

—ОБЗОРЫ—

Обзорная статья

УДК 547.831+547.832.53+547.97 + 667.287

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-119-149>

Хинолин-содержащие π -сопряжённые системы: синтез, исследование и применение хинофталоновых красителей (обзор литературы)

Елена Викторовна Шкляева¹, Анастасия Владимировна Ожгихина³, Георгий Георгиевич Абашев^{1,2}

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

²Институт технической химии УрО РАН, Пермь, Россия

³АО «Медисорб», Пермь, Россия

Аннотация. Представлен обзор научной литературы, касающийся методов получения и применения замещенных хинофталонов – интересного класса гетероциклических соединений, содержащих в своей структуре фрагменты замещенных / незамещенных хинолинов и фталевого ангидрида. Такие соединения обладают протяженной π -сопряженной системой и поэтому чаще всего используются как красители.

Ключевые слова: хинолин; фталевый ангидрид; π -сопряженные системы; хинофталоны; красители.

Для цитирования: Ожгихина А.В., Шкляева Е.В., Абашев Г.Г. Хинолин-содержащие π -сопряжённые системы: синтез, исследование и применение хинофталоновых красителей (обзор литературы) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 3. С. 119–149. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-119-149>.

Review

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-119-149>

Quinoline-containing π -conjugated systems: synthesis, investigation and application of quinophthalone dyes (review)

Elena V. Shklyueva¹, Anastasya V. Ozhgikhina³, Georgii G. Abashev^{1,2}

¹Perm State University, Perm, Russia

²Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of RAS, Perm, Russia

³Medisorb JSC, Perm, Russia

Abstract. Here we present the literary review concerning the methods of synthesis and application fields of substituted quinophthalones an interesting class of heterocyclic compounds, which structures include fragments of the substituted / nonsubstituted quinolines and phthalic anhydride. Such compounds are characterized by an extended π -conjugated system and therefore are most often used as dyes.

Key words: quinoline; phthalicanhydride; π -conjugated systems, quinophthalones; dyes.

For citation: Shklyueva, E.V., Ozhgikhina, A.V. and Abashev, G.G. (2023) “Quinoline-containing π -conjugated systems: synthesis, investigation and application of quinophthalonedyes (review)”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 3, pp.119–149. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-119-149>.



Органические соединения, обладающие расширенной π -сопряженной системой с эффективным внутримолекулярным переносом заряда (ВПЗ), применяются в фотонике и оптоэлектронике в качестве основы светочувствительных материалов. Среди них особое место занимают *push-pull* хромофоры или «красители» (dyes)- π -сопряженные структуры, в которых одновременно присутствуют электронодонорные и электроноакцепторные группы, связанные друг с другом через мостики (спейсеры, линкеры) разной природы [1]. Электроноакцепторная часть этихл-сопряженных систем нередко включает дефицитные ароматические азотсодержащие гетероциклы, в частности, пиридин, пиримидин, хинолин, хиноксалин и другие бензазины [2]. Соединения такой природы за-

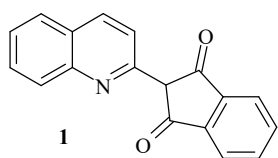


Рис. 1. Хинофталон желтый 1

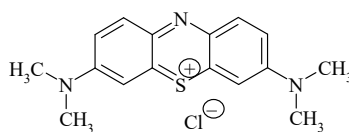


Рис. 2. Метиленовый синий

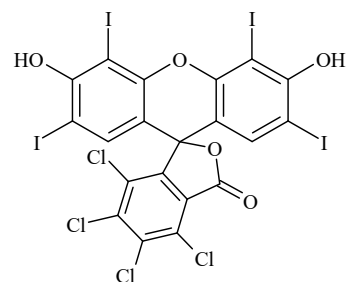


Рис. 3. Бенгальская роза

Области использования хинофталонов разнообразны; замещенные хинофталоны служат исходными соединениями для создания фармацевтических препаратов [10]. Хорошо известна способность хинофталонов выступать в качестве лигандов, образующих устойчивые комплексы с различными катионами металлов, например, с катионами кобальта, никеля и меди [11–12]. Описано антикоррозионное действие хинофталонов и их аналогов, пиррофталонов, содержащих не хинолиновый, а пиридиновый цикл в своей структуре, исследована корреляция между структурой замещенных хинофта-

частую представляют собой основу электроактивных материалов, обладающих проводимостью n -типа, возникновение которой связано с высоким сродством к электрону, свойственным этим гетероциклам [3–8]. К таким соединениям можно отнести и хинофталоны (QPH, QY), производные хинофталона желтого (хинолинового желтого) **1** (рис. 1) [9], обладающие достаточно протяженной π -сопряженной системой, электронная плотность которой в целом понижена за счет присутствия в их структуре хинолинового цикла и β -дикетонного фрагмента. Эти соединения можно рассматривать как хинолин, содержащий во втором положении в качестве заместителя электроноакцепторный фрагмент – индан-1,3-дион [10–12], а также как 2-замещенные 1,3-индандионы.

лонов и их эффективностью как антикоррозионных реагентов [13]. Некоторые производные хинофталона **1** использованы при создании жидкокристаллических дисплеев [14]. Замещенные хинофталоны широко используются в качестве красителей в пищевой, бумажной и текстильной промышленности. Чаще всего хинофталоновые красители, относящиеся к классу дисперсных красителей, обладают яркими цветами и светостойкостью [15], что важно для любого красителя. Тем не менее, под действием света может происходить их фотосенсибилизированное окисление, и, как результат, исчезает

или меняется окраска. Ключевую роль в этом процессе играет синглетный кислород. Авторами работы [16] исследовано окисление хинофталона **1** в присутствии таких фотосенсибилизаторов как метиленовый синий ($\lambda_{\max} = 656$ нм, рис. 2) и бенгальская роза ($\lambda_{\max} = 566$ нм, рис. 3); протестировано несколько систем растворителей, среди них – метанол, ацетон, смесь хлористый метилен и метанол (9:1); найдено, что во всех случаях происходит разрушение струк-

туры хинофталона с образованием разных соединений, в частности, фталевой кислоты, диметилфталата (если реакционная среда – метанол), хинолин-2-карбоновой кислоты и следовых количеств хинолин-2-карбальдегида. Авторами предложено объяснение появлению обнаруженных продуктов окисления хинофталона, по мнению авторов наиболее легко окисляется одна из таутомерных форм хинофталона **1** (рис. 4), а именно таутомерная форма **1b** (схема 1).

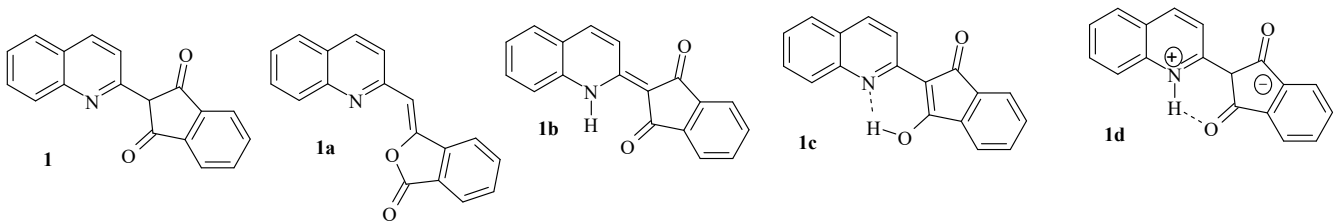


Рис. 4. Таутомерные формы хинофталона желтого **1** [17]

Хинофталон существует в нескольких таутомерных формах; А.Е. Чичибабин считал, что таутомерные формы хинофталона имеют строение **1** и **1a** (рис. 4) [17]. В настоящее время форму **1a** чаще называют «изохинофталон». В более

современных источниках утверждается, что таких таутомерных форм больше, и, что кроме общепринятой формы **1** и изохинофталона **1a** существуют формы **1b-1d**: енамион **1b**, кетоенол **1c** и цвиттер-ион **1d** [18–19].

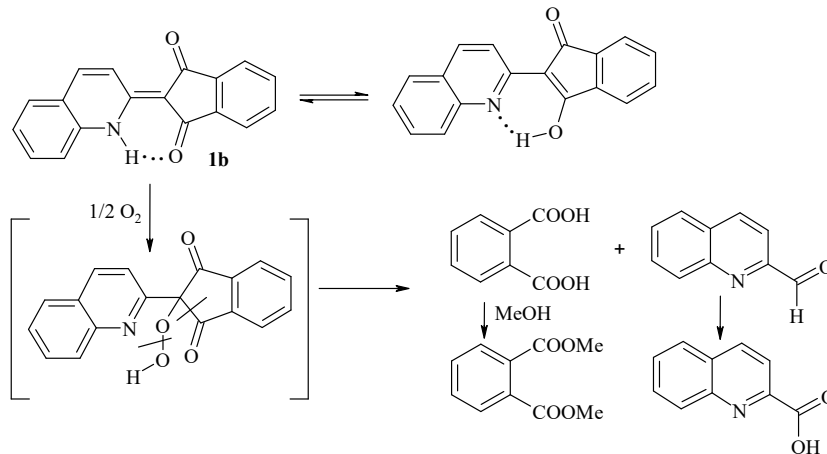


Схема 1. Схема фотосенсибилизированного окисления [16]

Авторы работы [11] считают, что в невозбужденном (основном) состоянии наиболее устойчивой формой является форма **1b**, что подтверждено исследованиями с применением ЯМР спектроскопии и квантово-химическими

расчетами. В этой форме хинолиновый и фталонный циклы хинофталоновой системы связаны двойной связью, что делает их практически копланарными и приводит к образованию более эффективной системы сопряжения. Расчеты

авторов работы [11, 19] показали, что в невозбужденном состоянии форма **1c** (кетенол) энергетически не выгодна и не устойчива. На рис. 5 приведена схематическая энергетическая диаграмма двух таутомерных форм хинофтало-

на **1b** (**E**) и **1c** (**K**) с соответствующими геометриями молекулярных орбиталей для состояний S_0 , S_1 и S_2 ; исследование выполнено с помощью динамической модификации метода DFT-TDDFT [19].

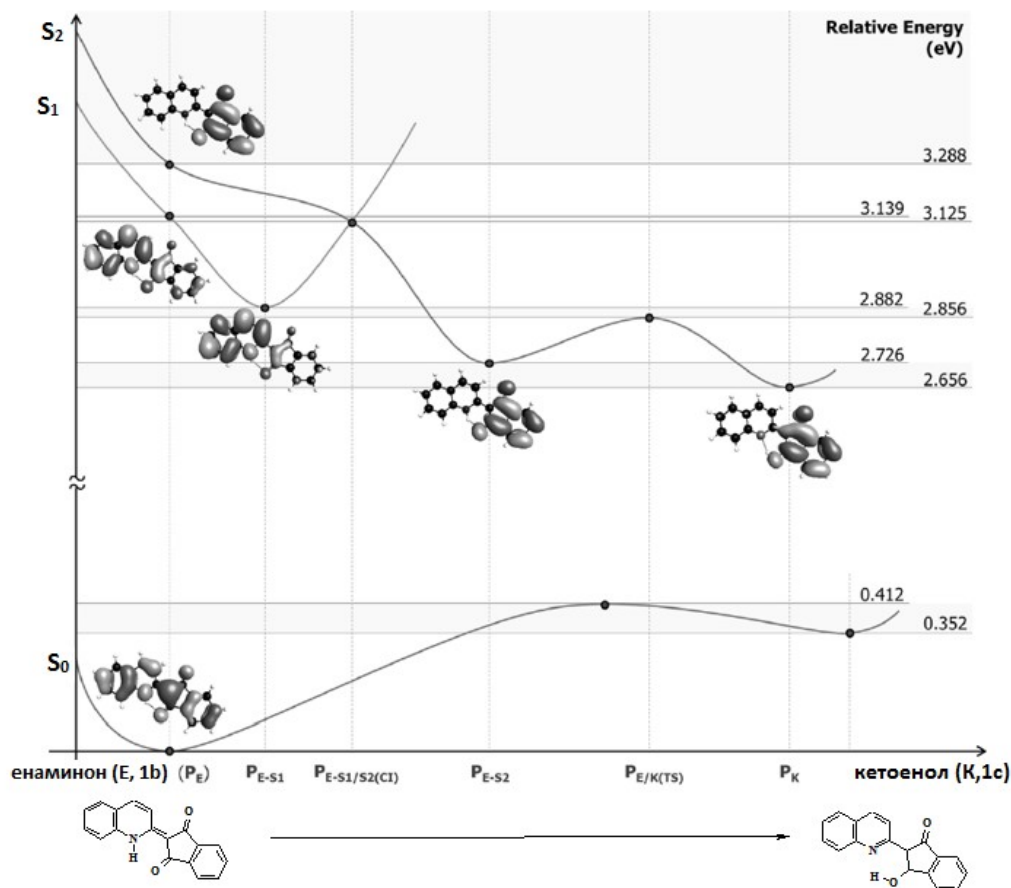


Рис. 5. Схематическое изображение энергетических диаграмм двух таутомерных форм хинофталола **1b** (**E**, енамин) и **1c** (**K**, кетенол) для состояний S_0 , S_1 и S_2 [19].

