

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ АВВВ-ТИПА С НИТРО- И БИС(2-ХЛОРЕТИЛ)АМИНОГРУППАМИ

Е.А. Петухова, Е.А. Данилова

Екатерина Александровна Петухова (ORCID 0000-0002-0776-4041)*, Елена Адольфовна Данилова (ORCID 0000-0001-6765-6707)

Кафедра технологии тонкого органического синтеза, Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр., 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: ek.petukhova@mail.ru*, daniлова@isuct.ru

Тиадиазолы и их производные обладают широким спектром биологической активности, поэтому данный цикл можно рассматривать как фармакофор. Для усиления фармакологических свойств в молекулу вводят второй активный фрагмент, например, бис(2-хлорэтил)аминогруппу. Известно, что производные бис(2-хлорэтил)амин являются первыми цитостатическими противоопухолевыми препаратами, используемыми в химиотерапии. Интерес к этим соединениям в настоящее время не потерян. В работе приводятся данные по синтезу и свойствам циклического макрогетеросоединения и нециклического трехзвенного продукта, которые были получены взаимодействием 4-(бис(2-хлорэтил)амино-5-нитрофталонитрила, метилата натрия в метаноле. В результате соответствующее замещенное 1-метокси-3-иминоизоиндоленин, образованное в этих условиях, без выделения из реакционной массы, вводили в реакцию с 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазолом. Для направленного синтеза трехзвенного продукта (2,5-бис(5-нитро-4-(бис(2-хлорэтил)амино-3-иминоизоиндолин-1-илиденамино)-1,3,4-тиадиазола) мы использовали известную методику взаимодействия 1-метокси-3-иминоизоиндолинина с 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазолом в растворе метанола при кипении. В ходе эксперимента оказалось, что реакция идет не селективно: образуется как трехзвенный продукт, так и макрогетероциклическое соединение АВВВ-типа с 1,3,4-тиадиазольным фрагментом, которые разделяли методом препаративной хроматографии. При очистке макроцикла была выделена смесь региоизомеров, разделить которую нам не удалось. В масс-спектре соединения АВВВ-типа зафиксирован только пик молекулярного иона, соответствующий трехзвенному продукту. Обнаружено, что макроцикл нестабилен и сразу после поглощения энергии лазера фрагментируется до соответствующего трехзвенного продукта, который более устойчив. Трехзвенный продукт охарактеризован данными электронной, ¹H ЯМР спектроскопии, масс-спектрометрии. Для определения геометрического строения выполнены квантово-химические расчеты на уровне DFT 2,9(10),16(17)-тринитро-3,9(10),16(17)-три(бис(2-хлорэтил)амино)-5,26:7,12:14,19-триимино-27H, 28H, 29H-30-тио-трибензо[с, h, т](6,13,20,22,23,25)гексаазапентаэтилен. Методом TDDFT с использованием базисного набора B3LYP 6-31G (d,p) выполнены расчеты теоретических спектров поглощения оптимизированных молекул, которые подтверждают экспериментальные данные.

Ключевые слова: макрогетероциклическое соединение, трехзвенный продукт, синтез, бис(2-хлорэтил)аминогруппа

Для цитирования:

Петухова Е.А., Данилова Е.А. Синтез и свойства макрогетероциклического соединения АВВВ-типа с нитро- и бис(2-хлорэтил)аминогруппами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2026. Т. 69. Вып. 9. С. 24–32. DOI: 10.6060/ivkkt.20266909.7053.

For citation:

Petukhova E.A., Danilova E.A. Synthesis and properties of AVBB-type macroheterocyclic compounds with nitro- and bis(2-chloroethyl)amino groups. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2026. V. 69. N 9. P. 24–32. DOI: 10.6060/ivkkt.20266909.7053.

SYNTHESIS AND PROPERTIES OF ABBB-TYPE MACROHETERACYCLIC COMPOUNDS WITH NITRO- AND BIS(2-CHLOROETHYL)AMINO GROUPS

E.A. Petukhova, E.A. Danilova

Ekaterina A. Petukhova (ORCID 0000-0002-0776-4041)*, Elena A. Danilova (ORCID 0000-0001-6765-6707)
Department of Fine Organic Synthesis Technology, Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo 153000, Russia
E-mail: ek.petukhova@mail.ru*, danilova@isuct.ru

Thiadiazoles and their derivatives exhibit a broad spectrum of biological activity, so this ring can be considered a pharmacophore. To enhance their pharmacological properties, a second active moiety, such as a bis(2-chloroethyl)amino group, is introduced into the molecule. Bis(2-chloroethyl)amine derivatives are known to have been the first cytostatic antitumor agents used in chemotherapy. Interest in these compounds remains high. This paper presents data on the synthesis and properties of a cyclic macroheterocompound and an acyclic three-membered product obtained by reacting 4-(bis(2-chloroethyl)amino-5-nitrophthalonitrile) and sodium methoxide in methanol. The resulting substituted 1-methoxy-3-iminoisoindolenine, formed under these conditions, was reacted with 2,5-diamino-1,3,4-thiadiazole without isolation from the reaction mixture. For the targeted synthesis of the three-unit compound (2,5-bis(5-nitro-4-(bis(2-chloroethyl)amino-3-iminoisoindolin-1-ylidenamino)-1,3,4-thiadiazole), we used a known method for the reaction of 1-methoxy-3-iminoisoindolenine with 2,5-diamino-1,3,4-thiadiazole in a methanol solution under various conditions. During the experiment, it turned out that the reaction was non-selective: both the three-unit compound and an ABBB-type macroheterocyclic compound with a 1,3,4-thiadiazole fragment were formed, which were separated by preparative chromatography. During purification of the macrocycle, it was discovered that a mixture of regioisomers was obtained, which we were unable to separate. Measurement of the mass spectrum of the ABBB-type compound recorded only the molecular ion peak corresponding to the three-unit compound. It was found that the macrocycle is unstable and immediately after absorption of laser energy fragments to the corresponding three-unit compound, which is more stable. The three-unit compound was characterized using electron, ^1H NMR spectroscopy, and mass spectrometry. To determine the geometric structure, the following were performed: Quantum chemical calculations at the DFT level. Using the TDDFT method and the B3LYP 6-31G (d,p) basis set, we calculated the theoretical absorption spectra of the optimized 2,9(10),16(17)-trinitro-3,9(10),16(17)-tri(bis(2-chloroethyl)amino)-5,26:7,12:14,19-triimino-27H, 28H, 29H-30-thio-tribenzo[c, h, m](6,13,20,22,23,25)hexaazacycloeicosene molecules, which confirm the experimental data.

