

РЕАКЦИИ БРОМИДОВ БУТЕН[БИС(ТРИФЕНИЛФОСФОНИЯ)] И ПЕНТАН[БИС(ТРИФЕНИЛФОСФОНИЯ)] С АРЕНСУЛЬФОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

В.В. Шарутин[✉], Е.С. Механошина, Е.А. Вершинина, В.П. Захарченкова
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
[✉] sharutin50@mail.ru

Аннотация. Реакцией эквимольных количеств бромидов тетраорганилфосфония с аренсульфоновыми кислотами в воде с выходом до 89 % получены ионные аренсульфонаты тетраорганилфосфония $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3][\text{OSO}_2\text{C}_9\text{H}_3\text{N}(\text{OH}-4)(\text{I}-7)]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (**1**), $[\text{Ph}_3\text{P}(\text{CH}_2)_5\text{PPh}_3][\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)][\text{Br}]$ (**2**). Особенности строения комплексов **1**, **2** установлены методом РСА. Кристаллы **1** $[\text{C}_{58}\text{H}_{54}\text{I}_2\text{N}_2\text{O}_{12}\text{P}_2\text{S}_2]$, M 1350,89; сингония триклинная, группа симметрии $P-1$; параметры ячейки: $a = 9,506(8)$, $b = 11,323(12)$, $c = 13,662(10)$ Å; $\alpha = 82,21(4)^\circ$, $\beta = 89,26(2)^\circ$, $\gamma = 72,60(4)^\circ$, $V = 1390(2)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{\text{выч}} = 1,614$ г/см³, **2** $[\text{C}_{48}\text{H}_{45}\text{O}_5\text{P}_2\text{SBr}]$, M 875,75; сингония триклинная, группа симметрии $P-1$; параметры ячейки: $a = 10,307(7)$, $b = 14,226(9)$, $c = 16,291(10)$ Å; $\alpha = 67,07(3)^\circ$, $\beta = 83,74(3)^\circ$, $\gamma = 74,65(3)^\circ$, $V = 2122(2)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{\text{выч}} = 1,371$ г/см³] состоят из катионов тетраорганилфосфония и аренсульфонатных анионов с тетраэдрическим атомом серы. В кристалле комплекса **2** присутствуют также анионы $[\text{Br}]^-$. Длины связей P–C варьируют в интервале 1,779(3)–1,815(4) Å. Валентные углы CPC принимают значения 104,33(15)–112,00(10)°. Расстояния S–O изменяются в пределах 1,4397(18)–1,4576(19) Å. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2164291 (**1**), № 2165072 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Ключевые слова: бромид тетраорганилфосфония, аренсульфоновая кислота, аренсульфонат тетраорганилфосфония, синтез, строение, рентгеноструктурные исследования

Для цитирования: Реакции бромидов бутен[бис(трифенилфосфония)] и пентан[бис(трифенилфосфония)] с аренсульфоновыми кислотами / В.В. Шарутин, Е.С. Механошина, Е.А. Вершинина, В.П. Захарченкова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 2. С. 58–63. DOI: 10.14529/chem240205

Original article
DOI: 10.14529/chem240205

REACTIONS OF BUTENE[BIS(TRIPHENYLPHOSPHONIUM)] AND PENTANE[BIS(TRIPHENYLPHOSPHONIUM)] BROMIDES WITH ARENESULFONIC ACIDS

V.V. Sharutin, E.S. Mekhanoshina, E.A. Vershinina, V.P. Zakharchenkova
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
[✉] sharutin50@mail.ru