По мнению авторов работы [20], хинофтало- лон в форме **1** должен быть бесцветным, но хорошо известно, что хинофтало- лон **1** в основном состоянии обладает чистой зеленовато-желтой окраской, а при действии на него серной кислоты или раствором метилата натрия в метаноле происходит изменение окраски в область красного цвета, что связано с образованием соответствующих солей; то есть предпочтительными таутомерными формами хинофтало- лона, скорее всего, являются формы **1c** и **1d**. Подробным изучением структуры хинофтало- лона и близких

по структуре соединений в растворах подробно занималась исследовательская группа под руководством проф. Е.Т.К. Наурт; основным инструментом исследования авторами была выбрана спектроскопия ядерно-магнитного резонанса [21–23].

Нужно отметить, что хинофталоны являются частным случаем красителей, часто называемых фтало- лонами [18, 24, 25]. Вместо хинолино- вого фрагмента эти соединения могут включать в свой состав такие гетероциклы как пиридин, бензимидазол, бензотиазол и др. (рис. 6). Кроме

того, фталоны часто классифицируют как мерцианиновые красители, не содержащие открытой полиметиновой цепи; цепь сопряжения этих соединений ограничена атомами кислорода и азота, при этом атом азота и часть полиметиновой цепи входят в структуру самого гетероцикла [26]. Атомы азота во фталонах обладают слабыми основными свойствами из-за влияния присутствующих в их структуре остат-

ков фталевого ангидрида или ангидридов других циклических 1,2-дикарбоновых кислот, оттягивающих на себя электронную плотность азотсодержащего кольца. Это же воздействие вызывает появление у фталонов слабых кислотных свойств, что проявляется в существовании таутомерных форм **1c** и **1d** (рис. 4), в структуре которых есть стабильная водородная связь (**1c,d**) и устойчивый анион (**1d**) [18].

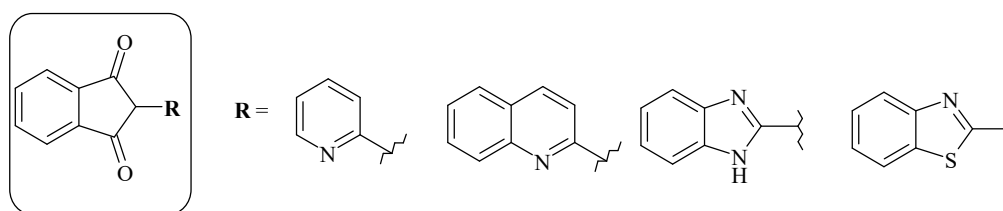
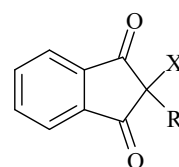


Рис. 6. Примеры фталонов

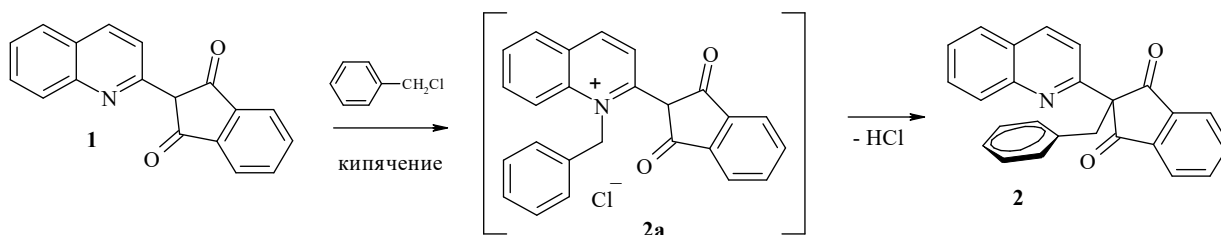
В обзоре О.Я. Нейланда и Я.Я. Каценса [18] достаточно подробно описаны химические свойства различных фталонов. Показано, что эти соединения чаще всего не ацилируются, окисляются разбавленной азотной кислотой с образованием фталевых кислот, реагируют с концентрированной азотной кислотой с образованием 2-нитрозамещенных (рис. 7, X = NO₂); при действии брома чаще всего образуют бесцветные 2-бромпроизводные (рис. 7, X = Br), а при действии SOCl₂ — бесцветные 2-хлорпроизводные фталонов (рис. 7, X = Cl). Алкилирование хинофталонов приводит, главным образом, к получению N-алкилхинофталонов.



R = 2-пиридил, 2-хинолил и др.
X = NO₂, Br, Cl, -CH₂Ph

Рис. 7. Общая формула продуктов реакций

Найдено, что в случае длительного кипячения хинофталона **1** с бензилхлоридом в среде нитробензола, был получен 2-бензилхинофталон **2**, образование которого, скорее всего, происходит через предварительное получение соли N-замещенного хинофталона **2a** (схема 2).

Схема 2. С-бензилирование хинофталона **1**: получение хинофталона **2**

Многие из полученных в настоящее время хинофталонов обладают сольватохромными свойствами и восприимчивы к изменению pH среды. В ряде исследований показано, что хинофталоны обладают отрицательным сольватохромизмом, то есть их максимумы поглощения претерпевают гипсохромное смещение при увеличении полярности растворителя [18, 19, 27, 28].

Впервые «классический» хинофталон **1** был синтезирован Якобсеном в 1882 г. взаимодействием хинальдинасфталевым ангидридом в присутствии хлорида цинка (схема 3) [29, 30].

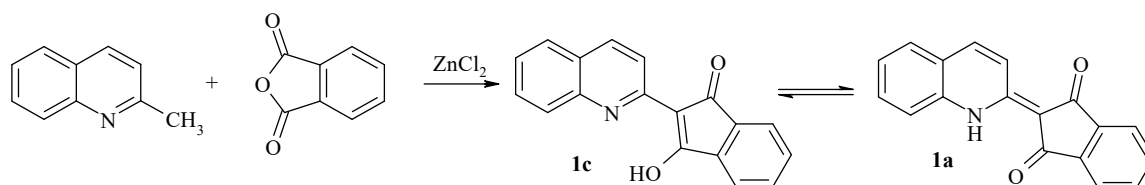


Схема 3. Пример хинофталонового синтеза

Считается, что фталоновая реакция начинается с атаки одной из карбонильных групп ангидрида, активированной взаимодействием с хлоридом цинка, на метильную группу 2-метилхинолина, далее происходит стадия при-

Этот процесс чаще всего называют «хинофталоновым синтезом» или «фталоновой реакцией». Метод, состоящий в конденсации фталевого ангидрида сметильными группами, входящими в состав электронодефицитных азаетероциклов (пиридинов, хинолинов, хиноксалинов и др.) под действием кислот Льюиса (чаще всего – хлорида цинка), остается основным методом синтеза фталоновых красителей. Условиями его выполнения чаще всего является сплавление реагентов при 200–220⁰С либо их нагревание в высококипящем инертном растворителе, например, в о-дихлорбензоле.

соединения и последующее образование изохинофталонона **1a**, пятичленный цикл которого раскрывается в условиях реакции и затем снова замыкается в новый более устойчивый цикл соединения **1** (схема 4).

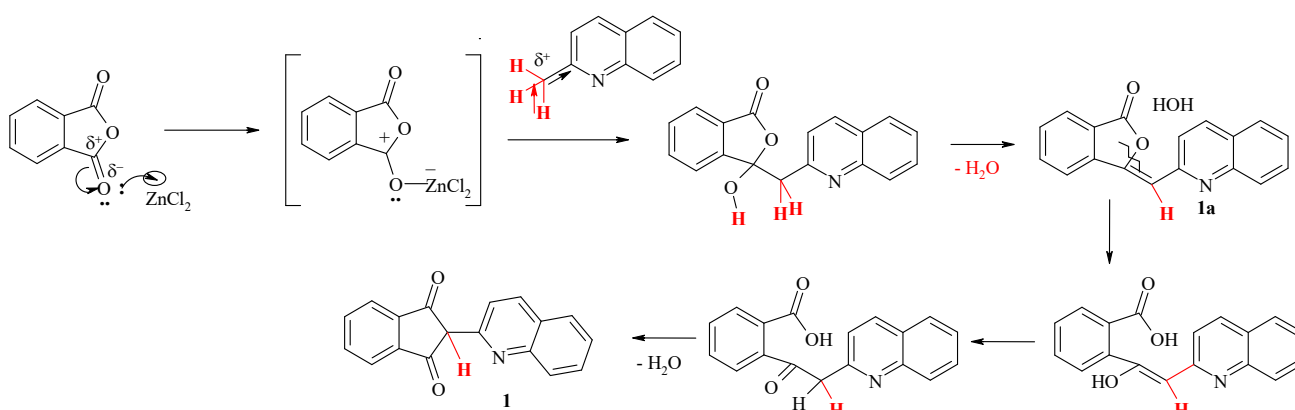


Схема 4. Предположительный механизм образования хинофталонона **1** [31]

Замещенные хинофталоновые красители широко представлены в патентной литературе, начиная с первой половины XIX века (например [32,33]), и в настоящее время патенты ос-

таются основным источником информации об этих соединениях. На странице поисковой системы GooglePatents в разделе C09 (Organic dyes or closely-related compounds for producing dyes;

Mordants; Lakes) [34] представлены web-адреса 233 патентов, касающихся синтеза, свойств и использования хинофталоновых красителей (МПК – C09B 25, Quinophthalones).

Так, в патенте [35] описан синтез хинофталоновых красителей, структуры некоторых из них представлены на схеме 5 (соединения **5,6**); патент содержит описание методик, использованных для получения исходных соединений – замещенных хинальдинов, в частности, 5-хлор-8-(*n*-хлорфенил)хинальдина **4** и 8-фенилхинальдина **3**, для чего была использована реакция соответствующих *o*-аминодифенилов с кротоновым альдегидом в среде нитробензола.

