

БИФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАМЕЩЕННЫЕ ФТАЛОЦИАНИНЫ**С.А. Знойко, В.Е. Майзлиш, О.И. Койфман**

Серафима Андреевна Знойко (ORCID 0000-0001-7023-7407)*, Владимир Ефимович Майзлиш (ORCID 0000-0001-6672-1183), Оскар Иосифович Койфман (ORCID 0000-0002-1764-0819)

НИИ МГЦ, Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр., 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: znoykosa@yandex.ru*

Настоящее сообщение является продолжением систематических исследований авторов в области синтеза и изучения свойств фталоцианинов и родственных соединений и посвящено получению замещенных фталоцианинов, сочетающих на периферии заместители различной природы, а также их производных, и исследованию их спектральных, каталитических, жидкокристаллических свойств, термической устойчивости и растворимости в органических растворителях. Основной целью настоящего обзора является установление влияния природы периферийных заместителей, а также наличия и природы металла в координационной полости на физико-химические свойства синтезированных соединений. Наличие арильных заместителей способно придавать фталоцианинам и их металлокомплексам растворимость в широком спектре низкокипящих органических растворителей, жидкокристаллические и люминесцентные свойства, а также позволяют получать сульфокислоты и их производные в относительно мягких условиях. Сульфокислоты занимают особое место среди водорастворимых фталоцианинов и уже нашли практическое применение в качестве красителей и катализаторов, а также рекомендованы к применению в других областях науки и техники. Однако сведения о соединениях этого класса, сочетающих в бензольных кольцах различные по природе функциональные группы, такие как нитрогруппы, азотсодержащие гетероциклические (особенно насыщенные гетероциклы) и оксарильные фрагменты, ограничены. В обзоре проанализированы и обобщены данные по синтезу бифункционально-замещенных фталоцианинов и возможным областям их практического применения. Особое внимание уделено рассмотрению способов получения исходных фталонитрилов.

Ключевые слова: фталонитрил, нуклеофильное замещение, фталоцианин, синтез

BIFUNCTIONAL-SUBSTITUTED PHTHALOCYANINES**S.A. Znoyko, V.E. Maizlish, O.I. Koifman**

Serafima A. Znoyko (ORCID 0000-0001-7023-7407)*, Vladimir E. Maizlish (ORCID 0000-0001-6672-1183), Oskar I. Koifman (ORCID 0000-0002-1764-0819)

Research Institute of Macroheterocycles, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: znoykosa@yandex.ru*

This report is a continuation of the authors' systematic research in the field of synthesis and study of the properties of phthalocyanines and related compounds. It is devoted to the production of substituted phthalocyanines combining substituents of various nature on the periphery, as well as their derivatives. The work describes spectral, catalytic, liquid crystal properties, thermal stability and solubility in organic solvents, in order to establish the influence of the nature of peripheral substituents, as well as the presence and nature of the metal in the coordination cavity on the physicochemical properties of the synthesized compounds. The presence of aryl substituents can impart liquid crystal, catalytic and luminescent properties of phthalocyanines and their metal complexes, and make it possible to obtain sulfonic acids and their derivatives under relatively mild conditions. Sulfonic acids occupy a special place among water-soluble phthalocyanines and have already found practical application as dyes and catalysts, and are also recommended for use in other fields of science and technology. However, information about compounds of this class combining functional groups of different nature in benzene rings, such as nitro groups, nitrogen-containing heterocyclic (especially saturated heterocycles) and oxyaryl fragments, is limited. The review analyzes and summarizes data on the synthesis of bi-functionally substituted phthalocyanines and possible areas of their practical application. Special attention is paid to the consideration of methods for obtaining initial phthalonitriles.

Key words: phthalonitrile, nucleophilic substitution, phthalocyanine, synthesis

Для цитирования:

Знойко С.А., Майзлиш В.Е., Койфман О.И. Бифункционально-замещенные фталоцианины. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2024. Т. 67. Вып. 1. С. 6–35. DOI: 10.6060/ivkkt.20246701.6859.

For citation:

Znoyko S.A., Maizlish V.E., Koifman O.I. Bifunctional-substituted phthalocyanines. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2024. V. 67. N 1. P. 6–35. DOI: 10.6060/ivkkt.20246701.6859.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие тонкого органического синтеза остается одним из важнейших направлений приоритетных исследований в области химии и химической технологии. Так, разработка новых и усовершенствование уже известных способов получения сложных органических соединений является важной и актуальной задачей органической химии.

Хотя систематические исследования фталоцианина (Pc) начались еще в 30-х годах прошлого столетия [1], интерес к этому классу соединений не ослабевает до настоящего времени [2-11]. Это обусловлено не только их уникальными свойствами [12-16], но и структурной близостью с хлорофиллом, гемоглобином и цитохромом С, играющими важнейшую роль в процессах жизнедеятельности живых организмов.

Фталоцианины широко используются в качестве высококлассных красителей и пигментов синих, сине-зеленых и зеленых оттенков [17-19], катализаторов [17, 18, 20], молекулярных полупроводников в различных устройствах микроэлектроники [21], фотосенсибилизаторов [20, 22, 23], жидкокристаллических материалов [17, 18, 23], элементов солнечных ячеек [20, 24], газовых сенсоров [18, 20, 25] и в других областях науки и техники [20, 26, 27].

Фталоцианин представляет собой тетрабензотетраазапроизводное порфирина и состоит из четырех изоиндольных фрагментов, соединенных азамостиками, макроциклический хромофор которого представляет собой замкнутую 16-π-электронную систему [17, 18]. Известно, что незамещенные фталоцианины обладают лишь очень слабой растворимостью в большинстве органических растворителей [18, 28, 29]. Большие возможности химической модификации данных соединений приводят к получению новых представителей этого класса и позволяют расширять области их практического применения. Одним из таких направлений является введение в бензольные кольца молекулы фталоцианина заместителей различной природы: объемистых или протяженных заместителей алкильной [30-32] или арильной природы [33-35], а также их водорастворимых производных [36-40].

Наличие арильных фрагментов, помимо растворимости в различных растворителях [41-43], придает соединениям: способность молекул Pc к самоорганизации с образованием мезофазы в растворе или при нагревании [44], каталитические [45], сенсорные [46], флуоресцентные [47] свойства, фотодинамическую активность [48].

Особое место в ряду замещенных фталоцианинов занимают соединения, сочетающие в бензольных ядрах заместители различной природы

[18]. Интерес к ним вызван ожиданием как сохранения свойств, придаваемых непосредственно введенными заместителями, так и проявлением новых полезных свойств.

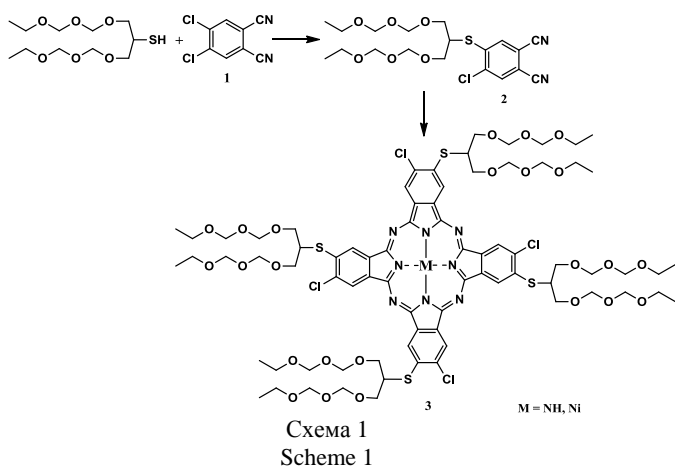
В данном обзоре рассмотрены методы получения и возможные области применения бифункционально-замещенных фталоцианинов. Синтез таких соединений можно осуществить двумя способами – функционализацией заместителей в молекуле Рс и наиболее часто – получением целевых продуктов из соответствующих прекурсоров – смешанно-замещенных фталонитрилов [17, 18]. Поэтому особое внимание уделено их получению.

Более эффективным и распространенным способом является нуклеофильное замещение имеющихся в молекуле фталонитрила функциональных групп (как правило, речь идет об атомах галогенов и/или нитрогруппах [17, 18]) путем взаимодействия с различными O, S и N нуклеофилами [49-54].

В качестве исходных субстратов могут быть использованы ди- и тетразамещенные фталонитрилы, содержащие как одноименные, так и различные по природе заместители. Модификацией последних получен широкий круг прекурсоров для синтеза бифункционально-замещенных фталоцианинов [55-66].

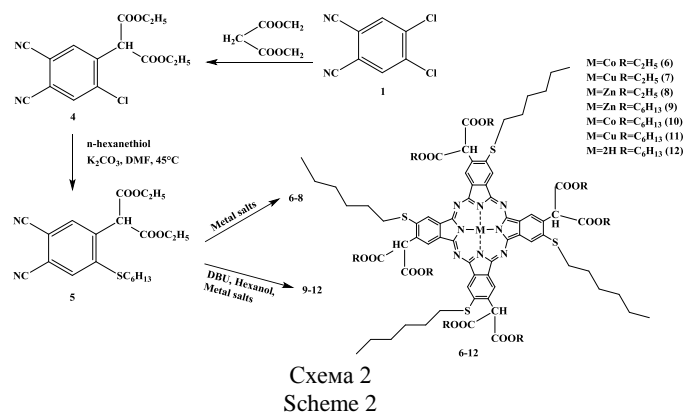
СИНТЕЗ БИФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАМЕЩЕННЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 4,5-ДИ- И 3,4,5,6-ТЕТРАГАЛОГЕНФТАЛОНИТРИЛОВ

Известен синтез мезогенных тетра-4-{бис[(метоксиметоксиметоксиметил)]-сульфанил}тетра-5-хлорфталоцианина и его комплекса (3) с никелем на основе 4-{бис[(метоксиметоксиметоксиметил)]сульфанил}-5-хлорфталоцианина (2), полученного в свою очередь из 4,5-дихлорфталоцианина (1) [55] (схема 1).



Взаимодействием 4,5-дихлорфталоцианина (1) с этилмалонатом был получен 1-хлор-3,4-дициано-6-(1,1-дикарбэтоксиметил)бензол (4), циклотетрамеризацией которого с солями кобальта, меди, палладия и цинка синтезированы соответствующие металлокомплексы [56, 57]. При проведении реакции в гексаноле в присутствии 1,8-диазабисцикло[5.4.0]ундец-7-ена (ДБУ) выделен безметалльный фталоцианин [56]. Взаимодействие соединения 4, обработанного этиоксидом натрия при комнатной температуре, с солью палладия, привело к получению частично карбоксилированного тетра-4-карбоксиметилтетра-5-хлорфталоцианина палладия(II) [56].

Реакцией нитрила 4 с *n*-гексантиолом в атмосфере азота в присутствии основания (поташ) в осушенном ДМФА при 45 °С в течение 2 сут. получен 1-гексилтио-3,4-дициано-6-(1,1-дикарбэтоксиметил)фталоцианин (5), на основе которого выделены соответствующие металлокомплексы 6-8. При проведении процесса в высококипящих спиртах, например гексаноле, с DBU происходила переэтерификация малонильной группы с получением металлокомплексов тетра-4-дигексоксималонилтетра-5-гексилтиофталоцианина 9-12 (схема 2) [58].



Высокая способность атома хлора 1-хлор-3,4-дициано-6-(1,1-дикарбэтоксиметил)бензола (5) к функционализации может быть использована для настройки оптических свойств и электронной плотности фталоцианинов так же эффективно, как и в случае несимметричных фталоцианинов [58].

Применяя в качестве синтона 3,5-динитрофталоцианин, нитрогруппы могут быть последовательно замещены двумя различными нуклеофилами, однако региоселективность первого замещения невысока [59].

Нуклеофильным замещением галогена в 3,4,5,6-тетрагалоген(хлор, фтор или йод)фталоцианина

риле (схема 3) можно получить соединения, содержащие два и более различных по природе заместителя, но чаще всего наблюдается смесь продуктов,

которая, в большинстве случаев, требует дальнейшего разделения [60-67] (схема 3).

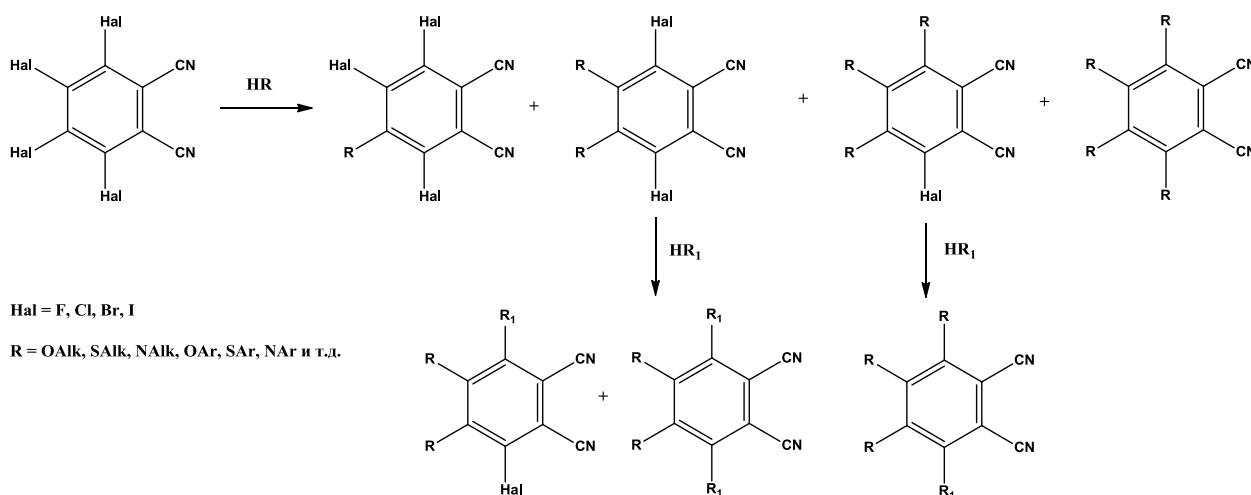


Схема 3
Scheme 3

Реакцией тетрагалогенфталонитрилов с различными нуклеофилами (алкил- и арилтиолы [63]; фенолят-, нафтолят- и пиридилат-анионы [62, 66, 67] и диэтиламин [60] и др.) удалось выделить 4,5-ди-R-3,6-дихлорфталонитрилы [65], на основе которых также можно получить другие исходные соединения (схемы 3 и 4). Так, например, оставшиеся два атома хлора в бис(фенилсульфанил)замещенном фталонитриле **13** замещают на пиридилокси группы (**14**) [61] (схема 4):

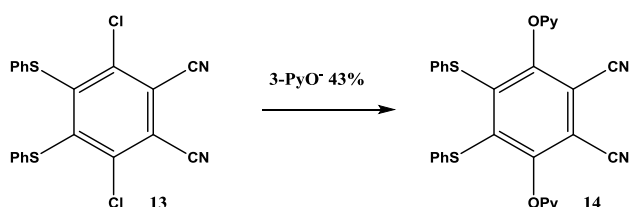


Схема 4
Scheme 4

Используя некоторые вышеприведенные прекурсоры, получен ряд соответствующих металлокомплексов: 4,5-окта(фенилтио)-3,6-октахлорфталоцианины хлоралюминия, меди и цинка; 4,5-окта(бутилтио)-3,6-октахлорфталоцианины меди и цинка [65] 4,5-окта(децилтио)-3,6-октахлорфталоцианины марганца, меди и цинка [65, 68, 69]; 4,5-окта(фенокси)- и 4,5-окта(пиридилокси)-3,6-октахлорфталоцианины кобальта и цинка [65], а также: 4,5-окта(фенилтио)-3,6-октахлорфталоцианин меди [63] и комплексы эрбия и иттербия с арилоксихлорзамещенными фталоцианинами с различными экстралигандами [66] и др.

Они обладают растворимостью в различных органических растворителях, в том числе неполярных и легкокипящих [70, 71], проявляют свойства цветочных фильтров в LCD [72], красителей для полимерных материалов [65, 66], а синтезированный на основе 3,4,5,6-тетрафторфталонитрила тетра(3,6-дифтор-4,5-бис{2-[(1,3,5-триазин-2-илсульфанил)этил]сульфанил})фталоцианин инка, хорошо растворяется в водных средах, проявляет отличную фотостабильность и способность генерировать синглетный кислород и проявляет выраженную противоопухолевую активность как *in vitro*, так и *in vivo* в отношении рака мочевого пузыря (клеточные линии UM-UC-3 и HT-1376) [20]. 4,5-Октакис(алкилсульфанил)- [65, 68, 69], 4,5-октакис-(децилтио)-3,6-октахлорфталоцианины цинка [68-69, 73-75] являются эффективными фотосенсибилизаторами для фотодинамической терапии онкологических заболеваний.

СИНТЕЗ БИФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАМЕЩЕННЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ НА ОСНОВЕ 4-БРОМ-5-НИТРОФТАЛОНИТРИЛА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

4-Бром-5-нитрофталонитрил является перспективным прекурсором для получения бифункционально-замещенных фталоцианинов. Во-первых, на его основе синтезированы соответствующий фталоцианин и его металлокомплексы [76, 77]. Во-вторых, он содержит различные по своей способности к нуклеофильному замещению заместители, что позволяет получить значительное количество необходимых исходных соединений [18].

Кроме того, нитрогруппу можно восстановить и проводить модификацию молекулы субстрата по аминогруппе (реакции алкилирования и ацилирования).

Синтез 4-бром-5-нитрофталонитрила (**20**) осуществляют последовательным бромированием фталевого ангидрида (**15**), переводом получив-

шейся 4-бромфталевой кислоты (**16**) в 4-бромфталимид (**17**), нитрованием последнего, после чего образовавшийся в результате 4-бром-5-нитрофталимид (**18**) обработкой концентрированным водным аммиаком превращают в соответствующий диамид (**19**), который подвергают дегидратации [50, 77] (схема 5).

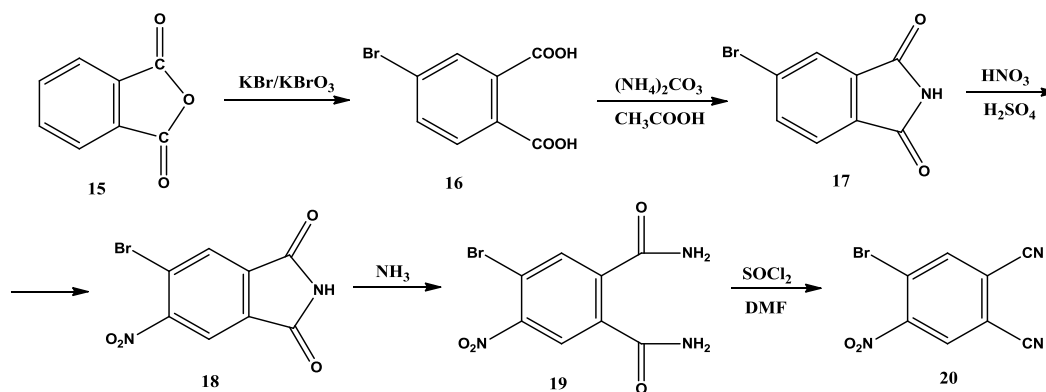


Схема 5
Scheme 5

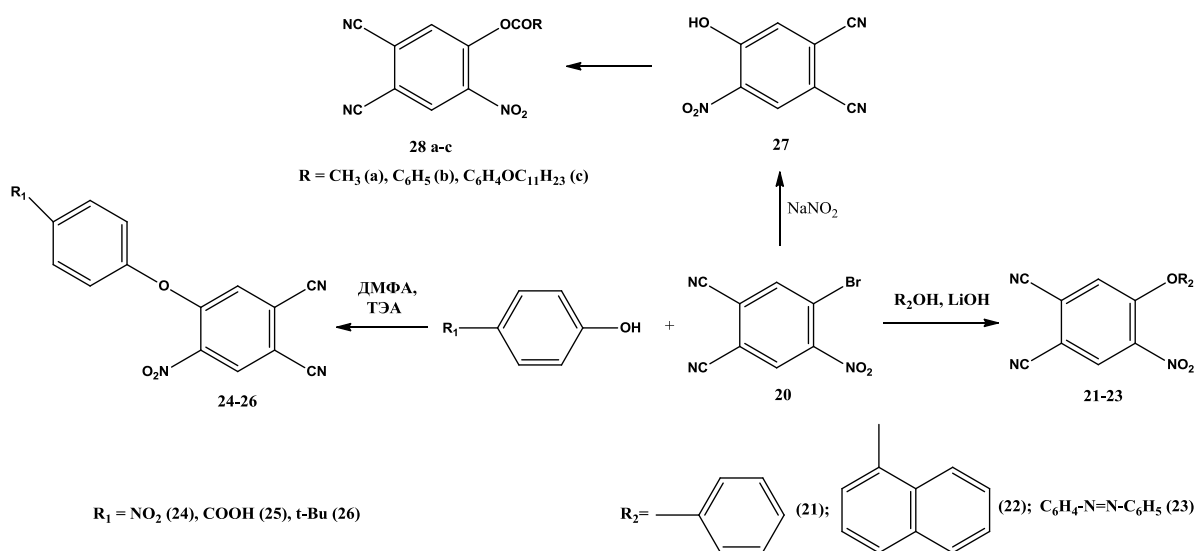
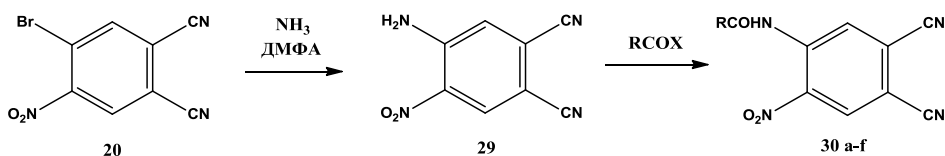


Схема 6
Scheme 6

Нуклеофильным замещением атома брома в прекурсор **20** при взаимодействии с фенолом, 1-нафтолом или 4-гидроксиазобензолом в ДМСО в присутствии гидроксида лития получены соответствующие 4-арилокси-5-нитрофталонитрилы (**21-23**) [78] (схема 6), в ДМФА в присутствии триэтиламина – 4-нитро-, 4-карбокси- и 4-*tert*-бутилфеноксизамещенные фталонитрилы (**24-26**) [79], а реакцией с нитритом натрия в среде ДМФА в присутствии поташа выделен 4-гидрокси-5-нитрофталонитрил (**27**) [80] (схема 6). Используя хлорангид-

риды уксусной, бензойной и *n*-ундецилоксибензойной кислот в качестве ацилирующих агентов, из соединения **27** получены прекурсоры (**28 a-c**) (схема 6) [81, 82].

