

СТРУКТУРА 1,1'-(2,6-ПИРИДИНДИИЛ)БИС[6,7-ДИГИДРО-4-(4-МЕТОКСИФЕНИЛ)-5H-ЦИКЛОПЕНТА[С]ПИРИДИНА

**А.В. Рыбакова^{1✉}, С.Е. Ватолина², А.П. Криночкин^{2,3}, В.С. Гавико^{2,4},
О.В. Шабунина⁵, Ю.М. Сайфутдинова², А.С. Маркина², А.С. Алексеева²,
Д.С. Копчук^{2,3}, Г.В. Зырянов^{2,3}**

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

³ Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

⁴ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

⁵ Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория
«Сириус», Россия

✉ rybakovaav@susu.ru

Аннотация. 1,1'-(2,6-Пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридин был с хорошим выходом (52 %) получен взаимодействием 3,3'-(2,6-пиридиндиил)бис[6-(4-метоксифенил)-1,2,4-триазина] с 1-морфолинциклопенетном при сплавлении в отсутствие растворителя при 200 °С, т. е. был реализован PASE-подход в отличие от ранее предложенного в литературе кипячения в 1,4-диоксане. Структура полученного соединения была подробно изучена с помощью рентгеноструктурного анализа его монокристалла, проведено сравнение с ранее описанными в литературе сведениями (в частности, длин связей между атомами и валентных углов, а также взаимного расположения ароматических фрагментов). Описаны особенности супрамолекулярной структуры данного соединения, не описанные ранее для данной структуры, в частности, выявлено расположение двух мономеров, сложенных по принципу «голова к голове», обеспечивающее минимальное расстояние между соседними структурами.

Ключевые слова: 2,2':6',2''-терпиридины, реакция Боджера, рентгеновская кристаллография

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта РФФ № 25-73-30016.

Для цитирования: Структура 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридина / А.В. Рыбакова, С.Е. Ватолина, А.П. Криночкин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2026. Т. 18, № 1. С. 137–143. DOI: 10.14529/chem260110

Original article
DOI: 10.14529/chem260110

THE STRUCTURE OF 1,1'-(2,6-PYRIDINDIYL)BIS[6,7-DIHYDRO-4-(4-METHOXYPHENYL)-5H-CYCLOPENTA[C]PYRIDINE

**A.V. Rybakova^{1✉}, S.E. Vatolina², A.P. Krinochkin^{2,3}, V.S. Gaviko^{2,4},
O.V. Shabunina⁵, Yu.M. Sayfutdinova², A.S. Markina², A.S. Alekseeva²,
D.S. Koptchuk^{2,3}, G.V. Zyryanov^{2,3}**

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

³ I.Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of UB of the RAS, Yekaterinburg, Russia

⁴ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of UB of the RAS, Yekaterinburg, Russia

⁵ Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Russia

✉ rybakovaav@susu.ru

Abstract. 1,1'-(2,6-Pyridinediyl)bis[6,7-dihydro-4-(4-methoxyphenyl)-5H-cyclopenta[c]pyridine was obtained in good yield (52%) by reacting 3,3'-(2,6-pyridinediyl)bis[6-(4-methoxyphenyl)-1,2,4-triazine]

with 1-morpholincyclopene during its solvent-free fusion at 200 °C, i.e., the PASE approach was implemented in contrast to the previously proposed boiling in 1,4-dioxane in the literature. The structure of the obtained compound was studied in detail using X-ray structure analysis of its single crystal, and a comparison was made with information previously described in the literature (in particular, the bond lengths between atoms and the valence angles, as well as the mutual arrangement of aromatic fragments). The features of the supramolecular structure of the obtained compound that had not been described previously were characterized, including the arrangement of two monomers stacked head-to-head, which ensured the minimal distance between adjacent structures.

Keywords: 2,2':6',2''-terpyridines, Bodger reaction, X-ray crystallography

Acknowledgments. The work was supported by Russian Science Foundation (grant No. 25-73-30016).