Как видно из схемы 5, целевые хинофталоны **5** и **6** получены нагреванием синтезированных замещенных хинальдинов **3,4** с фталевым

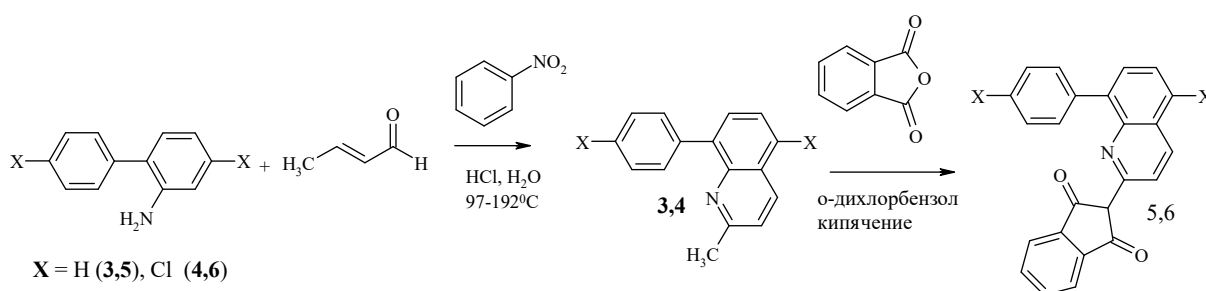


Схема 5. Получение фенилхинальдинов **3, 4** и хинофталонов **5, 6**

Несколько иной способ получения сульфированного хинофталонона **7**, более известного как хинолиновый желтый WS/SS (Acid Yellow 3 или E104), и его аналогов описан в патенте [36]. В отличие от привычного порядка, состоящего первоначально в выполнении хинофталонового синтеза и последующего сульфирования полученных продуктов, в этом случае хинофталоновый желтый **7** синтезирован конденсацией предварительно синтезированной натриевой соли 2-метил-6-хинолинсульфоновой кислоты с фталевым ангидридом в среде ДМФА, исполь-

ангидридом в среде *o*-дихлорбензола в отсутствии хлорида цинка. Хинофталоны **5** и **6** представляют собой желто-оранжевые вещества, хорошо растворимые в спирте и обладающие хорошими красящими свойствами. Так как для успешного процесса крашения наиболее удобны водорастворимые красители, авторами патента [35] выполнено сульфирование полученных хинофталонов последовательным действием концентрированной серной кислоты при 30–33°C и 35 % олеума при 40°C. Окончание сульфирования определялось по растворимости реакционной массы в воде (3 капли реакционной массы должны раствориться в 10 каплях воды). Продукты реакции выделяли в виде их натриевых солей, их структура в тексте патента не приводится.

зуемого и в качестве растворителя, и в качестве промотора, при нагревании реакционной массы в температурном интервале 160–200°C (схема 6). Этим же методом получен хинофталонон **8**.

Полученные этим методом красители обладают ярким зелено-желтым цветом и пригодны для окрашивания целлюлозы, в частности, бумаги в водной среде при pH ~ 4–6.

В патенте [37] представлен способ получения хинофталонов, в частности, хинофталолина желтого (D & C Yellow 11), то есть классического хинофталонона **1**, состоящий в конденсации

хинальдина с молярным избытком фталевой кислоты или фталевого ангидрида, причем кислота или ангидрид используются и в качестве реагента, и в качестве реакционной среды. Ав-

торами патента показано, что фталевая кислота и фталевый ангидрид могут применяться вместе: один в качестве среды реакции, другой – в качестве реагента.

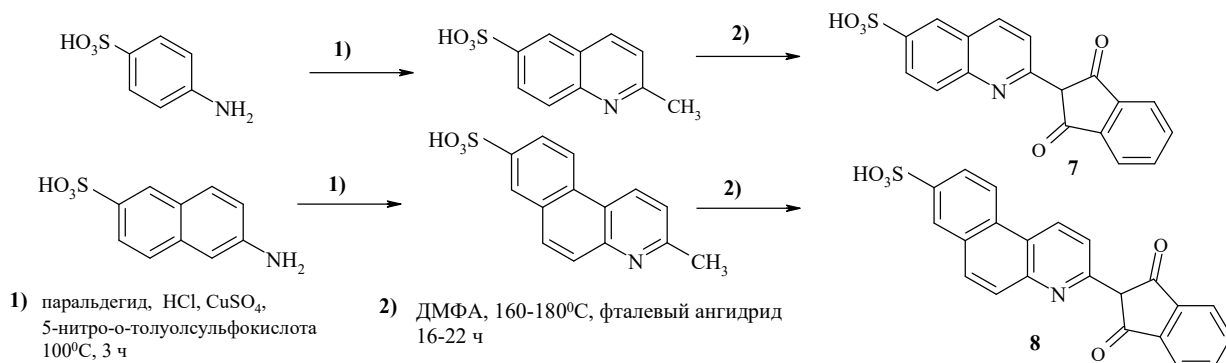


Схема 6. Синтез хинофталонов группы 7 и 8

В работе [38] описано получение аналогов хинофталонов – фталидов 9–11, исходными для которых служили замещенный или незамещенный фталевый ангидрид и бензотиазол, содержащий во втором положении активированную метиленовую группу (схема 7). Фталоны груп-

пы 9 и группы 10 синтезированы в присутствии ацетата калия как катализатора с выходом 60–70%. Нагреванием компонентов в избытке триэтиламина и пиридина в течение 3 ч получены 1,3-индандионы группы 11 с выходом 75–85%.

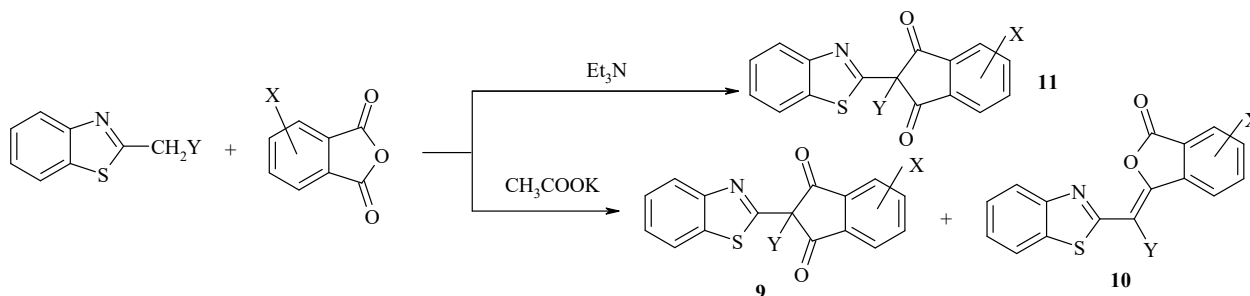


Схема 7. Получение красителей 9–11 (Y = H, CN; X = H, NO₂) [38]

Соединения 9–11 окрашены в желтый или красный цвета, плохо растворимы в обычных органических растворителях, хорошо растворимы в ДМФА, ДМСО и нитробензоле. Авторами работы показано, что полученные соеди-

нения также, как и классический хинофталон желтый могут существовать в виде нескольких таутомерных структур, представленных на рис. 8.

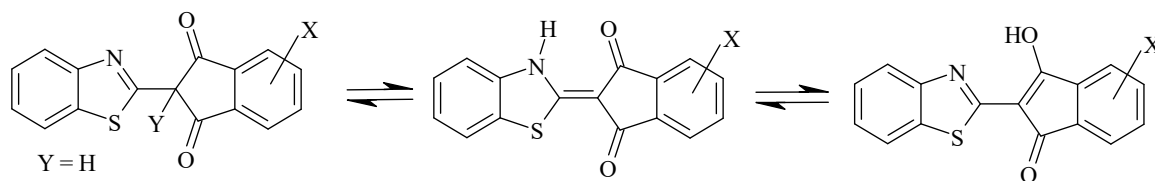


Рис. 8. Таутомерные структуры хинофталоновых красителей группы 9

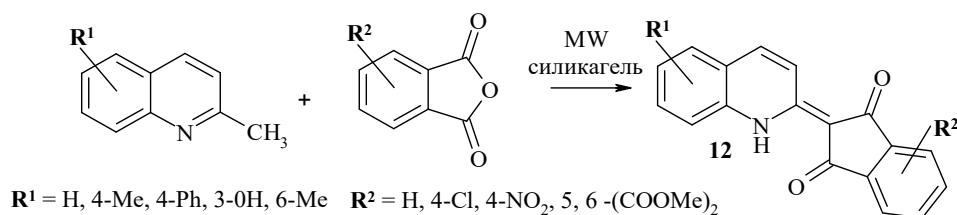


Схема 8.

Н. Loghmani-Khouzani *et al.* [39] предложили ускоренный способ получения замещенных хинофталоновых красителей группы **12** конденсацией замещенных фталевых ангидридов и замещенных хинальдинов без использования растворителя под действием микроволнового излучения и катализатора. В качестве катализаторов были использованы окись алюминия, монтмориллонит K10 Clay, силикагель. Выходы красителей, полученных при использовании силикагеля в качестве катализатора, оказались очень высокими и составили 80–97% (схема 8, табл. 1). Sh. D. Khalili *et al.* [40] предложили получать хинофталоны конденсацией фталевого ангидрида с хинальдином в присутствии кислот Льюиса, отличающихся от хлорида цинка (схема 9, табл. 2). В случае использования эфира трифтористого бора в качестве катализатора авторы не использовали растворитель, а кипятили в условиях кипения $\text{BF}_3/\text{Et}_2\text{O}$ (125–127°C). В таблицах 2–4 приведены выходы целевых продуктов этой конденсации в зависимо-

сти от природы использованной кислоты Льюиса и длительности реакции (табл. 2), в зависимости от количества введенной в реакцию кислоты Льюиса (табл. 3) и от природы заместителей в «хинальдиновой» (R^1) и «ангидридной» (R^2) частях получаемого красителя (табл. 4).

Таблица 1

Выход хинофталона **12** ($R^1=R^2=\text{H}$)

Выход хинофталона	Время, мин	Катализатор
15	8	без катализа
35	5	Al_2O_3
30	5	K-10 Clay
97	2	силикагель

Таблица 2

Влияние природы катализатора на выход хинофталона **12** ($R^1 = R^2 = \text{H}$)

Катализатор	Время, мин	Выход, %
$\text{BCl}_3/\text{TГФ}$	12	30
$\text{BF}_3/\text{Et}_2\text{O}$	12	70
ZrCl_4	20	25
SnCl_4	15	50
AlCl_3	20	25

Таблица 3

Влияние концентрации катализатора на выход хинофталона **12** ($R^1 = R^2 = \text{H}$)

BF_3 , ммоль	0,0	0,05	0,07	0,09	0,1	0,2	0,3	0,4
Выход, %	0	25	47	70	85	91	91	91

В результате исследования было выявлено, что с наиболее высоким выходом был получен незамещенный классический хинофталон **1** при использовании эфира трифтористого бора и как катализатора, и как растворителя в количе-

стве 0,2–0,4% в пересчете на BF_3 . Введение в структуру ангидрида такого сильного электроноакцепторного заместителя как нитрогруппа, приводило к понижению выходов целевых хинофталонов.

Таблица 4

Влияние заместителей на выход продукта реакции (кипячение, 200°C, BF₃/Et₂O)

R ¹	R ²	Время, мин.	Выход, %
H	H	14	91
H	4-Cl	13	79
H	4-Br	13	68
H	3-NO ₂	15	64
H	4-NO ₂	17	66
6-CH ₃	H	15	76
6-CH ₃	4-Cl	13	70
6-CH ₃	4-Br	15	67
6-CH ₃	3-NO ₂	14	61
6-CH ₃	4-NO ₂	15	54

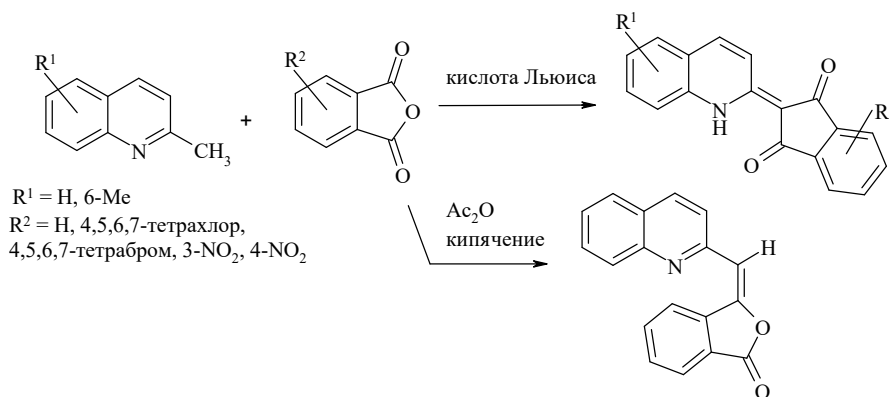
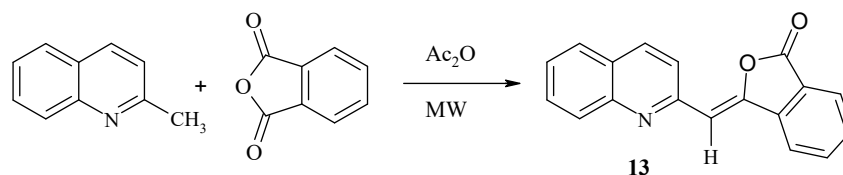