Keywords: macroheterocyclic compound, three-unit compound, synthesis, bis(2-chloroethyl)amino-group

ВВЕДЕНИЕ

Разработанные к настоящему времени методы синтеза позволяют получать макрогетероциклические соединения (Mc) с различным строением, включать в состав макросистемы гетероциклические фрагменты, например, 1,2,4-триазол, 1,2,4- и 1,3,4-тиадиазол, которые входят в состав многих природных биологически активных и синтетических лекарственных веществ, проводить структурную модификацию по периферии [1, 2]. Совокупность перечисленных факторов служит основанием для систематического поиска Mc с практиче-

ски ценными свойствами, в частности, биологическими.

Тиadiaзолы и их производные обладают широким спектром биологической активности [3-6]. Часто встречающимся фармакофором в современных лекарственных препаратах является 1,3,4-тиадиазольный фрагмент, входящий в структуру лекарств, которые являются диуретиками (ацетазолamid, метазоламид), проявляют антибактериальное (этазол, сульфаметизол), противопаразитарное (мегазол) действия [7-12], выступают в виде гипогликемических (дезаглибузол) и противоопухолевых [13] (литронезиб, филанезиб) препаратов. Диами-

нопроизводные тиadiaзолов, в частности 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазол, используются в качестве прекурсоров для синтеза нециклических трехзвенных продуктов [14, 15], а также макрогетероциклических соединений АВABAB- и АВВВ-типов [16-20].

Мс АВВВ-типа с азольными фрагментами часто называют нецентросимметричными аналогами тетрапиррольных соединений. Интерес к ним вызван молекулярным строением и наличием у них практически полезных свойств, что объясняет повышенный интерес к этим объектам и интенсивные научные исследования [21-23]. Из-за сходства строения с фталоцианинами соединения, содержащие триазольный цикл вместо одного из изоиндольных фрагментов, были названы триазолофталоцианинами [24]. Эти соединения проявляют нелинейно-оптические [25], жидкокристаллические [26] и полупроводниковые свойства [27].

Основными методами получения нецентросимметричных макроциклических соединений является конденсация бис(1-имино-3-изоиндолинилиденамино)азола (ТЗП), замещенного фталонитрила в присутствии соли металла, или комплексного соединения бис(1-имино-3-изоиндолинилиденамино)азола с соответствующим фталонитрилом [28-30].

Авторам [31] удалось получить безметалльный триазолофталоцианин, однако очистка этого соединения оказалась затруднительной из-за неразделимой смеси региоизомеров.

Первая публикация по синтезу безметалльного *трет*-бутилзамещенного Мс АВВВ-типа с фрагментом 1,3,4-тиадиазола (А) и тремя изоиндольными остатками (В) появилась в 2001 г. [32]. Соединение было выделено с выходом 15% как побочный продукт в синтезе *трет*-бутилзамещенного Мс АВABAB-типа (гемигексафизазина). Макроциклическая система соединения АВВВ-типа включает 18 π -электронов, что подобно внутрициклической системе фталоцианина.

Работы в этом направлении были продолжены. В статье [33] описано получение *N*-алкилтиадиазолмакрогетероциклических соединений АВВВ-типа взаимодействием 5-амино-3-алкил-2-имино-1,3,4-тиадиазолина и 1-метокси-3-иминоизоиндоленина. Введение длинных алкильных фрагментов (Alk = C₅H₁₁, C₁₂H₂₅) в тиadiaзольный цикл Мс придает соединению растворимость в органических растворителях, а также установлено, что алкилтиадиазолмакрогетероциклы проявляют люминесцентные свойства [14]. В отличие от исходных алкилтиадиазолинов, Мс не проявили бактериостатическое действие по отношению к стафилококку [34].

Для придания противоопухолевых свойств соединениям такого строения нами была введена бис(2-хлорэтил)аминогруппа в изоиндольные фрагменты. Из литературы известно, что производные бис(2-хлорэтил)амин, которые называют азотистыми аналогами иприта, являются первыми цитостатическими противоопухолевыми препаратами, используемыми в химиотерапии [35-37]. Учитывая высокую токсичность эмбихина, хлорметина (новэмбихина) [38], бис(2-хлорэтил)аминогруппу вводят в биогенные соединения. Так были получены: урамустин (допан), мелфалан (сарколизин) и хлорамбуцил (лейкеран) [39]. На момент постановки данной работы Мс с фрагментами бис(2-хлорэтил)аминогруппы в литературе отсутствуют.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

MALDI-TOF масс-спектры записывали на приборе AXIMA Confidence (SHIMADZU) в режиме положительных ионов. Образец готовили растворением синтезированного соединения в ДМФА ($c = 10^{-4}$ - 10^{-6} моль·л⁻¹). Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) зарегистрированы на спектрометре Bruker Avance III 500 с рабочей частотой 500,17 МГц (¹H ЯМР). Образцы готовили растворением исследуемого соединения в ДМСO-*d*₆. Электронные спектры поглощения (ЭСП) регистрировали в видимой области на спектрофотометре HITACHI U-2001 в кварцевых кюветах толщиной 3 мм. Очистку осуществляли методом тонкослойной хроматографии на пластинах, покрытых оксидом алюминия 60 (20×20 см) производства компании «Merck», Германия. Квантово-химические расчеты выполнялись методом DFT с использованием метода теории функционала плотности (DFT) с гибридным функционалом B3LYP и базисным набором 6-31G (*d,p*) в программном комплексе Gaussian 09 [40]. Методом TDDFT с использованием базисного набора B3LYP 6-31G (*d,p*) нами выполнены расчеты теоретических спектров поглощения оптимизированных молекул. Подготовку начальной геометрии, а также обработку и визуализацию полученных результатов выполняли с использованием программы ChemCraft [41].

Синтез 4-(бис(2-хлорэтил)амино)-5-нитрофтalonитрила (**1**) осуществляли в соответствии с разработанной нами методикой [42].

Синтез 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазола (**2**) проводили по известной методике [43].

Общая методика. К раствору метилата натрия, приготовленному из 0,0044 г (0,19 ммоль) металлического натрия и 5 мл метилового спирта,

добавляли 0,1009 г (0,32 ммоль) **1** при 25 °С и перемешивали при этой температуре в течение 2 ч. По окончании выдержки в реакционную массу вносили 0,0086 г (0,16 ммоль) хлорида аммония, выдерживали 10 мин при 25 °С. Затем добавляли 0,0193 г (0,16 ммоль) **2**, температуру поднимали до кипения реакционной массы и перемешивали в течение 9 ч. По окончании выдержки реакционную массу охлаждали до 25 °С, выливали в воду, выпадал оранжево-коричневый осадок, который далее промывали водой, отфильтровывали и сушили в вакууме. Очистку проводили методом препаративной хроматографии на Al_2O_3 , в качестве элюента использовали смесь растворителей дихлорметан:метанол:гексан в соотношении 8:3:6.