Нуклеофильным замещением атома брома в 4-бром-5-нитрофталонитриле на аминогруппу, пропуская через раствор соединения газообразный аммиак, синтезирован 4-амино-5-нитрофталонитрил **29**, а ацилированием аминогруппы в **29** – соответствующие ациламинозамещенные соединения [83] (схема 7).



R = CH₃ (a), C₇H₁₅ (b), C₁₁H₂₃ (c), C₁₇H₃₅ (d), C₆H₅ (e), C₆H₄OC₁₁H₂₃ (f); X = OAc (a), Cl (b-f).

Схема 7
Scheme 7

Лукиянец с сотрудниками получил это же соединение взаимодействием 4-амино-5-нитробромбензола с цианистой медью(I) реакцией Розенмунда-Брауна [84].

Подвергая атом брома в **20** атакам различных O, N и S нуклеофилов, был выделен широкий круг бифункционально-замещенных фталонитрилов [18, 49, 53, 54, 82, 85-88] (схемы 8, 9).

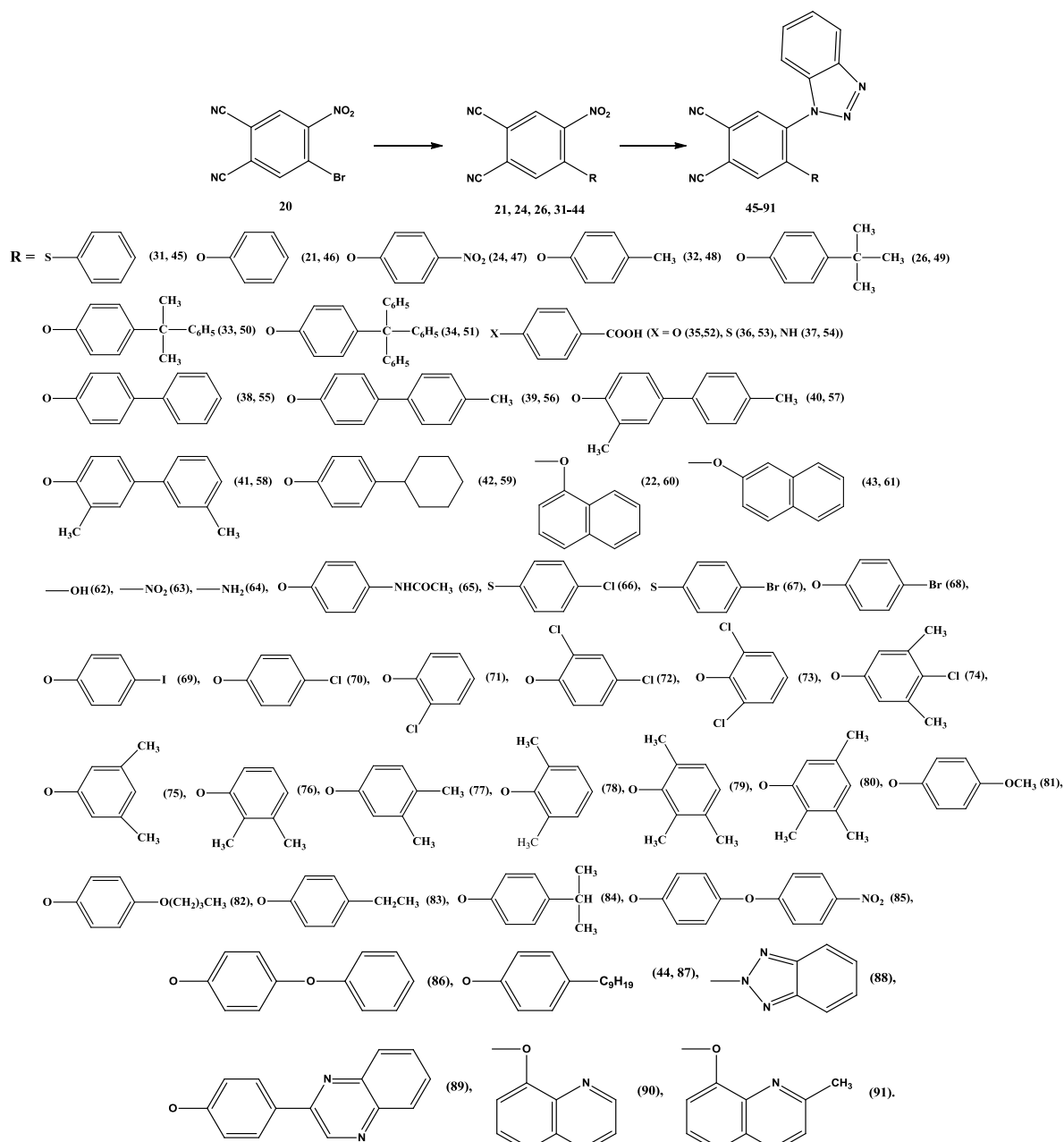


Схема 8
Scheme 8

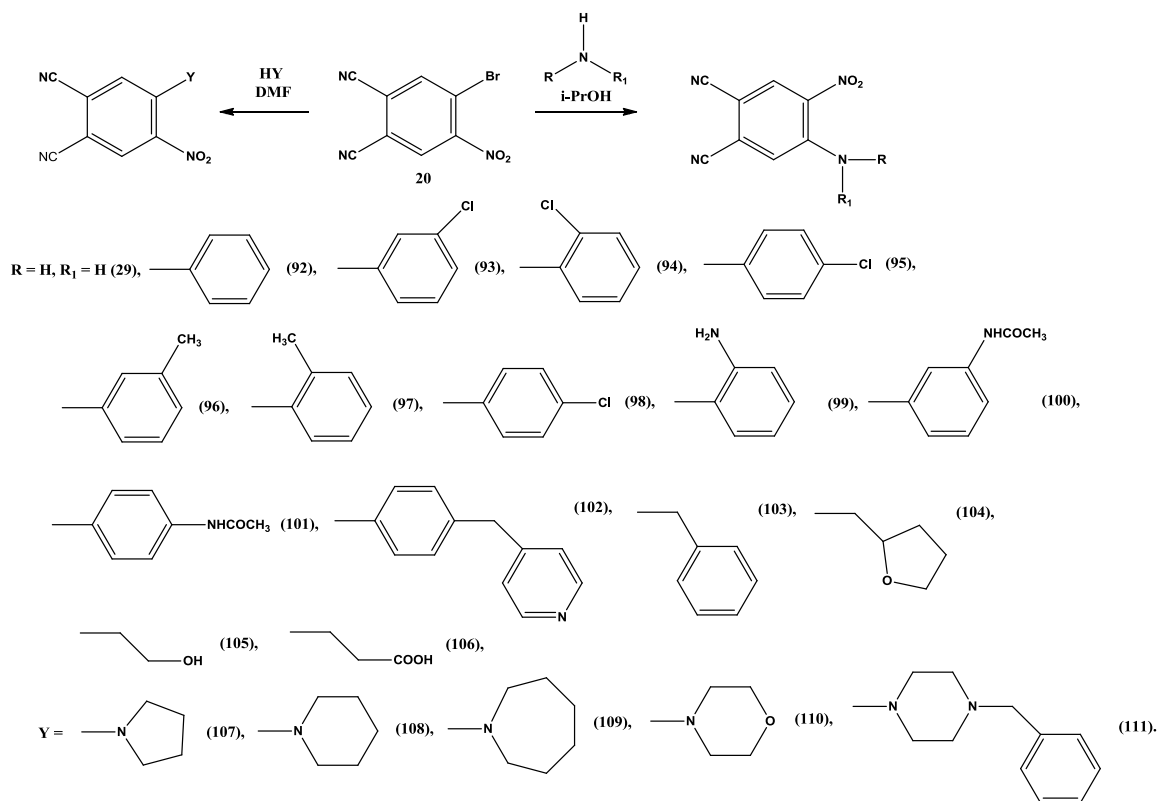


Схема 9
Scheme 9

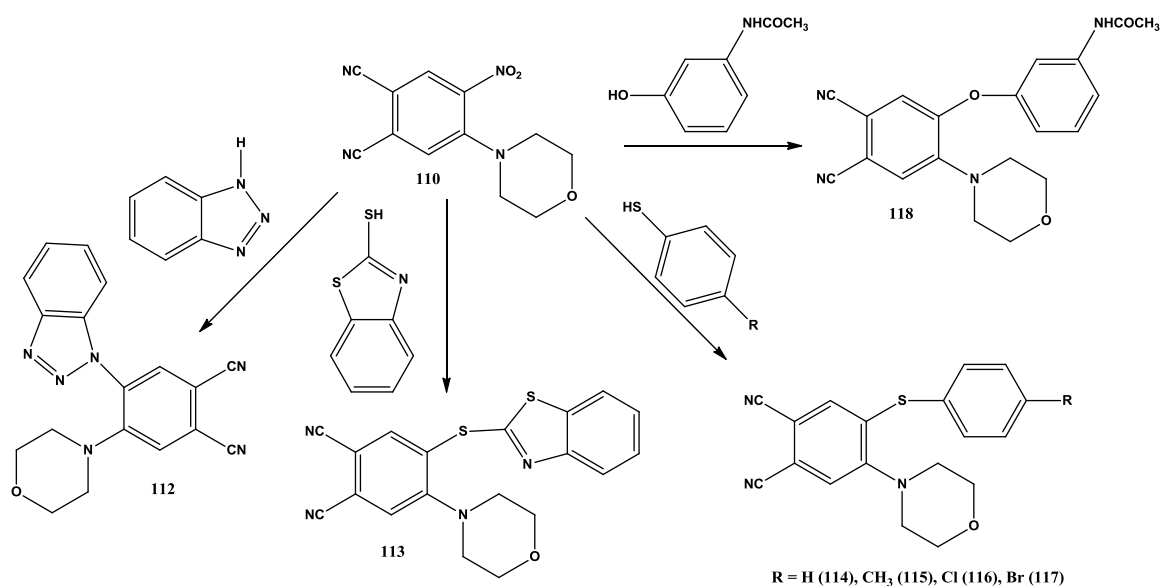


Схема 10
Scheme 10

Нитрозамещенные соединения могут быть модифицированы путем нуклеофильного замещения нитрогруппы [18, 82, 85-88] (схемы 8 и 10). Примером может служить взаимодействие 4-N-морфолинил-5-нитрофталонитрила **110** в ДМФА в присутствии K_2CO_3 с 2-меркаптобензотиазолом, бензотриазолом и т.д. с образованием соответствующих

производных **112-118** (схема 10) [53, 82, 85-88].

Наличие нитрогруппы также позволяет получить аминзамещенные фталонитрилы, используя в качестве восстановителя хлорид олова(II) в среде соляной кислоты (схема 11), с дальнейшим N-ацилированием синтезированных прекурсоров [18, 89-91] (схемы 11, 12).

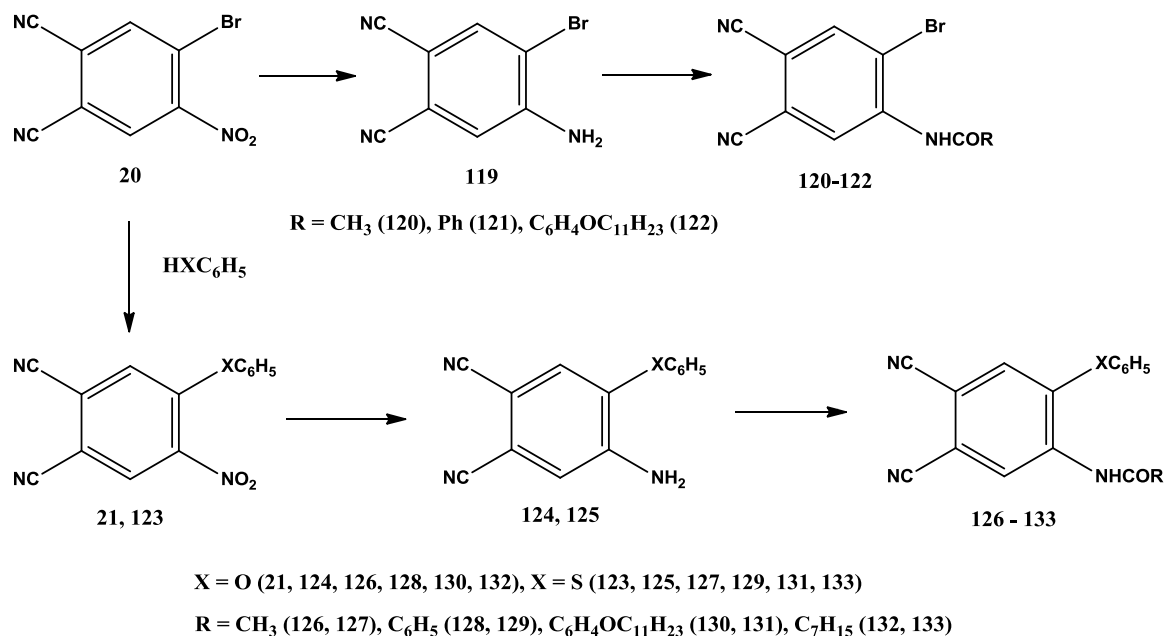


Схема 11
Scheme 11

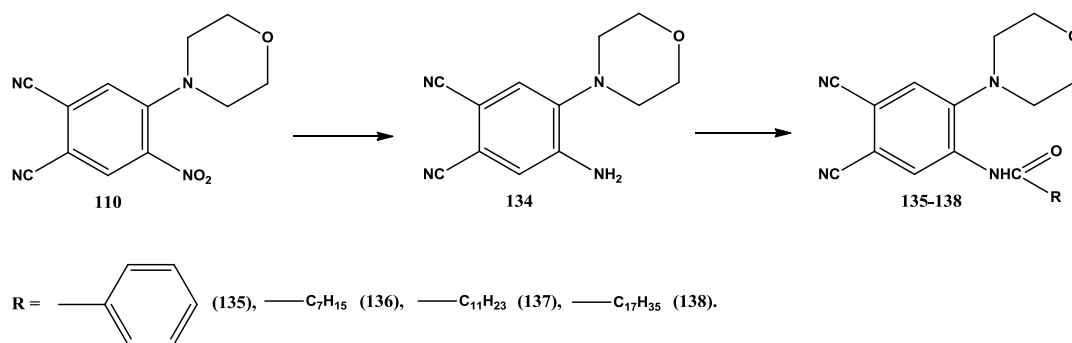


Схема 12
Scheme 12

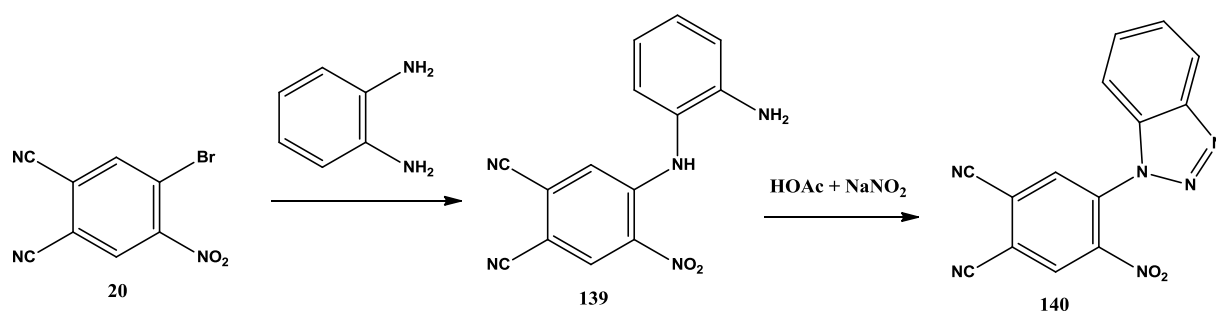
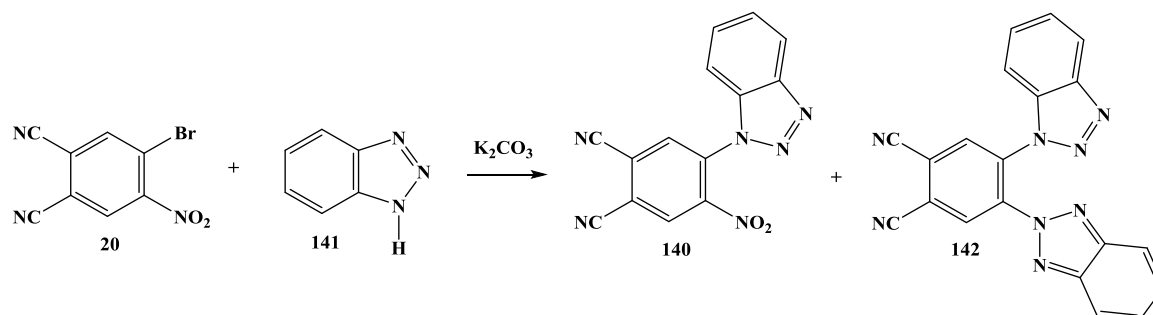


Схема 13
Scheme 13

Фталонитрил **140** получали в две стадии (схема 13). Сначала нуклеофильным замещением атома брома в **20** при его взаимодействии с *o*-фенилендиамином синтезировали 4-(2-аминофениламино)-5-нитрофталонитрил **139**, который, вступая в реакцию с нитритом натрия в присутствии уксусной кислоты, образует 4-(1-бензотриазолил)-5-нитрофталонитрил (**140**) [92, 93].

Необходимость формировать триазольный фрагмент вызвана тем, что при прямом взаимодействии 1-бензотриазола и 4-бром-5-нитрофталонитрила **20** происходит образование 4-(1-бензотриазолил)-5-(2-бензотриазолил)фталонитрила **142** (схема 14), загрязняющего целевой продукт [92, 94] (схема 14).

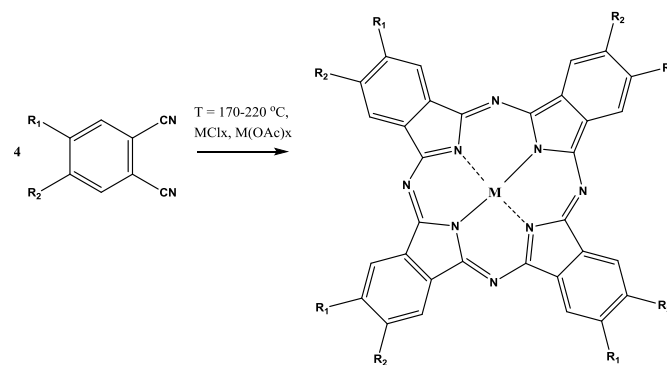
Схема 14
Scheme 14

Используя соединение **140**, можно получить различные бензотриазолилсодержащие прекурсоры (**45-91**) [18] (схема 8). Известен и другой подход к синтезу таких соединений путем взаимодействия 4-(R)-5-нитрофталонитрилов (**21, 24, 26, 31-44**) с 1-Н-бензотриазолом [94-96]. Подобная схема позволяет сократить продолжительность и число синтетических операций. Выходы целевого продукта в этом случае, как правило, оказываются несколько выше. Исключение составляют фталонитрилы с циклогексилфенокси-, бифенилокси- или тритилфеноксигруппой (**51, 55, 59**), что, по-видимому, объясняется стерическими препятствиями, которые создают объемные заместители, расположенные в *орто*-положении к замещаемой нитрогруппе.