Схема 9

S. Sangher *et al.* разработали метод синтеза бетаиновых красителей с использованием солей хинолиния и разнообразных 1,3-дикарбонил-содержащих соединений, в частности и циклического строения (рис. 9, схема 11) [42]. Для выполнения такой конденсации использовалось

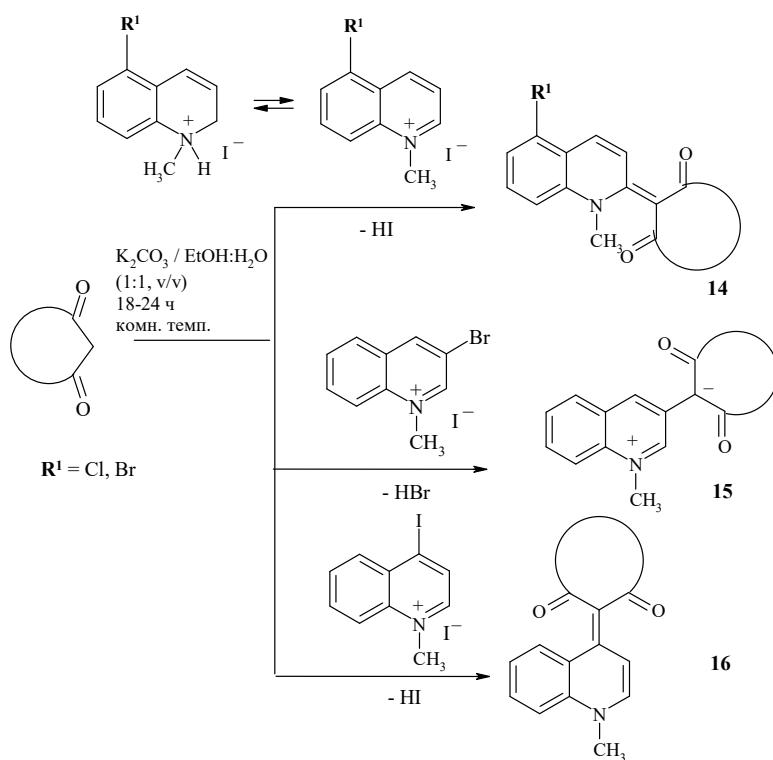
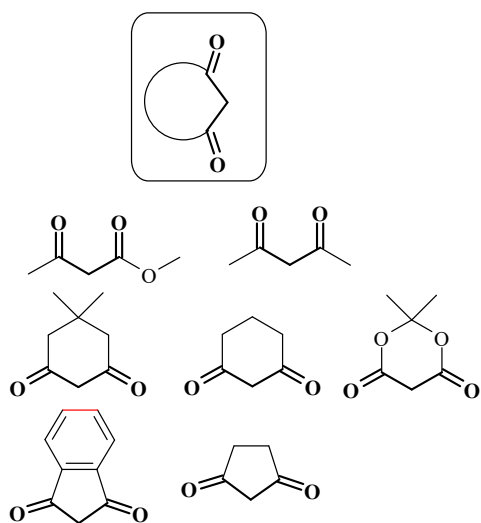

 Схема 10. Получение изобензофуранона **13** [41]

C³-замещенные производные хинолиния **15**, являющиеся структурными изомерами хинофталонов, представляют собой бетаиновые красители (рис.10), некоторые из которых обладают сольватохромными свойствами, а также чув-

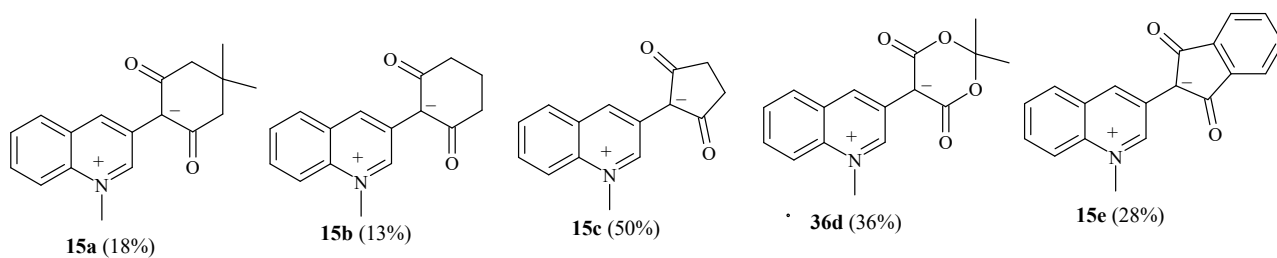
J. Safari *et al.* [41] подтвердили ранее ими же обнаруженный факт, состоящий в том, что при использовании уксусного ангидрида как реагента для связывания воды (десиканта) в условиях микроволнового излучения фталоновая конденсация завершается образованием соединения **13**, чаще называемого изобензофураноном или изохинофталоном, с выходом 85% (схема 10). В качестве десикантов авторами были испробованы CaCl₂ (б/в), P₂O₅, Na₂SO₄ (б/в), As₂O, CaCO₃ (б/в), выходы соединения **13** соответственно составили 10, 15, 30, 85, 0 %.

перемешивание реагентов в водно-спиртовой среде при комнатной температуре в присутствии основного катализатора (карбонат калия). Синтезированные бетаины **14** и **16** можно рассматривать как аналоги хинофталонов.

ствительны к изменению pH среды; кроме того, эти соединения чувствительны к содержанию воды и частично растворимы в ней за счет наличия их структурной кристаллической решетки.

Схема 11. Получение бетаиновых красителей **14-16**[42]Рис.9. Исходные β -дикетоны для синтеза красителей

Бетаиновый краситель **15c** относится к группе ацидохромных красителей; водные растворы этого соединения бесцветны в кислых условиях, но при $pH \geq 7$ цвет растворов становился желтым. Предполагаемые структуры, участвующие в этой равновесной системе, показаны на рис. 11. Подобное равновесие наблюдалось для солей **15a** и **15b**, но не было обнаружено для растворов фталона **15e**, что, вероятно, объясняется делокализацией электронов в ароматическом кольце 1,3-индандионового фрагмента.

Рис. 11. Структура бетаиновых красителей **15 a-e**

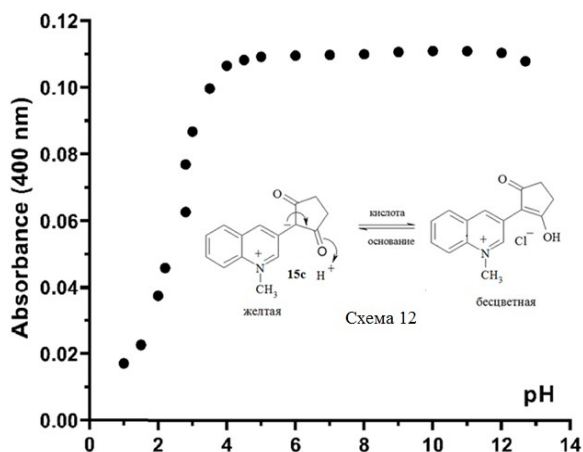


Рис. 11. Изменение интенсивности поглощения **15c** в зависимости от pH среды ($\lambda=400$ нм)

Краситель **15c** проявлял сольватохромные свойства, при этом цвет растворов изменялся от желтого до красно-оранжевого. Оптические характеристики красителей **15a–c**, полученные

для растворов этих соединений в разных растворителях, приведены в табл.5. Внешний вид спектров поглощения красителя **15c** показан на рис. 12 (в зависимости от pH раствора) и на рис. 13 (в зависимости от природы растворителя). Исследование, выполненное авторами, показало, что этим красителям не свойственна флуоресценция

Таблица 5

Значения максимумов поглощения (λ_{\max}) и коэффициентов молярного поглощения (ϵ) соединений **15a–c**, **15e** в разных растворителях

	MeOH	MeCN	CHCl ₃
15a	429 (2818)	474 (3715)	477 (2818)
15c	426.5 (2398)	426 (3090)	465(2511)
15b	426 (3981)	468 (4897)	477 (4266)
15e	426 (7413)	484 (7413)	506 (6025)

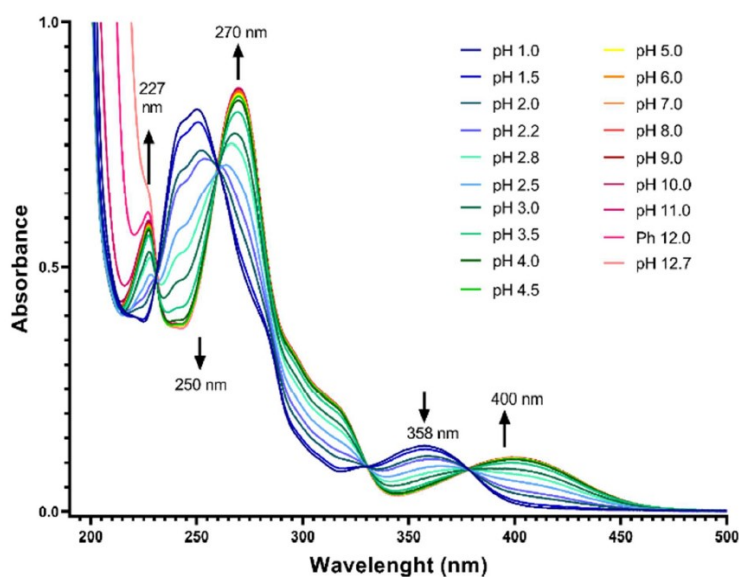


Рис. 12. УФ-vis спектры поглощения соединения **15c** в зависимости от pH среды

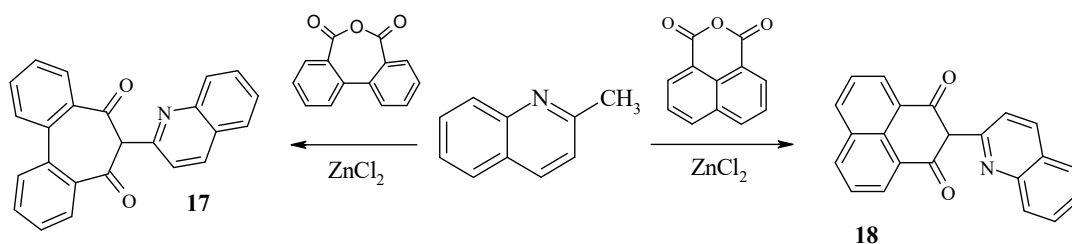


Схема 13. Синтез хинофталонов **17** и **18**

Известно, что разнообразно замещенные диимиды перилентетракарбоновой кислоты

(PDIs) интенсивно исследуются как перспективные фотоактивные материалы, которые мо-

гут быть использованы в различных областях органической электроники, что связано с их исключительной термической и фотохимической устойчивостью, высокими квантовыми выходами и, часто, нелинейно оптическими свойствами.

Нафталевый и дифеновый ангидриды были использованы авторами работы [43] в хинофталоновом синтезе; при этом были получены хинофталоновые красители **17**, **18** (схема 13). При сплавлении со щелочами образовывались кубовые красители фиолетового цвета, пригодные для окрашивания. После сульфирования соединения **17** и **18** переходили в субстантивные красители, являющиеся аналогами хинолинового желтого. Модификация структуры PDIs может быть выполнена как введением заместителей в ароматические циклы, так и внедрением заместителей к атому азота; появление таких заместителей увеличивает растворимость PDIs в

обычных органических растворителях, а также влияет на характер упаковки этих соединений в твердом состоянии. J. Feng *et al.* [44], используя в качестве исходных соединений N-n-бутиламид моноангирида-1,6,7,12-тетра(4-трет.-бутилфениокси)перилена-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты **19** и диангидрид 1,6,7,12-тетра(4-трет.-бутилфениокси)перилена-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты **20**, синтезировали очень близкие по структуре соединения **21** и **22** (схема 14), которые далее были использованы для получения флуоресцентных комплексов с эфиром трехфтористого бора **23** и **24**. Катализатором конденсации ангидридов **19** и **20** с 2-хинальдином служил хлорид цинка, предварительно высушенный с помощью SOCl_2 . Фотофизические свойства полученных красителей **21–24** показаны в табл. 6. Комплексообразование PDIs **21** и **22** с фиратом трехфтористого бора выполнено в среде сухого толуола при 80°C .