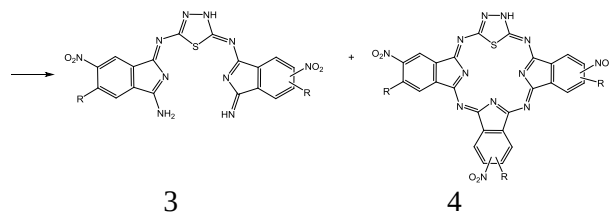
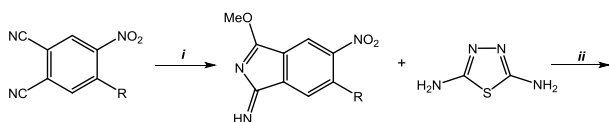
2,5-Бис(5-нитро-4-(бис(2-хлорэтил)амино)-3-иминоизоиндолин-1-илиденамино)-1,3,4-тиадиазол (3). Выход: 0,004 г (3,3%). MALDI-TOF MS: m/z (%): 744,5 $[\text{M}+4\text{H}]^+$ (рассчитано на $\text{C}_{26}\text{H}_{24}\text{Cl}_4\text{N}_{12}\text{O}_4\text{S}$ 740,05). ^1H ЯМР, δ_{H} ($\text{DMSO}-d_6$, 500 МГц), м.д.: 11,52 (с., 2H, -NH), 9,11, 9,04, (дубл., 2H, -NH), 8,47, 7,76, (с., 4H, аром.), 5,32 (ш. с., 1H, -NH), 3,80-3,72, 3,67-3,64 (м., 16H, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$). ЭСП, $\lambda_{\text{max}}/\text{нм}$ ($\text{lg}\epsilon/\text{дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), (ДМФА, $c = 3,1565 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$): 424 (3,97), 550.

2,9(10),16(17)-тринитро-3,9(10),16(17)-три(бис(2-хлорэтил)амино)-5,26:7,12:14,19-триимино-27H, 28H, 29H-30-тио-трибензо[с, h,m](6,13, 20,22,23,25)гексаазациклоэйкозен (4). Выход: 0,0012 г (1,0%). ^1H ЯМР, δ_{H} ($\text{DMSO}-d_6$, 500 МГц), м.д.: 8,50, 7,85 (с., 2H, аром.), 8,17, 8,14 (дубл., 2H, аром.), 5,33 (ш. с., 2H, -NH), 3,80-3,76, 3,65-3,60 (м., 24H, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$). ЭСП, $\lambda_{\text{max}}/\text{нм}$ ($\text{lg}\epsilon/\text{дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), (ДМФА, $c = 4,1565 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$): 447 (3,90), 479 (3,93), 509 (3,93), 548.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из анализа литературы следует, что получить макрогетероциклические соединения АВВВ-типа, содержащие азольный фрагмент, можно двумя методами. Первый заключается в синтезе ТЗП, который далее, без выделения из реакционной массы циклизуется с 1,3-дииминоизоиндолином с образованием целевого продукта. Данный метод подходит для Мс с 1,2,4-триазольным фрагментом [31].

Второй способ более пригоден для синтеза Мс с 1,3,4-тиадиазольным фрагментом. Для этого синтез осуществляли по следующей схеме:



$i = \text{Na, MeOH, } t_{\text{комн.}}, 2,5 \text{ ч; } ii = \text{MeOH, } t_{\text{кип.}}, 9 \text{ ч.}$
 $\text{R} = -\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_2$

Схема

Scheme

Контроль за образованием продукта осуществляли методом масс-спектрометрии. По окончании реакции в выделенном осадке было обнаружено (рис. 1) присутствие трех сигналов с $m/z = 724,7, 743,7, 1037,0$ Да, отвечающих молекулярным ионам: $[\text{M}]^+$ для Мс АВВВ-типа, $[\text{M}+3\text{H}]^+$ для ТЗП (**3**) и пик дальнейшей фрагментации **3** $[\text{M}+3\text{H}-\text{H}_2\text{O}]^+$. Изотопные распределения соответствуют теоретически рассчитанным.

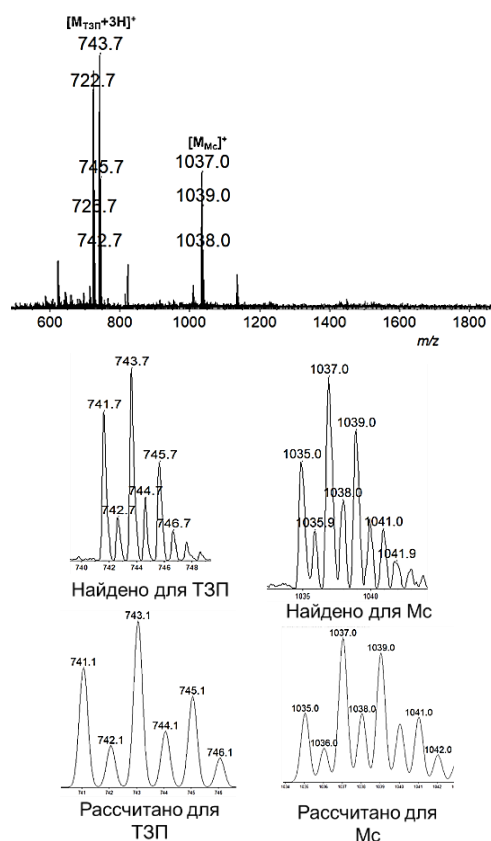


Рис. 1. Масс-спектр (MALDI-TOF без матрицы) смеси **3** и **4**
 Fig. 1. Mass spectra (MALDI-TOF without matrix) of mixture **3** and **4**

Поэтому целевой продукт выделяли методом препаративной хроматографии. В результате были получены две зоны. Для установления строения выделенных соединений мы использовали масс-

спектрометрию, ^1H ЯМР и электронную спектроскопию.

В масс-спектре первой желтой зоны (рис. 2) наблюдается сигнал с $m/z = 744$ Да, соответствующий молекулярному иону **3** состава $\text{C}_{26}\text{H}_{28}\text{Cl}_4\text{N}_{12}\text{O}_4\text{S}$ $[\text{M}+4\text{H}]^+$. Изотопное распределение соответствует теоретически рассчитанному.

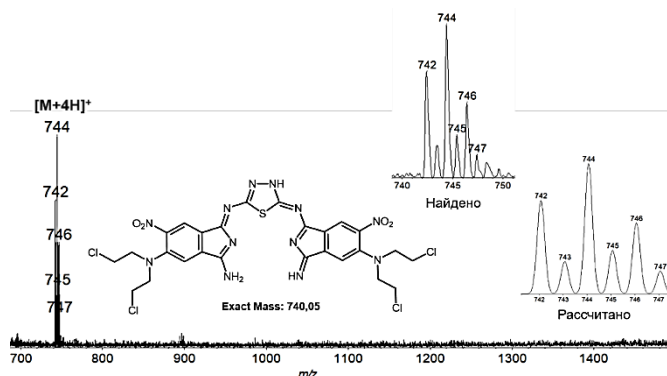


Рис. 2. Масс-спектр (MALDI-TOF без матрицы) **3**
Fig. 2. Mass spectra (MALDI-TOF without matrix) of **3**

ЭСП соединений **3** и **4** в растворе ДМФА приведены на рис. 3. Как и для большинства трехзвенных продуктов [15, 44, 45] в ЭСП **3** присутствует одна полоса поглощения с максимумом при 424 нм и небольшой инфлексией при 550 нм. Для второй выделенной зоны красного цвета ЭСП **4** имеет довольно интересную картину (рис. 3). Мы наблюдаем три максимума поглощения 447, 479, 509 нм и инфлексию в области 548 нм. Положение основных полос поглощения и характер спектральной кривой полностью соответствуют макрогетероциклическим соединениям АВВВ-типа [32, 33].