For citation: Rybakova A.V., Vatolina S.E., Krinochkin A.P., Gaviko V.S., Shabunina O.V., Sayfutdinova Yu.M., Markina A.S., Alekseeva A.S., Kopchuk D.S., Zyryanov G.V. The structure of 1,1'-(2,6-pyridindiyл)bis[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридин. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2026;18(1):137–143. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem260110

Введение

2,2':6',2''-Терпиридины представляют существенный практический интерес. В частности, они могут быть использованы для получения линейных макромолекул [1]. Также они являются лигандами для получения металлокомплексов с перспективными свойствам. Они могут найти применение при создании новых материалов благодаря наличию фотолюминесцентных свойств [2, 3], а также участвовать в различных каталитических, электрохимических и фотохимических процессах [4–6].

Одним из подходов к 2,2':6',2''-терпиридинам является синтез через их бис-1,2,4-триазиновые прекурсоры в результате реакции Боджера [7]. При этом возможно аннелирование циклоалкановых фрагментов к вновь образующимся пиридиновым кольцам при использовании в данной реакции енаминов [8, 9]. В частности, по такой методологии был получен 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридин **1** [10] в результате гетероциклизации гидразона 4'-метоксиизонитрозоацетофенона **2** и пиридин-2,6-дикарбальдегида, а последующее превращение бис-1,2,4-триазинового прекурсора **3** в соответствующий терпиридин было выполнено при кипячении в 1,4-диоксане в течение 6 ч (схема 1). В этой же работе была описана структура соединения **1**.

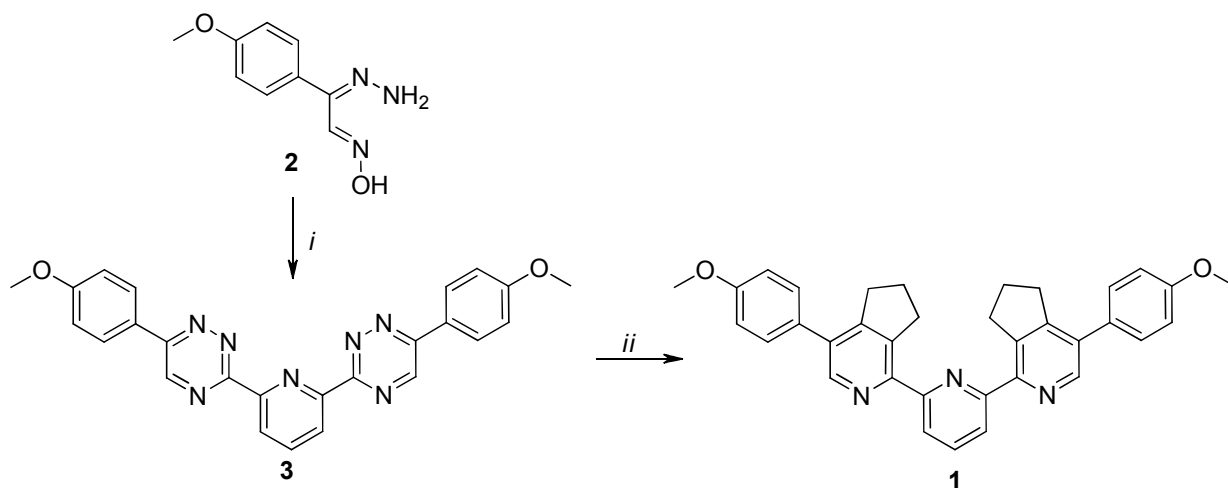


Схема 1. Ранее описанный синтез соединения **1**. Реагенты и условия:

i) пиридин-2,6-дикарбальдегид / АсОН, кипячение (1 мин);

ii) ii) 1-морфолинциклопентен / диоксан, кипячение, 6 ч

В то же время известно, что в случае наличия в структуре 1,2,4-триазинового субстрата электронодонорных заместителей их активность в реакциях аза-Дильса–Альдера снижается, эффективным способом их трансформации в соответствующие пиридины в этом случае является взаи-

действие с 1-морфолинциклопентеном в отсутствие растворителя [11, 12], применимость данной методологии была показана в том числе на примере получения 2,2':6',2''-терпиридинов [13].

Целью настоящей работы является исследование возможности синтеза 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридина без использования растворителя (PASE-подход), а также изучение его структуры методом РСА, в сравнении с имеющимися в литературе сведениями.

Экспериментальная часть

Исходный 3,3'-(2,6-пиридиндиил)бис[6-(4-метоксифенил)-1,2,4-триазин] (**3**) был получен по ранее предложенной методике [7]. Все остальные реагенты коммерчески доступны.