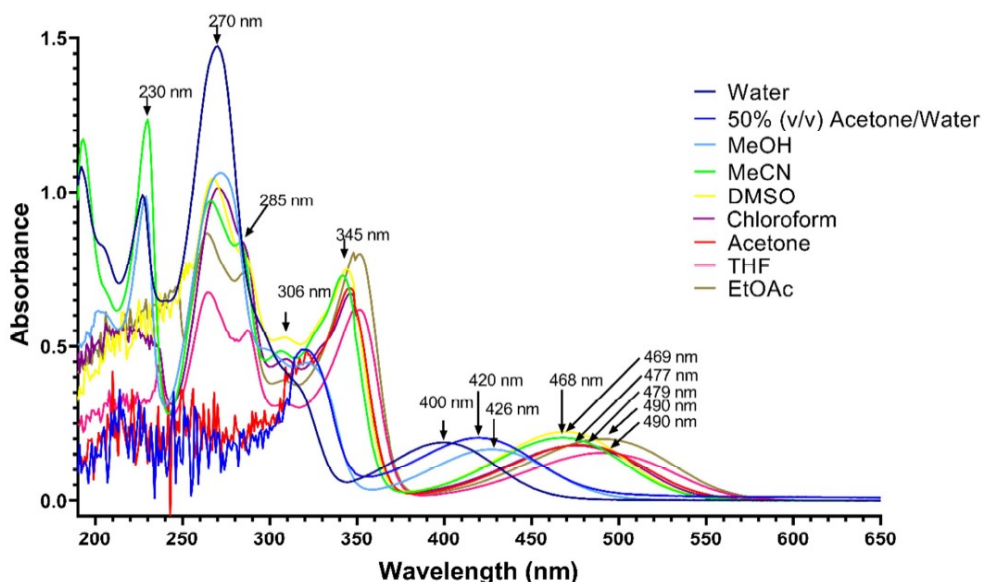


Рис.13. Вид УФ-спектров поглощения хинофталона **15c** (0,01 мг/мл) в различных растворителях

Хинофталоны **23** и **24** являются значительно более сильными акцепторами электронов по сравнению с родственными соединениями, например, с N,N'-дибутилдиимидом 1,6,7,12-

тетра(4-трет.-бутилфениокси)перилена-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты **25** (рис.14), и поэтому могут рассматриваться как потенциальные органические полупроводники n-типа.

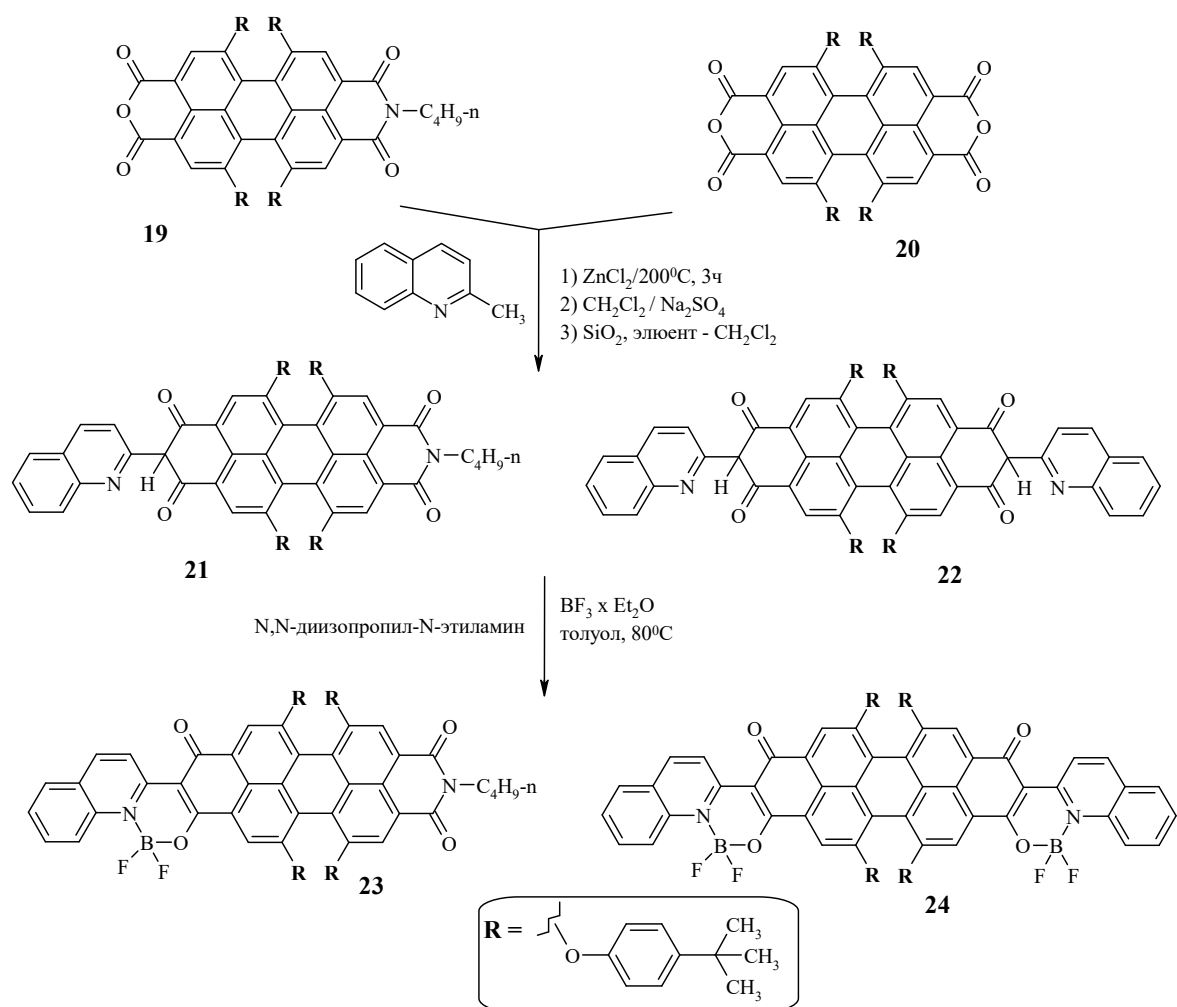


Схема 14. Синтез хинофталонов **21** и **22** и продуктов их комплексообразования $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ **23** и **24**

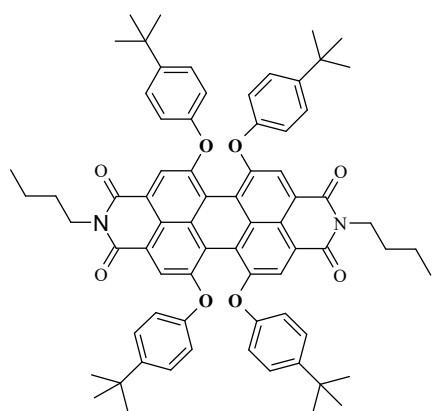


Рис. 14. Соединение сравнения **25**

Показано, что хинофталоны, полученные из замещенных или незамещенных хинальдинов и тетрагалоген замещенных фталевых ангидридов, обладают ярким желтым цветом, который

очень устойчив по отношению к воздействию света, но, как выяснилось, не устойчив по отношению к действию растворителей ароматического ряда.

Таблица 6

Фотофизические свойства хинофталонов **21–24**

	23	24	21	22	25*
λ_{abs} , нм	616	650	582	588	576
λ_{em} , нм	656	689	620	632	607
Φ_f , % – квантовый выход					
Толуол	53,6	35,0	56,8	55,1	100
ТГФ	47,1	34,2	46,4	44,6	100
CH_2Cl_2	50,0	34,7	66,2	58,8	100
τ , нс – длительность флуоресценции					
Толуол	5,01	4,42	3,52	3,37	6,40
ТГФ	4,97	4,41	3,46	3,33	6,97
CH_2Cl_2	5,45	4,77	4,29	3,89	6,85

Авторы работы «Study on quinophthalone pigments» [45] попытались повысить стойкость к органическим растворителям за счет димеризации молекул хинофталона, для чего была использована конденсация тетрагалогенфталевых ангидридов с 6,6'-бихинальдинами, которые были получены из бензидинов и кротонового альдегида с использованием синтеза Дёбнера-Миллера (схема 15). Получено двенадцать новых бисхинофталоновых пигментов ряда **26**.

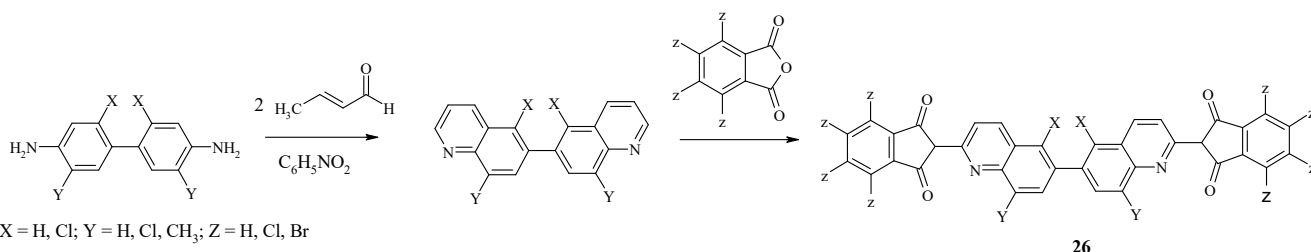


Схема 15. Общая схема получения бисхинофталонов ряда **26**

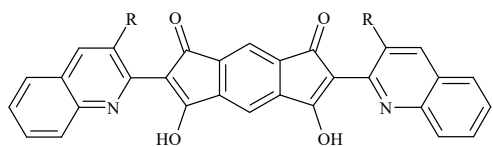
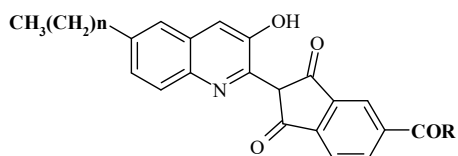


Рис. 15. Общая формула пигментов ряда **27**

Одним из применений хинофталоновых красителей является окрашивание жидкокристаллических веществ и органических полимерных материалов; для этих целей была разработана и запатентована структура хинофталоновых красителей группы **28**, структурная формула которых показана на рис. 16 [47].



28: R = -OAlk, -NHAlk, -OAr, n = 1 - 8

Рис. 17. Общая формула красителей ряда **28**

Основным недостатком соединений группы **28** является их недостаточная растворимость, как результат – наблюдается плохая совмести-

Описаны хинофталоновые красители ряда **27**, «обратные» хинофталонам ряда **26** (рис. 15) [46]. В этом случае в качестве терминальных фрагментов в молекулу красителя встроены остатки 2-метилхинолина, а центральным ядром служит остаток ангидрида пиромеллитовой кислоты. Красители этого ряда обладают красным или оранжевым цветом; на их основе были получены глазирующие (лакирующие) реагенты.

мость этих красителей с жидкокристаллическими веществами, что приводит к невозможности в достаточной мере прокрасить окрашиваемый материал, и создаваемая с использованием раствора этого красителя покрывающая пленка «краситель – органический полимер» не может обладать необходимой оптической плотностью. В связи с этим авторами была поставлена задача синтезировать такие красители, которые обладали бы высокой растворимостью в жидкокристаллическом веществе. В результате синтезирована и описана большая группа красителей **29**, относящихся к этому ряду, которые содержат заместители одновременно как в бензольном кольце фталового ангидрида, так и бензольном и/или пиридиновом циклах хинолина [47, 48]. Общие формулы этих соединений показаны на рис.17 (**R**₁ = H, Me, Et, n-Pr, iso-Pr, n-Bu, iso-Bu, sec-Bu, tert-Bu, n-Pe, n-Hex, n-Hp, n-Ос, cyclohexyl, cyclopentyl; гетероциклические фрагменты; **R**₂ = H, Hal, AlkO-, AlkS-,

ArS; Alk = Me, Et, n-Pr, iso-Pr, n-Bu, iso-Bu, sec-Bu, tert-Bu, n-Pe, n-Hex; Ar – замещенный фенил; R_3 и R_4 = N-замещенные амидные группы, заместители – алкильные группы C_2 – C_{18} , пара-замещенные бензольные циклы).