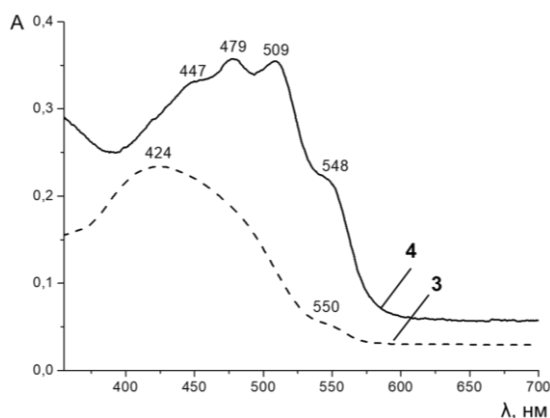


Рис. 3. ЭСП в ДМФА **3** ($c=3.1565 \cdot 10^{-5}$ моль $\cdot$ л $^{-1}$),
4 ($c=4.1565 \cdot 10^{-5}$ моль $\cdot$ л $^{-1}$)
Fig. 3. UV-Vis spectra in DMF **3** ($c=3.1565 \cdot 10^{-5}$ mol $\cdot$ l $^{-1}$),
4 ($c=4.1565 \cdot 10^{-5}$ моль $\cdot$ л $^{-1}$)

В ^1H ЯМР спектре **3** синглет в области 11,52 м.д. характеризует резонанс протонов концевых иминогрупп. Дублет в области 9,11 и 9,04 м.д.

вызван резонансом протонов -NH-групп изоиндольного фрагмента. Синглеты в области 8,47, 8,07, 7,76, 7,05 м.д. характеризуют резонанс протонов бензольного кольца. Уширенный синглет в области 5,88 м.д. вызван резонансом протонов -NH-группы тиadiaзольного цикла. Мультиплеты в области 3,80-3,72 и 3,67-3,64 м.д. соответствуют протонам алкильных фрагментов (-CH₂-CH₂-) (рис. П1).

По данным масс-спектрометрии сигнал Mc АВВВ-типа не обнаружен. Вероятно, макроцикл может быть нестабильным [46, 47], поэтому после поглощения энергии лазера сразу фрагментируется до **3**.

В спектре ^1H ЯМР синглеты в области 8,50, 7,85 м.д. и дублет при 8,17, 8,14 м.д. характеризуют резонанс протонов бензольного кольца. Синглет в области 5,33 м.д. вызван резонансом протонов -NH-группы тиadiaзольного цикла, для которого возможна таутомерия тиadiaзольного $\leftrightarrow$ тиadiaзолинового цикла, что мы и наблюдаем в виде уширенного сигнала. Мультиплеты в области 3,80-3,76 и 3,65-3,60 м.д. вызваны резонансом протонов алкильных фрагментов (-CH₂-CH₂-) (рис. П2).

Учитывая наличие шести заместителей, мы можем предположить существование региоизомеров, разделить которые на сегодняшний день нам не удалось.

С целью получения информации о пространственном строении молекулы **4** нами выполнены квантово-химические расчеты с использованием теории функционала плотности DFT/B3LYP и базисного набора 6-31G(d,p). Выявлено, что оптимизированные молекулы **4a** и **4b** (приведены в приложении на рис. П3, П5) имеют неплоскостное строение. Принимая во внимание, что тиadiaзольный и изоиндольные фрагменты могут участвовать в таутомерии, было проведено изучение конфигураций, отвечающих этим превращениям. В результате обнаружены две устойчивые конфигурации (рис. П3, П5).

Методом TDDFT/B3LYP/6-31G(d,p) выполнен расчет теоретического спектра поглощения, без учета растворителя. Для конфигурации **4a** получен ЭСП, в котором присутствуют три полосы поглощения в области 588, 601, 612 нм (рис. П4), расположение которых коррелирует с экспериментальными данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При синтезе ТЗП были выделены два соединения, одно из которых относится к классу макрогетероциклов АВВВ-типа с 1,3,4-тиadiaзольным фрагментом. Оказалось, что при измерении масс-спектра данное соединение нестабильно и сразу

после поглощения энергии лазера фрагментируется до соответствующего трехзвенного продукта, который более устойчив, что позволило охарактеризовать его данными электронной, ^1H ЯМР спектроскопии, масс-спектрометрии.