Данный метод является менее эффективным и в случае получения карбоксизамещенных фталонитрилов **52-54**, причем ситуацию не улучшает даже введение более сильного основного агента – триэтиламина. Обнаружено влияние природы бензойной кислоты на выход соответствующего прекурсора [49, 97-99]. Наименьший выход наблюдается в случае соединения (**54**), который образуется в следовых количествах [98, 99], что, по-видимому, связано с большими потерями при выделении водорастворимых продуктов на обеих стадиях синтеза. Таким образом, подход, хорошо зарекомендовавший себя в случае органорастворимых соединений, в данном случае не оправдал ожиданий. Поэтому синтез фталонитрилов **52-54** осуществляли на основе 4-(1-бензотриазолил)-5-нитрофталонитрила (**140**), что позволило повысить выход соединений **52-54** в 2-5 раз [94-96].

Бифункционально-замещенные фталоцианины получены «нитрильным» методом (схема 15). Замещенный фталонитрил тщательно растирали с солью металла и полученную смесь выдерживали при 200-210 °С (в случае Рс, не содержащих

остатки гетероциклических соединений) [92, 93, 100-103], 170-180 °С (для бензотриазолилзамещенных Рс [18, 49, 94-99, 104-118],) и 160-195 °С (для Рс, содержащих насыщенные гетероциклы [18, 119]).



M= НН (**а**), Cu (**б**); Ni (**в**), Co (**г**), Спн (**д**), ОН(Сl)Al (**е**), ОНCr (**ж**), СlEr (**з**).

R₁=Сl, **R**₂=NO₂ (**143б, г-е**);

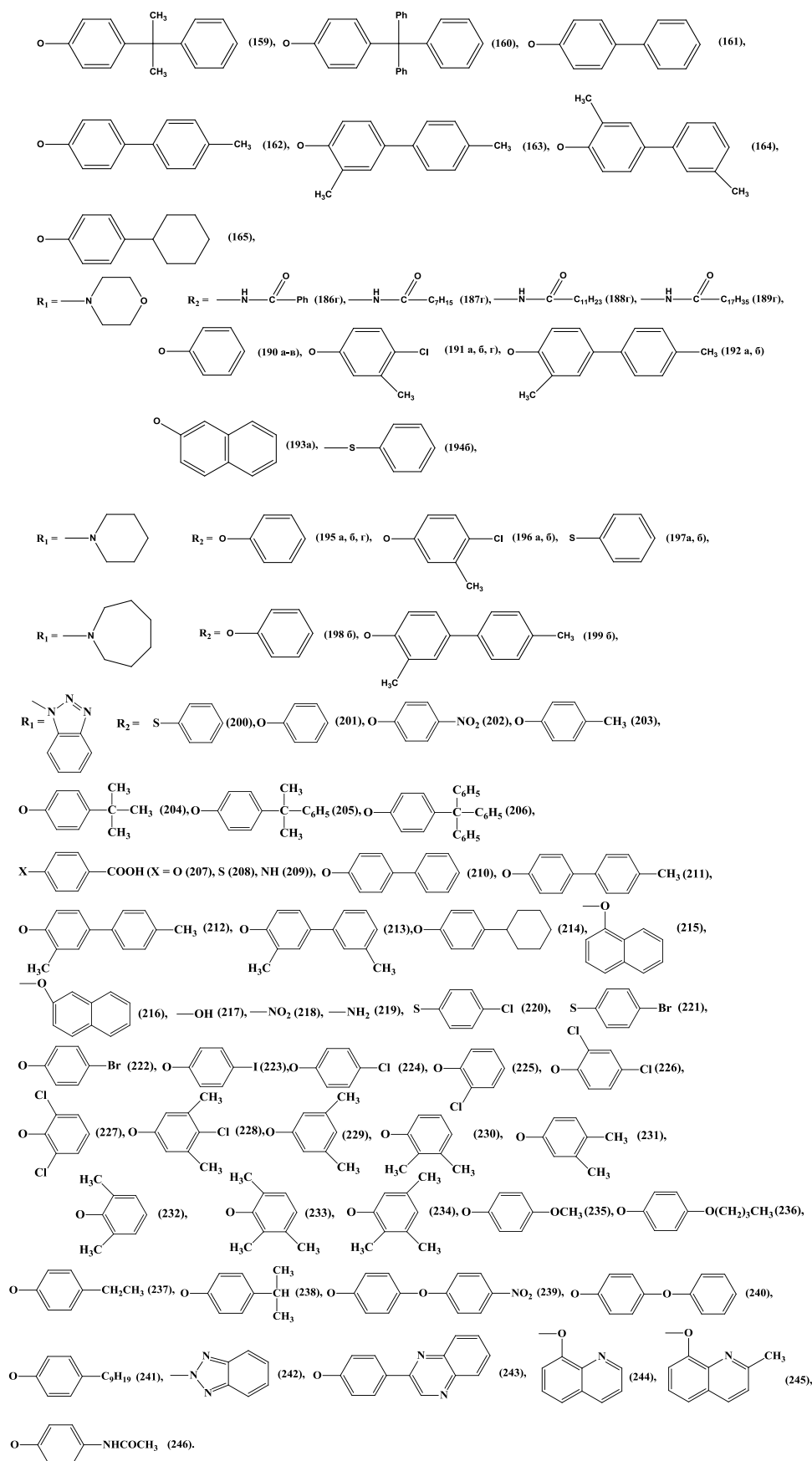
R₁=Br, **R**₂=NO₂ (**144 а, б, г-з**), NHCOCH₃ (**145 а, б, д**), NHCOС₆H₅ (**146 б, г**), NHCOС₆H₄OС₁₁H₂₃ (**147 б, г**), NH₂ (**148 б**);

R₂=NO₂, **R**₁=OH (**149 б, г-ж**), ОС₆H₅ (**150 а, б, г-е**), α-ОС₁₀H₇ (**151 б, г-е**), β-ОС₁₀H₇ (**152 б, г-е**), ОС₆H₄N₂С₆H₅ (**153 а, б, г, д**), ОС₆H₄-*t*-Bu (**154 а, б, г**), ОС₆H₄NO₂ (**155 б, г**), ОС₆H₄COOH (**156 б, г**), SC₆H₄COOH (**157 б, г**), NHС₆H₄COOH (**158 б, г**), NH₂ (**166 г**), NHCOCH₃ (**167 г**), NHCOС₇H₁₅ (**168 г**), NHCOС₁₁H₂₃ (**169 г**), NHCOС₁₇H₃₅ (**170 г**), NHCOС₆H₅ (**171 г**), NHCOС₆H₄OC₁₁H₂₃ (**172 б, г**), OCOC₆H₄OC₁₁H₂₃ (**173 б**);

R₁=С₆H₅, **R**₂=NO₂ (**174 б, г**), ОС₆H₅ (**175 б, г**), ОС₆H₄COOH (**176 б, г**), ОС₆H₄-*t*-Bu (**177 б, г**), NHCOCH₃ (**178 б**), NHCOС₇H₁₅ (**179 б**);

R₁=ОС₆H₅, **R**₂=NHCOCH₃ (**180 б**), NHCOС₇H₁₅ (**181 б, г**), NHCOС₆H₄OC₁₁H₂₃ (**182 г**);

R₁=ОС₆H₄NO₂, **R**₂=ОС₆H₃(СH₃)₂ (**183 б**); α-ОС₁₀H₇ (**184 б, г-е**), β-ОС₁₀H₇ (**185 б, г-е**).

Cxema 15
Scheme 15

Известно, что взаимодействие 4-аминфталонитрила с солями металлов не приводит к получению соответствующих металлофталоцианинов [102]. При использовании аминфталонитрилов, таких как 5-амино-4-бром-, 4-амино-5-нитро-, 5-амино-4-феноксифталонитрилов и других положительный результат также не был достигнут. Тетра-4-бром-тетра-5-аминофталоцианин меди (**148 б**) синтезирован щелочным гидролизом соответствующего ацетильного производного в результате его нагревания с 10 %-ным водным раствором гидроксида натрия при 80 °С. Аналогично из тетра-4-ацетиламинотетра-5-нитрофталоцианина кобальта получен тетра-4-аминотетра-5-нитрофталоцианин кобальта. В то же время в присутствии мочевины удалось выделить тетра-4-(1-бензотриазолил)тетра-5-аминофталоцианин меди (**219 б**) из соответствующего фталонитрила [104].

Синтез тетра-4-(1-бензотриазолил)тетра-5-нитро-, тетра-4-(1-бензотриазолил)тетра-5-(2-бензотриазолил)фталоцианинов меди осуществляли в присутствии мочевины [104, 105] для снижения температуры проведения процесса (поскольку температуры плавления соответствующих фталонитрилов превышали 250 °С).

В случае использования ациламинозамещенных прекурсоров (**30 а-ф**) удалось получить лишь комплексы с кобальтом (**144 г-147 г**). Причем температура синтеза была ниже, чем в других случаях, так как её повышение приводит к значительному снижению выхода целевого продукта. Подобное явление наблюдалось и с другими ациламинофталонитрилами [18, 119].

Металлокомплексы из прекурсоров **88-91** образуются лишь в присутствии мочевины и молибдата аммония с чрезвычайно низкими выходами (не более 5 – 7 %) и при 12-14 ч нагревании [104].

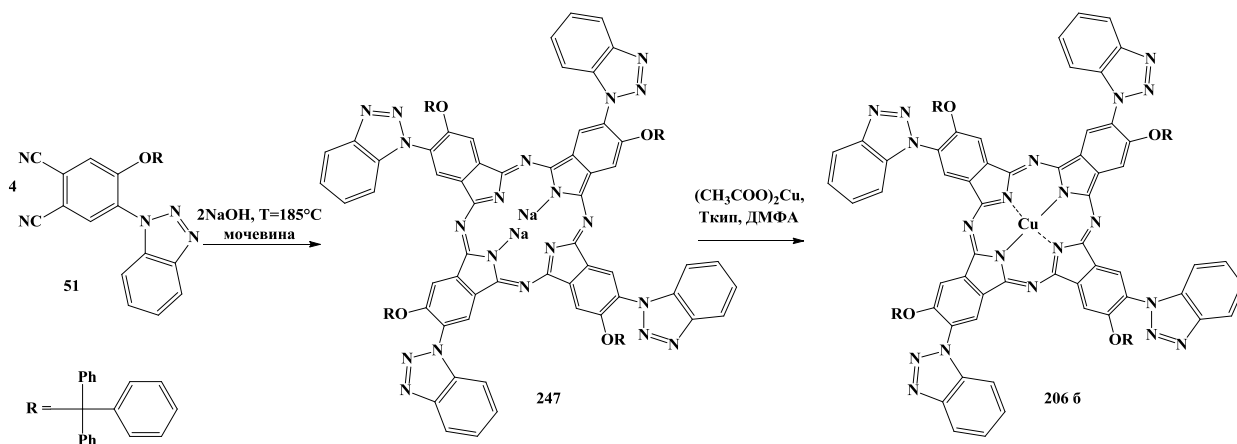


Схема 16
Scheme 16

Попытки выделить комплексы с d- и f-металлами на основе 4-(1-бензотриазолил)-5-(4-трифенилметилфеноксифталонитрила (**51**) оказались неудачными [107-110]. В то же время при взаимодействии соединения **51** с мочевиной и эквимолярным количеством поташа или гидроксида натрия получались соответствующие дикалий или динарийфталоцианины [110]. Поэтому, тетра-4-(1-бензотриазолил)тетра-5-(4-трифенилметилфеноксифталоцианин меди (**206 б**) синтезировали, используя двухступенчатый способ, включающий стадии тетрамеризации фталонитрила **51** до фталоцианина **247** в присутствии NaOH и мочевины и металлообмена (схема 16) [95].

Идентификацию полученных смешанно-замещенных фталоцианинов проводили с привлечением данных элементного анализа, ^1H и ^{13}C ЯМР,

ИК и электронной спектроскопии, масс-спектрометрии MALDI-TOF.

Основным способом синтеза безметалльных фталоцианинов (H_2Pc) является получение соответствующих лабильных металлокомплексов со щелочными или щелочноземельными металлами и последующее их демедалирование концентрированными или разбавленными кислотами, а в ряде случаев – водой [17, 18]. Возможно получение H_2Pc с выходами 15 – 40 % при кипячении эквимолярной смеси ДБУ и арилоксизамещенных фталонитрилов в *n*-пентаноле в течение 2 сут. [120, 121], при кипячении нитрила в диметиламиноэтаноле в атмосфере N_2 [122] или нагревании фталонитрилов и доступных оксимов при 100 °С в течение 8 ч в среде метанола [123]. При этом известно, что незамещен-

ный фталонитрил при нагревании не тетрамеризуется до фталоцианина [17, 18].

В отличие от незамещенного фталонитрила, при использовании прекурсоров, содержащих насыщенные гетероциклы, возможно получить безметалльные фталоцианины, но с невысокими выходами. Введение в реакционную массу мочевины несколько увеличивает выход этих продуктов (табл. 1), но оптимальным способом в этом случае является деметаллизация соответствующих комплексов магния [111].

Также оказалась возможной тетрамеризация бензотриазолилзамещенных фталонитрилов в отсутствие источника ионов металла [18, 104, 105]. Прекурсоры **51**, **81**, **82**, температуры плавления которых не превышают 200 °С, при нагревании обра-

зуют безметалльные бензотриазолилзамещенные фталоцианины с выходами 35-45 %. Однако в синтезе с участием фталонитрилов, температуры плавления которых превышают 200 °С, происходит образование лишь следовых количеств безметалльных фталоцианинов. Установлено, что в присутствии мочевины выходы большинства бензотриазолилзамещенных H_2Pc увеличиваются до 45-90% [18].

Однако в дальнейшем безметалльные бензотриазолилзамещенные фталоцианины **205 а**, **206 а**, **210 а-214 а**, **239 а**, **240 а** синтезировали по известной методике [104, 108] нагреванием соответствующих фталонитрилов с NaOH в присутствии мочевины согласно схеме 17, поскольку данный метод синтеза позволяет повысить выход целевых соединений на 5-20% [108].

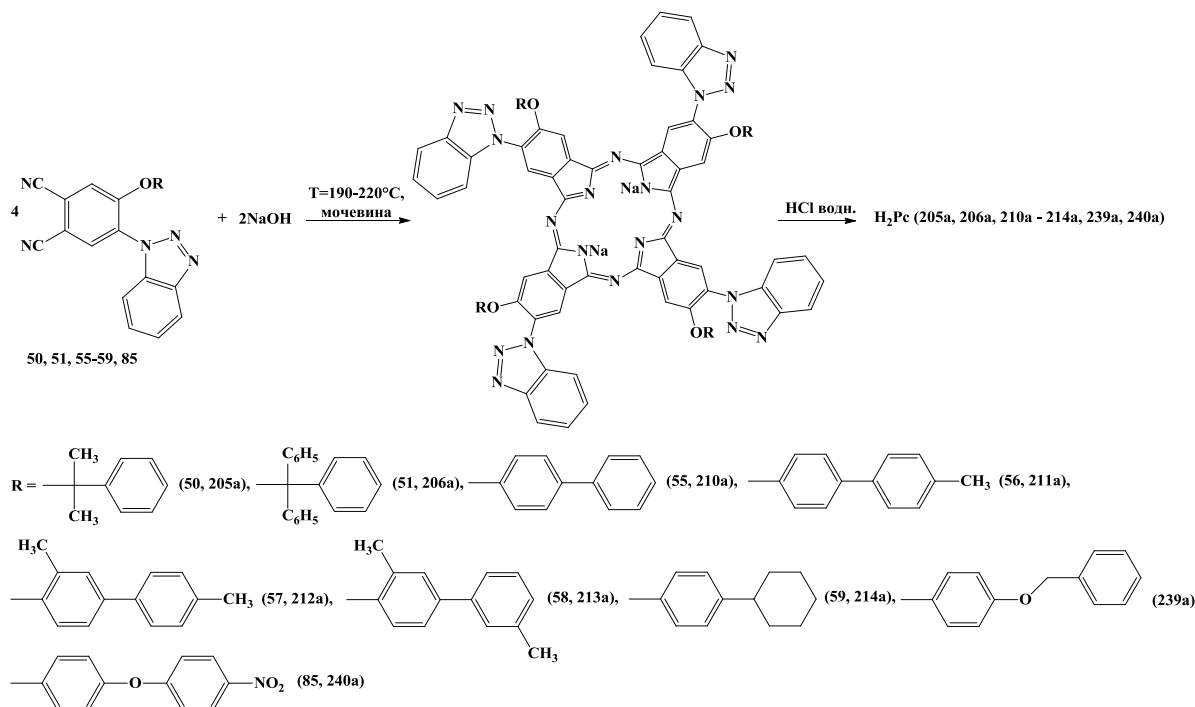


Схема 17
Scheme 17

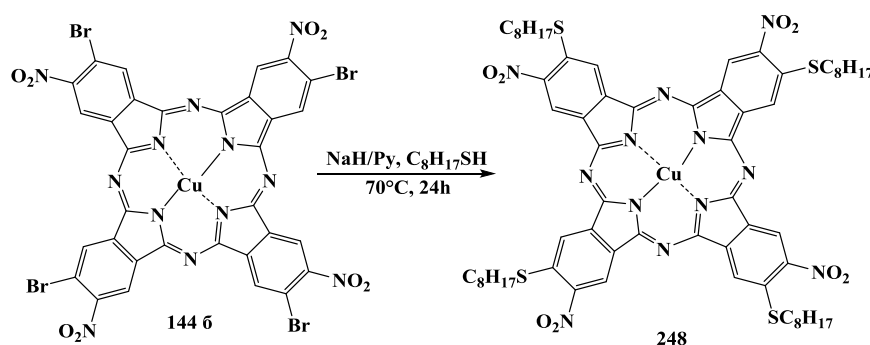


Схема 18
Scheme 18

Как уже указывалось выше, бифункционально-замещенные фталоцианины можно получать функционализацией заместителей в молекуле Рс. Например, комплекс **248** синтезирован взаимодействием смеси пиридиновых растворов гидрида натрия и н-октантиола с соединением **247** в атмосфере азота при 70 °С в течение 24 ч [77] (схема 18).

Известно, что сульфокислоты могут быть получены как сульфированием фталоцианина и его производных олеумом или концентрированной серной кислотой, так и гидролизом предварительно полученных сульфохлоридов [18]. Обнаружено, что сульфирование бифункционально-замещенных фталоцианинов протекает уже при комнатной температуре, но приводит к образованию смеси продуктов сульфирования с различным числом вступивших сульфогрупп, которую не удалось разделить на индивидуальные соединения [113].

Сульфокислоты **249-267** синтезировали сульфохлорированием фталоцианинов смесью тионилхлорида и хлорсульфоновой кислоты с последующим гидролизом образовавшихся сульфохлоридов водой (схема 19). Это позволило получить однородные по составу соединения. Выходы целевых продуктов **249-267** после колоночной хроматографии находятся в пределах от 60 до 80% [94, 116-118].

