

МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО СТРОЕНИЯ С ФРАГМЕНТАМИ ТИАДИАЗОЛОВ. СИНТЕЗ И СВОЙСТВА

Г.Р. Березина, М.Н. Медведева

Галина Рудольфовна Березина*, Маргарита Николаевна Медведева

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

E-mail: berezina@isuct.ru *, medvedeva16886@gmail.com

Настоящее сообщение является продолжением систематических исследований авторов в области синтеза и изучения свойств макрогетероциклических соединений, так как большие возможности структурной модификации позволяют в настоящее время синтезировать макрогетероциклические соединения, различающиеся составом, природой входящих в них гетероатомов, и делают этот класс соединений перспективным с точки зрения дизайна получения веществ с ценными практическими свойствами. Взаимодействием N,N'-бис-(1-имино-2-фенил-1H-инден-3-илиден)-1,4-фенилендиамина с 2,5-димиано-1,3,4-тиадиазолом и 3,5-диамино-1,2,4-тиадиазолом синтезированы макрогетероциклические соединения несимметричного строения в мольном соотношении исходных веществ. Макрогетероциклы - порошкообразные вещества с различными оттенками красного цвета, имеющие температуры плавления и кристаллизации (исследованы в токе аргона), растворимы в хлороформе, ДМФА, ацетоне, этаноле. Очистку проводили методом колоночной хроматографии на окиси алюминия II степени активности по Брокману (элюент ацетон - хлороформ, 1:9 по объему). Идентификацию продуктов синтеза проводили методом тонкослойной хроматографии на пластинах Silufol UV-254 (элюент – ацетон - хлороформ, 1:1 по объему). Полученные соединения охарактеризованы данными инфракрасной, электронной спектроскопии. Электронные спектры поглощения измерены на приборе Hitachi U-2010 в кварцевых кюветах при 20 °С. ИК спектры получены на приборе Avatar 360 FT-IR ESP в KBr. Данные элементного анализа получены на приборе CHNS-O Analyzer FlashEA 1112 Series. Отмечено bathochromное смещение полос поглощения при замыкании в цикл соединения с 1,3,4-тиадиазолом. Спектральные характеристики указывают на то, что молекулы синтезированных соединений не имеют плоского строения, и поглощение обусловлено отдельными фрагментами, которые входят в состав молекул синтезированных структур.

Ключевые слова: фенилиндандион, диамины, синтез, спектроскопия, макрогетероциклические соединения

MACROHETEROCYCLIC COMPOUNDS OF ASYMMETRIC STRUCTURE WITH THIADIAZOL FRAGMENTS. SYNTHESIS AND PROPERTIES

G.R. Berezina, M.N. Medvedeva

Galina R. Berezina*, Margarita N. Medvedeva

Department of Technology of Fine Organic Synthesis, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave. ,7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: berezina@isuct.ru *, medvedeva16886@gmail.com

This communication is a continuation of the systematic research of the authors in the field of synthesis and study of the properties of macroheterocyclic compounds. The great potential for structural modification allows us to synthesize macroheterocyclic compounds that differ in composition and the nature of the heteroatoms that make up them and make this class of compounds promising from the point of view of the design for the preparation of substances with valuable practical properties. The interaction of N,N'-bis-(1-imino-2-phenyl-1H-indene-3-ylidene)-1,4-phenylenediamine with 2,5-dimino-1,3,4-thiadiazole and 3,5-diamino-1,2,4-thiadiazole the macroheterocyclic compounds of asymmetric structure were synthesized in the molar ratio of the initial substances. Macroheterocycles are powdered substances with different shades of red color, having melting and crystallization temperatures (investigated in the argon current), soluble in chloroform, DMF, acetone, ethanol. Purification was carried out by column chromatography on aluminum oxide of II degree of activity on Brockman (eluent acetone - chloroform, 1:9 by volume). Identification of synthesis products was performed by thin-layer chromatography on Silufol UV-254 plates (eluent – acetone - chloroform, 1:1 by volume). The obtained compounds were characterized by infrared and electron spectroscopy. The electronic absorption spectra were measured on a Hitachi U-2010 instrument in quartz cuvettes at 20 °C. IR spectra were obtained on the Avatar 360 FT-IR ESP device in KVG. Elemental analysis data were obtained using the CHNS-O Analyzer FlashEA of 1112 Series. A bathochromic shift of the absorption bands was noted when the compound with 1,3,4-thiadiazole was closed in a cycle. The spectral characteristics indicate that the molecules of the synthesized compounds do not have a flat structure and the absorption is due to individual fragments that are part of the molecules of the synthesized structures.