Abstract. The reaction of equimolar amounts of tetraorganylphosphonium bromides with arenesulfonic acids in water led to formation of ionic tetraorganylphosphonium arenesulfonates $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3][\text{OSO}_2\text{C}_9\text{H}_3\text{N}(\text{OH}-4)(\text{I}-7)]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (**1**), $[\text{Ph}_3\text{P}(\text{CH}_2)_5\text{PPh}_3][\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)][\text{Br}]$ (**2**), yielding up to 89 %. The structural features of complexes **1**, **2** were established by X-ray diffraction. Crystals **1** $[\text{C}_{58}\text{H}_{54}\text{I}_2\text{N}_2\text{O}_{12}\text{P}_2\text{S}_2]$, M 1350.89; triclinic system, symmetry group $P-1$; cell parameters: $a = 9.506(8)$, $b = 11.323(12)$, $c = 13.662(10)$ Å; $\alpha = 82.21(4)^\circ$, $\beta = 89.26(2)^\circ$, $\gamma = 72.60(4)^\circ$, $V = 1390(2)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{\text{calc}} = 1.614$ g/cm³, **2** $[\text{C}_{48}\text{H}_{45}\text{O}_5\text{P}_2\text{SBr}]$, M 875.75; triclinic system, symmetry group $P-1$; cell parameters: $a = 10.307(7)$, $b = 14.226(9)$, $c = 16.291(10)$ Å; $\alpha = 67.07(3)^\circ$, $\beta = 83.74(3)^\circ$,

$\gamma = 74.65(3)^\circ$, $V = 2122(2) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$; $\rho_{\text{calc}} = 1.371 \text{ g/cm}^3$ consist of tetraorganylphosphonium cations and arene-sulfonate anions with a tetrahedral sulfur atom. The crystal of complex **2** also contains $[\text{Br}]^-$ anions. The P–C bond lengths vary in the range 1.779(3)–1.815(4) Å. The CPC bond angles take values of 104.33(15)–112.00(10)°. The S–O distances vary within the range of 1.4397(18)–1.4576(19) Å. Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles for structures have been deposited in the Cambridge Structural Data Bank (No. 2164291 (**1**), No. 2165072 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: tetraorganylphosphonium bromide, arenesulfonic acid, tetraorganylphosphonium arene-sulfonate, synthesis, structure, X-ray diffraction studies

For citation: Sharutin V.V., Mekhanoshina E.S., Verшинina E.A., Zakharchenkova V.P. Reactions of butene[bis(triphenylphosphonium)] and pentane[bis(triphenylphosphonium)] bromides with arenesulfonic acids. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(2):58–63. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240205

Введение

Известно, что фосфорорганические соединения широко используются в синтетической и практической химии [1–12]. Наиболее известными производными пятивалентного фосфора являются фосфониевые соли, которые получают с хорошим выходом кватернизацией соответствующего фосфина в результате реакции с электрофилом или кислотой Бренстеда [13–16]. По другому способу их можно получить из пентафенилфосфора и кислот [17–20]. Однако данные методики имеют определенные недостатки, поэтому разработка новых простых методик получения солей фосфония, содержащих разнообразные функциональные группы, является актуальным направлением современной органической химии. В работах [21–25] нами был получен и структурно охарактеризован ряд аренсульфонатов тетраорганилфосфония из галогенидов тетраорганилфосфония и аренсульфоновых кислот. Достоинствами данного одностадийного способа являются мягкие условия проведения эксперимента и высокие выходы комплексов.

В настоящей работе представлен синтез новых ионных аренсульфонатов тетраорганилфосфония $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3][\text{OSO}_2\text{C}_9\text{H}_3\text{N}(\text{OH}-4)(\text{I}-7)]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (**1**), $[\text{Ph}_3\text{P}(\text{CH}_2)_5\text{PPh}_3][\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)][\text{Br}]$ (**2**), особенности строения которых установлены методом РСА.

Экспериментальная часть

В работе использовали бромиды тетраорганилфосфония и аренсульфоновые кислоты производства фирмы Alfa Aesar. Соединения **1** и **2** синтезировали по методике, описанной в [21].

Гидрат 7-иод-8-оксихинолин-5-сульфоната бутиленбис(трифенилфосфония) (1). Желтые кристаллы, (80 %), $T_{\text{пл}} = 143 \text{ }^\circ\text{C}$. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3356, 3086, 3063, 3040, 2930, 2880, 1585, 1489, 1439, 1398, 1371, 1315, 1196, 1142, 1113, 1038, 997, 841, 816, 793, 746, 714, 689, 658, 600, 544, 492, 418. Найдено, %: С 51,45; Н 4,09. $\text{C}_{58}\text{H}_{54}\text{I}_2\text{N}_2\text{O}_{12}\text{P}_2\text{S}_2$. Вычислено, %: С 51,52; Н 4,00.