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The study was conducted using the resources of the IRCU Scientific Equipment Sharing Center.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Знойко С.А., Кустова Т.В., Фомин Н.С., Демидова Е.И. Синтез биологически активных триазолсодержащих трехзвенных продуктов с замещенными фенокси-группами. *Рос. хим. ж.* 2025. Т. LXIX. № 3. С. 63-69. DOI: 10.6060/rcj.2025693.6.
2. Рожин Д.Е., Кузнецов Н.А., Суворова Ю.В. От забытого синтеза к новому лекарственному препарату для применения в ветеринарии. *Рос. хим. ж.* 2026. Т. LXX. № 1. С. 74-79. DOI: 10.6060/rcj.2026701.8.
3. Siddiqui N., Ahuja P., Ahsan W., Pandeya S.N., Alam M.S. Thiadiazoles: Progress report on biological activities. *J. Chem. Pharm. Res.* 2009. V. 1. N 1. P. 19-30.
4. Kushwaha N., Kushwaha S.K.S., Rai A.K. Biological activities of thiadiazole derivatives: A review. *Int. J. Chem. Tech. Res.* 2012. V. 4. N 2. P. 517-531. DOI: 10.1038/nchem.1382.
5. Mehta D., Taya P., Neetu. A review on the various biological activities of thiadiazole. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 2015. V. 7. N 4. P. 39-47.
6. Петухова Е.А., Суворова Ю.В., Данилова Е.А. Синтез, молекулярная структура, свойства биологически активных соединений с 1,3,4-тиадiazольными и 1,2,4-триазольными фрагментами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2025. Т. 68. Вып. 10. С. 6-18. DOI: 10.6060/ivkkt.20256810.7256.
7. Serban G., Stanasel O., Serban E., Bota S. 2-Amino-1,3,4-thiadiazole as a Potential Scaffold for Promising Antimicrobial Agents. *Drug Des. Devel. Ther.* 2018. V. 12. P. 1545-1566. DOI: 10.2147/DDDT.S155958.
8. Sahu S., Sahu T., Kalyani G., Gidwani B. Synthesis and Evaluation of Antimicrobial Activity of 1,3,4-Thiadiazole Analogues for Potential Scaffold. *J. Pharmacopuncture.* 2021. V. 24. N 1. P. 32-40. DOI: 10.3831/KPI.2021.24.1.32.
9. Muğlu H., Akın M., Çavuş M.S., Yakan H., Şaki N., Güzel E. Exploring of Antioxidant and Antibacterial Properties of Novel 1,3,4-Thiadiazole Derivatives: Facile Synthesis, Structural Elucidation and DFT Approach to Antioxidant Characteristics. *Comput. Biol. Chem.* 2022. V. 96. P. 107618. DOI: 10.1016/j.compbiolchem.2021.107618.
10. Wu S., Shi J., Chen J., Hu D., Zang L., Song B. Synthesis, Antibacterial Activity, and Mechanisms of Novel 6-Sulfonyl-1,2,4-triazolo[3,4-b][1,3,4]thiadiazole Derivatives. *J. Agric. Food. Chem.* 2021. V. 69. N 16. P. 4645-4654. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c01204.
11. Sayiner H.S., Yilmazer M.I., Abdelsalam A.T., Ganim M.A., Baloglu C., Altunoglu Y.C., Gur M., Saracoglu M., Attia M.S., Mahmoud S.A., Mohamed E.H., Boukherroub R., Al-Shaalan N.H., Alharthi S., Kandemirli F., Amin M.A. Synthesis and Characterization of New 1,3,4-Thiadiazole Derivatives: Study of Their Antibacterial Activity and CT-DNA Binding. *RSC Adv.* 2022. V. 12. P. 29627-29639. DOI: 10.1039/d2ra02435g.
12. Kamel M.G., Sroor F.M., Othman A.M., Hassaneen H.M., Abdallah T.A., Saleh F.M., Teleb M.A.M. Synthesis

REFERENCES

1. Znoyko S.A., Kustova T.V., Fomin N.S., Demidova E.I. Synthesis of biologically active triazole-containing three-unit products with substituted phenoxy groups. *Ros. Khim. Zhurn.* 2025. V. 69. N 3. P. 63-69 (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2025693.6.
2. Rozhin D.E., Kuznetsov N.A., Suvorova Yu.V. From a forgotten synthesis to a new drug for use in veterinary medicine. *Ros. Khim. Zhurn.* 2026. V. 70. N 1. P. 74-79 (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2026701.8.
3. Siddiqui N., Ahuja P., Ahsan W., Pandeya S.N., Alam M.S. Thiadiazoles: Progress report on biological activities. *J. Chem. Pharm. Res.* 2009. V. 1. N 1. P. 19-30.
4. Kushwaha N., Kushwaha S.K.S., Rai A.K. Biological activities of thiadiazole derivatives: A review. *Int. J. Chem. Tech. Res.* 2012. V. 4. N 2. P. 517-531. DOI: 10.1038/nchem.1382.
5. Mehta D., Taya P., Neetu. A review on the various biological activities of thiadiazole. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 2015. V. 7. N 4. P. 39-47.
6. Petukhova E.A., Suvorova Yu.V., Danilova E.A. Synthesis, molecular structure, properties of biologically active compounds with 1,3,4-thiadiazole and 1,2,4-triazole fragments. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 10. P. 6-18 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20256810.7256.
7. Serban G., Stanasel O., Serban E., Bota S. 2-Amino-1,3,4-thiadiazole as a Potential Scaffold for Promising Antimicrobial Agents. *Drug Des. Devel. Ther.* 2018. V. 12. P. 1545-1566. DOI: 10.2147/DDDT.S155958.
8. Sahu S., Sahu T., Kalyani G., Gidwani B. Synthesis and Evaluation of Antimicrobial Activity of 1,3,4-Thiadiazole Analogues for Potential Scaffold. *J. Pharmacopuncture.* 2021. V. 24. N 1. P. 32-40. DOI: 10.3831/KPI.2021.24.1.32.
9. Muğlu H., Akın M., Çavuş M.S., Yakan H., Şaki N., Güzel E. Exploring of Antioxidant and Antibacterial Properties of Novel 1,3,4-Thiadiazole Derivatives: Facile Synthesis, Structural Elucidation and DFT Approach to Antioxidant Characteristics. *Comput. Biol. Chem.* 2022. V. 96. P. 107618. DOI: 10.1016/j.compbiolchem.2021.107618.
10. Wu S., Shi J., Chen J., Hu D., Zang L., Song B. Synthesis, Antibacterial Activity, and Mechanisms of Novel 6-Sulfonyl-1,2,4-triazolo[3,4-b][1,3,4]thiadiazole Derivatives. *J. Agric. Food. Chem.* 2021. V. 69. N 16. P. 4645-4654. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c01204.
11. Sayiner H.S., Yilmazer M.I., Abdelsalam A.T., Ganim M.A., Baloglu C., Altunoglu Y.C., Gur M., Saracoglu M., Attia M.S., Mahmoud S.A., Mohamed E.H., Boukherroub R., Al-Shaalan N.H., Alharthi S., Kandemirli F., Amin M.A. Synthesis and Characterization of New 1,3,4-Thiadiazole Derivatives: Study of Their Antibacterial Activity and CT-DNA Binding. *RSC Adv.* 2022. V. 12. P. 29627-29639. DOI: 10.1039/d2ra02435g.