Хинофталоны, содержащие *симм.*-триазиновый цикл на конце N-замещенной амидной группы (**29a-c**), были разработаны специально для создания красителей, с помо-

щью которых можно окрашивать натуральные целлюлозные волокна (хлопок и пенька), а также смеси натуральных целлюлозных и синтетических полиэфирных волокон (ацетатный шелк, медно-аммиачный шелк); иногда между амидным атомом азота и бензольным кольцом фенокси- и фенилтио-групп может находиться алифатическая цепочка длиной до четырех атомов углерода (**29 c**) [48].

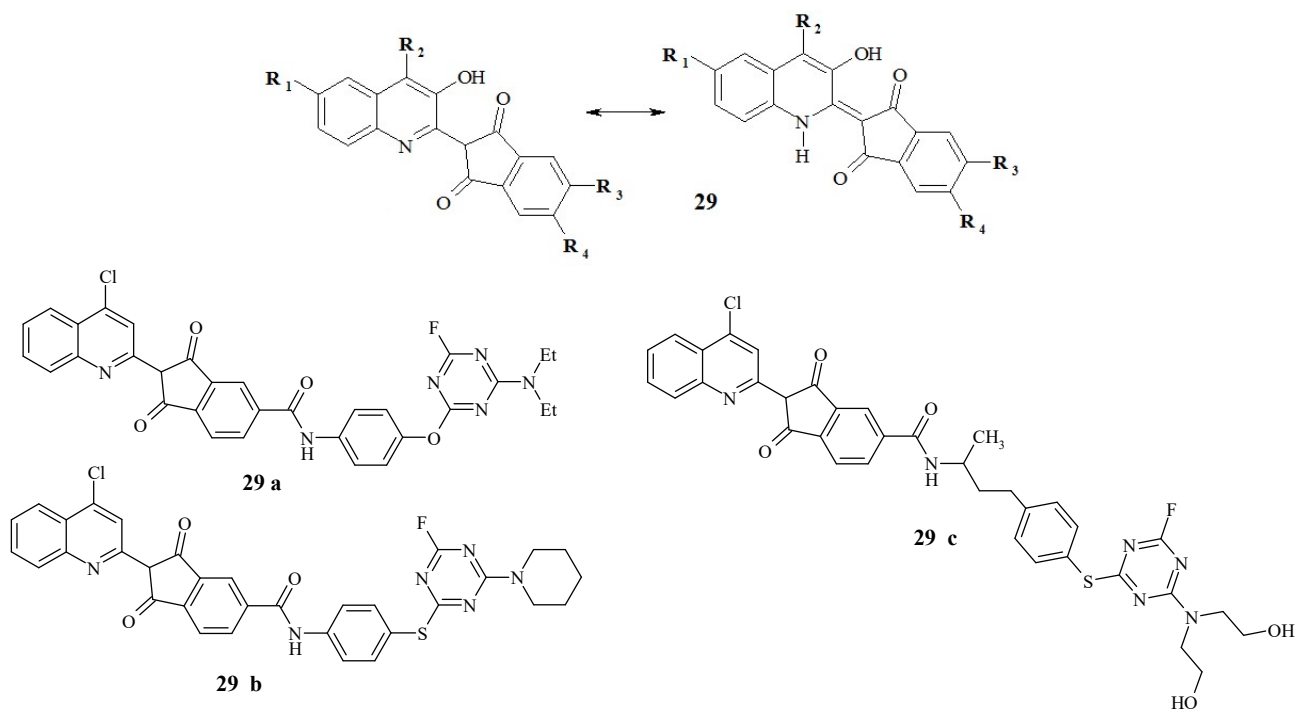


Рис. 17. Общая структура хинофталонов группы **29**, содержащих OH-группу при C^3 атоме хинолинового цикла и примеры синтезированных красителей [47, 48]

Авторы работы [47] утверждают, что красители группы **29**, например, **B**, **C**, **F**, **G** и **H** (схемы 16 и 17), синтезированные с использованием синтетических подходов, показанных на этих схемах, могут быть использованы при окрашивании жидкокристаллических веществ, находящихся в полимерной пленке. Для проверки были использованы такие полимеры, как полистирол (PS), АБС-пластик (ABS), полиметилметакрилат (PMMA), поликарбонат (PC), поливинилхлорид (PVC), полиэтилентерефта-

лат (PET) и волокно нейлон-6. Весовое количество добавленного красителя составляло 0,01–10%.

Большую группу хинофталоновых красителей составляют соединения, содержащие заместитель при 8-м атоме углерода хинолинового цикла, причем этот заместитель чаще всего является циклическим имидом соответствующих ди- и тетракарбоновых ароматических кислот (группа красителей **30**) [49]. На рис. 18 показана общая формула таких красителей,

приведены примеры и ссылки на литературные источники [49–57], в которых была опубликована подробная информация о конкретных методах получения и свойствах этих хинофталонов, а также описаны области их возможного

применения. Авторы указывают, что такие хинофталоновые красители устойчивы к воздействию света, влаги, а также термостабильны. Один из таких красителей носит название С.І. Pigment Yellow 138 (**31**) (схема 18) [49, 50].

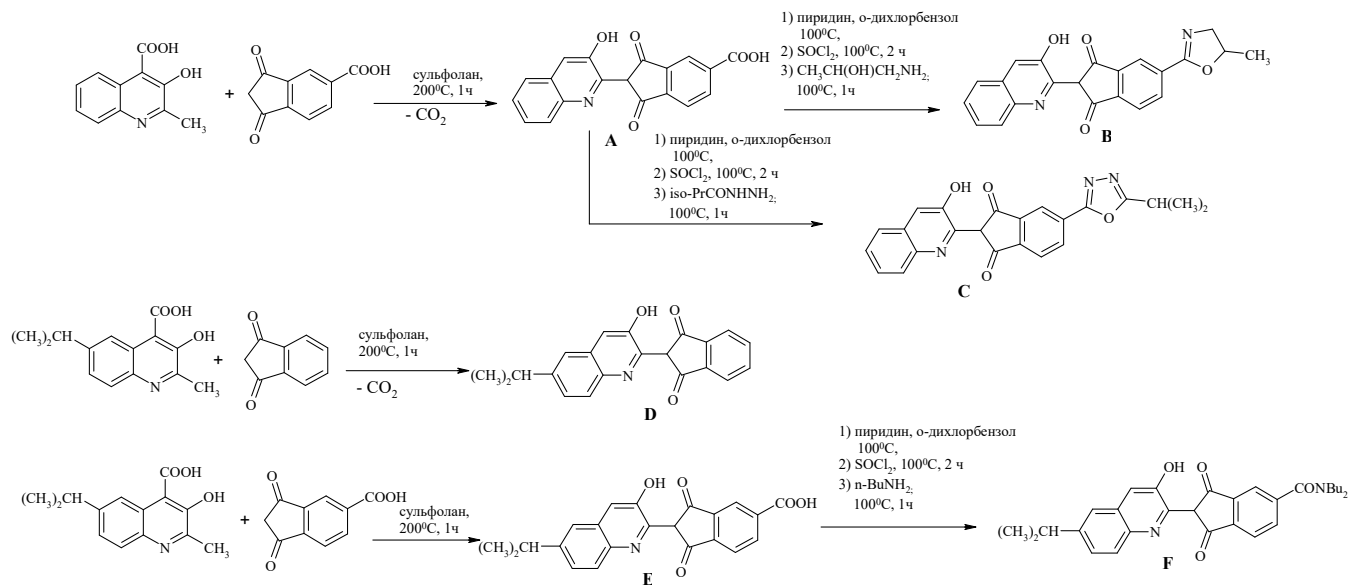


Схема 16. Схема синтеза красителей группы **29a - D, C, D, F**

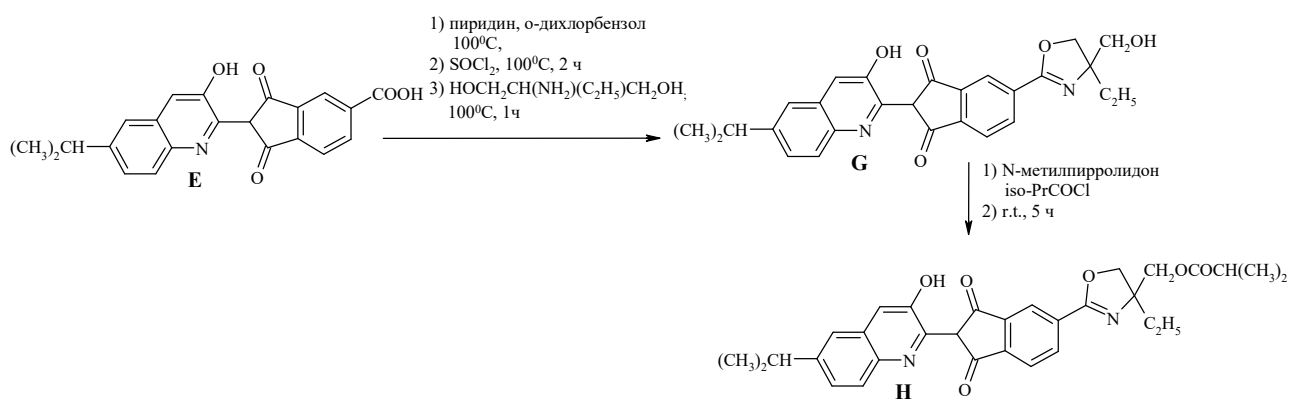


Схема 17. Схема синтеза красителей группы **29b - G, H**

В работе [50] описана молекулярная структура и кристаллическая упаковка (рис. 19) хинофталонона **35**, очищенного перекристаллизацией из толуола (рис. 20). В этом случае соединение существует в форме **35a** и обладает неплоским строением; плоскости фрагментов 2-(инден-2-ил)хинолина и изоиндолина повернуты вокруг связи C⁸-C²¹. Диэдральные углы между тремя плоскими частями составили 4,2 и 64,4°. Фрагменты 2-(инден-2-

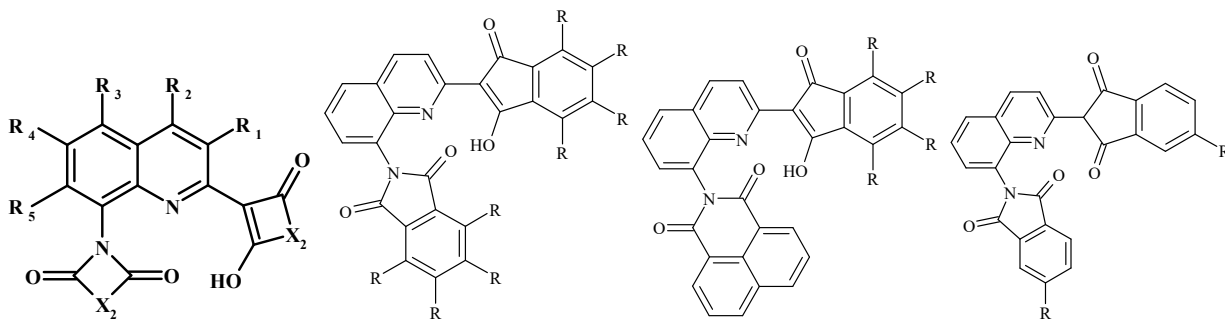
ил)хинолина уложены в стопки относительно друг друга. Между изоиндолиновыми фрагментами находятся молекулы растворителя.