Key words: phenylindandione, diamines, synthesis, spectroscopy, macroheterocyclic compounds

Для цитирования:

Березина Г.Р., Медведева М.Н. Макрогетероциклические соединения несимметричного строения с фрагментами тиадиазолов. Синтез и свойства. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 8. С. 54–59

For citation:

Berezina G.R., Medvedeva M.N. Macroheterocyclic compounds of asymmetric structure with thiadiazol fragments. Synthesis and properties. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.], 2020. V. 63. N 8. P. 54–59

В органической химии, из всего многообразие органических веществ, для нас большой интерес представляют высокомолекулярные соединения, которые имеют циклическое строение и содержат не менее двенадцати атомов в большом внутреннем цикле (атомов азота, углерода, серы, металла), так называемые макрогетероциклические соединения различной структурной модификации [1-3]. Структурные изменения данных соединений являются перспективными для получения веществ с ценными практическими свойствами. Соединения такого типа применяются в различных областях науки, техники и медицины: в качестве пигментов и красителей, катализаторов окислительно-восстановительных процессов, лекарственных и биологически активных препаратов [4-9].

Настоящее сообщение является продолжением исследований в области синтеза и изучения физико-химических свойств макрогетероциклических соединений различного строения [10-20].

Индандион-1,3, метилиндандион и фенилиндандион – чрезвычайно реакционноспособные

соединения, принимающие участие в разнообразных химических превращениях. Причиной высокой реакционной способности является наличие в молекулах карбонильной и метиленовой групп [21-23].

Целью настоящей работы является синтез и исследование физико-химических свойств макрогетероциклических соединений несимметричного строения, содержащих фрагменты 1-имино-2-фенил-1H-инден-3-амин, 1,4-фенилендиамин, 1,3,4-, 1,2,4-тиадиазолов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Данные элементного анализа получены на приборе CHNS-O Analyzer FlashEA 1112 Series. С целью определения оптических свойств измеряли спектры поглощения в УФ- и видимой областях (350-800 нм) на приборе HitachiU-2010. Измерения спектров проводились в виде растворов соединений в различных растворителях при комнатной температуре (20-25 °C). Инфракрасные спектры снимались с твердых образцов на приборе Avatar 360 FT-IRTSR в области 400-4000 см⁻¹. Для

снятия ИК спектров использовался метод таблетирования вещества с KBr. Содержание исследуемого образца 0,7-0,8% от массы KBr. Масс-спектры регистрировались на приборе «Время-пролетный масс-спектрометр Shimadzu Axima Confidntnce», тип спектра – MALDI-TOFF. Проведены исследования макрогетероциклических соединений на дифференциальном сканирующем калориметре динамического теплового потока DSC 204 F1 Phoenix. Для контроля чистоты продуктов реакции использовали ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент – ацетон – хлороформ, 1:9 по объему). Продукты реакции очищали методом колоночной хроматографии на окиси алюминия II степени активности по Брокману (элюент ацетон – хлороформ, 1:1 по объему).

N,N'-бис-(1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-илиден)-1,4-фенилендиамин (3). Смесь 0,6 г (1,16 ммоль) соединения (1) и 6 г (77,84 ммоль) ацетата аммония (в мольном соотношении 1:67) нагревали в 10 мл ледяной уксусной кислоты при кипении 2 ч. Реакционную массу охлаждали, разбавляли 10 мл воды, прибавляли 5 мл HCl и выдерживали 3 ч при комнатной температуре. Соединение (2) растворяли в минимальном объеме этанола при нагревании и нейтрализовали 10 %-ным раствором щелочи. Выдерживали 24 ч при комнатной температуре, выпавший осадок отфильтровывали, промывали небольшим количеством разбавленного водного этанола (1:1) и сушили. Выход 0,4 г (75,5%), порошкообразное вещество ярко-красного цвета, растворимо в ДМФА ($20,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л), этаноле ($2,76 \cdot 10^{-3}$ моль/л), $T_{н.разл.}$ 254 °C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1081, 1130 (C-N), 1363 (C-C), 1546 (C=N), 1604, 1631 (C=C), 2831, 3164, (NH) 3452 (C-H); δ (C-H), 1498 δ ((N-H)). УФ спектр, nm ($lg \epsilon$): ДМФА, 282, 318, 455 (3,94); этанол, 267, 327, 449 (3,69). Найдено, %: C 81,94; H 4,67; N 9,90. $C_{36}H_{26}N_4$. Вычислено, %: C 84,05; H 5,06; N 10,89.