- and Biological Evaluation of New 1,3,4-Thiadiazole Derivatives as Potent Antimicrobial Agents. *Monatsh. Chem.* 2022. V. 153. P. 929-937. DOI: 10.1007/s00706-022-02967-z.
13. **Indelicato S., Bongiorno D., Mauro M., Cascioferro S.** Recent Developments of 1,3,4-Thiadiazole Compounds as Anticancer Agents. *Pharmaceuticals*. 2025. V. 18. N 4. P. 580. DOI: 10.3390/ph18040580.
 14. **Kudayarova T.V., Danilova E.A., Islyaikin M.K., Semishin N.N., Rusakova N.V.** Study of Luminescence Properties of Cyclic and Acyclic Thiadiazole-Containing Compounds. *Russ. J. Gen. Chem.* 2014. V. 84. N 9. P. 1706-1710. DOI: 10.1134/S1070363214090114.
 15. **Тютин М.А., Кудаярова Т.В., Данилова Е.А.** Синтез нециклических трехзвенных продуктов с фрагментами 3-алкил-1,3,4-тиадиазолина. *Ж. общ. хим.* 2017. Т. 87. № 5. С. 778-781. DOI: 10.1134/S1070363217040181.
 16. **Danilova E.A., Melenchuk T.V., Trukhina O.N., Zakharov A.V., Islyaikin M.K.** Thiadiazole containing macrocycles as core-modified analogues of phthalocyanine. *Macroheterocycles*. 2010. V. 3. N 1. P. 33-37. DOI: 10.6060/mhc2010.1.33.
 17. **Bumbina N.V., Danilova E.A., Sharunov V.S., Filimonov S.I., Abramov I.G., Islyaikin M.K.** Synthesis of expanded alkylphenoxythiadiazole macroheterocycles. *Mendelev Commun.* 2008. N 18. P. 289-290. DOI: 10.1016/j.mencom.2008.09.022.
 18. **Zakharov A.V., Shlykov S.A., Bumbina N.V., Danilova E.A., Krasnov A.V., Islyaikin M.K., Girichev G.V.** The structure of a thiadiazole-containing expanded heteroazaporphyrinoid determined by gas electron diffraction and density functional theory calculations. *Chem. Commun.* 2008. P. 3573-3575. DOI: 10.1039/b804308f.
 19. **Trukhina O.N., Rodríguez-Morgade M.S., Wolfrum S., Caballero E., Snejko N., Danilova E.A., Gutiérrez-Puebla E., Islyaikin M.K., Guldi D.M., Torres T.** Scrutinizing the Chemical Nature and Photophysics of an expanded hemiporphyrine: The special case of [30]Trithia-2,3,5,10,12,13,15,20,22,23,25,30-dodecaazahexaphyrin. *J. Am. Chem. Soc.* 2010. V. 132. P. 12991-12999. DOI: 10.1021/ja104577d.
 20. **Trukhina O.N., Zhabanov Y.A., Krasnov A.V., Danilova E.A., Islyaikin M.K.** Synthesis and thermal behavior of unsubstituted [30]trithia-2,3,5,10,12,13,15,20,22,23,25,30-dodecaazahexaphyrin. *J. Porph. Phthal.* 2011. V. 15. N 11-12. P. 1287-1291. DOI: 10.1142/S108842461100418X.
 21. **Latos-Grażyński L.I.** Porphyrin Handbook/ Ed. by K.M. Kadish, K.M. Smith, R. Guilard. New York: Acad. Press. 2003. V. 2. P. 361.
 22. **Rodríguez-Morgade M.S., de la Torre G., Torres T.** Porphyrin Handbook. New York: Acad. Press. 2003. V. 15. P. 125. DOI: 10.1016/B978-0-08-092389-5.50009-2.
 23. **Kobayashi N.I.** Porphyrin Handbook. New York: Acad. Press. 2003. V. 15. P. 161. DOI: 10.1016/B978-0-08-092389-5.50010-9.
 24. **Fernández-Lázaro F., Sastre A., Torres T.I.** Novel tribenzhexaazaporphyrins as unsymmetric phthalocyanine analogues. *J. Chem. Soc. Chem. Com.* 1994. P. 1525-1526. DOI: 10.1039/C39940001525.
 25. **Cabezón B., Fernández-Lázaro F., Martínez-Díaz M.V., Rodríguez-Morgade M.S., Sastre A., Torres T.** Metallotriazolephthalocyanines as potential molecular subunits for the preparation of nonlinear optical active systems. *Synth. Met.* 1995. V. 71. P. 2289. DOI: 10.1016/0379-6779(94)03262-5.
 26. **Cabezón B., Quesada E., Esperanza S., Torres T.** Synthesis of Crowned Triazolephthalocyanines. *Eur. J. Org. Chem.* 2000. V. 2000. N 15. P. 2767-2775. DOI: 10.1002/1099-0690(200008)2000:15<2767::AID-EJOC2767>3.0.CO;2-2.
 12. **Kamel M.G., Sroor F.M., Othman A.M., Hassaneen H.M., Abdallah T.A., Saleh F.M., Teleb M.A.M.** Synthesis and Biological Evaluation of New 1,3,4-Thiadiazole Derivatives as Potent Antimicrobial Agents. *Monatsh. Chem.* 2022. V. 153. P. 929-937. DOI: 10.1007/s00706-022-02967-z.
 13. **Indelicato S., Bongiorno D., Mauro M., Cascioferro S.** Recent Developments of 1,3,4-Thiadiazole Compounds as Anticancer Agents. *Pharmaceuticals*. 2025. V. 18. N 4. P. 580. DOI: 10.3390/ph18040580.
 14. **Kudayarova T.V., Danilova E.A., Islyaikin M.K., Semishin N.N., Rusakova N.V.** Study of Luminescence Properties of Cyclic and Acyclic Thiadiazole-Containing Compounds. *Russ. J. Gen. Chem.* 2014. V. 84. N 9. P. 1706-1710. DOI: 10.1134/S1070363214090114.
 15. **Tyutina M.A., Kudayarova T.V., Danilova E.A.** Synthesis of non-cyclic three-unit products with 3-alkyl-1,3,4-thiadiazoline fragments. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2017. V. 87. N 5. P. 778-781 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070363217040181.
 16. **Danilova E.A., Melenchuk T.V., Trukhina O.N., Zakharov A.V., Islyaikin M.K.** Thiadiazole containing macrocycles as core-modified analogues of phthalocyanine. *Macroheterocycles*. 2010. V. 3. N 1. P. 33-37. DOI: 10.6060/mhc2010.1.33.
 17. **Bumbina N.V., Danilova E.A., Sharunov V.S., Filimonov S.I., Abramov I.G., Islyaikin M.K.** Synthesis of expanded alkylphenoxythiadiazole macroheterocycles. *Mendelev Commun.* 2008. N 18. P. 289-290. DOI: 10.1016/j.mencom.2008.09.022.
 18. **Zakharov A.V., Shlykov S.A., Bumbina N.V., Danilova E.A., Krasnov A.V., Islyaikin M.K., Girichev G.V.** The structure of a thiadiazole-containing expanded heteroazaporphyrinoid determined by gas electron diffraction and density functional theory calculations. *Chem. Commun.* 2008. P. 3573-3575. DOI: 10.1039/b804308f.
 19. **Trukhina O.N., Rodríguez-Morgade M.S., Wolfrum S., Caballero E., Snejko N., Danilova E.A., Gutiérrez-Puebla E., Islyaikin M.K., Guldi D.M., Torres T.** Scrutinizing the Chemical Nature and Photophysics of an expanded hemiporphyrine: The special case of [30]Trithia-2,3,5,10,12,13,15,20,22,23,25,30-dodecaazahexaphyrin. *J. Am. Chem. Soc.* 2010. V. 132. P. 12991-12999. DOI: 10.1021/ja104577d.
 20. **Trukhina O.N., Zhabanov Y.A., Krasnov A.V., Danilova E.A., Islyaikin M.K.** Synthesis and thermal behavior of unsubstituted [30]trithia-2,3,5,10,12,13,15,20,22,23,25,30-dodecaazahexaphyrin. *J. Porph. Phthal.* 2011. V. 15. N 11-12. P. 1287-1291. DOI: 10.1142/S108842461100418X.
 21. **Latos-Grażyński L.I.** Porphyrin Handbook/ Ed. by K.M. Kadish, K.M. Smith, R. Guilard. New York: Acad. Press. 2003. V. 2. P. 361.
 22. **Rodríguez-Morgade M.S., de la Torre G., Torres T.** Porphyrin Handbook. New York: Acad. Press. 2003. V. 15. P. 125. DOI: 10.1016/B978-0-08-092389-5.50009-2.
 23. **Kobayashi N.I.** Porphyrin Handbook. New York: Acad. Press. 2003. V. 15. P. 161. DOI: 10.1016/B978-0-08-092389-5.50010-9.
 24. **Fernández-Lázaro F., Sastre A., Torres T.I.** Novel tribenzhexaazaporphyrins as unsymmetric phthalocyanine analogues. *J. Chem. Soc. Chem. Com.* 1994. P. 1525-1526. DOI: 10.1039/C39940001525.
 25. **Cabezón B., Fernández-Lázaro F., Martínez-Díaz M.V., Rodríguez-Morgade M.S., Sastre A., Torres T.** Metallotriazolephthalocyanines as potential molecular subunits for the preparation of nonlinear optical active systems. *Synth. Met.* 1995. V. 71. P. 2289. DOI: 10.1016/0379-6779(94)03262-5.
 26. **Cabezón B., Quesada E., Esperanza S., Torres T.** Synthesis of Crowned Triazolephthalocyanines. *Eur. J. Org. Chem.*