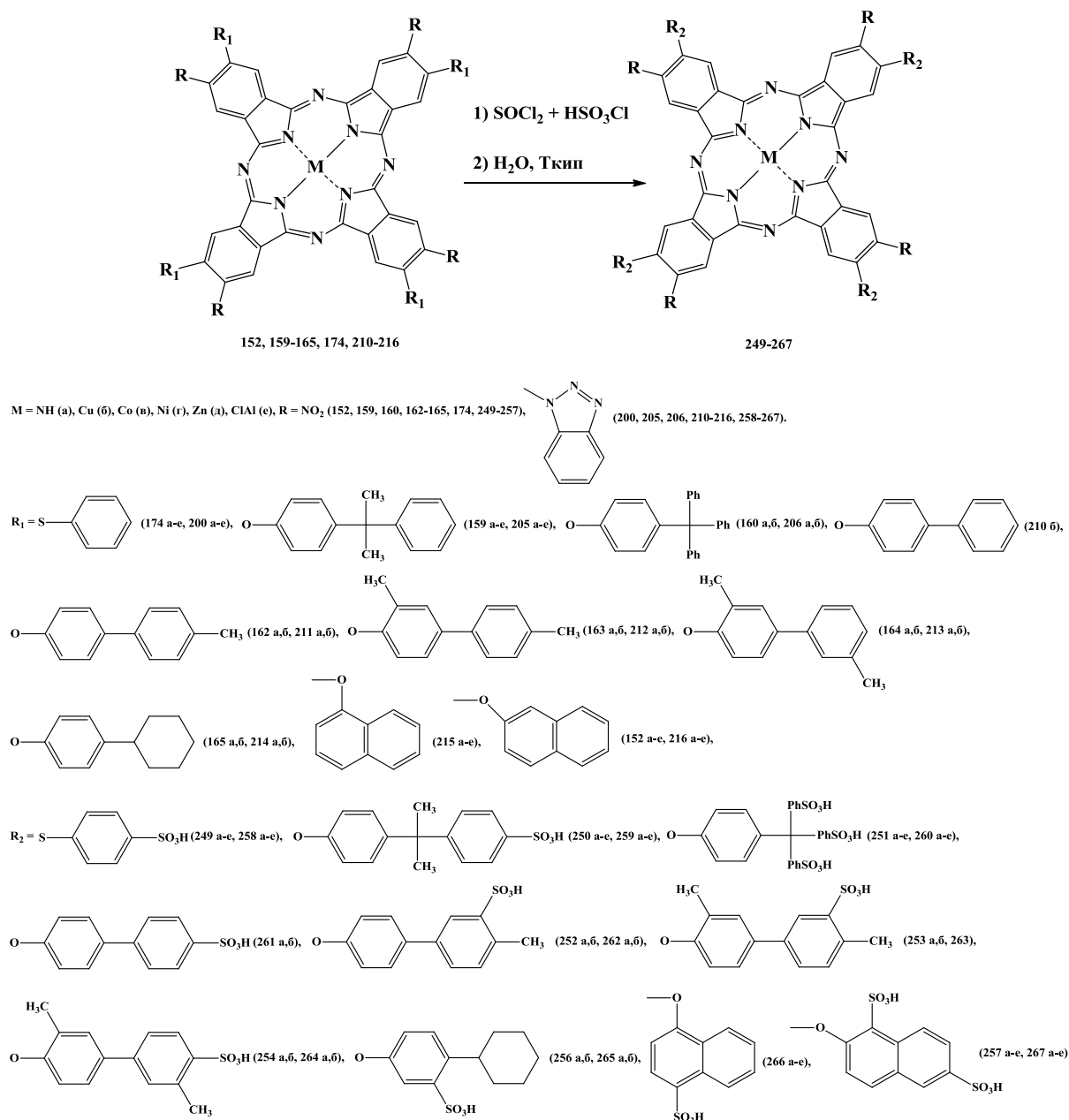
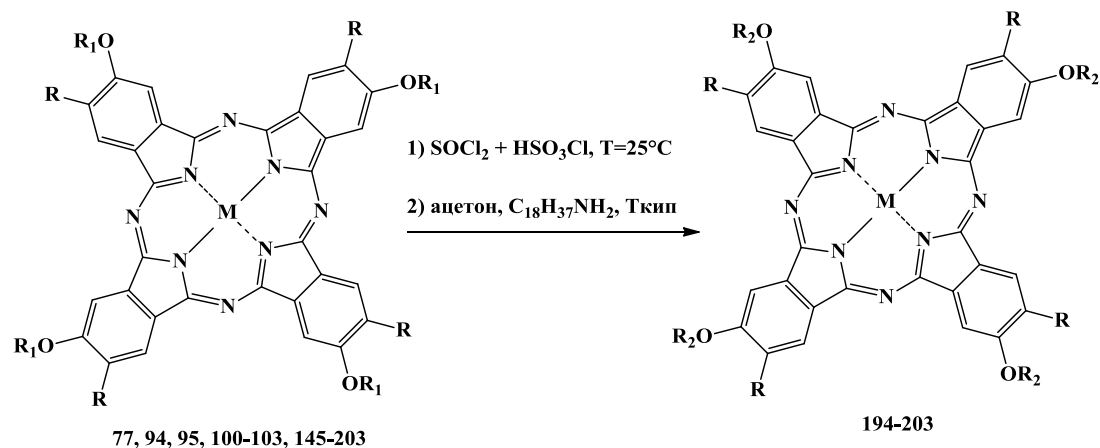


Схема 19
Scheme 19



$M = \text{Cu}$ (б), Ni (в), $R = \text{NO}_2$ (77, 194), —N— (94, 95, 100-103, 143-145, 195-203).

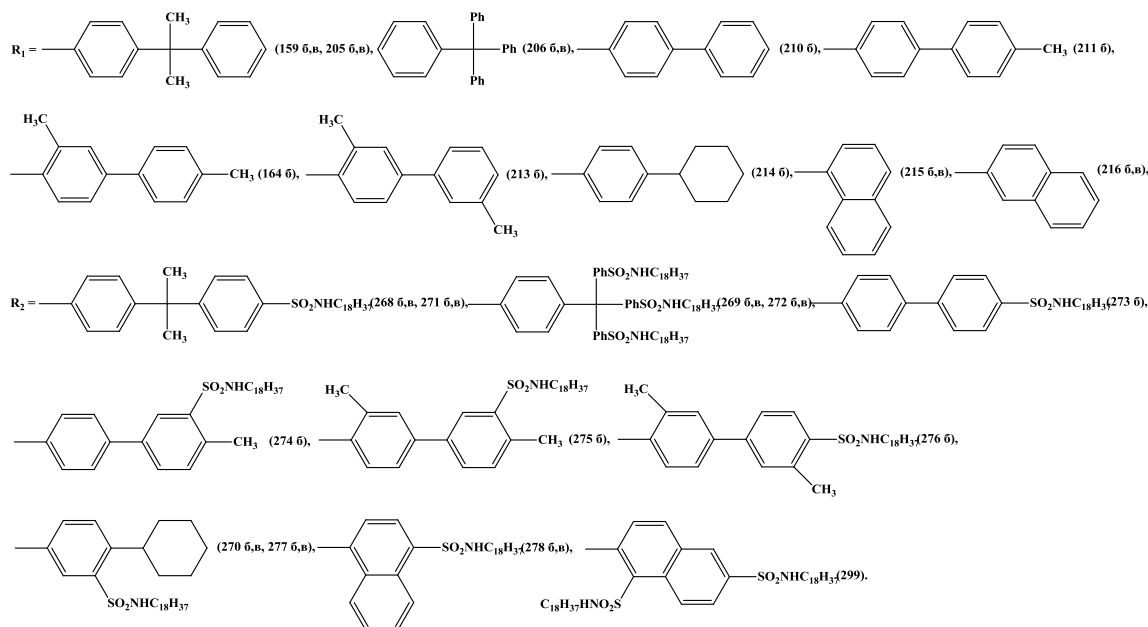
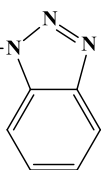


Схема 20
Scheme 20

Получение алкилсульфамойлпроизводных осуществляли, исходя из предварительно полученных сульфохлоридов [113, 117, 118] (схема 20).

Сульфо- и алкилсульфамойлпроизводные смешанно-замещенных фталоцианинов идентифицировали с привлечением данных элементного анализа, ^1H ЯМР, ИК и электронной спектроскопии, MALDI-TOF масс-спектрометрии.

Бифункционально-замещенные фталоцианины на основе 4-бром-5-нитрофталоцианида и его производных могут проявлять мезоморфные свойства [18, 104, 105, 107-109, 114, 116-118, 124, 125].

Например, введение электроноакцепторного 1-бензотриазольного фрагмента в мезогенный 2,9,16,23-тетра[4-(1-метил-1-фенилэтил)фенокси]фталоцианин меди(II) [126, 127] приводит к заметному повышению температуры фазового перехода $\text{Ct} \rightarrow \text{Mes}$ и значительному сужению температурного интервала существования мезофазы [118]. Замена бензотриазольных фрагментов на нитрогруппы приводит к формированию немезоморфных соединений.

При этом обнаружено, что само по себе присутствие фрагмента 1-Н-1,2,3-бензотриазола не

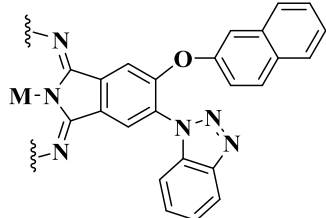
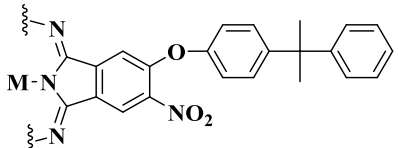
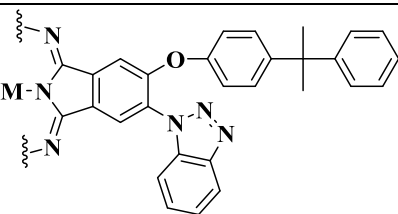
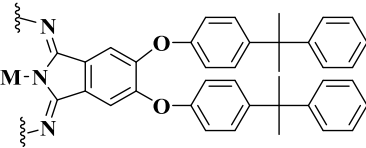
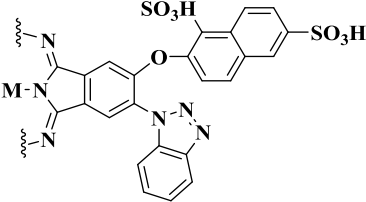
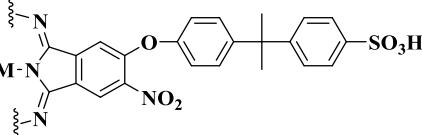
способно индуцировать у фталоцианиновых соединений проявление жидкокристаллических свойств [104, 105]. Сочетание же на периферии фталоцианиновой молекулы фрагмента 1-бензотриазола и некоторых заместителей-электронодоноров в некоторых случаях приводит к появлению термотропного и/или лиотропного мезоморфизма. Как правило, в качестве второй функциональной группы выступает нафтокси-, феноксигруппа или ее производные, содержащие объемные заместители как электронодонорной (*трет*-бутил, фенил-, циклогексил-, 4-(1-метил-1-фенилэтил)- или тритилфеноксигруппы), так и электроноакцепторной (нитроили сульфогруппы) природы [103, 104, 106-108,

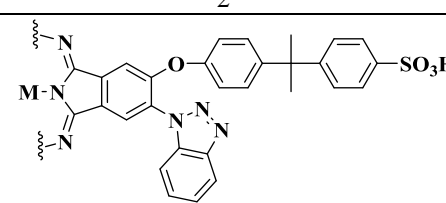
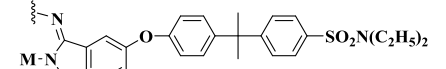
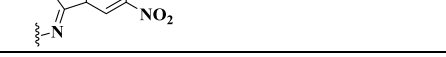
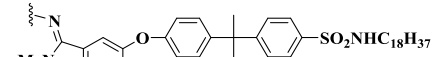
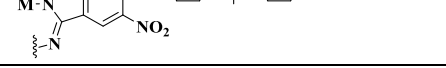
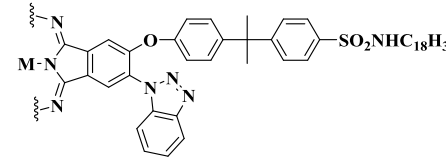
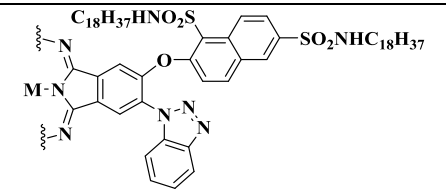
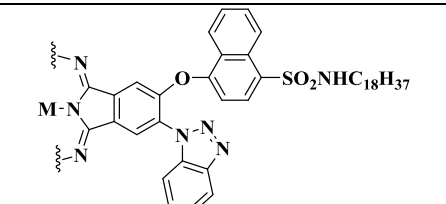
113, 115-117, 124]. Другие варианты замещения не способствуют мезоморфизму.

Дальнейшая модификация электронодонорных 2-нафтокси- или 4-(1-метил-1-фенилэтил)феноксигрупп бензотриазолилзамещенных фталоцианинов и их металлокомплексов с медью путем введения сульфогрупп приводит к дальнейшему повышению температуры Cr → Mes и еще большему сужению температурного интервала ее существования [120]. Наличие же октадецилсульфоамидных заместителей, напротив, вызывает сильное снижение температуры фазового перехода Cr → Mes и расширение температурного диапазона (табл. 1).

Таблица 1

Мезоморфные свойства смешанно-замещенных Pc
Table 1. Mesomorphic properties of bifunctional-substituted Pc

M	Соединение	Мезоморфизм	Δ
1	2	3	4
Cu		Heating: Cr • 170 °C • Mes • 210 °C Iso Cooling: Iso • 150 °C G	40
Cu		Heating: Cr • 160 °C Iso Cooling: Iso • 150 °C G	
Ni		Heating: Cr • 168 °C Iso Cooling: Iso • 161 G	
Cu		Heating: Cr • 131 °C Mes • 174 °C Iso Cooling: Iso • 112 °C Mes • 75 °C G	43
Ni		Heating: Cr • 151 °C Mes • 184 °C Iso Cooling: Iso • 175 °C Mes • 114 °C G	33
Cu		Heating: G • 118 °C • Mes • 205 °C Iso Cooling: Iso • 124 °C • G	87
Cu		Heating: Cr • 228 °C Mes • 251 °C Iso	24
Cu		Heating: Cr • 158 °C Iso Cooling: Iso • 155 °C Cr	
Ni		Heating: Cr • 165 °C Iso Cooling: Iso • 157 G	

1	2	3	4
Cu		Heating: Cr • 183 °C Mes • 227 °C Iso Cooling: Iso • 209 °C Mes • 164 °C Cr	44
Cu		Heating: Cr • 115 °C Iso Cooling: Iso • 98 °C Mes • 45 °C G	53
Ni		Heating: Cr • 120 °C • Iso Cooling: Iso • 112 Amorfni	-
Cu		Heating: Cr • 65 °C Mes 182 °C • Iso Cooling: Iso • 170 °C Mes • 80 °C G	117
Ni		Heating: Cr • 110 °C Mes 167 °C • I Cooling: Iso • 145 °C Mes • 82 °C G	57
Cu		Heating: Cr • 108 °C Mes 197 °C • Iso Cooling: Iso • 170 °C Mes • 70 °C G	89
Cu		Heating: Cr • 52 °C Mes • 218 °C Iso Cooling: Iso • 195 °C Mes • 39 °C G	164
Cu		Heating: Cr • 54 °C Mes • 194 °C Iso Cooling: Iso • 185 °C Mes • 32 °C G	140

Все мезогены и немезогены при охлаждении стекловались. Причем при охлаждении мезофаза, стеклуясь, сохраняет ту же текстуру, что создает предпосылки для использования данных соединений в оптоэлектронике [103, 104].

Температуры фазовых переходов у безметалльных соединений и соответствующих металлокомплексов, как правило, не совпадают. Этот факт, по-видимому, обусловлен принципиальным различием в строении макроциклического ядра исследуемых мезогенов и различной симметрией последних (D_{2h} и D_{4h} , соответственно). Кроме того, область существования мезофазы у лигандов во всех случаях несколько уже, чем для соответствующих медных комплексов [103, 104].

4-(1-Метил-1-фенилэтил)феноксид- и бифенилоксизамещенные фталоцианины, содержащие в качестве второго заместителя нитрогруппу или фрагмент 1-бензотриазола, и их комплексы с магнием,

цинком и алюминием проявляют люминесцентные свойства [128, 129], а также при облучении светом на воздухе способны генерировать синглетный кислород [128], как и тетра-[4-(морфолин-4-ил)-5-(2-нафтокси)]фталоцианин [129].

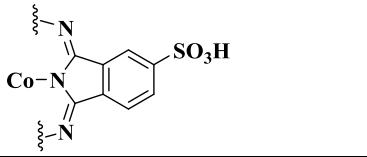
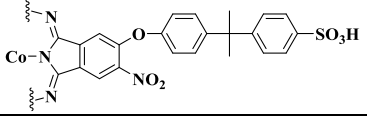
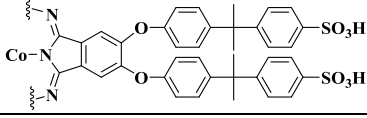
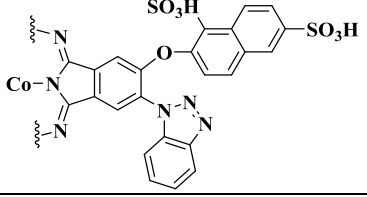
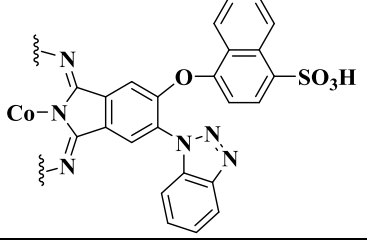
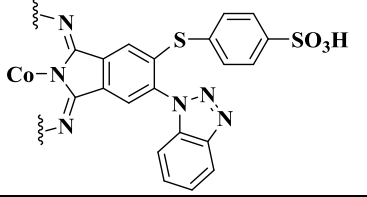
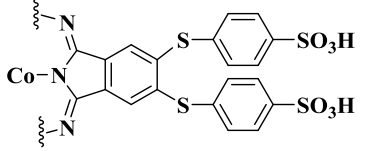
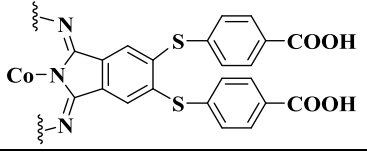
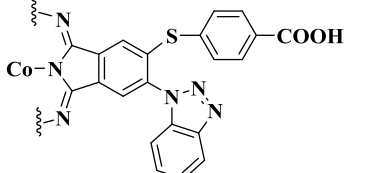
Тетра-[5-(4-ундецилокси)бензоиламино-4-бром]- и тетра-[5-(4-ундецилокси)бензоиламино-4-феноксид]фталоцианины кобальта обладают фоточувствительностью и представляют интерес для применения в светорегистрирующих устройствах [130].

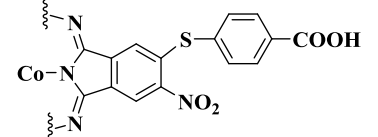
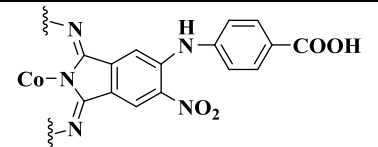
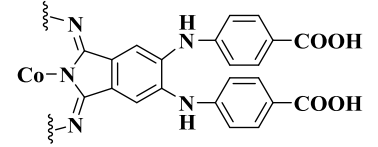
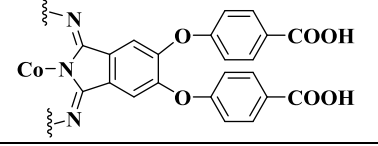
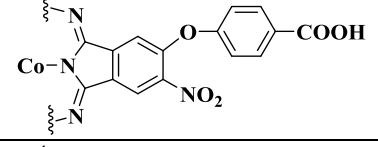
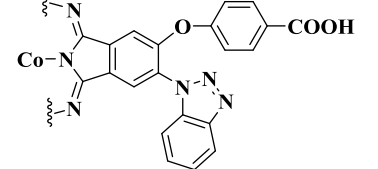
Установлено, что ряд вышеприведенных комплексов являются эффективными катализаторами окисления сернистых соединений [97, 98, 102, 115, 131] (табл. 2), а также окислительно-восстановительных процессов с участием молекулярного кислорода [18, 19, 22], что делает возможным их использование в качестве катализаторов химических источников тока.