Цикло-[(бис-1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-илиден)-1,4-фенилен-1,3,4-тиадиазол] (5). Смесь 0,1 г (0,19 ммоль) N,N'-бис-(1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-илиден)-1,4-фенилендиамина (3) и 0,03 г (0,26 ммоль) 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазола (4) (в мольном соотношении 1:1,37) нагревали в 7 мл ДМФА при кипении 48 ч. Реакционную массу охлаждали, разбавляли водой, отфильтровывали и сушили. Выход 0,048 г (40%), порошкообразное вещество темно-красного цвета, растворимо в ДМФА ($2,71 \cdot 10^{-3}$ моль/л), хлороформе, в этаноле ($1,74 \cdot 10^{-3}$ моль/л). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 756 (C-S), 1364 (C-N), 1428 (C-C), 1545 (C=N), 1605, 1629 (C=C), 2823, 3162 (C-H), 3452 (N-H);

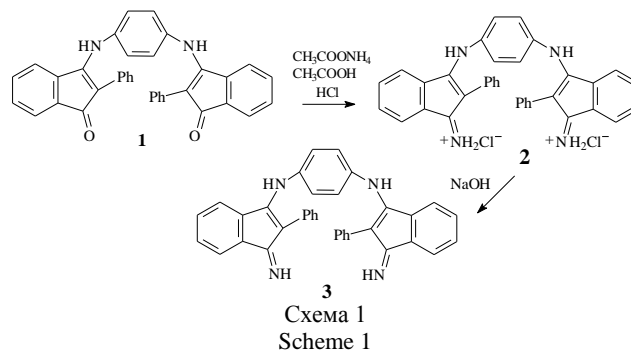
865 δ (C-H), 1498 δ ((N-H)). УФ спектр, nm ($lg \epsilon$): ДМФА, 279, 328, 461 (4,08); этанол, 226, 280, 462 (3,50); хлороформ, 355, 492. Найдено, %: C 76,13; H 4,51; N 12,8; S 4,52. $C_{38}H_{24}N_6S$. Вычислено, %: C 76,51; H 4,03; N 14,09; S 5,37. Масс-спектр: $m/z = 595,3095 [M+H^+]$; $m/z = 656,457 [M+K^+Na^+]$.

Цикло-[(бис-1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-илиден)-1,4-фенилен-1,2,4-тиадиазол] (7) получили аналогично из 0,1 г (0,19 ммоль) соединения (3) и 0,03 г (0,26 ммоль) 3,5-диамино-1,2,4-тиадиазола (6), время реакции – 35 ч. Выход 0,08 г (66,67%), порошкообразное вещество красного цвета, растворимо в этаноле ($1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л), хлороформе, ДМФА ($5,33 \cdot 10^{-3}$ моль/л). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 756, 775 (C-S), 1156 (C-N), 1365 (C-C), 1544 (C=N), 1595, 1631 (C=C), 3158 (C-H), 3306, 3454 (N-H); δ (C-H), 1430 δ ((N-H)). УФ спектр, nm ($lg \epsilon$): ДМФА 288, 330, 450 (4,15); этанол 279, 328, 456 (4,06); хлороформ 373, 454. Найдено, %: C 76,04; H 4,59; N 12,45; S 4,05. $C_{38}H_{24}N_6S$. Вычислено, %: C 76,51; H 4,03; N 14,09; S 5,37. Масс-спектр: $m/z = 595,2088 [M+H^+]$; $m/z = 656,441 [M+K^+Na^+]$.