На схеме 19 представлен синтез хинофталоновых красителей (пигментов) **QP1-QP4**, относящихся к группе красителей **35**.

Процесс выполняется в две стадии. Первоначально выполняется имидизация аминогруппы, для чего смешивают 1 экв. соответствующую

щего ангидрида с 1 экв. 8-аминохинолина, затем реакционную массу нагревают в течение 4 ч при 220⁰С в среде трихлорбензола, после чего в реакционную массу добавляют еще 1 экв. соответствующего ангидрида вместе с безводным хлоридом цинка и нагревают еще

5 ч. Выходы составили 52% (**QP1**, ярко-оранжевое твердое вещество), 40% (**QP2**, желтое твердое вещество), 55% (**QP3**, ярко-оранжевое твердое вещество), 51% (**QP4**, ярко-оранжевое твердое вещество); все пигменты тугоплавки, плавятся с разложением.



R₁, **R**₂, **R**_{3, **R**₅ - H, Hal, C₁-C₄ алкильные группы; **R**₄ - -SO₃H, SO₃⁻, NR₆R₇R₈R₉; -SO₂NR₆R₇; -CH₂NR₆R₇; -CH₂R₁₀; -COOH; -COON⁺R₆R₇R₈R₉; -COOR₁₁; -COR₁₁; -NO₂; C₁-C₄ алкил; **R**₆**R**₇**R**₈**R**₉ - H, Hal, C₁-C₂₂ алкильные группы или C₂-C₂₂ алкенильные группы, чья цепочка может быть разорвана внедрением таких атомов / групп, как -O-}

-S-; -NR₁₂-; -CO-; гидроксил, арил, галоген, 5-, 6- и 7-членные циклические заместители; **R**₁₀ - ; **R**₁₁ - алкил из группы заместителей R₆; C₁₂ - H или C₁-C₄ алкил; X₁, X₂ и X₃ - замещенный арилен; **R**₁₃ - C₁-C₃ алкил или фенил.

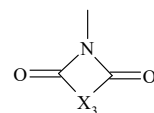


Рис. 19. Общая формула красителей группы **30** и примеры красителей этой серии [49–57]

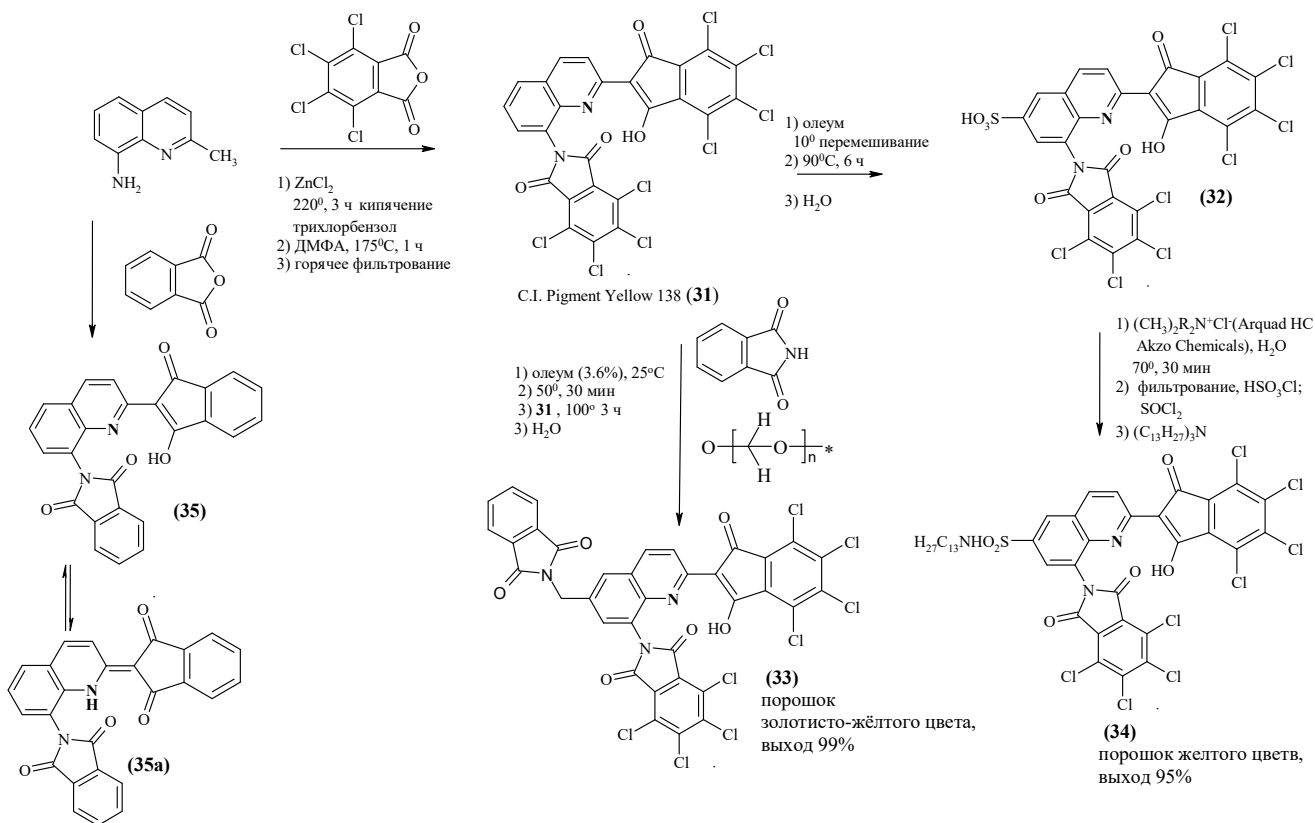


Схема 18. Схемы получения хинофталонов **31–35** [49,50]

Показано наличие водородной связи между атомом водорода хинолинового цикла и атомами кислорода карбонильных групп обоих ангидридных фрагментов (схема 19). Выполнено спектральное исследование полученных пигментов; УФ-спектры поглощения сняты для их

растворов в ацетате метилового эфира пропиленгликоля (PGMEA), показано, что во всех спектрах присутствует расщепленный максимум поглощения с длинами волн 426 нм и 452 нм (**PQ1**), 412 нм и 430 нм (**PQ2**), 430 нм и 456 нм (**PQ3**), 428 нм и 452 нм (**PQ4**).

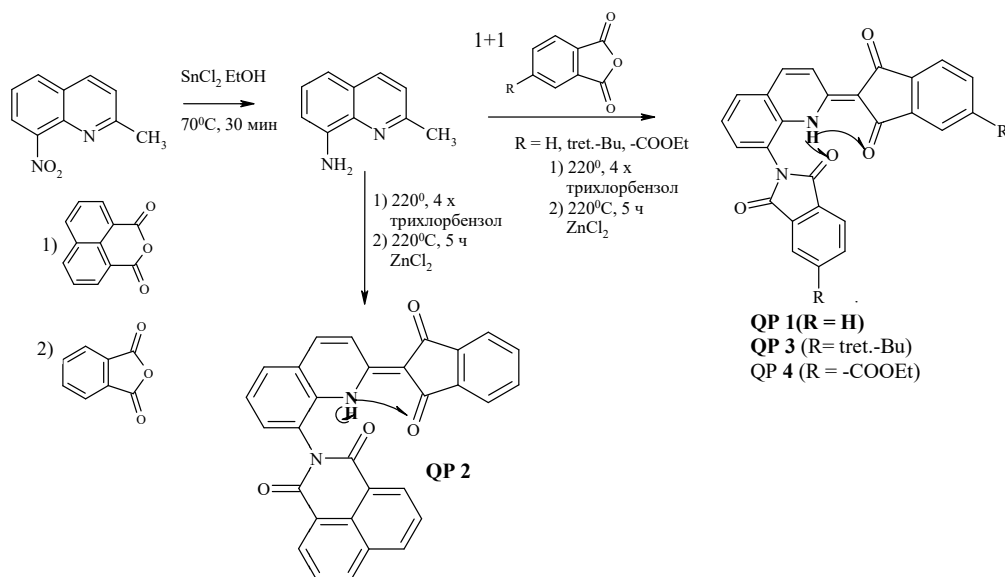


Схема 19. Получение хинофталонов **QP1–QP4** [57]

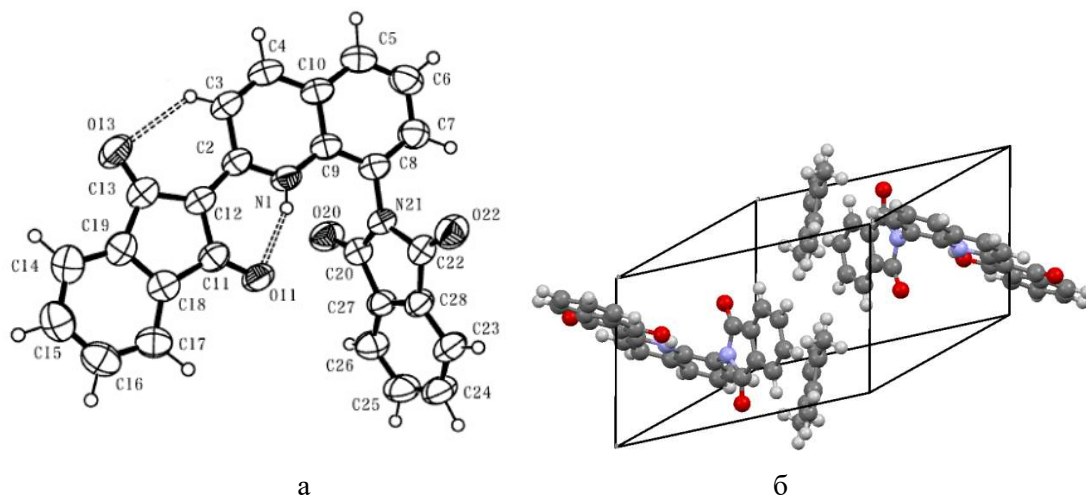


Рис. 20. Молекулярная структура в представлении неводородных атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью (а) и кристаллическая упаковка (б) соединения **35**

Хинофталоны **PQ3** и **PQ4** показали очень высокое значение молярного коэффициента поглощения - 34872 и 33545 л моль⁻¹см⁻¹. На основе синтезированных красителей были созданы цветные чернила, для чего раствор пигментов в PGMEA смешивали со связующим

веществом для акрила (LG Chemltd), затем наносили в виде тонкой пленки методом центрифугирования (MIDAS system SPIN 1200D) на прозрачные подложки и далее запекали 20 мин при 60°C, затем 10 мин при 90°C и 30 мин при 200°C. Все полученные образцы проверяли на

изменение цвета с помощью спектрофотометра ScincoColorMate, определяя соотношение Y_{\max}/Y_{\min} , где Y_{\max} – максимальная яркость,

Y_{\min} – минимальная яркость, используя ZoneTechcolorcontrasttester как инструмент для проверки цветового контраста.