Синтез 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридина (1**).**

Смесь 1,2,4-триазина **3** (224 мг, 0,50 ммоль) и 1-морфолинциклопентена (0,8 мл, 5,0 ммоль) перемешивают на магнитной мешалке при 200 °С в атмосфере аргона в отсутствие растворителя в течение 2 ч. Затем к реакционной смеси добавляют дополнительную порцию 1-морфолинциклопентена (0,4 мл, 2,5 ммоль) и реакционную массу перемешивают при 200 °С в течение дополнительного часа. Продукт выделяют колоночной хроматографией (элюент – хлороформ-этилацетат (9:1), R_f 0,5). Аналитический образец получен перекристаллизацией из этанола. Выход 137 мг (52 %). Спектр ЯМР ^1H (400 МГц, CDCl_3 , м. д., $J/\text{Гц}$): 2,03–2,11 (м, 4H, C(6)H₂); 3,06 (т, 2H, C(7)H₂, $^3J = 7,6$ Гц); 3,43 (т, 2H, C(5)H₂, $^3J = 7,6$ Гц); 3,88 (с, 6H, OMe); 7,00–7,06 (м, 4H, C₆H₄OMe); 7,44–7,49 (м, 4H, C₆H₄OMe); 7,96 (дд, 1H, $^3J = 8,0, 8,0$ Гц, H-4(Py)); 8,17 (д, 2H, $^3J = 8,0$ Гц, H-3(Py) и H-5(Py)); 8,55 (с, 2H, H-5'(Py) и H-5''(Py)). MS ESI: m/z (I , %): 526,25 (100) [M+H]⁺. Найдено (%): C 79,89; H 5,83; N 8,12. C₃₅H₃₁N₃O₂. Вычислено (%): C 79,97; H 5,94; N 7,99.

Масс-спектр (тип ионизации – электрораспыление) записан на приборе Agilent Infinity II фирмы Agilent Technologies.

Спектр ЯМР ^1H записан на спектрометре Bruker Avance-400 (400 МГц, внутренний стандарт – SiMe₄).

Элементный анализ выполнен на CHN анализаторе PE 2400 II фирмы Perkin Elmer.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) кристалла соединения **1** был проведён на автоматическом четырехкружном дифрактометре Rigaku XtaLAB Synergy с CCD-детектором HyPix-6000HE и источником рентгеновского излучения PhotonJet по стандартной процедуре (MoK $_{\alpha}$ -излучение, графитовый монохроматор, ω -сканирование с шагом 1°) при $T = 295(2)$ К. Была применена эмпирическая поправка на поглощение. Данные измеренных отражений проиндексированы, интегрированы и масштабированы с использованием пакета программ CrysAlisPro [14]. Структуры расшифрованы методом внутренней фазировки по программе SHELXT [15] и уточнены методом наименьших квадратов по F^2 с использованием программы SHELXL [16]. Расшифровка и уточнение структуры проведены в программной оболочке Olex2 [17]. Неводородные атомы уточнены в анизотропном приближении. Атомы водорода при атомах кислорода выявлены из разностных рядов Фурье. Все остальные атомы водорода помещены в вычисленные положения в соответствии со стереохимическими критериями и уточнены по «схеме наездника». Результаты РСА зарегистрированы в Кембриджской базе структурных данных под номером CCDC 2513600. Эти данные находятся в свободном доступе и могут быть запрошены по адресу <https://www.ccdc.cam.ac.uk/>.

Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структуры 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридина приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридина

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Формула	C ₃₅ H ₃₁ N ₃ O ₂	ρ (выч.), г/см ³	1,247
M	525,63	μ , мм ⁻¹	0,078
Сингония	моноклинная	$F(000)$	1112,0