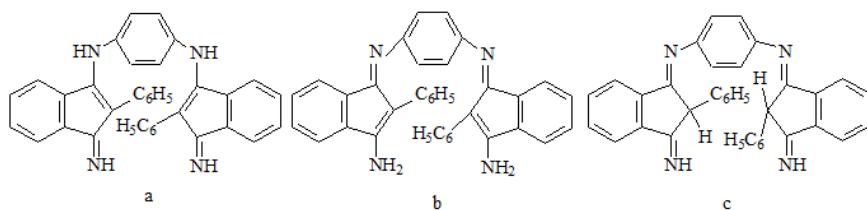
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Аминирование N,N'-бис-(1-инденон-3-ил)-1,4-фенилендиамина (1) проводят ацетатом аммония в уксусной кислоте при кипении реакционной массы. Добавлением конц. HCl к полученному уксусно-кислому раствору выделяли менее растворимую соль N,N'-бис-(1-инденон-3-ил)-1,4-фенилендиамина. Подщелачиванием спиртового раствора соли получили – N,N'-бис-(1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-илиден)-1,4-фенилендиамин (3) (схема 1).

Соединение (1) – порошкообразное вещество красного цвета, растворимо в ДМФА, этаноле. λ_{max} , nm : ДМФА, 484; этанол, 481; хлороформ, 472. Соединение (3) – порошкообразное вещество ярко-красного цвета, растворимо в ДМФА, этаноле, хлороформе, ацетоне, $T_{н.разл.}$ 254 °C.



N,N' -бис-(1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-илиден)-1,4-фенилендиамин (**3**), теоретически может существовать в трех таутомерных формах:



Интенсивная окраска как соли, так и основания исключает для них структуру несопряженных дииминосоединений (с). В пользу структур (а) и (b) говорят и спектроскопические данные. Однако, все попытки констатировать первичную аминогруппу остались напрасными. Это соединение не конденсируется с фталевым ангидридом, не дает обычных реакций на первичную аминогруппу. Отсюда следует, что соединение (**3**) существует в форме (а).

Макрогетероциклические соединения синтезировали взаимодействием соединения (**3**) с 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазолом (**4**) и 3,5-диамино-1,2,4-тиадиазолом (**6**) в ДМФА в течение 48 ч и 35 ч соответственно (схема 2).

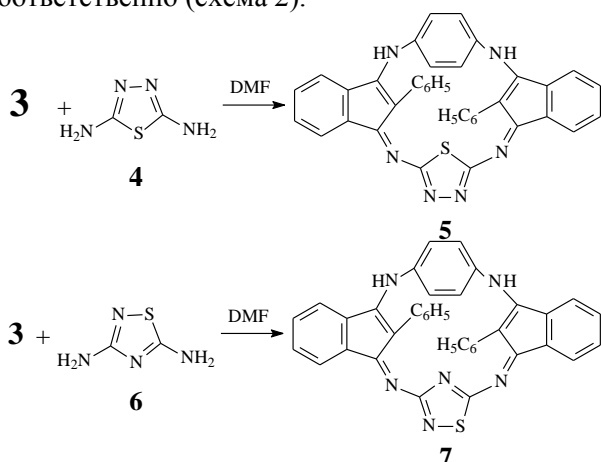


Схема 2
Scheme 2

Очищали методом колоночной хроматографии на окиси алюминия, используя в качестве элюента (ацетон : хлороформ = 1:9) [24].

Соединения (**5**, **7**) – порошкообразные вещества с различными оттенками красного цвета, имеющие температуры плавления и кристаллизации (исследованы в токе аргона), растворимы в хлороформе, ДМФА, ацетоне, этаноле.

Соединения (**3**, **5**, **7**) идентифицировали по данным элементного анализа, масс-спектрам и спектральных исследований. В масс-спектрах макрогетероциклов присутствует: $m/z = 656,457$ (**5**) и $m/z = 656,441$ (**7**).

В ИК спектрах наблюдаются полосы поглощения в области $3500-2700\text{ см}^{-1}$, которые свидетельствуют о наличии иминогрупп (3452 , 3453 , 3306 см^{-1}), вовлеченных в межмолекулярные водородные связи, а также (2831 , 3163 ; 2823 , 3162 ; 3158 см^{-1}), относящиеся к C-H группам. В ИК спектрах присутствуют полосы колебаний связи C=N – $1546-1544\text{ см}^{-1}$. Поглощение в интервале $1428-1081\text{ см}^{-1}$ обусловлено, в основном, колебаниями одинарных связей C-C и C-N. Обнаруживаются также полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям связи C-S ($756,775\text{ см}^{-1}$) [25]. Таким образом, ИК спектры подтверждают наличие перечисленных фрагментов и групп в молекулах соединений (**3**, **5**, **7**).