2-Карбоксибензолсульфонат пентан(бис)трифенилфосфония бромид (2). Бесцветные кристаллы, (75 %), $T_{\text{пл}} = 144 \text{ }^\circ\text{C}$. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3418, 2957, 2934, 2870, 1748, 1741, 1587, 1490, 1393, 1213, 1192, 1142, 1092, 1040, 972, 953, 918, 903, 858, 845, 812, 772, 725, 710, 683, 656, 625, 604, 534, 517, 436, 419. Найдено, %: С 65,62; Н 5,23. $\text{C}_{48}\text{H}_{45}\text{BrO}_5\text{P}_2\text{S}$. Вычислено, %: С 65,77; Н 5,14.

Элементный анализ выполнен на элементном анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA 1108. Температуры плавления измерены на синхронном термоанализаторе Netzsch 449C Jupiter.

ИК-спектры соединений **1**, **2** записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 cm^{-1} .

Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Mo K_{α} -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, 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. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программ SHELXL/PC и OLEX2 [26–28]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{эвк}}(\text{C})$). Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл.

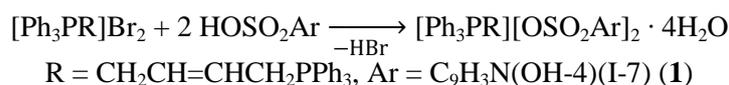
Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур 1, 2

Параметр	1	2
Формула	C ₅₈ H ₅₄ I ₂ N ₂ O ₁₂ P ₂ S ₂	C ₄₈ H ₄₅ O ₅ P ₂ SBr
<i>M</i>	476,59	875,75
Сингония	Триклинная	Триклинная
Пр. группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	9,506(8)	10,307(7)
<i>b</i> , Å	11,323(12)	14,226(9)
<i>c</i> , Å	13,662(10)	16,291(10)
α, град.	82,21(4)	67,07(3)
β, град.	89,26(2)	83,74(3)
γ, град.	72,60(4)	74,65(3)
<i>V</i> , Å ³	1390(2)	2122(2)
<i>Z</i>	2	2
ρ(выч.), г/см ³	1,614	1,371
μ, мм ⁻¹	1,329	1,140
<i>F</i> (000)	680,0	908,0
Размер кристалла, мм	0,3 × 0,1 × 0,09	0,3 × 0,25 × 0,17
Область сбора данных по θ, град.	6,7–56,64	5,9–56,62
Интервалы индексов отражений	–12 ≤ <i>h</i> ≤ 12, –14 ≤ <i>k</i> ≤ 15, –17 ≤ <i>l</i> ≤ 18	–13 ≤ <i>h</i> ≤ 13, –18 ≤ <i>k</i> ≤ 18, –21 ≤ <i>l</i> ≤ 21
Измерено отражений	36412	36162
Независимых отражений	6858	9762
<i>R</i> _{int}	0,0692	0,0346
Переменных уточнения	362	515
GOOF	1,015	1,024
<i>R</i> -факторы по <i>F</i> ² > 2σ(<i>F</i> ²)	<i>R</i> ₁ = 0,0421, <i>wR</i> ₂ = 0,0843	<i>R</i> ₁ = 0,0339, <i>wR</i> ₂ = 0,0767
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ = 0,0789, <i>wR</i> ₂ = 0,0963	<i>R</i> ₁ = 0,0507, <i>wR</i> ₂ = 0,0829
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	1,54/–0,69	0,24/–0,51

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2164291 (1), № 2165072 (2); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

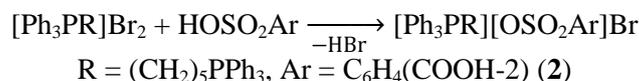
Обсуждение результатов

Мы нашли, что прибавление к прозрачному горячему водному раствору дибромида *бис*(трифенилфосфония) водного раствора 7-йод-8-оксихинолин-5-сульфо кислоты приводит к образованию целевого комплекса **1**, который после концентрации раствора и высушивания представляли собой устойчивые на воздухе прозрачные кристаллы, хорошо растворимые в хлороформе, диэтиловом эфире, этаноле, аренах, ацетонитриле, тетрагидрофуране, четыреххлористом углероде и плохо – в воде при комнатной температуре.