Таблица 2

Каталитические свойства смешанно-замещенных
PcCo

Table 2. Catalytic properties of mixed-substituted PcCo

№ п/п	катализатор	$k_w \cdot 10^2$, л/(моль·с)
		11,0
250г		4,8 [114]
		13,0 [114]
267г		37,7 [112]
266г		37,5 [112]
200г		23,1 [97]
		12,5 [97]
		4,6 [98]
208г		1,58 [97]

157г		26,91 [98]
158г		9,57 [98]
		17,65 [98]
		3,82 [98]
156г		7,01 [98]
207г		5,82 [97]

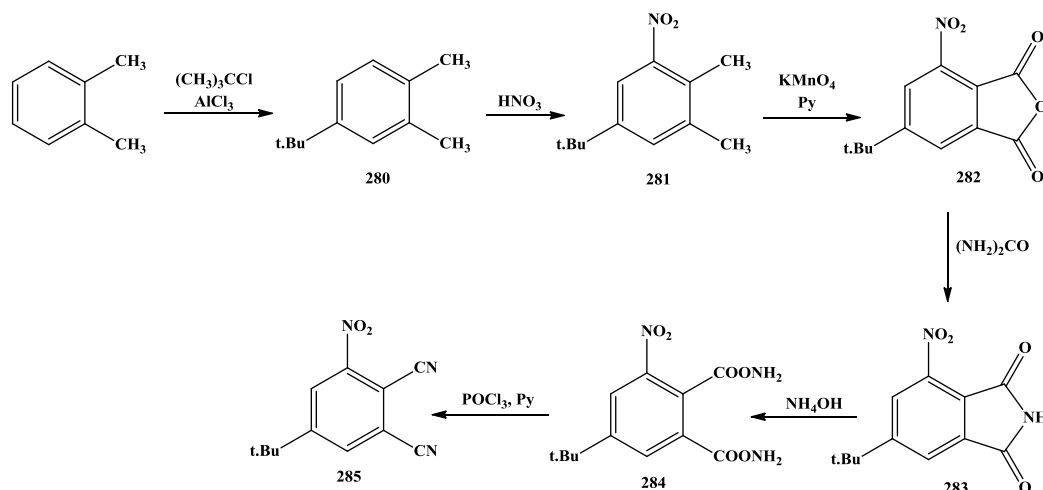
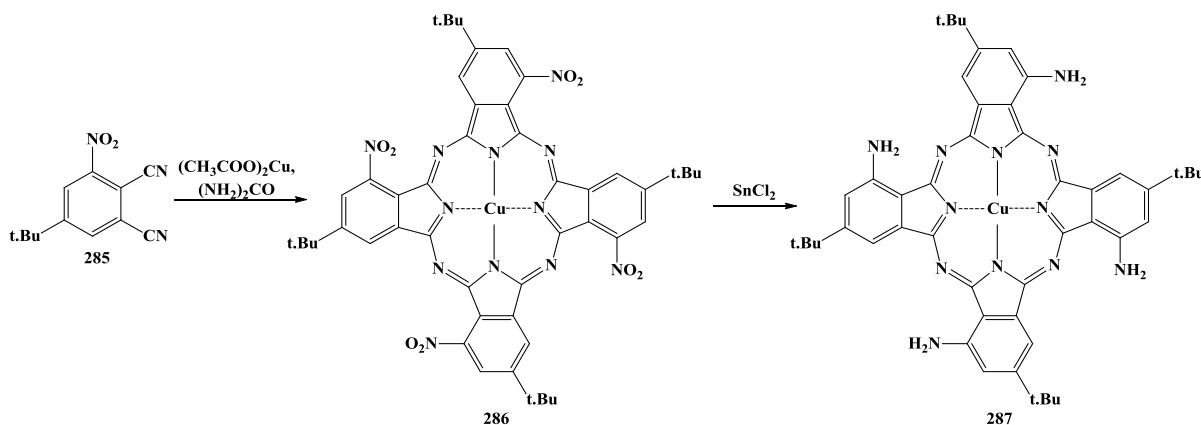
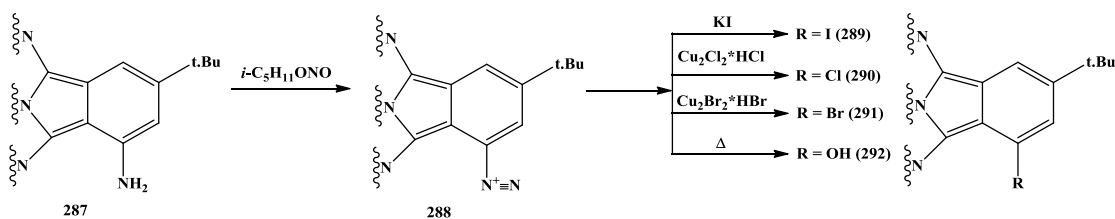
СИНТЕЗ БИФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАМЕЩЕННЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ С ТРЕТ-БУТИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ

Особую группу бифункционально-замещенных фталоцианинов представляют соединения, сочетающие на периферии *трет*-бутильные и другие по природе заместители, например, нитро-группы. Известно, что наличие *трет*-бутильной группы придает фталоцианинам химическую стойкость и высокую растворимость, а также ряд ценных прикладных свойств [131-133].

При нитровании 4-*трет*-бутил-*о*-ксилола **280**, образуется 3-нитро-5-*трет*-бутил-*о*-ксилол **281**, который путем последовательных операций переводят в 3-нитро-5-*трет*-бутилфталоцианилнитрил **285** (схема 21) [135].

Нитрил **285** также может быть получен с использованием 3-нитро-4,5-дибром-*трет*-бутилбензола по реакции Розенмунда-Брауна [136].

Используя соединение **285**, синтезированы соответствующие металлокомплексы [132-133, 137] (схемы 22-24).

Схема 21
Scheme 21Схема 22
Scheme 22Схема 23
Scheme 23

Тетра-3-нитротетра-5-*трет*-бутилфталоцианин железа получали ступенчатым нагреванием (0,5 ч при 160-170 °С, 1 ч при 180-190 °С и 1 ч при 190-200 °С) тщательно перемешанной смеси 3-нитро-5-(*трет*-бутил)фталамида, сухой мочевины, сульфата натрия, безводного дибромида железа и каталитического количества молибдата аммония [137].

Тетра-3-нитротетра-5-*трет*-бутилфталоцианин можно синтезировать различными способами: из ангидрида или динитрила 3-нитро-5-

трет-бутилфталевой кислоты [135]; при переосаждении из серной кислоты предварительно полученного комплекса с магнием [135]; подкислением раствора соответствующего комплекса со свинцом с последующей хроматографией на оксиде алюминия III степени активности по Брокману [138].

Аминозамещенные фталоцианины выделяли восстановлением нитропроизводного **286** хлоридом олова(II) [52] (схема 22) или гидразингидратом в присутствии палладиевого катализатора [139]. Восстановителем при получении тетра-

3-аминотетра-5-*трет*-бутилфталоцианина ванадила служил гидросульфит натрия [140, 141].

Получение галоген- или гидроксипроизводных проводили путем обработки фталоцианина **287** изоамилнитритом в среде хлороформ : уксусная кислота. Полученную соль диазония подвергали либо взаимодействию с солями галогенов, либо нагревали с целью гидролиза до оксипроизводного (схема 23) [52].

Тетра-3-бромтетра-5-*трет*-бутилфталоцианин **291** и его комплекс с цинком [141] можно получить и из фталонитрила, который синтезировали из 3-бром-5-*трет*-бутил-*о*-ксилола окислением пер-

манганатом калия, с последующим переводом ангидрида в имид, диамид и фталонитрил [140, 141].

Прекурсор для тетра-3-диметиламинотетра-5-*трет*-бутилфталоцианина [140, 141] и его комплекса с марганцем [142] получен из соответствующего замещенного дибромбензола по реакции Розенмунда-Брауна [140].

Фенилсульфанильный фрагмент вводили нуклеофильным замещением нитрогруппы фталонитрила **285** на остаток тиофенола [143] (схема 24). На основе этого исходного соединения (**293**) осуществлен синтез комплексов с хлормарганцем [143-145], гидроксисилицием, а также безметалльного фталоцианина [146].

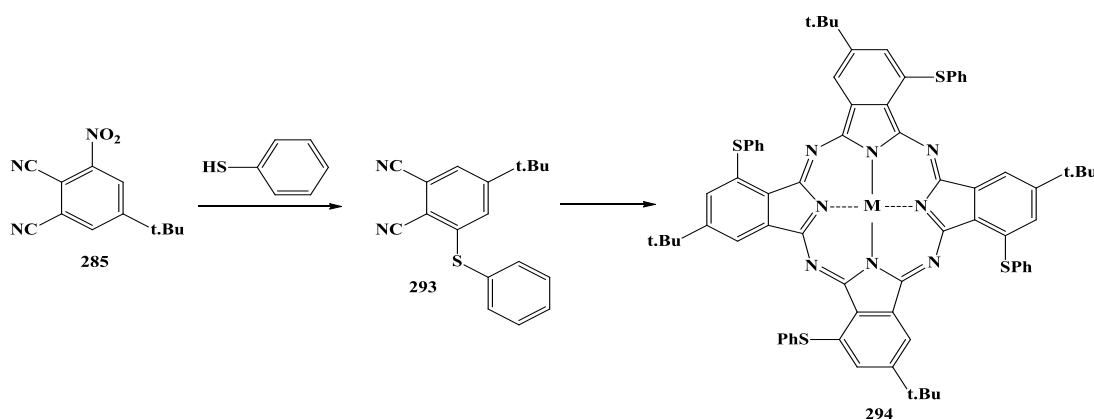


Схема 24
Scheme 24

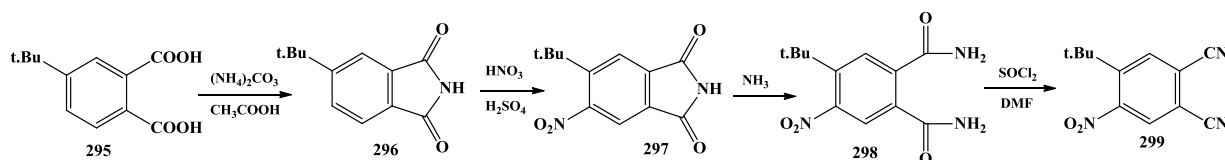


Схема 25
Scheme 25

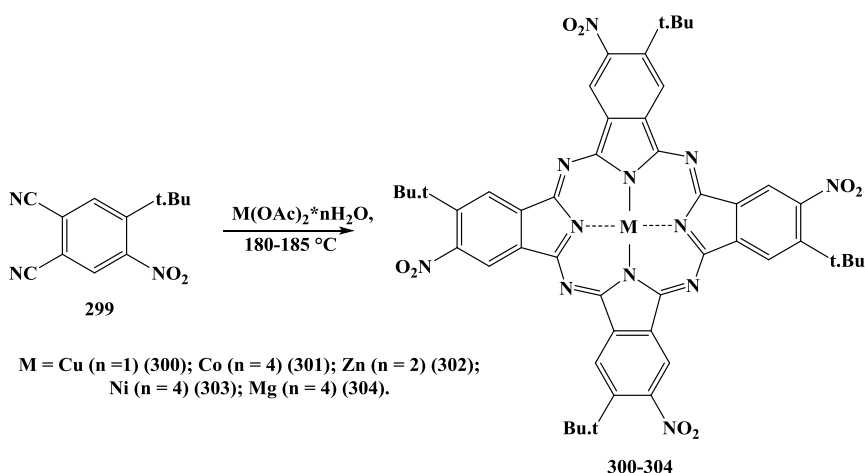


Схема 26
Scheme 26

Разработана методика получения 4-трет-бутил-5-нитрофталонитрила **299** [51] (схема 25) для получения фталоцианинов, содержащих *трет*-бутильную группу в *о*-положении к заместителю другой природы.

Используя это соединение получены металлокомплексы тетра-4-*трет*-бутилтетра-5-нитрофталоцианина **300-304** [51, 147] (схема 26).

В отличие от комплексов с двухвалентными металлами, фталоцианины *f*-металлов обеспечивают возможности получения на их основе сэндвичевых структур [148, 149], при этом количество конкретного производного в реакционной

смеси зависит от соотношения исходной соли металла и фталонитрила, а также от других условий реакции [150, 151].

Взаимодействием 4-*трет*-бутил-5-нитрофталонитрила с хлоридами лантанидов удалось синтезировать лишь комплексы с Lu, Yb, Er, обладающими наименьшими ионными радиусами среди лантанидов, а также с Gd и La (табл. 2) [152]. Комплексы с Pr, Sm, Eu, Dy, Nd в этих же условиях получить не удалось, поскольку с высоким выходом (около 85-90%) образовывался безметалльный тетра-4-*трет*-бутилтетра-5-нитрофталоцианин **305**, который далее подвергали комплексообразованию с солями лантанидов (схема 27) [152].

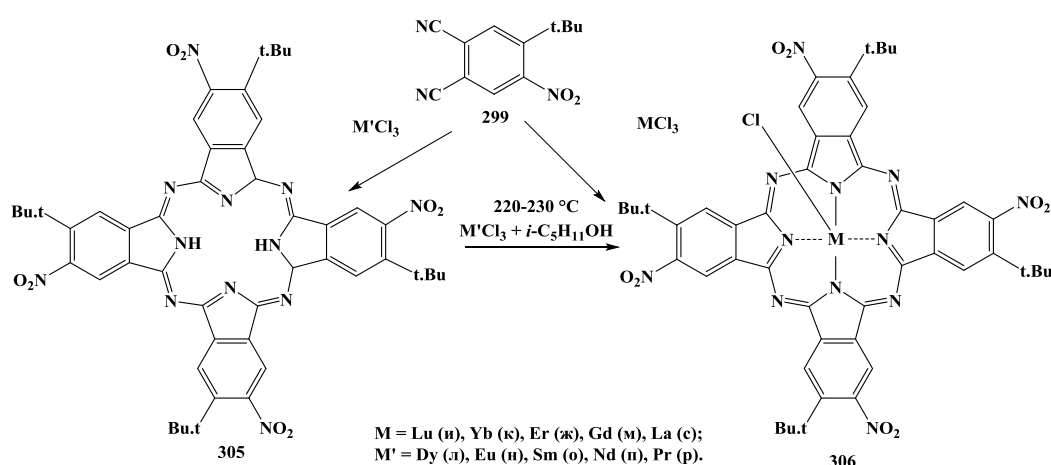


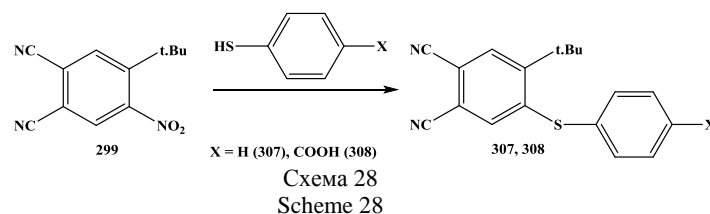
Схема 27
Scheme 27

В процессе колоночной хроматографии комплексов с Yb, Eu, Gd, Pr и Dy выделены фталоцианины «сэндвичевого» строения, выходы которых не превышали 1-2% [152].

В последнее время интерес ученых и практиков привлекают сульфанилалкил- и сульфаниларилзамещенные фталоцианины, которые могут найти применение в качестве жидкокристаллических материалов [153], материалов для ИК-абсорберов [154], сенсibilизаторов в фотодинамической инактивации микроорганизмов [155, 156], контрастирующих агентов при магнитно-резонансной диагностике опухолей [156], фотосенсibilизаторов для фотодинамической терапии рака [157], катализаторов в процессах окисления сернистых соединений [131, 158] и в других областях науки и техники [159, 160].

Реакцией нуклеофильного замещения нитрогруппы в 4-*трет*-бутил-5-нитрофталонитриле (**299**) на фенилсульфанильную и *n*-карбоксифенилсульфанильную группы получали соответствующие 4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил- (**307**)

и 4-*трет*-бутил-5-(4'-карбоксифенилсульфанил) фталонитрилы (**308**) (схема 28) [161, 162].



Синтез соответствующих октазамещенных фталоцианинов (**307-311**) осуществляли взаимодействием полученных фталонитрилов с ацетатами магния, меди, никеля и кобальта при температуре 180-185 °С (схема 29).

Комплекс **312** при обработке полученного плава соляной кислотой подвергался демееталлизации [161].

Комплексы тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина с магнием и цинком сульфохлорировали, а затем подвергали гидролизу для получения сульфокислот [163] (схема 30).

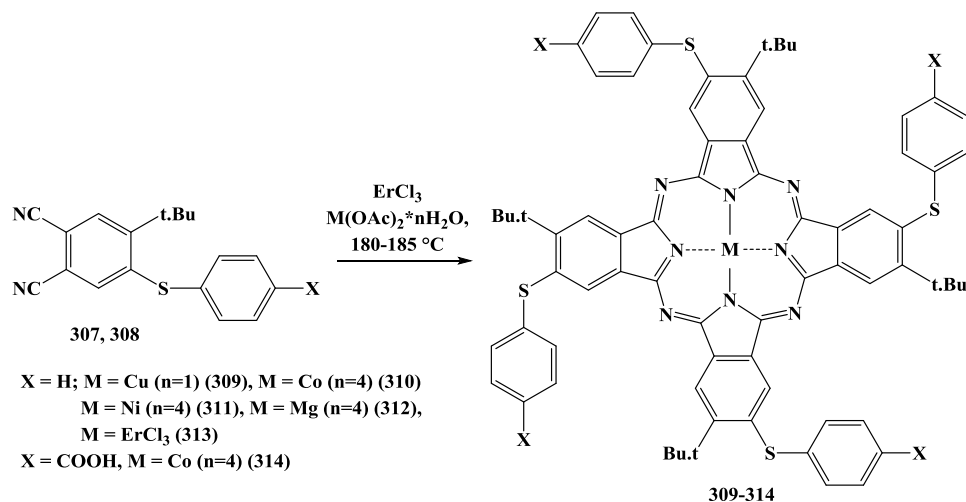


Схема 29
Scheme 29

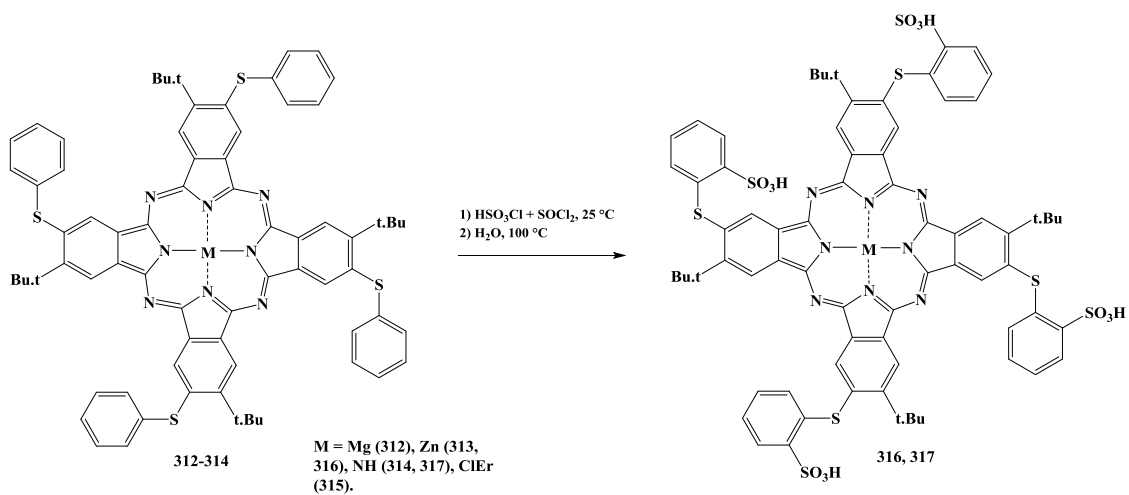


Схема 30
Scheme 30

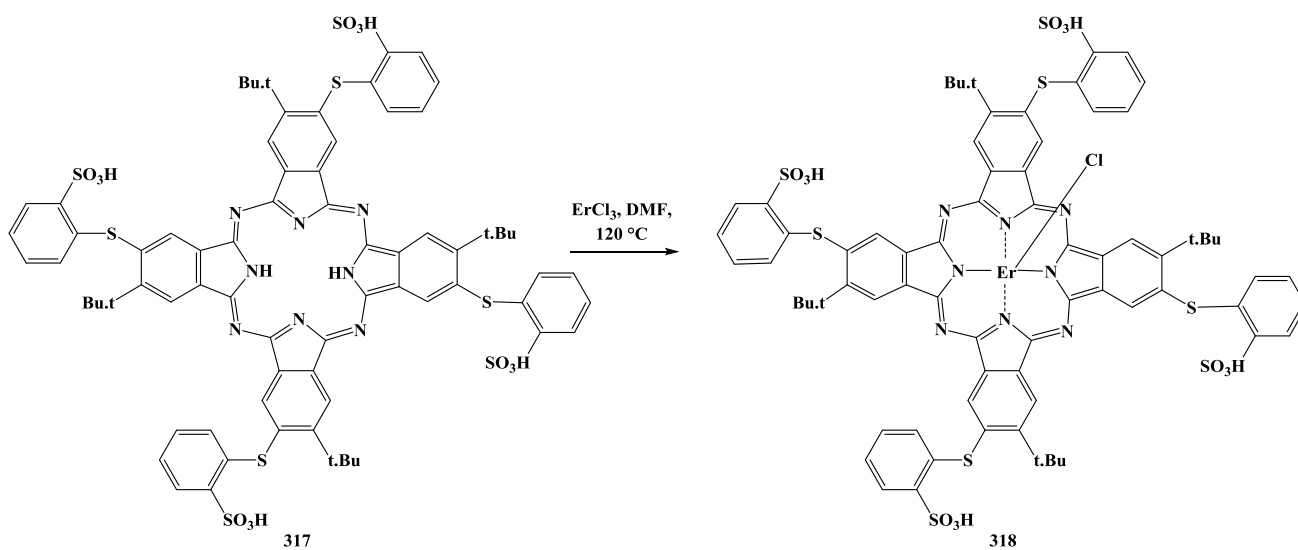


Схема 31
Scheme 31

Так как сульфирование комплексов эрбия невозможно вследствие их деметаллизации в кислой среде, то сульфокислоту фталоцианина **315** получали комплексобразованием предварительно полученного безметалльного фталоцианина **317** (схема 31) [163].