Электронные спектры поглощения (ЭСП) соединений (**3**, **5**, **7**) регистрировали в этаноле, ДМФА и хлороформе, которые представлены двумя и тремя полосами. Поглощение в области $250-390\text{ нм}$ относится к электронным переходам с участием фрагментов фенилиндена. Полосы при λ $400-700\text{ нм}$, ответственные за цвет соединений, вызваны $\pi-\pi$ -электронными переходами в цепи сопряжения молекулы в целом (рис. 1).

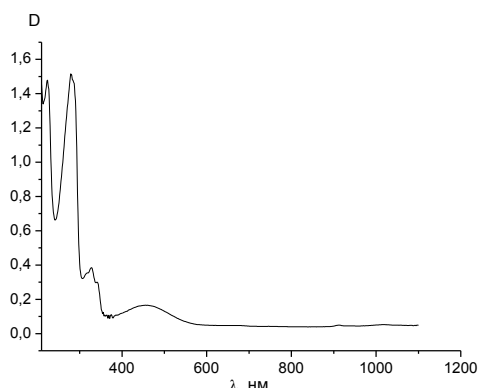


Рис. 1. Электронный спектр поглощения соединения **7** в этаноле с 10^{-3} моль/л

Fig. 1. Electron absorption spectrum of compound **7** in ethanol, concentration is 10^{-3} mol/l

При рассмотрении электронных спектров соединений (**1**, **3**) наблюдается гипсохромный сдвиг Q полосы (в этаноле – 481 нм (**1**) → 449 нм (**3**); в ДМФА – 484 нм → 455 нм). Замыкание в цикл приводит к bathochromному сдвигу длинноволновой полосы поглощения только для соединения (**5**). По-видимому, соединение (**5**) с фрагментом 1,3,4-тиадиазола стремится к плоскостному строению.

Уширенные полосы поглощения в видимой части электронного спектра указывают на то, что молекулы не имеют плоского строения и единая цепь сопряжения отсутствует.

Соединения (**5**, **7**) исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре динамического теплового потока DSC 204 F1 Phoenix. Эксперимент сделан в потоке аргона, алюминиевый тигель, отверстие в крышке, тигель запрессован (нагрев и охлаждение).

Для соединения (**5**) (масса 2,34 мг) нижняя кривая характеризует фазовые переходы в процессе нагрева (5 °С /мин). Эндотермичный пик характеризует плавление вещества. Начало процесса 254,7 °С, конец 267,3 °С, максимум – 262,2 °С. Удельная теплота плавления 124,3 Дж/г.

Процесс охлаждения сопровождается кристаллизацией соединения (**5**). Начало кристаллизации 179,3 °С, максимум процесса 175,2–170,4 °С, завершение кристаллизации – 156,1 °С.

У соединения (**7**) наблюдается аналогичная зависимость. Эндотермичный пик характеризует плавление вещества. Начало процесса 270,0 °С,

конец 274,9 °С, максимум – 272,9 °С. Удельная теплота плавления 161,4 Дж/г. Процесс охлаждения сопровождается кристаллизацией соединения (**7**). Начало кристаллизации 217,3 °С, максимум процесса 217,0 °С, завершение кристаллизации – 212,6 °С.

ВЫВОДЫ

В результате исследования синтезированы макрогетероциклические соединения с фрагментами 1-имино-2-фенил-1*H*-инден-3-амин, 2,5-диамино-1,3,4-тиадиазола, 3,5-диамино-1,2,4-тиадиазола и 1,4-фенилендиамин, охарактеризованные с помощью физико-химических методов анализа.

Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования Ивановского государственного химико-технологического университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапошников Г.П., Кулинич В.П., Майзлиш В.Е. Модифицированные фталоцианины и их структурные аналоги. М.: Красанд. 2012. 480 с.
2. Семейкин А.С., Голубчиков О.А., Коифман О.И. Синтез и применение порфиринов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2005. Т. 48. Вып. 7. С. 14–21.
3. Галанин Н.Е., Шапошников Г.П., Коифман О.И. Методы синтеза мезо-замещенных тетрабензопорфинов. *Усп. химии*. 2013. Т. 82. № 5. С. 412–428. DOI: 10.1070/RC2013v082n05ABEH004317.
4. Коифман О.И., Агеева Т.А. Общие подходы к синтезу тетрапиррольных макрогетероциклических соединений – перспективных материалов для фотовольтаических устройств. *Высокомол. соед. Сер. С*. 2014. Т. 56. № 1. С. 89–110. DOI: 10.1134/S1811238214010056.
5. Бerezina Г.Р., Шапошников Г.П. Синтез карбоциклов с фрагментами замещенных фенилендиаминов и комплексов меди(II), кобальта(II) и цинка(II) на их основе. *ЖОХ*. 2011. Т. 81. Вып. 11. С. 1844–1848.
6. Бerezina Г.Р., Купцова К.Д., Бerezina Н.М. Синтез и исследование физико-химических свойств макроциклических соединений с фрагментами N,N'-диаминов диарильного ряда. *ЖОрХ*. 2015. Т. 51. Вып. 2. С. 279–282.
7. Коифман О.И., Агеева Т.А., Шейнин В.Б. Макрогетероциклы: синтез и применение. Мат. XIV Молодеж. конф. по орг. химии. Екатеринбург. 10–14 мая 2011. С. 7.
8. Алмеида-Марреро В., Гонсалес-Дельгадо Дж.А., Торрес Т. Новые перспективы применения порфириноидов для фотодинамической терапии и фотоинактивации микроорганизмов. *Макрогетероциклы*. 2019. Т. 12. № 1. С. 8–16. DOI: 10.6060/mhc181220t.
9. Клетиков С.С., Тесакова М.В., Кулагин В.Р., Парфенюк В.И. Оценка антиоксидантных свойств 5,10,15,20-тетракис(4-гидроксифенил)порфина на основе электрохимических и биологических исследований. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 3. С. 57–63. DOI: 10.6060/ivkkt.20196203.5869.

REFERENCES

1. Shaposhnikov G.P., Kulinich V.P., Maizlish V.E. Modified phthalocyanines and their structural analogues. M.: Krasand. 2012. 480 p. (in Russian).
2. Semykin A.S., Golubchikov O.A., Koifman O.I. Synthesis and application of porphyrins. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2005. V. 48. N 7. P. 14–21 (in Russian).
3. Galanin N.E., Shaposhnikov G.P., Koifman O.I. Methods of synthesis of meso-substituted tetrabenzoporphyrin. *Usp. Khim.* 2013. V. 82. N 5. P. 412–428 (in Russian). DOI: 10.1070/RC2013v082n05ABEH004317.
4. Koifman O.I., Ageeva T.A. General approaches to the synthesis of tetrapyrrole macroheterocyclic compounds-promising materials for photovoltaic devices. *Vysokomol. Soed. Ser. S*. 2014. V. 56. N 1. P. 89–110 (in Russian). DOI: 10.1134/S1811238214010056.
5. Berezina G.R., Shaposhnikov G.P. The synthesis of carbocycles with fragments of substituted phenylenediamines and complexes of copper (II), cobalt (II) and zinc (II) based on them. *Russ J. Gen. Chem.* 2011. V. 81. N 11. P. 2294–2298. DOI: 10.143/S1070363211110120.
6. Berezina G.R., Kuptsova K.D., Berezina N.M. Synthesis and investigation of physicochemical properties of macrocyclic compounds with fragments of N,N'-diamines of biaryl series. *Russ. J. Org. Chem.* 2015. V. 51. N 2. P. 269–272. DOI: 10.1134/S1070428015020220.
7. Koifman O.I., Ageeva T.A., Sheinin V.B. Macroheterocycles: synthesis and application. Proc. of the XIV Youth conference on organic chemistry. Yekaterinburg. May 10–14. 2011. P. 7 (in Russian).
8. Almeida-Marrero V., Gonzales-Delgado J.A., Torres T. New prospects for the use of porphyrinoids for photodynamic therapy and photoinactivation of microorganisms. *Macroheterocycles*. 2019. V. 12. N 1. P. 8–16. DOI: 10.6060/mhc181220t.
9. Kletikov S.S., Tesakova M.V., Kulagin V.R., Parfenyuk V.I. Estimation of antioxidant properties of 5,10,15,20-tetrakis(4-hydroxyphenyl)porphyrine based on electrochemical and biological researches. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 3. P. 57–63 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196203.5869.