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Пр. группа	$C2/c$	Размер кристалла, мм	$0,422 \times 0,207 \times 0,087$
a , Å	16,4000(4)	Область сбора данных по 2θ , град.	5,22–48,434
b , Å	15,6021(4)	Интервалы индексов отражений	$-21 \leq h \leq 22$, $-21 \leq k \leq 20$, $-14 \leq l \leq 15$
c , Å	11,0445(2)	Измерено отражений	46590
α , град.	90	Независимых отражений	3617 [$R_{int} = 0,0518$, $R_{sigma} = 0,0275$]
β , град.	97,850(2)	Переменных уточнения	199
γ , град.	90	$GOOF$	1,019
V , Å ³	2799,52(11)	R -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0583$, $wR_2 = 0,1546$
Z	4	R -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,1026$, $wR_2 = 0,1829$
		Остаточная электронная плотность (min/max), $e/\text{Å}^3$	0,23/–0,21

Обсуждение результатов

В настоящей работе синтез соединения **1** был выполнен взаимодействием его прекурсора **3** с 1-морфолинциклопентеном при нагревании до 200 °С в инертной атмосфере в отсутствие растворителя в течение 3 ч (схема 2). Последующая чистка колоночной хроматографией (элюент – хлороформ-этилацетат (9:1), R_f 0,5) позволила получить целевой продукт с выходом 52 %. Его кристаллы, пригодные для РСА, были получены нами в результате медленного упаривания раствора в хлороформе.

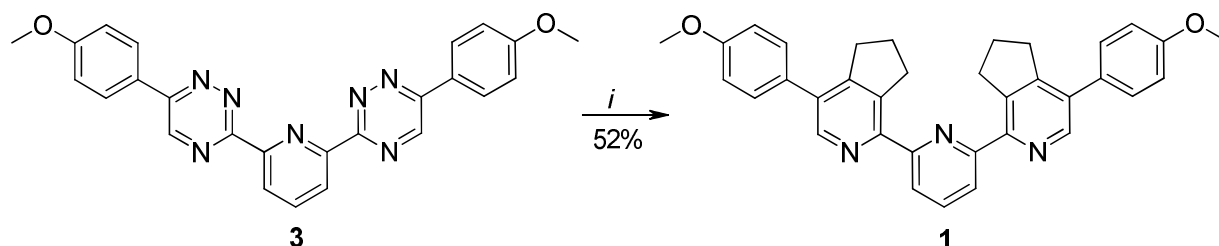


Схема 2. Разработанный синтез соединения **1**. Реагенты и условия: *l*) 1-морфолинциклопентен, 200 °С, 3 ч

В нашем случае соединение **1** аналогично известным данным [10] кристаллизуется в моноклинной сингонии с пространственной группой $C2/c$. Три пиридиновых звена в терпиридиновом мотиве принимают трансoidalную конфигурацию по отношению к межкольцевым связям С–С (рис. 1), что минимизирует электростатические взаимодействия между неподеленными парами атомов азота.

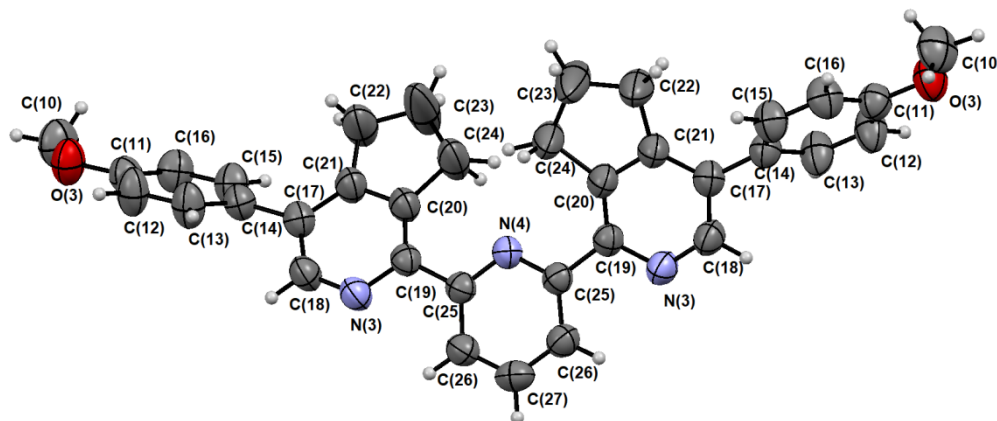


Рис. 1. Данные РСА соединения **1** и принятая в структурном эксперименте нумерация атомов

Полученные длины связей и валентные углы аналогичны таковым для известных производных терпиридина [10, 18–20]. Например, определенные валентные углы между тремя атомами азота составляют 118,6(2) для C18-N3-C19 и 118,6(0) для C25-N4-C25. Ароматические кольца скручены относительно друг друга, при этом угол между центральным пиридиновым звеном и пиридиновым фрагментом 6,7-дигидро-5*H*-циклопента[с]пиридина составляет 23,64° (лит. 23,61(6)° [10]). По-видимому, такое пространственное расположение обеспечивает наиболее выгодную ориентацию циклопентильных колец с меньшим стерическим напряжением и меньшим межкольцевым отталкиванием Н··Н.

