) deg., respectively; the sums of the CBiC angles in the equatorial plane are 360 deg. The Bi–O bond lengths are 2.291(3), 2.297(3) Å, and 2.269(8), 2.272(7) Å; the intervals of variation in the Bi–C equatorial bond lengths are 2.176(4)–2.187(3) Å and 2.159(10)–2.214(8) Å. Structures **1** and **2** contain intramolecular contacts between the bismuth atoms and the oxygen atom of the sulfonate ligands. The Bi⋯O=C distances equal 3.309(3), 3.518(3) Å, and 3.355(14), 3.458(15), which is less than the sum of the Van der Waals radii of bismuth and oxygen (3.59 Å). Crystals **1** and **2** contain intermolecular contacts H⋯O (2.44–2.72 Å and 2.53–2.65 Å); intermolecular contacts Cl⋯H (2.81 Å) are present in crystals **1**. Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles for structures have been deposited at the Cambridge Crystallographic Data Centre (No. 2153155 (**1**), No. 2157446 (**2**); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <https://www.ccdc.cam.ac.uk>).

**Keywords:** tri(meta-tolyl)bismuth, tri(para-tolyl)bismuth, 2,5-dichlorobenzenesulfonic acid, 1-naphthalenesulfonic acid, tert-butyl hydroperoxide, tri(meta-tolyl)bismuth bis(2,5-dichlorobenzenesulfonate), tri(para-tolyl)bismuth bis(1-naphthalenesulfonate), 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;44:18215–18226. DOI: 10.1039/c5dt03335g.
2. Tiekink E.R.T. Antimony and Bismuth Compounds in Oncology. *Crit. Rev. Oncol. Hematol.* 2002;42(3):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-HOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CH=NCH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Bi(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>. *Appl. Organomet. Chem.* 2005;19(1):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;437(1):41–46. DOI: 10.1016/j.ica.2015.07.008.
5. Yu L., Ma Y.-Q., Wang G.-C., Song H.-B., Wang H.-G., Li J.-S., Cui J.-R., Wang R.-Q. Synthesis, Characterization and Cytotoxicity of Some Triaryl bismuth(V) Di(*N-p*-toluenesulfonyl) Aminoacetates and the Crystal Structure of (4-CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>2</sub>NHCH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Bi(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl-4)<sub>3</sub>. *Appl. Organomet. Chem.* 2004;18(4):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;47(3):971–980. DOI: 10.1039/C7DT04171C.
7. Goswami M., Ellern A., Pohl N.L.B. Bismuth(V)-Mediated Thioglycoside Activation. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2013;52:8441–8445. DOI: 10.1002/anie.201304099.
8. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Egorova I.V., Kharsika A.N., Lodochnikova O.A., Gubaidullin A.T., Litvinov I.A. Synthesis and Structure of Tetra- and Triphenyl bismuth Arenesulfonates. *Russ. Chem. Bulletin.* 1999;48(12):2325–2329. DOI: 10.1007/BF02498282.
9. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Triphenyl bismuth Bis(3,4-dimethylbenzenesulfonate): Synthesis and Structure. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2016;61(3):317–320. DOI: 10.1134/S0036023616030207.
10. Sharutin V.V., Sharutina O.K. Tris(3-methylphenyl) bismuth Bis(3,4-dimethylbenzenesulfonate): Synthesis and Structure. *Russ. J. Gen. Chem.* 2016;86(5):1073–1076. DOI: 10.1134/S1070363216050157.