10. Березина Г.Р., Купцова К.Д., Березина Н.М. Синтез и свойства макроциклических соединений с фрагментами 2-метиллиндандиона и замещенного бифенила. *ЖОХ*. 2015. Т. 85. Вып. 3. С. 420.
11. Березина Г.Р. Макрогетероциклические соединения с фрагментами триадиазолов. *ЖОХ*. 2018. Т. 88. Вып.1. С. 90-94.
12. Березина Г.Р., Воробьев Ю.Г., Воробьева С.М., Андрейкина И.А. Синтез и исследование макрогетероциклических соединений на основе 5,7-диимино-2,5,7,10-тетрагидро-1Н-6-гидро-2Н-циклогекса[fg]нафталина. *ЖОХ*. 2004. Т. 74. Вып. 8. С. 1355-1359.
13. Березина Г.Р., Воробьев Ю.Г. Синтез и физико-химические свойства гетероциклических соединений на основе 5,7-диимино-2,5,6,7-тетрагидро-1Н-циклопента[cd]феналена. *ЖОХ*. 2004. Т. 74. Вып. 3. С. 447-450. DOI: 10.1023/B:RUGC.0000030398.01111.f8.
14. Березина Г.Р., Воробьев Ю.Г., Смирнов Р.П., Соколова Н.В. Синтез комплексов меди, кобальта и цинка с макрогетероциклическими лигандами на основе 1,3-индандиона. *ЖОХ*. 2004. Т. 74. Вып. 11. С. 1902-1906.
15. Куликов М.А., Неустроева Н.Р., Воробьев Ю.Г. Пиридиновый аналог диамино-β-изоиндиго и биядерные металлмакрогетероциклы на его основе. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2004. Т. 47. Вып. 10. С. 44-48.
16. Березина Г.Р., Воробьев Ю.Г., Воробьева С.М. Синтез и свойства макрогетероциклов на основе аналога 1,3-индандиона. *ЖОХ*. 2005. Т. 75. Вып. 12. С. 2036-2038.
17. Березина Г.Р., Воробьев Ю.Г. Синтез и свойства макрогетероциклических соединений с фрагментами замещенных бензидина. *ЖОХ*. 2006. Т. 76. Вып. 8. С. 1369-1374.
18. Березина Г.Р., Фомина И.С. Синтез и свойства макрогетероциклических соединений с фрагментами 1-имино-2-фенил-1Н-инден-3-амин. *ЖОХ*. 2014. Т. 84. Вып. 7. С. 1112.
19. Березина Г.Р., Фомина И.С. Синтез и свойства макрогетероциклических соединений с фрагментами замещенных м-диаминов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57. Вып. 8. С. 3-7.
20. Березина Г.Р. Макроциклические соединения с фрагментами 2-фенилиндена. Синтез и свойства. *ЖОХ*. 2018. Т. 88. Вып. 6. С. 958-961.
21. Hansen D.B., Joulie M.M. The development of novel ninhydrin analogues. *Chem. Soc. Rev.* 2005. N 34. P.408-417. DOI: 10.1039/B315496N.
22. Matos M.A., Miranda M.S., Monte M.J., Santos L.M., Morais V.M., Chickos J.S., Umnahanant P., Liebman J.F. Calorimetric and computational study of indanones. *J. Phys. Chem.* 2007. N 111. P. 187-189. DOI: 10.1021/jp074718d.
23. Nematollahi D., Akaberi N. Electrochemical *Russ. J. Org. Chem. Molecules*. 2001. N 6. P. 639-646. DOI: 10.3390/60700639.
24. Долгонос А.М., Рудаков О.Б., Прудковский А.Г. Колоночная аналитическая хроматография: практика, теория, моделирование. СПб.: Изд-во «Лань». 2015. 468 с.
25. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффолтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2006. С. 251-318.
10. Berezina G.R., Kuptsova K.D., Berezina N.M. Synthesis and properties of macroheterocyclic compounds containing 2-methylindan-1,3-dione and substituted biphtnyl fragments. *Russ. J. Org. Chem.* 2015. V. 85. N 3. P. 584-588. DOI: 10.1134/S1070363215030093.
11. Berezina G.R. Macroheterocyclic compounds with thiadiazole fragments. Synthesis and properties. *Russ. J. Org. Chem.* 2018. V. 88. N 1. P. 86-89. DOI: 10.1134/S1070363218010139.