Наиболее интересной особенностью кристаллической структуры является характер межмолекулярных взаимодействий, не описанный ранее для данной структуры. Расположение двух мономеров, сложенных по принципу «голова к голове», описывается минимальным расстоянием между атомом водорода циклопентильного цикла в 5-том положении бициклической системы и атомом углерода метильной группы (C(22)-H(22A)…C(10) 2,97 Å). Для каждого из мономеров наблюдаются минимальные расстояния C(26)-H(26)…C(10) 2,87 Å с соседними молекулами. Кроме того, межмолекулярные расстояния C(13)-H(13)…C(18) 2,87 Å между атомом водорода электроноизбыточного метоксифенильного заместителя и атомом углерода электронодефицитного центрального пиридинового цикла позволяют предположить присутствие слабых π-π стэкинг-овых взаимодействий. При этом угол между плоскостями ароматических колец составляет 84,54°, а расстояние между центроидами 4,92 Å. Это позволяет предположить участие слабых контактов С-Н…С и π-π стэкинга в стабилизации кристаллической структуры (рис. 2).

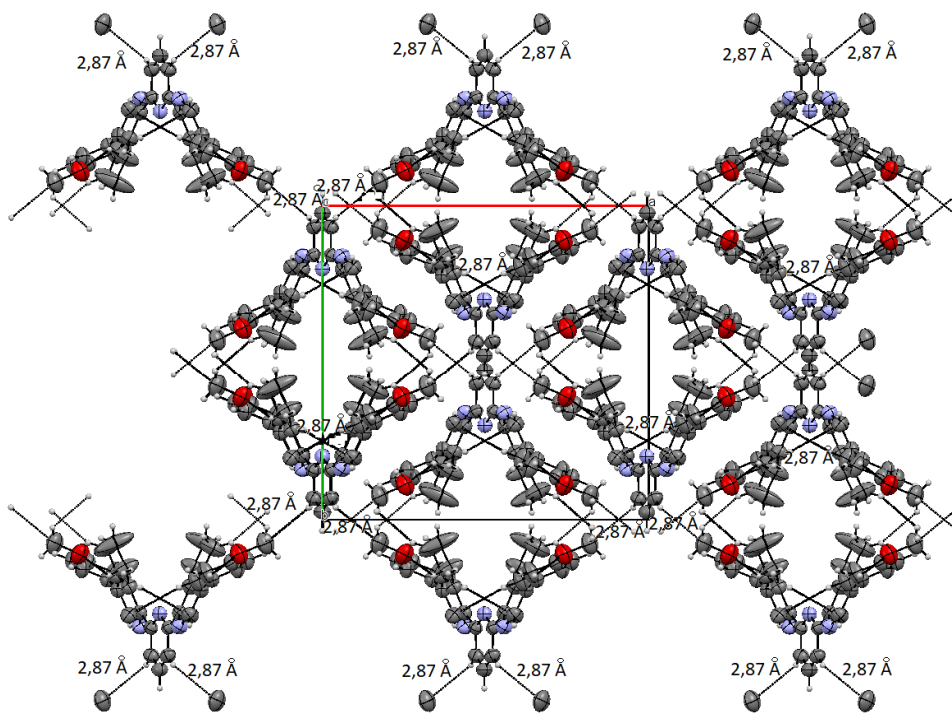


Рис. 2. Упаковка молекул в кристалле соединения 1 (показана проекция вдоль кристаллографической оси *c*)

Авторами работы [10] отмечена разупорядоченность атома углерода в 6-том положении бицикла циклопента[с]пиридина, однако в нашем случае этого не наблюдается. Но следует отметить, что эллипсоиды тепловых колебаний аналогичного атома углерода (C(23)), а также соседних атомов C(22) и C(24) каждого циклопентильного кольца сильно растянуты в направлении, перпендикулярном плоскости кольца (рис. 3). Подобные явления встречаются и для других циклопента[с]пиридиновых бициклических структур, депонированных в Кембриджской Структурной Базе Данных (Cambridge Structural Database <http://www.ccdc.cam.ac.uk>) (например, в работе [21]).