Идентификацию бифункционально-замещенных фталоцианинов, содержащих *трет*-бутильные группы, проводили с привлечением данных элементного анализа, ¹H ЯМР, ИК и электронной спектроскопии, масс-спектрометрии MALDI-TOF.

Полученные смешанно-замещенные фталоцианины с *трет*-бутильными заместителями также представляют интерес для ученых и практиков.

Тetra-4-*трет*-бутилтетра-5-нитрофталоцианин проявляет каталитическую активность в окислении сернистых соединений (диэтилдитиокарбамата натрия) [147], тетра-3-нитротetra-5-*трет*-бутилфталоцианин железа – в окислении лейкосоединений триарилметановых красителей [137], а комплексы тетра-3-фенилтетра-5-*трет*-бутилфталоцианина с цинком или алюмином можно использовать в качестве гетерогенных сенсibilizаторов очистки сточных вод от ароматических аминов и фенолов [164].

Отмечено, что, если тетра-4-*трет*-бутилтетра-5-нитрофталоцианин меди не формирует ни лиотропную, ни термотропную мезофазы, то тетра-3-нитротetra-5-*трет*-бутил- и тетра-4-*трет*-бутилфталоцианины меди обладают лиотропным мезоморфизмом [147].

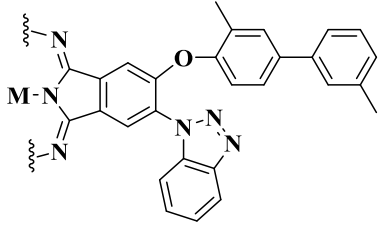
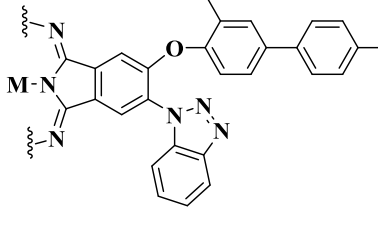
В работе [165] исследовали перспективность использования бифункционально-замещенных фталоцианинов меди и никеля в качестве компонентов функциональных материалов – поливинилхлоридных пленок и сорбентов для газовой хроматографии. Установлено, что добавка тетра-3-нитротetra-5-*трет*-бутилфталоцианина меди способствует повышению термической устойчивости и сохранению оптических и прочностных свойств поливинилхлоридных пленок после светового старения [165]. Показано, что сорбент на основе тетра-4-*трет*-бутилтетра-5-нитрофталоцианина никеля обладает высокой структурной селективностью по отношению к 3,5- и 3,4- диметилпиридинам.

Исследуя управляемую самоорганизацию азопорфиринов в 2D и 3D наноструктуры в ленгмюровских слоях и пленках Ленгмюра-Блуджетт, показано, что тетра-3-нитро- и тетра-3-аминотetra-5-*трет*-бутилфталоцианины меди и кобальта, формирующие разреженные монослои с открытой, вплоть до face-on, структурой М-агрегатов, могут использоваться для получения тонкопленочных сенсорных и фотовольтаических (с контактом компонентов на молекулярном уровне) систем [134].

Обнаружено, что бифункционально-замещенные фталоцианины проявляют люминесцентные свойства [163, 166-168] (табл. 3). Квантовый выход люминесценции у сульфопроизводных заметно снижается по сравнению с тетра- исходными соединениями [163, 166, 167] (табл. 3).

Таблица 3

Спектрально-люминесцентные свойства смешанно-замещенных Pc
Table 3. Spectral-luminescent properties of mixed-substituted Pc

Соединение	М	Растворитель	λ_{\max} , нм		Стоксов сдвиг, нм	Φ_{lum} , %
			Q, нм (lgε)	I _{lum} , нм		
1	2	3	4	5	6	7
	Al	CHCl ₃	701 (4.91)	709	8	19
		Py	698 (4.80)	714	16	55
	Al	CHCl ₃	705 (4.85)	718	9	20
		Py	696 (4.81)	705	9	45

1	2	3	4	5	6	7
	Al	CHCl ₃	701 (4.87)	708	7	27
		Py	693 (4.84)	702	10	47
	Al	CHCl ₃	705 (4.68)	721	16	13
		Py	705 (4.74)	718	13	19
	Al	CHCl ₃	702	702	4	43
	Zn	CHCl ₃	695	695	15	29
	Mg	CHCl ₃	690	694	4	49
	Mg	CHCl ₃	704	715	11	7
	Zn	CHCl ₃	698	711	13	24
	Al	CHCl ₃	705	715	10	22
	Mg	CHCl ₃	684	689	5	60
	Zn	CHCl ₃	681	687	6	39
	Al	CHCl ₃	696	699	3	46
	Mg	CHCl ₃	675, 710	722	11	7
	Al	CHCl ₃	725	734	9	33
	Mg	CHCl ₃	702	716	14	34
		Py	702	717	15	35
		EtOH	696	709	13	37
	HH	Py	691, 720	728	8	21
		EtOH	681	720	39	1
	HH	EtOH _{aq}	648, 715	724	9	19
	Al	EtOH _{aq}	716	727	11	22

Ряд бифункционально-замещенных фталоцианинов, содержащих *трет*-бутильные группы, рекомендованы для лечения и диагностики онкологических заболеваний. Так, например, безметалльный тетра-3-фенилтиотетра-5-*трет*-бутилфталоцианин и его комплекс с цинком являются эффективными фотосенсибилизаторами для фотодинамической терапии онкологических заболеваний [148, 167], а хлорид тетра-3-фенилтиотетра-5-*трет*-бутилфталоцианина марганца предложен как контрастирующий агент для магнитно-резонансной диагностики опухолей [144, 145].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время на основе модифицированных ди- и тетрагалогензамещенных фталонитрилов получены различные бифункционально-замещенные фталонитрилы – исходные соединения для соответствующих фталоцианинов. Как следует из обзора, наиболее подходящими для этих целей являются 4-бром-5-нитро-, 3-нитро-5-*трет*-бутил- и 4-*трет*-бутил-5-нитрофталоцианины, дальнейшей модификацией которых можно получить широкий круг бифункционально-замещенных прекурсоров, что позволяет значительно расширить ассортимент бифункционально-замещенных фталоцианинов и обеспечивает их доступность для исследования и использования в различных областях науки и техники.

ФИНАНСИРОВАНИЕ И БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (тема № FZZW-2023-0009) с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

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

The work was carried out with the support of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (topic No. FZZW-2023-0009) and using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment of the ISUCT (with the support of the Ministry of Science and Higher Education of Russia, grant No. 075-15-2021-671).

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

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. **Linstead R.P.** // *J. Chem. Soc.* 1934. P. 1016. DOI: 10.1039/JR9340001016.
2. **Антипин И.С., Алфимов М.В., Арсланов В.В., Бурилов В.А., Вацадзе С.З., Волошин Я.З., Волчко К.П., Горбачук В.В., Горбунова Ю.Г., Громов С.П., Дудкин С.В., Зайцев С.Ю., Захарова Л.Я., Зиганшин М.А., Золотухина А.В., Калинина М.А., Караханов Э.А., Ка-шапов Р.Р., Койфман О.И., Коновалов А.И., Коренев В.С., Максимов А.Л., Мамардашвили Н.Ж., Мамардашвили Г.М., Мартынов А.Г., Мустафина А.Р., Нугманов Р.И., Овсянников А.С., Падня П.Л., Потапов А.С., Селектор С.Л., Соколов М.Н., Соловьева С.Е., Стойков И.И., Стужин П.А., Суслов Е.В., Ушаков Е.Н., Федин В.П., Федоренко С.В., Федорова О.А., Федоров Ю.В., Чвалун С.Н., Цивадзе А.Ю., Штыков С.Н., Шурпик Д.Н., Щербина М.А., Якимова Л.С.** // *Усп. химии.* 2021. Т. 90. № 8. С. 895-1107. **Antipin I.S., Alfimov M.V., Arslanov V.V., Burilov V.A., Vatsadze S.Z., Voloshin Ya.Z., Volcho K.P., Gorbachuk V.V., Gorbunova Yu.G., Gromov S.P., Dudkin S.V., Zaitsev S.Yu., Zakharova L.Ya., Ziganshin M.A., Zolotukhina A.V., Kalinina M.A., Karakhanov E.A., Kashapov R.R., Koifman O.I., Konovalov A.I., Korenev V.S., Maksimov A.L., Mamedashvili N.Zh., Mamedashvili G.M., Martynov A.G., Mustafina A.R., Nugmanov R.I., Ovsyannikov A.S., Padnya P.L., Potapov A.S., Selektor S.L., Sokolov M.N., Solovieva S.E., Stoikov I.I., Stuzhin P.A., Suslov E.V., Ushakov E.N., Fedin V.P., Fedorenko S.V., Fedorova O.A., Fedorov Yu.V., Chvalun S.N., Tsivadze A.Yu., Shtykov S.N., Shurpik D.N., Shcherbina M.A., Yakimova L.S.** // *Russ. Chem. Rev.* 2021. V. 90. N 8. P. 895-1107 (in Russian). DOI: 10.1070/RCR5011.
3. **Valkova L.A., Zyablov S.V., Koifman O.I., Erokhin V.V.** // *J. Porph. Phthal.* 2010. V. 14. N 6. P. 513-522. DOI: 10.1142/S1088424610002380.
4. **Valkova L.A., Glibin A.S., Koifman O.I., Erokhin V.V.** // *J. Porph. Phthal.* 2011. V. 15. N 9-10. P. 1044-1051. DOI: 10.1142/S1088424611004026.
5. **Valkova L., Borovkov N., Koifman O.I., Kutepov A., Berzina T., Fontana M., Rella R., Valli L.** // *Biosens. Bioelectron.* 2004. V. 20. N 6. P. 1177-1184. DOI: 10.1016/j.bios.2004.06.047.
6. **Valkova L.A., Glibin A.S., Koifman O.I.** // *Macrocyclics.* 2011. V. 4. N 3. P. 222-226.
7. **Stuzhin P.A., Mikhailov M.S., Yurina E.S., Bazanov M.I., Koifman O.I., Pakhomov G.L., Travkin V.V., Sinelshchikova A.A.** // *Chem. Commun.* 2012. V. 48. N 81. P. 10135-10137. DOI: 10.1039/C2CC35580A.
8. **Tarakanov P.A., Donzello M.P., Koifman O.I., Stuzhin P.A.** // *Macrocyclics.* 2011. V. 4. N 3. P. 177-183. DOI: 10.6060/mhc2011.3.06.
9. **Stuzhin P.A., Skvortsov I.A., Zhabanov Y.A., Razgonyaev O.V., Nikitin I.A., Koifman O.I., Somov N.V.** // *Dyes Pigments.* 2019. V. 162. P. 888-897. DOI: 10.1016/j.dyepig.2018.11.006.
10. **Stuzhin P.A., Goryachev M.Y., Ivanova S.S., Nazarova A., Pimkov I., Koifman O.I.** // *J. Porph. Phthal.* 2013. V. 17. N 8-9. P. 905-912. DOI: 10.1142/S1088424613500892.
11. **Stuzhin P., Tarakanov P., Shiryaeva S., Zimenkova A., Koifman O.I., Viola E., Donzello M.P., Ercolani C.** // *J. Porph. Phthal.* 2012. V. 16. N 7-8. P. 968-972. DOI: 10.1142/S1088424612501052.

12. Знойко С.А., Елизарова А.П., Кустова Т.В., Наконечная А.Н. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 42-51. Znoiko S.A., Elizarova A.P., Kustova T.V., Nakonechnaya A.N. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 4. P. 42-51. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6380.
13. Кустова Т.В., Апенкина М.А., Знойко С.А., Степанова Д.С. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 8. С. 62-69. DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6695. Kustova T.V., Apenkina M.A., Znoyko S.A., Stepanova D.S. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 8. P. 62-69 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6695.
14. Кобаяши Н. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 4. С. 4-46. Kobayashi N. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 4. P. 4-46. DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5913_1.
15. Кобаяши Н. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 8. С. 4-25. Kobayashi N. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 8. P. 4-25. DOI: 10.6060/ivkkt.20196208.5913_2.
16. Кобаяши Н. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 11. С. 4-37. Kobayashi N. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 11. P. 4-37. DOI: 10.6060/ivkkt.20196211.5913.3.
17. The Porphyrin Handbook. Ed. by K.M. Kadish, K.M. Smith, R. Guilard. San Diego, California: Academic Press, Elsevier Science. 2003. V. 16. 285 p.
18. Шапошников Г.П., Кулинич В.П., Майзлиш В.Е. Модифицированные фталоцианины и их структурные аналоги. М.: URSS. 2012. 480 p. Shaposhnikov G.P., Kulinich V.P., Maizlish V.E. Modified Phthalocyanines and their structural analogues. M.: URSS. 2012. 480 p. (in Russian).
19. Функциональные материалы на основе тетрапиррольных макрогетероциклических соединений. Под ред. О.И. Койфмана. М.: Ленанд. 2019. 302 с. Functional material on the basis of macroheterocyclic compounds. Ed. by O.I. Koifman. M.: Lenand. 2019. 302 p. (in Russian).
20. Koifman O.I., Ageeva T.A., Beletskaya I.P., Averin A.D., Yakushev A.A., Tomilova L.G., Dubinina T.V., Tsvadze A.Yu., Gorbunova Yu.G., Martynov A.G., Konarev D.V., Khasanov S.S., Lyubovskaya R.N., Lomova T.N., Korolev V.V., Zenkevich E.I., Blaudeck T., von Borczyskowski Ch., Zahn D.R.T., Mironov A.F., Bragina N.A., Ezhov A.V., Zhdanova K.A., Stuzhin P.A., Pakhomov G.L., Rusakova N.V., Semenishyn N.N., Smola S.S., Parfenyuk V.I., Vashurin A.S., Makarov S.V., Dereven'kov I.A., Mamardashvili N.Zh., Kurtikyan T.S., Martirosyan G.G., Burmistrov V.A., Aleksandriiskii V.V., Novikov I.V., Pritnov D.A., Grin M.A., Suvorov N.V., Tsigankov A.A., Fedorov A.Yu., Kuzmina N.S., Nyuchev A.V., Otvagin V.F., Kustov A.V., Belykh D.V., Berezin D.B., Solovieva A.B., Timashev P.S., Milaeva E.R., Gracheva Yu.A., Dodokhova M.A., Safronenko A.V., Shpakovsky D.B., Syrбу S.A., Gubarev Yu.A., Kiselev A.N., Koifman M.O., Lebedeva N.Sh., Yurina E.S. // *Macroheterocycles*. 2020. V. 13. N 4. P. 311-467. DOI: 10.6060/mhc200814k.
21. Koifman O.I., Ageeva T.A., Kuzmina N.S., Otvagin V.F., Nyuchev A.V., Fedorov A.Yu., Belykh D.V., Lebedeva N.Sh., Yurina E.S., Syrбу S.A., Koifman M.O., Gubarev Y.A., Bunin D.A., Gorbunova Y.G., Martynov A.G., Tsvadze A.Yu., Dudkin S.V., Lyubimtsev A.V., Maiorova L.A., Kishalova M.B., Petrova M.V., Sheinin V.B., Tyurin V.S., Zamilatskov I.A., Zenkevich E.I., Morshnev P.K., Berezin D.B., Drondel E.A., Kustov A.V., Pogorilyy V.A., Noyev A.N., Eshtukova-Shcheglova E. A., Plotnikova E.A., Plyutinskaya A.D., Morozova N.B., Pankratov A. A., Grin M.A., Abramova O.B., Kozlovitseva E. A., Drozhzhina V.V., Filonenko E.V., Kaprin A.D., Ryabova A.V., Pominova D.V., Romanishkin I. D., Makarov V.I., Loschenov V.B., Zhdanova K.A., Ivantsova A.V., Bortnevskaya Y.S., Bragina N.A., Solovieva A.B., Kuryanova A.S., Timashev P.S. // *Macroheterocycles*. 2022. V. 15. N 4. P. 207-302. DOI: 10.6060/mhc224870k.
22. Шапошников Г.П., Кулинич В.П., Майзлиш В.Е. В кн.: Успехи химии порфиринов. Под ред. О.А. Голубчикова. СПб.: НИИ химии СПбГУ. 1999. Т. 2. С. 190. Shaposhnikov G.P., Kulinich V.P., Maizlish V.E. In: *Advances in porphyrin chemistry*. Ed. by O.A. Golubchikov. SPb.: NII Khimii SPbGU. 1999. V. 2. P. 190 (in Russian).
23. Lo P.C., Rodriguez-Morgade M.S., Pandey R.K., Ng D., Torres T., Dumoulin F. // *Chem. Soc. Rev.* 2020. V. 49. P. 1041-1056. DOI: 10.1039/C9CS00129H.
24. Усольцева Н.В., Аكوпова О.Б., Быкова В.В. Жидкие кристаллы: дискотические мезогены. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2004. 546 с. Usol'tseva N.V., Akopova O.B., Bykova V.V. Liquid Crystals: Discotic Mesogens. Ivavnovo: IvGU. 2004. 546 p. (in Russian).
25. Qin H., Xu L., Zhong D. // *J. Phys. Chem. C*. 2020. V. 124. N 9. P. 5167-5173. DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b10664.
26. Wang L., Wang L., Yang G., Xie Q., Zhong S., Su X., Hou Y., Zhang B. // *Langmuir*. 2020. V. 36. N 16. P. 4532-4539. DOI: 10.1021/acs.langmuir.9b03636.
27. Elizarova G.L., Matvienko L.G., Lozhkina N.V., Maizlish V.E., Parmon V.N. // *React. Kinet. Catal. Lett.* 1981. V. 16. N 2-3. P. 285-288. DOI: 10.1007/BF02065474.
28. Пашковская А.А., Перевощикова И.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Котова Е.А., Антоненко Ю.Н. // *Биохимия*. 2009. Т. 34. № 9. С. 1252-1259. Pashkovskaya A.A., Perevoschikova I.V., Maizlish V.E., Kotova E.A., Antonenko Yu.N. // *Biokhim.* 2009. V. 34. N 9. P. 1252-1259 (in Russian).
29. Березин Б.Д., Березин Д.Б. Хромофорные системы макроциклов и линейных молекул. Под ред. О.И. Койфмана. М.: URSS. 2013. 240 с. Berezin B.D., Berezin D.B. Chromophoric systems of macrocycles and linear molecules. Ed. by O.I. Koifman. M.: URSS. 2013. 240 p. (in Russian).
30. Cammidge A.N., Tseng Chiung-Hui, Chambrier I., Hughes D.L., Cook M.J. // *Tetrahedron Lett.* 2009. V. 50. P. 5254-5256. DOI: 10.1016/j.tetlet.2009.07.016.
31. İsci Ü., Dumoulin F., Ahsen V., Sorokin A.B. // *J. Porph. Phthal.* 2010. V. 14. P. 324-334. DOI: 10.1142/S1088424610002069.
32. Zorlu Y., İsci Ü., Un I., Kumru U., Dumoulin F., Ahsen V. // *Struct. Chem.* 2013. V. 24. N 4. P. 1027-1038. DOI: 10.1007/s11224-012-0126-8.33.
33. Basova T., Hassan A., Durmus M., Gürek A.G., Ahsen V. // *Coord. Chem. Rev.* 2016. V. 310. P. 131-153. DOI: 10.1016/j.ccr.2015.11.005.
34. Tekdas D.A., Gürek A.G., Ahsen V. // *J. Porph. Phthal.* 2014. V. 18. N 10-11. P. 899-908. DOI: 10.1142/S1088424614500709.
35. Atila D., Gürek A.G., Basova T.V., Kiselev V.G., Hassan A., Sheludyakova L.A., Ahsen V. // *Dyes Pigm.* 2011. V. 88. N 3. P. 280-289. DOI: 10.1016/j.dyepig.2010.07.007.
36. Zhenhua Cheng, Zhaoyang Song, Zunbin Duan, Shengjuan Jiang, Lijun Zhu, Daohong Xia. // *Petrol. Sci. Technol.* 2016. V. 34. P. 130-138. DOI: 10.1080/10916466.2015.1122624.