Производные 7-йод-8-оксихинолин-5-сульфо кислоты ионного типа описаны в литературе [29–33]. Меньшим числом представлены ее комплексные соединения [34, 35] и ковалентные производные [36]. К комплексам последнего типа и относится полученный нами гидрат 7-йод-8-оксихинолин-5-сульфоната бутен[*бис*(трифенилфосфония)].

Мы показали, что в случае избыточного количества исходного бромсодержащего соединения в реакционной смеси может наблюдаться замещение только одного атома брома, как, например, при взаимодействии дибромид пентан[бис(трифенилфосфония)] с 2-сульфобензойной кислотой, приводящего к образованию комплекса, содержащего как сульфоанионы, так и анионы брома.



В ИК-спектре комплекса **1** наблюдается полоса поглощения высокой интенсивности при 3356 см^{-1} , характеризующие молекулы гидратной воды, а для комплексов **1** и **2** – при $3086\text{--}3040 \text{ см}^{-1}$, соответственно, отвечающие валентным колебаниям связей $\text{C}_{\text{Ar}}\text{--H}$. Полосы при $1192\text{--}992$ и $858\text{--}725 \text{ см}^{-1}$ относятся соответственно к плоскостным и внеплоскостным деформационным колебаниям этих же связей. Также присутствуют характерные полосы валентных колебаний углеродного скелета ароматических фрагментов в области $1585\text{--}1489 \text{ см}^{-1}$. Валентным колебаниям метиленовых групп соответствуют полосы при $2957\text{--}2870 \text{ см}^{-1}$, деформационным колебаниям – при $1485\text{--}1456 \text{ см}^{-1}$. Полосы поглощения сильной интенсивности при $1489\text{--}1439$ и $1113\text{--}1038 \text{ см}^{-1}$ отвечают асимметричным и симметричным валентным колебаниям сульфонатной группы SO_3 . Интенсивные полосы при 714 и 710 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям связи $\text{S}\text{--O}$. Валентным колебаниям связей $\text{C}_{\text{Ar}}\text{--S}$ и $\text{C}_{\text{Ar}}\text{--P}$ отвечают полосы высокой интенсивности при 544 , 534 и $746\text{--}714 \text{ см}^{-1}$ соответственно [37, 38].

По данным РСА кристаллы **1** и **2** состоят из фосфониевых катионов и аренсульфонатных анионов с тетраэдрическим атомом серы (рис. 1, 2). Соединение **1** является гидратом, молекулы воды в котором участвуют в структурировании кристалла (расстояния $\text{H}\cdots\text{O}$ изменяются в интервале $2,08\text{--}2,87 \text{ \AA}$). Катион соединения **2** центросимметричен (центр инверсии находится на середине двойной связи $\text{C}(8)=\text{C}(8)$). Длины связей $\text{P}\text{--C}$ варьируют в интервале $1,786(4)\text{--}1,815(4) \text{ \AA}$. Валентные углы CPC принимают значения $104,33(15)^\circ\text{--}112,00(10)^\circ$. Расстояния $\text{S}\text{--O}$ изменяются в пределах $1,4397(19)\text{--}1,4576(2) \text{ \AA}$. Длины связей $\text{S}\text{--C}$ составляют $1,779(3)$ и $1,797(2) \text{ \AA}$ соответственно.