11. Sharutin V.V., Sharutina O.K. *Tris*(5-bromo-2-methoxyphenyl)bismuth *Bis*(benzenesulfonate) Solvate with Toluene. Synthesis and Structure. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2016;61:975–978. DOI: 10.1134/S0036023616080155.
12. Robertson A.P.M., Burford N., McDonald R., Ferguson M.J. Coordination Complexes of  $\text{Ph}_3\text{Sb}_2^+$  and  $\text{Ph}_3\text{Bi}_2^+$ : Beyond Pnictonium Cations. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2014;53(13):3480–3483. DOI: 10.1002/anie.201310613.
13. Sharutin V.V., Poddel'sky A.I., Sharutina O.K. Aryl Compounds of Pentavalent Antimony: Syntheses, Reactions, and Structures. *Russ. J. Coord. Chem.* 2020;46:663–728. DOI: 10.1134/S1070328420100012.
14. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
15. 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.
16. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program. *J. Appl. Cryst.* 2009;42:339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
17. Cambridge Crystallographic Data Center. 2019. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).
18. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Synthesis and Structure of Tri-*meta*-tolylbismuth Dicarboxylates. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2014;58(12):1470–1474. DOI: 10.1134/S003602361401015X.
19. Sharutin V.V., Egorova I.V., Sharutina O.K., Ivanenko T.K., Gatilov Yu.V., Adonin N.A., Starichenko V.F. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth *Bis*(fluorobenzoates). *Russ. J. Coord. Chem.* 2003;29:462–467. DOI: 10.1023/A:1024770728113.
20. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N. Triaryl bismuth Dicarboxylates  $\text{Ar}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$ , Ar = *p*-Tol, R =  $\text{CH}_2\text{Cl}$ ; Ar = Ph, R =  $\text{C}_6\text{H}_4\text{OMe-2}$ ,  $\text{CH}=\text{CHPh}$ . *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019;64:196–200. DOI: 10.1134/S0036023619020189.
21. Gushchin A.V., Shashkin D.V., Prytkova L.K., Somov N.V., Baranov E.V., Shavyrin A.S., Rykalin V.I. Synthesis and Structure of Triphenylantimony Dimethacrylate. *Russ. J. Gen. Chem.* 2011;81(3):493–497. DOI: 10.1134/S107036321103008X.
22. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth *Bis*(1-adamantanecarboxylate). *Russ. J. Inorg. Chem.* 2011;56:1565–1569. DOI: 10.1134/S0036023611100202.
23. Gusakovskaya A.A., Kalistratova O.S., Andreev P.V., Gushchin A.V., Somov N.V., Chuprunov E.V. Synthesis and Structure 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  $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{O}_2\text{CCH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2\text{-}m)_2$ . *J. Appl. Cryst.* 2018;63(2):186–190. DOI: 10.1134/S1063774518020062.
24. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Ermakova V.A., Smagina Y.R. *Tris*(5-bromo-2-methoxyphenyl)bismuth Dicarboxylates  $[(\text{C}_6\text{H}_3(\text{Br-5})(\text{MeO-2}))_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{CHal}_3]_2$  (Hal = F, Cl): Synthesis and Structure. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2017;62(8):1043–1047. DOI: 10.1134/S0036023617080174.
25. 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;2:28–33. DOI: 10.4236/csta.2013.21004.
26. Andreev P.V., Somov N.V., Kalistratova O.S., Gushchin A.V., Chuprunov E.V. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth *Bis*(3-phenylprop-2-enoate). *Crystallogr. Rep.* 2015;60:517–520. DOI: 10.1134/S1063774515040057.
27. Sharutin V.V., Egorova I.V., Kazakov M.A., Sharutina O.K. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth *Bis*(2-phenylaminobenzoate). *Russ. J. Inorg. Chem.* 2009;54(7):1095–1098. DOI: 10.1134/S0036023609070171.
28. Sharutin V.V., Ivanenko T.K., Nikolaeva N.A., Molokov A.A., Fukin G.K. Structures of Triphenylbismuth Dicarboxylates. *Russ. J. Coord. Chem.* 2006;32(9):644–651. DOI: 10.1134/S1070328406090041.
29. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Bregadze V.I., Zhigareva G.G. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth *Bis*(phenylcarboranylcarboxylate). *Russ. J. Gen. Chem.* 2010;80:1941–1944. DOI: 10.1134/S1070363210100117.

30. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Koshcheeva L.V. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth Dicarboxylates  $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$  ( $\text{R} = \text{C}_6\text{H}_4\text{OMe-2, C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2\text{-3,5, C}\equiv\text{CPh}$ ). *Russ. J. Inorg. Chem.* 2021;66(10):1407–1411. DOI: 10.31857/S0044457X21100160.
31. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Koshcheeva L.V. Synthesis and Structure of Triphenylbismuth Dicarboxylates  $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$  ( $\text{R} = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{F-3, C}_6\text{H}_3\text{F}_2\text{-2,3, C}_6\text{HF}_4\text{-2,3,4,5}$ ). *Russ. J. Gen. Chem.* 2021;91(5):758–762.
32. Sharutin V.V., Sharutina O.K. Synthesis and Structure of *Tris*(3-methylphenyl)bismuth *Bis*(3,4-dimethylbenzenesulfonate). *Russ. J. Gen. Chem.* 2016;86(5):1073–1076. DOI: 10.1134/S1070363216050157.
33. R  ther R., Huber F., Preut H. Triorganoantimon- und Triorganobismut-disulfonate Kristall – und Molek  lstrukturen von  $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{M}(\text{O}_3\text{SC}_6\text{H}_5)_2$  ( $\text{M} = \text{Sb, Bi}$ ). *Z. anorg. allg. Chem.* 1986;539:110–126. DOI: 10.1002/zaac.19865390811.
34. 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;113(19):5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.
35. Tarasevich B.N. *IR Spectra of the Main Classes of Organic Compounds. Reference Materials.* Moscow, MSU Publ. 2012. 54 p.
36. Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Schukin A.O., Fedulina T.G. *Infrared Spectroscopy of Organic and Natural Compounds: Textbook.* Saint-Petersburg, SPbGLTA Publ. 2007. 54 p.
37. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST): Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. URL: <https://sdb.sdb.aist.go.jp>.

Received 11 March 2022

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Механошина Е.С., Рыбакова А.В., Шарутин В.В. Синтез и строение бис(2,5-дихлорбензолсульфоната) три(мета-толил)висмута и бис(1-нафталинсульфоната) три(пара-толил)висмута // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 51–61. DOI: 10.14529/chem220306

**FOR CITATION**

Mekhanoshina E.S., Rybakova A.V., Sharutin V.V. Synthesis and structure of tri(*meta*-tolyl)bismuth bis(2,5-dichlorobenzenesulfonate) and tri(*para*-tolyl)bismuth bis(1-naphthalenesulfonate). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry.* 2022;14(3):51–61. (In Russ.). DOI: 10.14529/chem220306

---