27. **Armand F., Cabezón B., Martínez-Díaz M.V., Ruau-del-Teixier A., Torres T.I.** In-plane orientation in Langmuir–Blodgett films of triazolephthalocyanines. *J. Mater. Chem.* 1997. V. 7. N 9. P. 1741. DOI: 10.1039/a701314k.
28. **Nicolau M., Cabezón B., Torres T.** Synthesis of nickel (II) triazolenaphthalocyanine and related macrocycles. *J. Org. Chem.* 2001. V. 66. N 1. P. 89–93. DOI: 10.1021/jo001039p.
29. **Romanenko Y.V., Danilova E.A., Khelevina O.G., Islyai-kin M.K.** Synthesis and properties of [4'-(p-triphenylmethylphenoxy)-7,8:12,13:17,18-tribenzoporphyrzina-to]nickel(II). *Mendeleev Commun.* 2008. V. 18. N 5. P. 82. DOI: 10.1016/j.mencom.2008.03.009.
30. **Islyai-kin M.K., Danilova E.A., Romanenko Yu.V., Khelevina O.G., Lomova T.N.** Synthesis, Structure Peculiarities and Biological Properties of Macroheterocyclic Compounds. *BRILL.* 2008. P. 219–270. DOI: 10.1163/ej.9789004162105.i-422.39.
31. **Esperanza S., Nicolau M., Torres T.** Synthesis of the First Nonmetalated Triazolephthalocyanine Derivatives. *J. Org. Chem.* 2002. V. 67. P. 1392. DOI: 10.1021/jo010806x.
32. **Islyai-kin M.K., Danilova E.A., Yagodarova L.D., Rodríguez-Morgade M.S., Torres T.** Thiadiazole-derived expanded heteroazaporphyrinoids. *Org. Lett.* 2001. V. 3. N 14. P. 2153–2156. DOI: 10.1021/ol015924l.
33. **Melenchuk T.V., Danilova E.A., Islyai-kin M.K.** Synthesis of N-alkylthiadiazole-containing macroheterocyclic compounds of ABBB type. *Russ. J. Gen. Chem.* 2010. V. 80. N 7. P. 1369–1372. DOI: 10.1134/S1070363210070261.
34. **Бутина Ю.В., Кудаярова Т.В., Данилова Е.А., Исляйкин М.К.** Прогнозирование спектра биологической активности и антимикробные свойства диаминоазолов. *Биомед. химия.* 2019. Т. 65. № 2. С. 99–102. DOI: 10.18097/PBMC20196502099.
35. **More G.S., Thomas A.B., Chitlange S.S., Nanda R.K., Gajbhiye R.L.** Nitrogen Mustards as Alkylating Agents: A Review on Chemistry, Mechanism of Action and Current USFDA Status of Drugs. *Anti-Cancer Agents Med. Chem.* 2019. V. 19. N 9. P. 1080–1102. DOI: 10.2174/1871520619666190305141458.
36. **Kohorn E.I.** Uracil mustard and 5-fluorouracil combination chemotherapy: a historic record. *ConMed.* 2013. V. 77. N 7. P. 433.
37. **Dixit P., Jeyaseelan C., Gupta D.** Nitrogen mustard: a promising class of anti-cancer chemotherapeutics—a review. *Biointerface Res. Appl. Chem.* 2022. V. 13. N 2. P. 135–161. DOI: 10.33263/BRIAC132.161.
38. **Goodman L.S., Wintrobe M.M., Dameshek W., Goodman M.J., Gilman A.Z., Lennan M.T.** Nitrogen mustard therapy. *JAMA.* 1946. V. 132. N 3. P. 126–132. DOI: 10.1001/jama.1946.02870380008004.
39. **Banik B.K., Sahoo B.M.** Green synthesis and biological evaluation of anticancer drugs. In: *Green Approaches in Medicinal Chemistry for Sustainable Drug Design.* 2020. P. 651–712. DOI: 10.1016/B978-0-12-817592-7.00019-8.
40. **Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B.** Gaussian 09, Revision A.02. Gaussian, Inc., Walling-ford. 2009.
41. **Andrienko G.A.** ChemCraft Version 1.8, build 428.
42. **Petukhova E.A., Dmitriev M.V., Danilova E.A.** Synthesis and Properties of 4-(Bis(β-hydroxyethyl)amino)-5-nitrophthalonitrile and 4-(Bis(β-chloroethyl)amino)-5-nitrophthalonitrile. *Russ. J. Gen. Chem.* 2025. V. 95. N 11. P. 3240–3249. DOI: 10.1134/S1070363225606428.
2000. V. 2000. N 15. P. 2767–2775. DOI: 10.1002/1099-0690(200008)2000:15<2767::AID-EJOC2767>3.0.CO;2-2.
27. **Armand F., Cabezón B., Martínez-Díaz M.V., Ruau-del-Teixier A., Torres T.I.** In-plane orientation in Langmuir–Blodgett films of triazolephthalocyanines. *J. Mater. Chem.* 1997. V. 7. N 9. P. 1741. DOI: 10.1039/a701314k.
28. **Nicolau M., Cabezón B., Torres T.** Synthesis of nickel (II) triazolenaphthalocyanine and related macrocycles. *J. Org. Chem.* 2001. V. 66. N 1. P. 89–93. DOI: 10.1021/jo001039p.
29. **Romanenko Y.V., Danilova E.A., Khelevina O.G., Islyai-kin M.K.** Synthesis and properties of [4'-(p-triphenylmethylphenoxy)-7,8:12,13:17,18-tribenzoporphyrzina-to]nickel(II). *Mendeleev Commun.* 2008. V. 18. N 5. P. 82. DOI: 10.1016/j.mencom.2008.03.009.
30. **Islyai-kin M.K., Danilova E.A., Romanenko Yu.V., Khelevina O.G., Lomova T.N.** Synthesis, Structure Peculiarities and Biological Properties of Macroheterocyclic Compounds. *BRILL.* 2008. P. 219–270. DOI: 10.1163/ej.9789004162105.i-422.39.
31. **Esperanza S., Nicolau M., Torres T.** Synthesis of the First Nonmetalated Triazolephthalocyanine Derivatives. *J. Org. Chem.* 2002. V. 67. P. 1392. DOI: 10.1021/jo010806x.
32. **Islyai-kin M.K., Danilova E.A., Yagodarova L.D., Rodríguez-Morgade M.S., Torres T.** Thiadiazole-derived expanded heteroazaporphyrinoids. *Org. Lett.* 2001. V. 3. N 14. P. 2153–2156. DOI: 10.1021/ol015924l.
33. **Melenchuk T.V., Danilova E.A., Islyai-kin M.K.** Synthesis of N-alkylthiadiazole-containing macroheterocyclic compounds of ABBB type. *Russ. J. Gen. Chem.* 2010. V. 80. N 7. P. 1369–1372. DOI: 10.1134/S1070363210070261.
34. **Butina Yu.V., Kudayarova T.V., Danilova E.A., Islyai-kin M.K.** The prediction of the spectrum of biological activity and antimicrobial properties of diaminoazoles. *Biomed. Khim.* 2019. V. 65. N 2. P. 99–102 (in Russian). DOI: 10.18097/PBMC20196502099.
35. **More G.S., Thomas A.B., Chitlange S.S., Nanda R.K., Gajbhiye R.L.** Nitrogen Mustards as Alkylating Agents: A Review on Chemistry, Mechanism of Action and Current USFDA Status of Drugs. *Anti-Cancer Agents Med. Chem.* 2019. V. 19. N 9. P. 1080–1102. DOI: 10.2174/1871520619666190305141458.
36. **Kohorn E.I.** Uracil mustard and 5-fluorouracil combination chemotherapy: a historic record. *ConMed.* 2013. V. 77. N 7. P. 433.
37. **Dixit P., Jeyaseelan C., Gupta D.** Nitrogen mustard: a promising class of anti-cancer chemotherapeutics—a review. *Biointerface Res. Appl. Chem.* 2022. V. 13. N 2. P. 135–161. DOI: 10.33263/BRIAC132.161.
38. **Goodman L.S., Wintrobe M.M., Dameshek W., Goodman M.J., Gilman A.Z., Lennan M.T.** Nitrogen mustard therapy. *JAMA.* 1946. V. 132. N 3. P. 126–132. DOI: 10.1001/jama.1946.02870380008004.
39. **Banik B.K., Sahoo B.M.** Green synthesis and biological evaluation of anticancer drugs. In: *Green Approaches in Medicinal Chemistry for Sustainable Drug Design.* 2020. P. 651–712. DOI: 10.1016/B978-0-12-817592-7.00019-8.
40. **Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B.** Gaussian 09, Revision A.02. Gaussian, Inc., Walling-ford. 2009.
41. **Andrienko G.A.** ChemCraft Version 1.8, build 428.
42. **Petukhova E.A., Dmitriev M.V., Danilova E.A.** Synthesis and Properties of 4-(Bis(β-hydroxyethyl)amino)-5-nitrophthalonitrile and 4-(Bis(β-chloroethyl)amino)-5-nitrophthalonitrile. *Russ. J. Gen. Chem.* 2025. V. 95. N 11. P. 3240–3249. DOI: 10.1134/S1070363225606428.