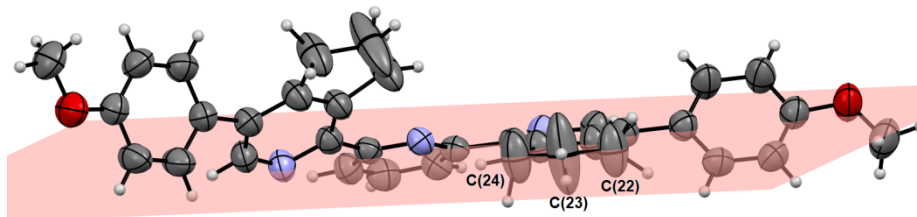


Рис. 3. Представление эллипсоидов вероятностей тепловых колебаний атомов углерода C(23), C(22) и C(24) циклопентильного кольца относительно его плоскости (закрашена цветом)

Заключение

Таким образом, нами исследована возможность применения PASE-подхода к синтезу 1,1'-(2,6-пиридиндиил)бис[6,7-дигидро-4-(4-метоксифенил)-5H-циклопента[с]пиридина (проведение синтеза в условиях отсутствия растворителя), показана успешность применения данной методологии для получения целевого продукта с хорошим выходом (52 %), а также проведено детальное изучение структуры его монокристалла в сравнении с имеющимися в литературе сведениями. Описаны особенности супрамолекулярной структуры данного соединения, не описанные ранее для данной структуры, в частности, выявлено расположение двух мономеров, сложенных по принципу «голова к голове», обеспечивающее минимальное расстояние между соседними структурами.

Список источников

1. Beley M., Chodorowski S., Collin J.-P., Sauvage J.-P., Flamigni L., Barigelletti F. // *Inorg. Chem.* 1994. V. 33, No. 8. P. 2543. DOI: 10.1021/ic00090a012
2. Cavazzini M., Quici S., Scalera C., Puntoriero F., La Ganga G., Campagna S. // *Inorg. Chem.* 2009. V. 48, No. 17. P. 8578. DOI: 10.1021/ic9006108
3. Bhaumik C., Das S., Saha D., Dutta S., Baitalik S. // *Inorg. Chem.* 2010. V. 49, No. 11. P. 5049. DOI: 10.1021/ic100138s
4. Ashford D.L., Stewart D.J., Glasson C.R., Binstead R.A., Harrison D.P., Norris M.R., Concepcion J.J., Fang Z., Templeton J.L., Meyer T.J. // *Inorg. Chem.* 2012. V. 51, No. 12. P. 6428. DOI: 10.1021/ic300061u
5. Sinha P., Raghuvanshi D.S., Singh K.N., Mishra L. // *Polyhedron.* 2012. V. 21, No. 1. P. 227. DOI: 10.1016/j.poly.2011.09.014
6. Ashford D.L., Song W., Concepcion J.J., Glasson C.R.K., Brennaman M.K., Norris M.R., Fang Z., Templeton J.L., Meyer T.J. // *J. Am. Chem. Soc.* 2012. V. 134, No. 46. P. 19189. DOI: 10.1021/ja3084362
7. Kozhevnikov V.N., Kozhevnikov D.N., Shabunina O.V., Rusinov V.L., Chupakhin O.N. // *Tetrahedron Lett.* 2005. V. 46. P. 1521. DOI: 10.1016/j.tetlet.2005.01.020
8. Rykowski A., Branowska D., Kielak J. // *Tetrahedron Lett.* 2000. V. 41, P. 3657. DOI: 10.1016/S0040-4039(00)00436-6
9. Boger D.L., Panek J.S. // *J. Org. Chem.* 1981. V. 46, Is. 10. P. 2179. DOI: 10.1021/jo00323a044
10. Kozhevnikov V.N., Whitwood A.C., Bruce D.W. // *Chem. Commun.* 2007. P. 3826. DOI: 10.1039/b709730a
11. Savchuk M.I., Khasanov A.F., Kopchuk D.S., Krinochkin A.P., Nikonov I.L., Starnovskaya E.S., Shtaitz Y.K., Kovalev I.S., Zyryanov G.V., Chupakhin O.N. // *Chem. Heterocycl. Compds.* 2019. V. 55, No. 6. P. 554. DOI: 10.1007/s10593-019-02495-5
12. Kopchuk D.S., Krinochkin A.P., Starnovskaya E.S., Shtaitz Y.K., Khasanov A.F., Taniya O.S., Santra S., Zyryanov G.V., Majee A., Rusinov V.L., Chupakhin O.N. // *ChemistrySelect.* 2018. V. 3. P. 4141. DOI: 10.1002/slct.201800220
13. Shabunina O.V., Starnovskaya E.S., Shaitz Y.K., Kopchuk D.S., Sadiyeva L.K., Kim G.A., Taniya O.S., Nikonov I.L., Santra S., Zyryanov G.V., Charushin V.N. *J. Photochem. Photobiol. A.* 2021, art. No. 113101. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2020.113101