37. Mantareva V., Angelov I., Wöhrle D., Borisova E., Kussovski V. // *J. Porph. Phthal.* 2013. V. 17. N 6-7. P. 399-416. DOI: 10.1142/S1088424613300024.
38. Remichkova M., Mukova L., Nikolaeva-Glomb L., Nikolova N., Doumanova L., Mantareva V., Angelov I., Kussovski V., Galabov A.S. // *Zeitschrift für Naturforschung C. A J. Biosci.* 2017. V. 72. N 3-4. P. 123-128. DOI: 10.1515/znc-2016-0119.
39. Sanusi S.O., Antunes E., Nyokong T. // *J. Porph. Phthal.* 2013. V. 17. N 10. P. 920-927. DOI: 10.1142/S1088424613500715.
40. Sato H., Sakagami Y., Itoh E., Ohta K. // *J. Porph. Phthal.* 2012. V. 16. N 11. P. 1209-1216. DOI: 10.1142/S1088424612501222.
41. Maree S., Phillips D., Nyokong T. // *J. Porph. Phthal.* 2002. V. 6. N 1. P. 17-25. DOI: 10.1142/S108842460200004X.
42. Wang J. // *J. Porph. Phthal.* 2004. V. 8. N 11. P. 1293-1299. DOI: 10.1142/S1088424604000660.
43. Lu G., Bai M., Li R., Zhang X., Ma Ch., Lo P.-Ch., Ng D. K. P., Jiang J. // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2006. V. 18. P. 3703-3709. DOI: 10.1002/ejic.200600295.
44. Quan Li, Lanfang Li. Photoconducting discotic liquid crystals. In: *Thermotropic Liquid Crystal*. Ed. by Ayyalusamy Ramamorthy. Dordrecht, The Netherlands: Springer. 2007. 297 p.
45. Enow C.A., Marais C. // *J. Porph. Phthal.* 2014. V. 18. N 4. P. 582-594. DOI: 10.1142/S108842461450103X.
46. Kaki E., Özkaya A.R., Altındal A., Salihc B., Bekaroğlu Ö. // *Sensors Actuators B: Chem.* 2013. V. 188. P. 1033-1042. DOI: 10.1016/j.snb.2013.07.103.
47. Romero M.P., Gobo N.R.S., de Oliveira K.T., Iamamoto Y., Serra O.A., Louro S.R.W. // *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 2013. V. 253. P. 22-29. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2012.12.009.
48. Zheng B.-Y., Jiang X.-J., Lin T., Ke M.-R., Huang J.-D. // *Dyes Pigm.* 2015. V. 112. P. 311-316. DOI: 10.1016/j.dyepig.2014.07.029.
49. Morozova A.P., Znoiko S.A., Vashurin A.S., Zav'yalov A.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. V. 87. P. 3063-3070. DOI: 10.1134/S1070363217120544.
50. Шишкина О.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Любимцев А.В., Смирнов Р.П., Бараньски А. // *Журн. общ. хим.* 1997. Т. 67. № 5. С. 842-845. Shishkina O.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Lubimtsev A.V., Smirnov R.P., Baran'sky A. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1997. V. 67. N 5. P. 842-845 (in Russian).
51. Майзлиш В.Е., Абрамов И.Г., Шалина А.В., Родионов А.В., Борисов А.В., Кузмина Е.Л., Александрыйский В.В., Петров О.А., Шапошников Г.П. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2013. Т. 56. Вып. 2. С. 11-17. Maizlish V.E., Abramov I.G., Shalina A.V., Rodionov A.V., Borisov A.V., Kuz'mina E.L., Aleksandriyskii V.V., Petrov O.A., Shaposhnikov G.P. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 2013. V. 56. N 2. P. 11-17 (in Russian).
52. Халезов О.И., Семейкин А.С., Сырбу С.А., Березин Б.Д. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1999. Т. 42. Вып. 3. С. 23-27. Khalezov O.I., Semeykin S.A., Syrbu S.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 1999. V. 42. N 3. P.23-27 (in Russian).
53. Abramov I.G., Dorogov M.V., Ivanovskii S.A., Smirnov A.V., Abramova M.B. // *Mendeleev Commun.* 2000. V. 10. N 2. P. 78-80. DOI: 10.1070/MC2000v010n02ABEH001147.
54. Abramov I.G., Smirnov A.V., Ivanovskii S.A., Abramova M.B., Plakhtinskii V.V., Belysheva M.S. // *Mendeleev Commun.* 2001. V. 11. P. 80-82. DOI: 10.1070/MC2001v011n02ABEH001400.
55. Gürek A. G., Durmuş M., Ahsen V. // *New J. Chem.* 2004. 28. P. 693-699. DOI: 10.1039/B314995A.
56. Dinçer H.A., Gül A., Koçak M.B. // *J. Porph. Phthal.* 2004. V. 8. N 10. P. 1204-12-08. DOI: 10.1142/S1088424604000544.
57. Uğur A. L., Dinçer H. A., Erdoğan A. // *Polyhedron.* 2012. V. 31. N 1. P. 431-437. DOI: 10.1016/j.poly.2011.09.042.
58. Dinçer H.A., Gül A., Koçak M.B. // *Dyes Pigm.* 2007. V. 74. P. 545-550. DOI: 10.1016/j.dyepig.2006.03.013.
59. Негримовский В.М., Деркачева В.М., Лукьянец Е.А. // *Журн. общ. химии.* 1989. Т. 59. № 7. С. 1688-1690. Negrimovskii V.M., Derkacheva V.M., Luk'yanets E.A. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1989. V. 59. N 7. P. 1688-1690 (in Russian).
60. Волков К.А., Негримовский В.М., Лукьянец Е.А., Авраменко Г.В. // *Журн. общ. хим.* 2008. V. 78. N 9. P. 1557-1564. Volkov K.A., Negrimovskii V.M., Luk'yanets E.A., Avramenko G.V. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2008. V. 78. N 9. P. 1787-1793. DOI: 10.1134/S1070363208090235.
61. Волков К.А., Негримовский В.М., Лукьянец Е.А., Авраменко Г.В. // *Журн. общ. хим.* 2008. Т. 78. № 9. С. 1564-1572. Volkov K.A., Negrimovskii V.M., Luk'yanets E.A., Avramenko G.V. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2008. V. 78. N 9. P. 1794-1801. DOI: 10.1134/S1070363208090247.
62. Волков К.А., Авраменко Г.В., Негримовский В.М., Лукьянец Е.А. // *Журн. общ. хим.* 2007. Т. 77. № 6. С. 1022-1030. Volkov K.A., Avramenko G.V., Negrimovskii V.M., Luk'yanets E.A. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2007. V. 77. N 6. P. 1108-1116. DOI: 10.1134/S107036320706028X.
63. Волков К.А., Авраменко Г.В., Негримовский В.М., Лукьянец Е.А. // *Журн. общ. хим.* 2007. Т. 77. № 6. С. 1040-1047. Volkov K.A., Avramenko G.V., Negrimovskii V.M., Luk'yanets E.A. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2007. V. 77. N 6. P. 1126. DOI: 10.1134/S1070363207060308.
64. Wang J.H., Khanamiryan A.K., Leznoff C.C. // *J. Porph. Phthal.* 2012. V. 8. N 11. P. 1293-1299. DOI: 10.1142/S1088424604000660.
65. Негримовский В.М., Макарова Е.А., Михаленко С.А., Соловьёва Л.И., Южакова О.А., Дonyaгина В.Ф., Волков К.А., Комиссаров А.Н., Шевченко Е.Н., Дудкин С.В., Березина А.П., Ластовой А.П., Лукьянец Е.А. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева).* 2013. Т. LVII. № 2. С. 31-54. Negrimovsky V.M., Makarova E.A., Mikhailenko S.A., Solov'yeva L.I., Yuzhakova O.A., Donyagina V.F., Volkov K.A., Komissarov A.N., Shevchenko E.N., Dudkin S.V., Berezina A.P., Lastovoy A.P., Lukyanets E.A. // *Ross. Khim. Zhurn.* 2013. V. LVII. N 2. P. 31-54 (in Russian).
66. Кулинич В.П., Лебедева Т.А., Борисов А.В., Горелов В.Н., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2009. Т. 79. № 8. С. 1728. V.P., Lebedeva T.A., Borisov A.V., Gorelov V.N., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2009. V. 79. N 8. P. 1728-1734. DOI: 10.1134/S1070363209080258.
67. Патент РФ № 2313544 (2007). Patent RF N 2313544 (2007). (in Russian).
68. Меерович И.Г., Волков К.А., Меерович Г.А., Лукьянец Е.А., Негримовский В.М., Лошенов В.Б., Оборотова Н.А., Барышников Ю.А. // *Росс. биотерапевт. журн.* 2013. Т. 13. № 1. С. 41-44. Meerovich I.G., Volkov K.A., Meerovich G.A., Luk'yanets E.A., Negrimovsky V.M., Loschenov V.B., Oborotova N.A., Barishnikov Yu.A. // *Ros. Bioterapevt. Zhurn.* 2013. V. 13. N 1. P. 41-44 (in Russian).

69. Хламов В.В., Оборотова Н.А., Меерович Г.А., Ланцова А.В., Кокорева В.И. Лаврухин Н.И., Лу-кьянец Е.А., Негримовский В.М., Николаева Л.Л., Орлова О.Л., Полозкова А.П., Санарова Е.В., Смирнова З.С., Борисова Л.М., Киселева М.П. // *Фотодин. терапия и фотодиагн.* 2014. Т. 3. № 1. С. 19. Khlamov V.V., Oborotova N.A., Meerovich G.A., Lantsova A.V., Kokoreva V.I., Lavrukhin N.I., Lukyanets E.A., Negrimovskiy V.M., Nikolaeva L.L., Orlova O.L., Polozkova A.P., Sanarova E.V., Smirnova Z.S., Borisova L.M., Kiseleva M.P. // *Fotodin. Terap. Fotodiagn.* 2014. V. 3. N 1. P. 19 (in Russian).
70. Kumru U., Dumoulin F., Jeanneau E., Yuksel F., Cabezas Y., Zorlu Y., Ahsen V. // *Struct. Chem.* 2012. V. 23. N 1. P. 175-183. DOI: 10.1007/s11224-011-9850-8.
71. Jaemyeng Jeong, Rangaraju Satish Kumar, Ick Jin Kim, Young-A Son. // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2017. V. 644. N 1. P. 249-256. DOI: 10.1080/15421406.2016.1277498.
72. Ick Jin Kim, Muthukumar Palanisamy, Jaemyeng Jeong, Young-A Son. // *Molec. Cryst. Liquid Cryst.* 2017. V. 644. N 1. P. 88-97. DOI: 10.1080/15421406.2016.1277459.
73. Иванова-Радкевич В.И., Негримовский В.М., Барканова С.В., Макарова Е.А., Дonyaгина В.Ф., Плетенева Т.В. // *Хим.-фармацев. ж.* 2009. Т. 43. № 5. С. 7-11. Ivanova-Radkevich V.I., Negrimovskiy V.M., Barkanova S.V., Makarova E.A., Donyagina V.F., Pletneva T.V. // *Khim.-Farmats. Zhurn.* 2009. V. 43. N 5. P. 7-11 (in Russian).
74. Меерович И.Г., Санарова Е.В., Меерович Г.А., Деркачёва В.М., Волков К.А., Негримовский В.М., Барканова С.В., Лукьянец Е.А., Оборотова Н.А., Смирнова З.С., Борисова Л.М., Ланцова А.В., Полозкова А.П., Орлова О.Л., Лощёнов В.Б., Умнова Л.В., Барышников А.Ю., Ворожцов Г.Н. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2013. Т. LVII. № 2. С. 60-68. Meerovich I.G., Sanarova E.V., Meerovich G.A., Derkacheva V.M., Volkov K.A., Negrimovsky V.M., Barkanova S.V., Lukyanets E.A., Oborotova N.A., Smirnova Z.S., Borisova L.M., Lantsova A.V., Polozkova A.P., Orlova O.L., Loschenov V.B., Umnova L.V., Barishnikov A.Yu., Vorozhtsov G.N. // *Ross. Khim. Zhurn.* 2013. V. LVII. N 2. P. 60-68 (in Russian).
75. Патент РФ № 2340615 (2008). Patent RF N 2340615 (2008). (in Russian).
76. Шишкина О.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Смирнов Р.П. // *Журн. общ. хим.* 1998. Т. 68. № 5. С. 860-864. Shishkina O.V., Mayzlish V.E., Shaposhnikov G.P., Smirnov R.P. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1998. V. 68. N 5. P. 860-864 (in Russian).
77. Lin M.-J., Wang J.-D., Chen N.-Sh., Jin-Ling Huang. // *J. Coord. Chem.* 2006. V. 59. P. 607-611. DOI: 10.1080/00958970500361205.
78. Шишкина О.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Кудрик Е.В. Смирнов Р.П. // *Журн. общ. химии.* 2000. Т. 70. № 5. С. 815-817. Shishkina O.V., Mayzlish V.E., Shaposhnikov G.P., Kudrik E.V., Smirnov R.P. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 2000. V. 70. N 5. P. 815-817 (in Russian).
79. Балакирев А.Е., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2002. Т. 72. № 10. С. 332. Balakirev A.E., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2002. V. 72. N 10. P. 1633-1635 (in Russian). DOI: 10.1023/A:1023300103961.
80. Шишкина О.В., Майзлиш В.Е., Кудрик Е.В., Шапошников Г.П., Смирнов Р.П. // *Журн. общ. хим.* 1999. Т. 69. № 10. С. 1712-1714. Shishkina O.V., Mayzlish V.E., Kudrik E.V., Shaposhnikov G.P., Smirnov R.P. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1999. V. 69. N 10. P. 1712-1714 (in Russian).
81. Балакирев А.Е., Майзлиш В.Е., Балакирева О.В., Шапошников Г.П., Быкова В.В., Усольцева Н.В. // *Журн. общ. хим.* 2004. Т. 74. № 2. С. 329-333. Balakirev A.E., Mayzlish V.E., Balakireva O.V., Shaposhnikov G.P., Bykova V.V., Usol'tseva N.V. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 2004. V. 74. N 2. P. 329-333 (in Russian).
82. Абрамов И.Г., Смирнов А.В., Абрамова М.Б., Бегунов Р.С., Каландадзе Л.С., Смирнова О.В., Плахтинский В.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2001. Т. 44. Вып. 6. С. 134-139. Abramov I.G., Smirnov A.V., Abramova M.B., Begunov R.S., Kalanadzee L.S., Smirnova O.V., Plakhtinskiy V.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2001. V. 44. N 6. P. 134-139 (in Russian).
83. Жарникова М.А., Балакирев А.Е., Майзлиш В.Е., Кудрик Е.В., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. химии.* 1999. Т. 69. № 11. С. 1870-1871. Zharnikova N.V., Balakirev A.V., Mayzlish V.E., Kudrik E.V., Shaposhnikov G.P. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1999. V. 69. N 11. P. 1870-1871 (in Russian).
84. Михаленко С.А., Деркачева В.М., Лукьянец Е.А. // *Журн. общ. хим.* 1981. Т. 51. С. 1650-1653. Mikhailenko S.A., Derkacheva V.M., Luk'yanets E.A. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1981. V. 51. P. 1650-1653 (in Russian).
85. Абрамов И.Г., Плахтинский В.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2002. Т. 45. Вып. 1. С. 3-12. Abramov I.G., Plakhtinskiy V.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2002. V. 45. N 1. P. 3-12 (in Russian).
86. Ивановский С.А., Дорогов М.В., Русаков А.И., Абрамов И.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2002. Т. 45. Вып. 2. С. 19-23. Ivanovskiy S.A., Dorogov M.V., Rusakov A.I., Abramov I.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2002. V. 45. N 2. P. 19-23 (in Russian).
87. Дорогов М.В., Ивановский С.А., Абрамов И.Г., Красовская Г.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1999. Т. 42. Вып. 6. С. 69-71. Dorogova M.V., Ivanovskiy S.A., Abramov I.G., Krasovskaya G.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 1999. V. 42. N 6. P. 69-71 (in Russian).
88. Абрамов И.Г., Плахтинский В.В., Абрамова М.Б., Смирнов А.В., Красовская Г.Г. // *XTC.* 1999. Т. 11. С. 1537. Abramov I.G., Plakhtinskiy V.V., Abramova M.B., Smirnov A.V., Krasovskaya G.G. // *Khim. Geterotsikl. Soed.* 1999. V. 11. P. 1537-1539 (in Russian).
89. Балакирев А.Е., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Смирнов Р.П. // *Журн. общ. хим.* 2000. Т. 70. № 4. С. 669-672. Mayzlish V.E., Balakirev A.E., Shaposhnikov G.P., Smirnov R.P. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 2000. V. 70. N 4. P. 669-672 (in Russian).
90. Майзлиш В.Е., Балакирев А.Е., Шишкина О.В., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2001. Т. 71. № 2. С. 174-177. Maizlish V.E., Balakirev A.E., Shishkina O.V., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2001. V. 71. N 2. P. 246-249. DOI: 10.1023/A:1012303522618.
91. Кудрик Е.В., Шапошников Г.П., Балакирев А.Е. // *Журн. общ. химии.* 1999. Т. 69. № 8. С. 1372-1376. Kudrik E.V., Shaposhnikov G.P., Balakirev A.E. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1999. V. 69. N 8. P. 1372-1376 (in Russian).
92. Abramov I.G., Smirnov A.V., Plakhtinskii V.V., Krasovskaya G.G. // *Mendeleev Comm.* 2002. V. 2. P. 72-74. DOI: 10.1070/MC2002v012n02ABEN001538.
93. Абрамов И.Г., Смирнов А.В., Плахтинский В.В. В кн.: *Панорама современной химии России. Успехи в нефтехимическом синтезе полифункциональных ароматических*