43. **Danilova E.A., Kudayarova T.V., Islyaikin M.K., Koifman O.I.** Synthon-Based Approach to the Design of Macrocyclic Compounds Using Diaminotriazoles and – triazoles. *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. N 9. P. 2000-2012. DOI: 10.1134/S1070363218090438.
44. **Жилинская М.А., Данилова Е.А.** Синтез нециклических соединений с фрагментом 1,3-тиазола *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 2. С. 30-38. DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6472.
45. **Кустова Т.В., Знойко С.А., Демидова Е.И., Фомин Н.С., Танасевич В.А., Суворова Ю.В.** Синтез и свойства триа-золсодержащих трехзвенных продуктов с 4-циклогексилфеноксигруппами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2025. Т. 68. Вып. 7. С. 57-64. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7252.
46. **Stulz E., Ching C., Sanders K.M.** Matrix assisted laser desorption/ionisation (MALDI)-TOF mass spectrometry of supramolecular metalloporphyrin assemblies: a survey. *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 2001. V. 5. P. 604-613. DOI: 10.1039/b008638j.
47. **Sizov L.R., Revina D.V., Rybkin A.Yu., Kozlov A.V., Sadkov A.P., Goryachev N.S.** Aluminum Phthalocyanine – [60]Fullerene Supramolecular Dyads: Synthesis, Photophysical Properties and ROS Photogeneration. *Macroheterocycles.* 2023. V. 16. N 1. P. 35-42. DOI: 10.6060/mhc224864s.
43. **Danilova E.A., Kudayarova T.V., Islyaikin M.K., Koifman O.I.** Synthon-Based Approach to the Design of Macrocyclic Compounds Using Diaminotriazoles and – triazoles. *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. N 9. P. 2000-2012. DOI: 10.1134/S1070363218090438.
44. **Zhilinskaya M.A., Danilova E.A.** Synthesis of non-cyclic compounds with a fragment of 1,3-thiazole. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 2. P. 30-38 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6472.
45. **Kustova T.V., Znoyko S.A., Demidova E.I., Fomin N.S., Tarasevich V.A., Suvorova Yu.V.** Synthesis and properties of triazole-containing three-unit products with 4-cyclohexylphenoxy groups. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 7. P. 57-64. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7252.
46. **Stulz E., Ching C., Sanders K.M.** Matrix assisted laser desorption/ionisation (MALDI)-TOF mass spectrometry of supramolecular metalloporphyrin assemblies: a survey. *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 2001. V. 5. P. 604-613. DOI: 10.1039/b008638j.
47. **Sizov L.R., Revina D.V., Rybkin A.Yu., Kozlov A.V., Sadkov A.P., Goryachev N.S.** Aluminum Phthalocyanine – [60]Fullerene Supramolecular Dyads: Synthesis, Photophysical Properties and ROS Photogeneration. *Macroheterocycles.* 2023. V. 16. N 1. P. 35-42. DOI: 10.6060/mhc224864s.

Поступила в редакцию 12.02.2026

Принята к опубликованию 30.03.2026

Received 12.02.2026

Accepted 30.03.2026