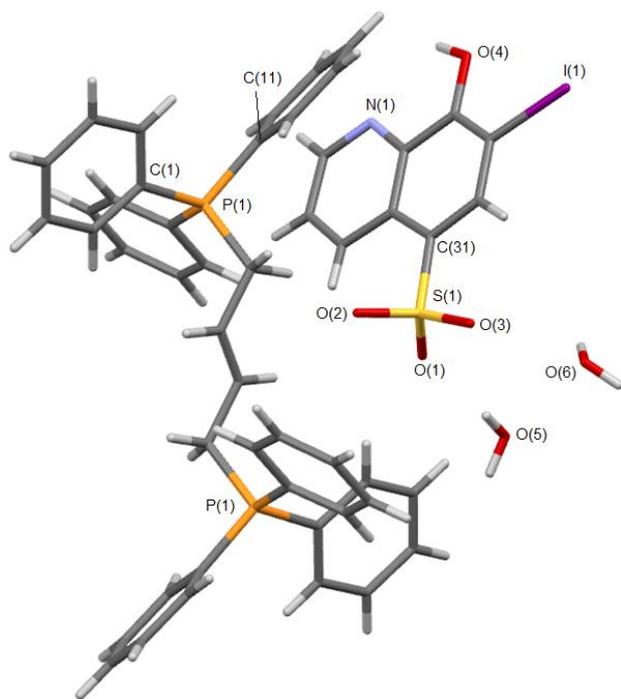


Рис. 1. Общий вид гидрата
7-йод-8-оксихинолин-5-сульфоната
бутиленбис(трифенилфосфония) (**1**)

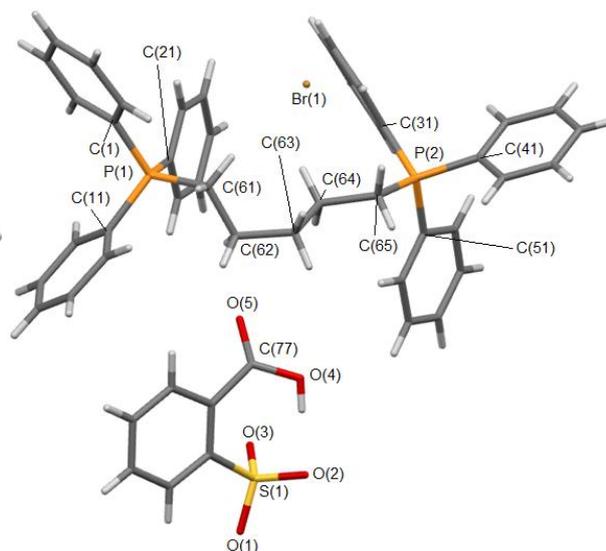


Рис. 2. Общий вид 2-карбокисбензолсульфоната
пентан(бис)трифенилфосфонийбромида (**2**)

Выводы

Взаимодействие бромидов тетраорганилфосфония с аренсульфоновыми кислотами в воде приводит, в зависимости от соотношения исходных реагентов, к замещению одного или двух атомов брома на аренсульфонатную группу, при этом образуются ионные комплексы аренсульфонатов тетраорганилфосфония, строение которых установлено методом РСА.