14. CrysAlisPro, version 1.171.39.38a, Data Collection, Reduction and Correction Program, Rigaku Oxford Diffraction, 2017.
15. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. A. 2015. V. A71. P. 3. DOI: 10.1107/S2053273314026370
16. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. C. 2015. V. C71. P. 3. DOI: 10.1107/S2053229614024218
17. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H.* // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42, No. 2. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
18. *Sahoo A., Deb S., Das S., Baitalik S.* Dyes Pigm. 2023. V. 218. art. no. 111425. DOI: 10.1016/j.dyepig.2023.111425
19. *Chai K., Jiang Y., Han T., Niu J., Yao L., Zhang H., Zeng M., Zhang L., Duan X., Wang J.* // Polymhedron. 2019. V. 157. P. 124. DOI: 10.1016/j.poly.2018.09.053
20. *Szlapa-Kula A., Malecka M., Machura B.* // Dyes Pigm. 2020. V. 180. art. no. 108480. DOI: 10.1016/j.dyepig.2020.108480
21. *Shishkina S.V., Musatov V.I., Zemlyanaya N.I., Sofronov D.S., Lipson V.V., Borodina V.V., Shirobokova M.G.* CCDC 1046023.

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

Ватолина Светлана Евгеньевна – лаборант-исследователь Лаборатории перспективных материалов, зеленых методов и биотехнологии НОИИЦ ХФТ ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: svetlana.vatolina@urfu.me

Криночкин Алексей Петрович – кандидат химических наук, младший научный сотрудник Технологической лаборатории, Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия; научный сотрудник кафедры органической и биомолекулярной химии ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: a.p.krinochkin@urfu.ru

Гавико Василий Семёнович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела магнетизма и магнитных наноматериалов ИЕНиМ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия; руководитель отдела рентгеноструктурного анализа, Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия. E-mail: gaviko@imp.uran.ru

Шабунина Ольга Владимировна – кандидат химических наук, доцент Научного центра трансляционной медицины, Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория «Сириус», Россия. E-mail: shabunina.ov@talantiuspeh.ru.

Сайфутдинова Юлия Мударисовна – младший научный сотрудник лаборатории перспективных материалов, зеленых методов и биотехнологий НОИИЦ ХФТ ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: minjuliya1107@yandex.ru

Маркина Александра Сергеевна – лаборант-исследователь лаборатории перспективных материалов, зеленых методов и биотехнологий НОИИЦ ХФТ ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: alexandra475747@gmail.com.

Алексеева Анастасия Сергеевна – лаборант-исследователь лаборатории перспективных материалов, зеленых методов и биотехнологий НОИИЦ ХФТ ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: aas10804@gmail.com.

Копчук Дмитрий Сергеевич – доктор химических наук, старший научный сотрудник Лаборатории координационных соединений, Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия; младший научный сотрудник кафедры органической и биомолекулярной химии ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: dkorchuk@mail.ru.

Зырянов Григорий Васильевич – доктор химических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории координационных соединений, Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия; профессор кафедры органической и биомолекулярной химии ХТИ, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: g.v.zyrianov@urfu.ru.

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2025 г.

The article was submitted 10 November 2025.