- соединений. М.: Химия. 2005. 85 с. Abramov I.G., Smirnov A.V., Plakhtinskiy V.V. In: Panorama of modern chemistry in Russia. Advances in the petrochemical synthesis of polyfunctional aromatic compounds. М.: Khimiya. 2005. 85 p. (in Russian).
94. Знойко С.А., Савинова А.И., Майзлиш В.Е., Березина Г.Р., Шапошников Г.П., Абрамов И.Г. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2017. Т. LXI. № 4. С. 97-108. Znoyko S.A., Savinova A.I., Mayzlish V.E., Berezhina G.R. // *Ros. Khim. Zhurn.* 2017. V. LXI. N 4. P. 97-108 (in Russian).
 95. Знойко С.А., Савинова А.И., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2015. Т. 85. № 4. С. 630-634. Znoiko S.A., Savinova A.I., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2015. V. 85. N 4. P. 630-634. DOI: 10.1134/S1070363215040180.
 96. Znoyko S.A., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Zubkova O.N., Savinova A.I. // *Macroheterocycles*. 2014. V. 7. N 4. P. 425-428. DOI: 10.6060/mhc140480z.
 97. Знойко С.А., Кузьмин И.А., Тихомирова Т.В., Смирнов Н.Н., Майзлиш В.Е., Вашурин А.С., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2018. Т. 88. № 4. С. 672-678. Znoiko S.A., Kuz'min I.A., Tikhomirova T.V., Smirnov N.N., Maizlish V.E., Vashurin A.S., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. N 4. P. 672-678. DOI: 10.1134/S1070363218040205.
 98. Vashurin A., Maizlish V., Kuzmin I., Znoyko S., Morozova A., Razumov M., Koifman O. // *J. Porph. Phthal.* 2017. V. 21. N 1. P. 37-47. DOI: 10.1142/S108842461750002X.
 99. Морозова А.П., Знойко С.А., Вашурин А.С., Завьялов А.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2015. Т. LIX. № 5-6. С. 8-16. Morozova A.P., Znoyko S.A., Vashurin A.S., Zav'yalov A.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Russ. Khim. Zhurn.* 2015. V. LIX. N 5-6. P. 8-16 (in Russian).
 100. Балакирев А.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2002. Т. 72. № 2. С. 332-335. Balakirev A.V., Mayzlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 2002. V. 72. N 2. P. 332-335 (in Russian).
 101. Балакирев А.Е., Майзлиш В.Е., Балакирева О.В., Шапошников Г.П., Быкова В.В., Усольцева Н.В. // *Журн. общ. хим.* 2004. Т. 74. № 2. С. 329-333 (in Russian). Balakirev A.E., Maizlish V.E., Balakireva O.V., Shaposhnikov G.P., Bykova V.V., Usoltseva N.V. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2004. V. 74. N 2. P. 295-299. DOI: 10.1023/B:RUGC.0000025520.29732.9e.
 102. Михаленко С.А., Соловьева Л.П., Иванова Т.М., Лукьянец Е.А. // *Журн. общ. хим.* 1985. Т. 55. № 5. С. 1099-1106. Mikhailenko S.A., Solov'eva L.P., Ivanova T.M., Luk'yants E.A. // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1985. V. 55. N 5. P. 1099-1106 (in Russian).
 103. Знойко С.А., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Абрамов И.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2012. Т. 55. Вып. 12. С. 13-25. Znoyko S.A., Mayzlish V.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2012. V. 55. N 12. P. 13-25 (in Russian).
 104. Знойко С.А., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Абрамов И.Г., Жарникова Н.В., Ананьева Г.А., Быкова В.В., Усольцева Н.В. // *Жидк. крист. и их практ. исп.* 2009. Т. 29. № 3. С. 36-47. Znoyko S.A., Mayzlish V.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G., Zharnikova N.V., Anan'eva G.A., Bykova V.V., Usoltseva N.V. // *Liquid Crist. Appl. [Zhiddk. Krist. i ikh prakt. Ispol'z.]*. V. 29. N 3. P. 36-47 (in Russian).
 105. Михайлова А.И., Знойко С.А., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Абрамов И.Г., Абрамова М.Б. // *Журн. общ. хим.* 2018. Т. 88. № 7. С. 1133-1137. Mikhailova A.I., Znoiko S.A., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G., Abramova M.B. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. N 7. P. 1425-1429. DOI: 10.1134/S1070363218070125.
 106. Znoiko S.A., Bumbina N.V., Akopova O.B., Berezhina G.R., Smirnova A.I., Usoltseva N.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Liq. Crys. Appl.* 2017. V. 17. N 1. P. 56-68. DOI: 10.18083/App1.2017.1.56.
 107. Знойко С.А., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Аكوпова О.Б., Бумбина Н.В., Усольцева Н.В. Абрамов И.Г. // *Журн. общ. хим.* 2014. Т. 84. № 4. С. 629-637. Znoiko S.A., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Akopova O.B., Bumbina N.V., Usoltseva N.V., Abramov I.G. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2014. V. 84. N 4. P. 629-637. DOI: 10.1134/S1070363214040185.
 108. Знойко С.А., Бумбина Н.В., Аكوпова О.Б., Усольцева Н.В., Зубкова О.Н., Шапошников Г.П. // *Жидк. Крист. и их практ. исп.* 2014. Т. 14. № 1. С. 45-51. Znoyko S.A., Bumbina N.V., Akopova O.B., Usoltseva N.V., Zubkova O.N., Shaposhnikov G.P. // *Liquid Crist. Appl. [Zhiddk. Krist. i ikh praktich. Ispol'zov.]*. 2014. V. 14. N 1. P. 45-51 (in Russian).
 109. Знойко С.А., Савинова А.И., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Абрамов И.Г. // *Журн. общ. хим.* 2016. Т. 86. № 6. С. 1016-1023. Znoyko S.A., Savinova A.I., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. V. 86. N 6. P. 1345-1352. DOI: 10.1134/S1070363216060207.
 110. Знойко С.А., Зубкова О.Н., Борисов А.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2015. Т. 85. № 11. С. 1903-1910. Znoiko S.A., Zubkova O.N., Borisov A.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2015. V. 85. N 11. P. 2642-2646 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070363215110225.
 111. Знойко С.А., Камболова А.С., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Абрамов И.Г., Фильмонов С.И. // *Журн. общ. хим.* 2009. Т. 79. № 8. С. 1376. Znoiko S.A., Kambolova A.S., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G., Filimonov S.I. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2009. V. 79. N 8. P. 1735-1740. DOI: 10.1134/S107036320908026X.
 112. Vashurin A., Znoyko S., Marfin Y., Tarasyuk I., Kuzmin I., Rumyantsev E., Goncharenko A. // *Appl. Organometallic Chem.* 2018. V. 32. N 9. P. e4482. DOI: 10.1002/aoc.4482.
 113. Znoyko S.A., Mikhailova A.I., Akopova O.B., Bumbina N.V., Usoltseva N.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Macroheterocycles*. 2018. V. 11. N 1. P. 41-51. DOI: 10.6060/mhc180169z.
 114. Filippova A., Vashurin A., Znoyko S., Kuzmin I., Razumov M., Chernova A., Shaposhnikov G., Koifman O. // *J. Mol. Struct.* 2017. V. 1149. P. 17-26. DOI: 10.1016/j.molstruc.2017.07.086.
 115. Знойко С.А., Кривова А.В., Шапошников Г.П., Ананьева Г.А., Усольцева Н.В. // *Жидк. Крист. и их практ. исп.* 2012. Т. 42. № 4. С. 62-70. Znoyko S.A., Krivova A.V., Shaposhnikov G.P., Anan'eva G.A., Usoltseva N.V. // *Liquid Crist. Appl. [Zhiddk. Krist. i ikh praktich. Ispol'z.]*. 2012. V. 42. N 4. P. 62-70 (in Russian).
 116. Знойко С.А., Кривова А.В., Шапошников Г.П., Ананьева Г.А., Жарникова Н.В., Усольцева Н.В. // *Жидк. Крист. и их практ. исп.* 2013. Т. 43. № 1. С. 7-19. Znoyko S.A., Krivova A.V., Shaposhnikov G.P., Anan'eva G.A., Zharnikova N.V., Usoltseva N.V. // *Liquid Crist. Appl.*

- [*Zhidk. Krist. i ikh praktich. Ispol'z.*] 2013. V. 43. N 1. P. 7-19 (in Russian).
117. **Znoiko S.A., Akopova O.V., Vumbina N.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Usol'tseva N.V.** // *Macroheterocycles*. 2014. V. 7. N 3. P. 287-295. DOI: 10.6060/mhc140930z.
 118. **Федотова А.И., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П., Филимонов С.Н., Абрамов И.Г.** // *Журн. общ. хим.* 2009. V. 79. N 5. P. 846-851. **Fedotova A.I., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Filimonov S.N., Abramov I.G.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2009. V. 79. N 5. P. 1018-1023. DOI: 10.1134/S1070363209050260.
 119. **Тихомирова Т.В., Майзлиш В.Е., Борисов А.В., Шапошников Г.П.** // *Журн. общ. хим.* 2016. Т. 86. № 6. С. 1010-1015. **Tikhomirova T.V., Maizlish V.E., Borisov A.V., Shaposhnikov G.P.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. V. 86. N 6. P. 1339-1344. DOI: 10.1134/S1070363216060190.
 120. **Li Ying-Feng, Li Shao-Lu, Jiang Ke Jian Li.** // *Chem. Lett.* 2004. V. 33. P. 1450-1451. DOI: 10.1246/cl.2004.1450.
 121. **Kernag S.A., McGrath D.V.** // *Chem. Comm.* 2003. V. 9. P. 1048-1049. DOI: 10.1039/B301157G.
 122. **Gursoy S., Cihan A., Kosok B.** // *Monatsh. Chem.* 2001. V. 132. N 7. P. 813-819. DOI: 10.1007/s007060170068.
 123. **Kopylovich M., Kukushkin V., Naukka M.** // *J. Am. Chem. Soc.* 2004. V. 126. P. 15040-15041. DOI: 10.1021/ja046759i.
 124. **Ботнаръ А.А., Знойко С.А., Домарева Н.П., Казарян К.Ю., Тихомирова Т.В., Горнухина О.В., Кошель С.Г., Вашурин А.С.** // *Журн. неорг. хим.* 2022. Т. 67. № 3. С. 326-333. **Botnar' A.A., Znoyko S.A., Domareva N.P., Kazaryan K.Yu., Tikhomirova T.V., Gornukhina O.V., Koshel' S.G., Vashurin A.S.** // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2022. V. 67. N 3. P. 306-312. DOI: 10.1134/S0036023622030044.
 125. **Балакирев А.Е., Майзлиш В.Е., Балакирева О.В., Шапошников Г.П., Быкова В.В., Усольцева Н.В.** // *Журн. общ. хим.* 2004. Т. 74. № 2. С. 329-333. **Balakirev A.E., Maizlish V.E., Balakireva O.V., Shaposhnikov G.P., Bykova V.V., Usol'tseva N.V.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2004. V. 74. N 2. P. 295-299. DOI: 10.1023/B:RUGC.0000025520.29732.9e.
 126. **Motoyoshi R., Suzuki A., Kikuchi K., Oku T.** // *Syn. Met.* 2009. V. 159. N 13. P. 1345-1348. DOI: 10.1016/j.synthmet.2009.03.010.
 127. **Takagi Y., Ohta K., Shimosugi Sh., Fujii T., Itoh E.** // *J. Mater. Chem.* 2012. V. 29. P. 14418-14425. DOI: 10.1039/C2JM32284F.
 128. **Знойко С.А., Ерзунов Д.А., Тихомирова Т.В., Майзлиш В.Е., Вашурин А.С.** // *Журн. общ. хим.* 2019. Т. 89. № 10. P. 1566-1571. **Znoiko S.A., Erzunov D.A., Tikhomirova T.V., Maizlish V.E., Vashurin A.S.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2019. V. 89. N 10. P. 2057-2061. DOI: 10.1134/S1070363219100116.
 129. **Венедиктов Е.А., Туликова Е.Ю., Майзлиш В.Е.** // *Журн. общ. хим.* 2012. Т. 82. № 6. С. 1003. **Venediktov E.A., Tulikova E.Yu., Maizlish V.E.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2012. V. 82. N 6. P. 1145-1152. DOI: 10.1134/S1070363212060187.
 130. Патент РФ № 2210572 (2003). Patent RF N 2210572 (2003). (in Russian).
 131. **Vashurin A.S., Filippova A.A., Znoyko S.A., Voronina A.A., Lefedova O.V., Kuzmin I.A., Maizlish V.E., Koifman O.I.** // *J. Porph. Phthal.* 2015. V. 19. N 8. P. 983-996. DOI: 10.1142/S1088424615500753.
 132. **Долотова О.В., Бундина Н.И., Деркачев В.Н., Калия О.Л., Лукьянец Е.А.** // *Журн. общ. хим.* 1988. Т. 58. № 9. С. 2173. **Dolotova O.V., Bundina N.I., Derkachev V.N., Kaliya O.L., Luk'yanets E.A.** // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1988. V. 58. N 9. P. 2173 (in Russian).
 133. **Михаленко С.А., Лукьянец Е.А.** // *ЖОрХ.* 1975. Т. 11. Т 10. С. 2216-2217. **Mikhaleenko S.A., Luk'yanets E.A.** // *Zhurn. Organ. Khim.* 1975. V. 11. N 12. P. 2216-2217 (in Russian).
 134. **Valkova L., Borovkov N., Pisani M., Rustichelli F.** // *Langmuir.* 2001. V. 7. P. 3639-3642. DOI: 10.1021/la0012079.
 135. **Михаленко С.А., Лукьянец Е.А.** В кн.: Анилинокрасочная промышленность. 3. Синтез и свойства нитропроизводных фталоцианина. М.: НИИТЭХИМ. 1975. С. 3. **Mikhaleenko S.A., Luk'yanets E.A.** In: *Aniline painting industry. 3 Synthesis and properties of nitro derivatives of phthalocyanine.* М.: НИИТЭХИМ. 1975. P. 3 (in Russian).
 136. **Nemykin V.N., Lukyanets E.A.** // *Special Issue Reviews and Accounts ARKIVOC.* 2010. I. P. 136.
 137. Патент РФ № 2045531 (2008). Patent RF N 2045531 (2008). (in Russian).
 138. Патент РФ № 2301239 (2007). Patent RF N 2301239 (2007). (in Russian).
 139. Патент РФ № 2272038 (2006). Patent RF N 2272038 (2006). (in Russian).
 140. **Михаленко С.А., Деркачева В.М., Лукьянец Е.А.** // *Журн. общ. хим.* 1981. Т. 7. С. 1650-1652. **Mikhaleenko S.A., Derkacheva V.M., Luk'yanets E.A.** // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1981. V. 51. N 7. P. 1650-1652 (in Russian).
 141. **Деркачев В.Н., Калия О.Л., Лукьянец Е.А.** // *Журн. общ. химии.* 1983. Т. 53. № 1. С. 188-190. **Derkachev V.N., Kaliya O.L., Luk'yanets E.A.** // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1983. V. 53 N 1. P. 188-190 (in Russian).
 142. **Dolotova O.V., Bundina N.I., Kaliya O.L., Lukyanets E.A.** // *J. Porph. Phthal.* 1997. V. 1. N 4. P. 355-366. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1409(199710)1:4<355::AID-JPP39>3.0.CO;2-7.
 143. **Долотова О.В., Бундина Н.И., Деркачева В.М., Негрмовский В.М., Минин В.В., Ларин Г.М., Калия О.Л., Лукьянец Е.А.** // *Журн. общ. хим.* 1992. Т. 62. № 9. С. 2064-2075. **Dolotova O.V., Bundina N.I., Derkacheva V.M., Negrimovskiy V.M., Minin V.V., Larin G.M., Kaliya O.L., Luk'yanets E.A.** // *Zhurn. Obsch. Khim.* 1992. V. 62. N 9. P. 2064-2075 (in Russian).
 144. Патент РФ № 2385152 (2010). Patent RF N 2385152 (2010). (in Russian).
 145. **Смирнова З.С., Меерович И.Г., Лукьянец Е.А., Меерович Г.А., Деркачева В.М., Оборотова Н.А., Стратонников А.А., Кубасова И.Ю., Борисова Л.М., Полозкова А.П., Орлова О.Л., Герасимова Г.К., Лошенов В.Б., Ворожцов Г.Н., Барышников А.Ю.** // *Росс. Биотерапевт. журн.* 2004. Т. 3. № 1. С. 54-60. **Smirnov Z.S., Meerovich I.G., Luk'yanets E. A., Derkacheva V.M., Oborotova N.A., Stratonnikova A.A., Kubasova I.V., Borisova L.M., Polozkova A.P., Orlova O.L., Gerasimova G.K., Loschenov V.B., Vorozhtsov G.N., Loschenov V.B.** // *Ross. Bioterapevt. Zhurn.* 2004. V. 3. N 1. P. 54-60 (in Russian).
 146. **Лукьянец Е.А.** // *Фотодиагностика и фотодиагностика.* 2013. Т. 2. № 3. С. 3-16. **Luk'yanets E.A.** // *Fotodin. Terap. Fotodiagnostika.* 2013. V. 2. N 3. P. 3-16 (in Russian).
 147. **Rodionov A.V., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P.** // *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. V. 86. N 1. P. 96-101. DOI: 10.1134/S1070363216010175. **Родионов А.В., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П.** // *Журн. общ. хим.* 2016. Т. 86. N 1. С. 104-109.
 148. **Pushkarev V.E., Tomilova L.G., Nemykin V.N.** // *Coord. Chem. Rev.* 2016. V. 319. P. 110-179. DOI: 10.1016/j.ccr.2016.04.005.

149. Suzuki A., Oku T. // *App. Surf. Sci.* 2016. V. 380. P. 127-134. DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.02.026.
150. Weiss R., Fisher J. Lanthanide Phthalocyanine Complexes. In: *The Porphyrin Handbook*. Ed. by K.M. Kadish, K.M. Smith, R. Guilard. San Diego, California: Academic Press, Elsevier Science. 2003. V. 15. P. 171. DOI: 10.1016/B978-0-08-092390-1.50010-2.
151. Sleven J., Gorller-Walrand C., Binnemans K. // *Mater. Sci. Eng. C*. 2001. V. 18. N 1-2. P. 229-238. DOI: 10.1016/S0928-4931(01)00365-4.
152. Знойко С.А., Толстых Н.А., Тихомирова Т.В., Филиппова А.А., Майзлиш В.Е., Ващурич А.С. // *Журн. общ. хим.* 2019. Т. 89. № 12. P. 1895-1900. Znoiko S.A., Tolstykh N.A., Tikhomirova T.V., Filippova A.A., Maizlish V.E., Vashurin A.S. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2019. V. 89. N 12. P. 2408-2412. DOI: 10.1134/S1070363219120132.
153. Ishikawa A., Ohta K., Yasutake M. // *J. Porph. Phthal.* 2015. V. 19. N 5 P. 639-650. DOI: 10.1142/S1088424615500479.
154. Gregory P. // *J. Porph. Phthal.* 2000. V. 4. N 4. P. 432-437. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1409(200006/07)4:4<432::AID-JPP254>3.0.CO;2-N.8.
155. Kuznetsova N.A., Kaliya O.L. // *Macroheterocycles*. 2015. V. 8. N 1. P. 8-19. DOI: 10.6060/mhc141243k.
156. Meerovich I.G., Baryshnikov A.Yu., Gulyaev M.V., Belov M.S., Pirogov Yu.A., Meerovich G.A., Loschenov V.B., Derkacheva V.M., Dolotova O.V. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2015. V. 85. N 1. P. 333-337. DOI: 10.1134/S1070363215010478.
157. Меерович И.Г., Санарова Е.В., Меерович Г.А., Деркачева В.М., Волков К.А., Негримовский В.М., Барканова С.В., Лукьянец Е.А., Оборотова Н.А., Смирнова З.С., Борисова Л.М., Ланцова А.В., Полозкова А.П., Орлова О.Л., Лощенов В.Б., Умнова Л.В., Барышников А.Ю., Ворожцов Г.Н. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2013. Т. 57. № 2. С. 60-68. Meerovich I.G., Sanarova E.V., Oborotova N.A., Smirnova Z.S., Borisova L.M., Lantsova A.V., Polozkova A.P., Orlova O.L., Baryshnikov A.Yu., Meerovich G.A., Loschenov V.B., Derkacheva V.M., Volkov K.A., Negrimovskiy V.M., Barkanova S.V., Lukyanets E.A., Umnova L.V., Vorozhtsov G.N. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2015. V. 85. P. 280-288. DOI: 10.1134/S1070363215010430.
158. Vashurin A., Kuzmin I., Mayzlish V., Razumov M., Golubchikov O., Koifman O. // *J. Serb. Chem. Soc.* 2016. V. 81. N 9. P. 1025-1036. DOI: 10.2298/JSC160105048V.
159. Uğur A.L., Dincer H.A., Erdoğan A. // *Polyhedron*. 2012. V. 31. N 1. P. 431-437. DOI: 10.1016/j.poly.2011.09.042.
160. Kobayashi N. // *Macroheterocycles*. 2013. V. 6. N 2. P. 134-136. DOI: 10.6060/mhc130538k 161.
161. Майзлиш В.Е., Тихомирова Т.В., Знойко С.А., Александрийский В.В., Ващурич А.С., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2018. Т. 88. № 4. P. 655-661. Maizlish V.E., Tikhomirova T.V., Znoiko S.A., Aleksandriiskii V.V., Vashurin A.S., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. N 4. P. 736-741. DOI: 10.1134/S1070363218040187.
162. Vashurin A., Maizlish V., Tikhomirova T., Nemtseva M., Znoyko S., Aleksandriiskii V. // *J. Mol. Struct.* 2018. V. 1160. P. 440-446. DOI: 10.1016/j.molstruc.2018.02.040.
163. Тихомирова Т.В., Знойко С.А., Петлина А.И., Филиппова А.А., Майзлиш В.Е., Ващурич А.С. // *Изв. АН. Сер. хим.* 2019. № 6. С. 1271-1274. Znoiko S.A., Tikhomirova T.V., Petlina A.I., Novikov I.V., Vashurin A.S., Koifman O.I. // *Izv. AN. Ser. Khim.* 2019. V. 68. N 6. P. 1271-1274 (in Russian). 10.1007/s11172-019-2552-x.
164. Патент РФ № 2471715 (2010). Patent RF N 2471715 (2010). (in Russian).
165. Kuvshinov G.V., Maizlish V.E., Kuvshinova S.A., Burmistrov V.A., Koifman O.I. // *Macroheterocycles*. 2016. V. 9. N 3. P. 244-249. DOI: 10.6060/mhc160318k.
166. Тихомирова Т.В., Знойко С.А., Петлина А.И., Филиппова А.А., Майзлиш В.Е., Ващурич А.С. // *Изв. АН. Сер. хим.* 2018. Т. 67. № 12. С. 2201-2204. Tikhomirova T.V., Znoyko S.A., Petlina A.I., Filippova A.A., Maizlish V.E., Vashurin A.S. // *Izv. AN. Ser. Khim.* 2018. V. 67. N 12. P. 2201-2204 (in Russian). DOI: 10.1007/s11172-018-2356-4.
167. Знойко С.А., Головашова Е.С., Потехина О.В., Березин Д.Б., Серова М.А., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. // *Журн. общ. хим.* 2017. Т. 87. № 7. С. 1169-1178. Znoiko S.A., Golovashova E.S., Potekhina O.V., Berezin D.B., Serova M.A., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. V. 87. N 7. P. 1562-1571. DOI: 10.1134/S1070363217070209.
168. Znoiko S.A., Malyasova A.S., Kostrova E.A., Mikhailova A.I., Vashurin A.S., Maizlish V.E., Khelevina O.G., Ivanova P.M., Zrilova Y.A., Mishchenko D.V. // *Macroheterocycles*. 2020. V. 13. N 3. P. 269-276. DOI: 10.6060/mhc191173z.
169. Патент РФ № 2257898 (2005). Patent RF N 2257898 (2005). (in Russian).

Поступила в редакцию 06.04.2023
Принята к опубликованию 24.04.2023

Received 06.04.2023
Accepted 24.04.2023