Список источников

1. Hartley F.R. The Chemistry of Organophosphorus Compounds. Vol. 3. Phosphonium Salts, Ylides and Phosphoranones / F.R. Hartley. John Wiley & Sons, Ltd., 1983. 458 p.
2. Moritz R., Wagner M., Schollmeyer D. et al. // Chem. Eur. J. 2015. Vol. 21. P. 9119. DOI: 10.1002/chem.201406370.
3. Werner T. // Adv. Synth. Catal. 2009. Vol. 351. P. 1469. DOI: 10.1002/adsc.200900211.
4. Cordovilla C., Bartolome C., Martinez-Ilarduya J.M. et al. // ACS Catal. 2015. Vol. 5. P. 3040. DOI: 10.1021/acscatal.5b00448.
5. Chong C.C., Hirao H., Kinjo R. // Angew. Chem. Int. Ed. 2015. Vol. 127. P. 192. DOI: 10.1002/ange.201408760.
6. Luiz J.F., Spikes H. // Tribology Letters. 2020. Vol. 68. P. 75. DOI: 10.1007/s11249-020-01315-8.
7. Zhu Ch.-L., Zhang F.-G., Meng W. et al. // Angew. Chem. Int. Ed. 2011. Vol. 50. P. 5869. DOI: 10.1002/anie.201100283.
8. Cassity C.G., Mirjafari A., Mobarrez N. et al. // Chem. Commun. 2013. Vol. 49, No. 69. P. 7590. DOI: 10.1039/c3cc44118k.
9. Canac Y., Duhayon C., Chauvin R. // Angew. Chem. Int. Ed. 2007. Vol. 46. P. 6313. DOI: 10.1002/anie.200701490.
10. Milenkovic M., Warzajtis B., Rychlewska U. et al. // Molecules. 2012. Vol. 17. No. 3. P. 2567. DOI: 10.3390/molecules17032567
11. Pavlova J.A., Khairullina Z.Z., Tereshchenkov A.G. et al. // Antibiotics. 2021. Vol. 10. P. 489. DOI: 10.3390/antibiotics10050489.
12. Tsepaeva O.V., Salikhova T.I., Grigor'eva L.R. et al. // Med. Chem. Res. 2021. Vol. 30. P. 925. DOI: 10.1007/s00044-020-02674-6.
13. Sodano F., Rolando B., Spyraakis F. et al. // ChemMedChem. 2018. Vol. 13. P. 1238. DOI: 10.1002/cmdc.201800088.
14. Mironov V.F., Nemtarev A.V., Tsepaeva O.V. et al. // Molecules. 2021. Vol. 26. P. 6350. DOI: 10.3390/molecules26216350.
15. Khasiyatullina N.R., Gubaidullin A.T., Shinkareva A.M. et al. // Russ. Chem. Bull., Int. Ed. 2020. Vol. 69. P. 2140. DOI: 10.1007/s11172-020-3012-3.
16. Romanov S., Aksunova A., Bakhtiyarova Y. et al. // J. Organomet. Chem. 2020. Vol. 910. P. 121130. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2020.121130
17. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Журн. общей химии. 2009. Т. 79. С. 80. DOI: 10.1134/S1070363209010125
18. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Рыбакова А.В. и др. // Журн. общей химии. 2018. Т. 88, № 8. С. 1308. DOI: 10.1134/S0044460X18080139
19. Шарутин В.В., Мукушева Н., Уржумова А.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2018. Т. 10, № 2. С. 48. DOI: 10.14529/chem180206
20. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Губанова Ю.О. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2019. Т. 62, № 2. С. 4. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5823
21. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205.
22. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общей химии. 2022. Т. 92, № 6. С. 885. DOI: 10.31857/S0044460X22060087.
23. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. структурной химии. 2022. Т. 63, № 10. С. 99532. DOI: 10.26902/JSC_id99532.
24. Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 1. С. 31. DOI: 10.14529/chem230103

25. Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 2. С. 55.
DOI: 10.14529/chem230204
26. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
27. 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.
28. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. Vol. 42. P. 339.
DOI: 10.1107/S0021889808042726.
29. Smith G., Wermuth U.D., Healy P.C. // Acta Cryst. 2007. V. C63, o405.
DOI: 10.1107/S0108270107025772.
30. Smith G., Wermuth U.D., Healy P.C. // Acta Cryst. 2004. V. E60, o1040.
DOI: 10.1107/S1600536804011274.
31. Smith G. // Acta Cryst. 2012. V. E68, o3349. DOI: 10.1107/S1600536812046247.
32. Hemamalini M., Muthiah P.T., Bocelli G., Cantoni A. // Acta Cryst. 2004. V. C60, o284.
DOI: 10.1107/S0108270104001295.
33. Smith G., Wermuth U.D., Healy P.C. // Acta Cryst. 2007. V. C63, o405.
DOI: 10.1107/S0108270107025772.
34. Liu H.-Y., Wu H., Ma J.-F. // Acta Cryst. 2006. V. E62, m1036.
DOI: 10.1107/S1600536806012943.
35. Balasubramani K., Hemamalini M., Francis S. et al. // J. Chem. Cryst. 2010. V. 40. P. 316.
DOI: 10.1007/s10870-009-9653-6
36. Balasubramani K., Thomas P., Bocelli G., Cantoni A. // J. Coord. Chem. 2005. V. 58. P. 1689.
37. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.
38. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О. и др. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru.

Механошина Евгения Сергеевна – магистрант кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: mexev@mail.ru.

Вершинина Евгения Анатольевна – доцент кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: verшинina@susu.ru.

Захарченкова Валерия Петровна – магистрант кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: lerazakhar@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 27 октября 2023 г.

The article was submitted 27 October 2023.