12. Berezina G.R., Vorob'ev Yu.G., Vorob'eva S.M., Andreikina I.A. Synthesis and study of macroheterocyclic compounds based on the 5,7-diimino-2,5,7,10-tetrahydro-1H-6-hydro-2H-cyclohexa[fg]naphthalene. *Russ. J. Org. Chem.* 2004. V. 74. N 8. P. 1254-1258. DOI: 10.1007/s11176-005-0147-8.
13. Berezina G.R., Vorob'ev Yu.G. Synthesis and physico-chemical properties of heterocyclic compounds based on the 5,7-diimino-2,5,6,7-tetrahydro-1H-cyclopenta[cd]phenalene. *Russ. J. Org. Chem.* 2004. V. 74. N 3. P. 447-450 (in Russian). DOI: 10.1023/B:RUGC.0000030398.01111.f8.
14. Berezina G.R., Vorob'ev Yu.G., Smirmov R.P., Sokolova N.B. Synthesis of complexes of copper, cobalt and zinc with macroheterocyclic ligands based on 1,3-indandione. *Russ. J. Org. Chem.* 2004. V. 74. N 11. P. 1770-1774. DOI: 10.1007/s11176-005-0099-z.
15. Kulikov M.A., Neustroeva N.R., Vorob'ev Yu.G. The pyridine analogue of a diamino-β-sondigo and the binuclear metallographically based on it. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2004. V. 47. N 10. P. 44-48 (in Russian).
16. Berezina G.R., Vorob'ev Yu.G., Vorob'eva S.M. Synthesis and properties of macroheterocycles on the basis of the analogue of 1,3-indandione. *Russ. J. Org. Chem.* 2005. V. 75. N 12. P. 1946-1948. DOI: 10.1007/s11176-006-0019-x.
17. Berezina G.R., Vorob'ev Yu.G. Synthesis and properties of macroheterocyclic compounds with fragments of substituted benzidine. *Russ. J. Org. Chem.* 2006. V. 76. N 8. P. 1314-1319. DOI: 10.1134/S1070363206080275.
18. Berezina G.R., Fomina I.S. Synthesis and properties of macroheterocyclic compounds containing 1-imino-2-phenyl-1H-inden-3-amine fragments. *Russ. J. Org. Chem.* 2014. V. 84. N 7. P. 1308-1312. DOI: 10.1134/S107036321407010X.
19. Berezina G.R., Fomina I.S. Synthesis and properties of macroheterocyclic compounds with fragments of substituted m-diamines. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2014. V. 57. N 8. P. 3-7 (in Russian).
20. Berezina G.R. Macrocylic Compounds with 2-Phenylindene Fragments. Synthesis and Properties. *Russ. J. Org. Chem.* 2018. V. 88. N 6. P. 1138-1141. DOI: 10.1134/S1070363218060154.
21. Hansen D.B., Joulie M.M. The development of novel ninhydrin analogues. *Chem. Soc. Rev.* 2005. N 34. P.408-417. DOI: 10.1039/B315496N.
22. Matos M.A., Miranda M.S., Monte M.J., Santos L.M., Morais V.M., Chickos J.S., Umnahanant P., Liebman J.F. Calorimetric and computational study of indanones. *J. Phys. Chem.* 2007. N 111. P. 187-189. DOI: 10.1021/jp074718d.
23. Nematollahi D., Akaberi N. Electrochemical study of bromide in the presence of 1,3-indandione. application to the electrochemical synthesis of bromo derivatives of 1,3-indandione. *Molecules*. 2001. N 6. P. 639-646. DOI: 10.3390/60700639.
24. Dolgonosov A.M., Rudakov O.B., Prudkovsky A.G. Column analytical chromatography: practice, theory, modeling: SPb.: «LAN». 2015. 468 p. (in Russian).
25. Prech E., Bühlmann P.F., Affolter K. Structure Determination of Organic Compounds. Tables of Spectral Data. M.: Binom. Laboratoriya znaniy. 2006. С. 251-318 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 05.12.2019

Принята к опубликованию (Accepted) 30.03.2020