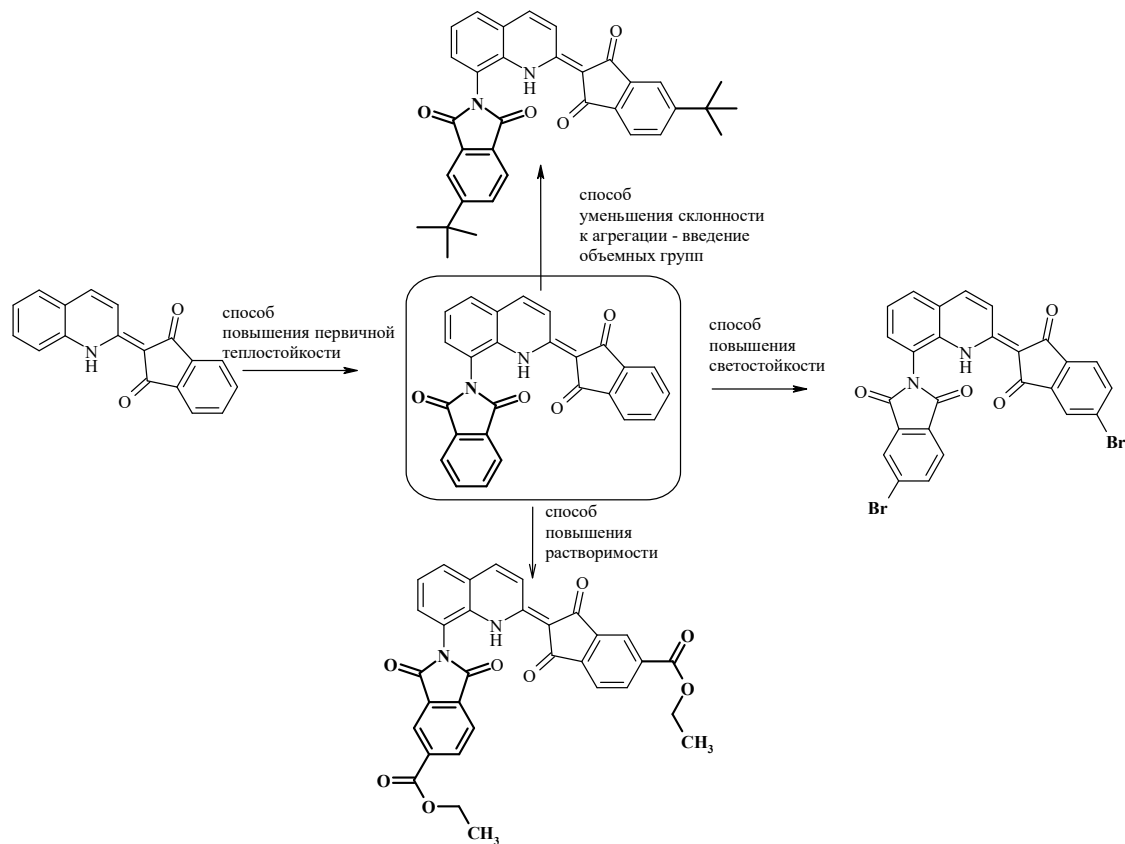


Рис. 22. Способы изменения структуры хинофталола

Конечной целью синтеза хинофталоновых красителей **PQ1–PQ4** являлось изучение влияния характера агрегации на свойства цветных ЖК-фильтров. Найдено, что эти красители пригодны в качестве красителей, компенсирующих желтый цвет. Показано, что их термическая устойчивость напрямую зависит от склонности молекул красителей к агрегации, что определяется структурой исследованных соединений. Коэффициенты пропускания цветных фильтров, созданные с использованием этих красителей, снижались по мере увеличения содержания красителя в цветных чернилах, и степень снижения была более значительной в случае красителей с более высокой склонностью к агрегации. Точно так же, когда цветные фильтры

многократно подвергались постобжигу, коэффициенты пропускания сильно снижались в случае красителей с более высокой тенденцией к агрегации. При измерении значений цветового различия до и после обжига, которые выражают термическую стабильность цветных фильтров, значения цветового различия у красителей с более высокой тенденцией к агрегации заметно увеличивались по мере повторения процессов обжига. Это также было связано с реагрегацией и миграцией молекул красителя при испарении растворителя. Авторы сделали вывод, что агрегация молекул красителей может быть основной причиной ухудшения оптических и термических свойств цветных фильтров, созданных на их основе красителей этой

группы. Этими же авторами получен патент, связанный с получением и исследованием соединений описанной выше группы с точки зрения возможности их применения как желтых красителей с высокой пропускной способностью для ЖК-дисплеев (LCD) [58]. Для синтеза

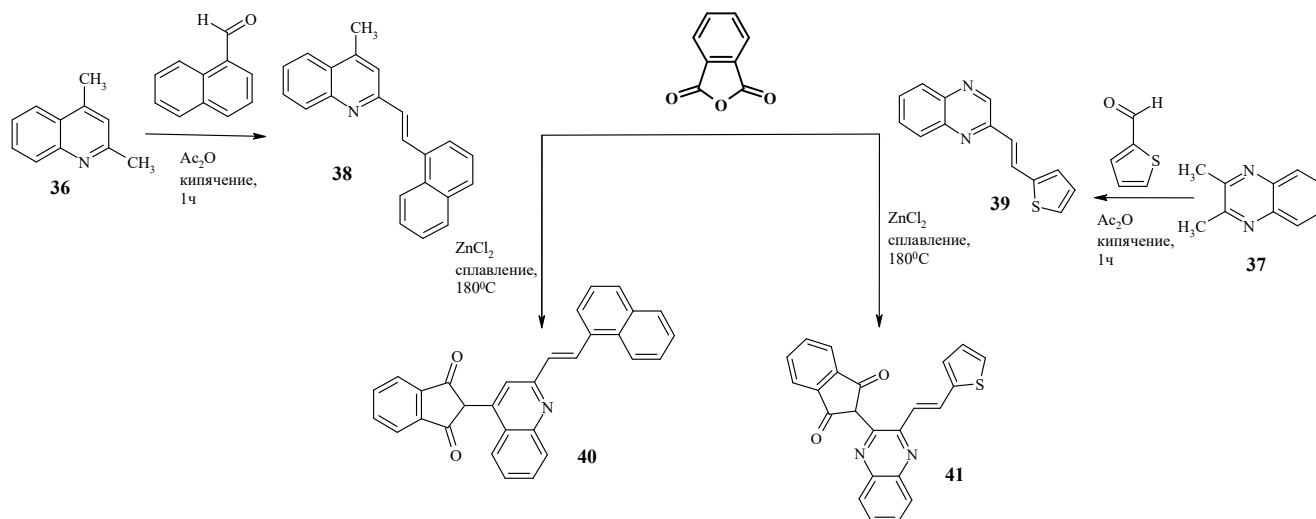


Схема 20

Синтезирована серия хинофталоновых красителей на основе 2,4-диметилхинолина **36** и 2,3-диметилхиноксалина **37** [59]. Конденсацией этих гетероциклов с 1-нафталинкарбальдегидом и 2-тиофенкарбальдегидом в уксусном ангидриде [60] получены несимметричные 4-метил-2-[2-(нафталин-1-ил)этинил]хинолин **38** и 2-метил-3-[2-(тиофен-2-ил)этинил]хиноксалин **39** (схема 20), синтезированные и описанные ранее [61]; структура стирена **38** подтверждена данными РСА (рис. 21) [61]. Далее выполнено сплавление соединений **38** и **39** с фталевым ангидридом в присутствии безводного хлорида цинка при 180°C. Получены соответственно красители **40** и **41** – твердые вещества ярко-оранжевого (**40**) и темно-красного (**41**) цветов, растворимые в ДМСО и ДМФА. Эти же соединения получены простым перетиранием компонентов в ступке.

использован подход, описанный в работе [57] (схема 19). На рис. 22 показан основной принцип введения заместителей в структуру хинофталонона, который авторы использовали, для придания синтезируемым красителям необходимых заранее заданных свойств.

Исследованы оптические свойства полученных красителей; на рис. 23 представлены УФ-спектры поглощения соединений **40** и **41**, на которых можно наблюдать гиперхромный эффект, проявляемый раствором соединения **40**. Спектры флуоресценции полученных красителей **40** и **41** показаны на рис. 24, на котором видно, что максимумы испускания соединения **41** претерпевают небольшое батохромное смещение по сравнению с максимумами испускания, найденными в спектре соединения **40**. В табл. 7 показаны оптические характеристики хинофталононов **40** и **41**. Стоит отметить, что соединение **40** в твердом состоянии демонстрирует ярко-оранжевое свечение при облучении УФ-лампой. Соединение **41** также обладает люминесценцией, но в растворе; так, его спиртовой раствор демонстрирует желто-зеленое свечение при облучении УФ-лампой.

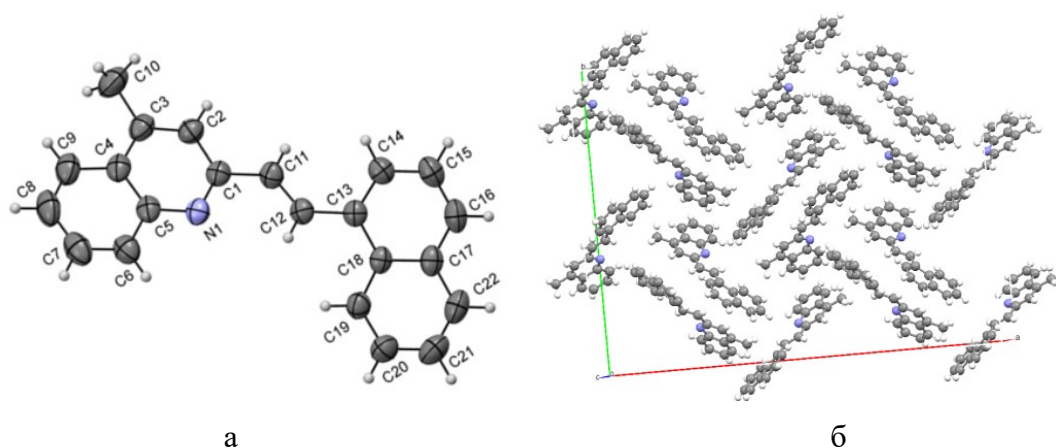
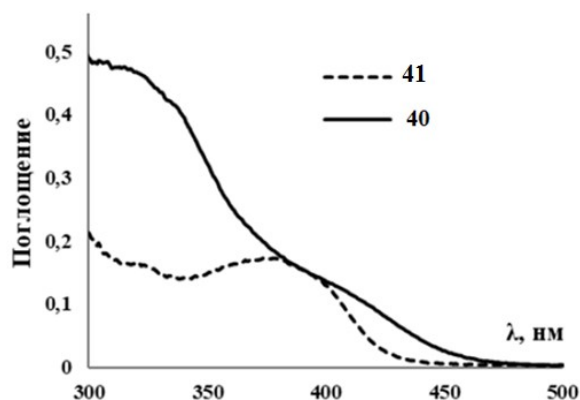
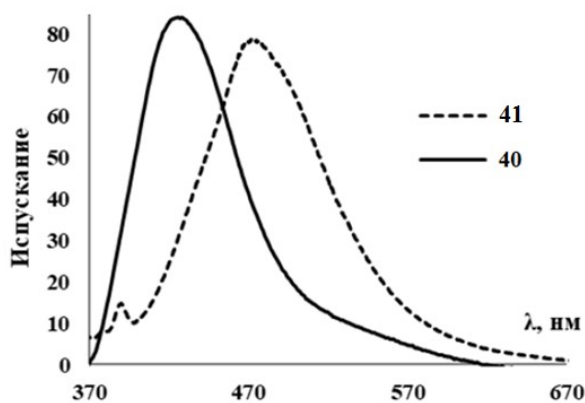


Рис. 21. Молекулярная структура соединения **38v** в представлении неводородных атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью (а) и его кристаллическая упаковка (б) [61]



а



б

Рис. 25. УФ-спектры (а) и спектры флуоресценции (б) хинофталонов **40** и **41** (CH_3CN , $C = 5 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Заключение

Из представленного обзора видно, что замещенные хинофталоны обладают достаточно

широким спектром свойств, которые могут быть использованы в химии материалов и в промышленной химии. Однако их основным свойством, которое нашло широкое применение, является свойство быть пигментами и окрашивать разные типы материалов и поверхностей. Многие из хинофталонов производятся в промышленных масштабах, например, PY 138 (соединение **31**, C.I.Pigment Yellow 138), торговые названия которого меняются в зависимости от области дальнейшего использования – Paliotol Yellow D 0960 (чернила для принтера), Paliotol Yellow K 0961 HD (окрашивание пластика) и т.д.

Таблица 7

Оптические характеристики хинофталонов **40** и **41**

Показатель	Хинофталон 40	Хинофталон 41
λ^{onset} , нм	464	445
λ^{abs} , нм	419	378
ε , $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$	9420	3520
λ^{em} , нм	417	466
$\Delta\lambda$, нм	98	88
E_g^{opt} , эВ	2,7	2,8

Несмотря на ограниченность цветовой гаммы (желтый, зеленовато-желтый цвет) эти красители сохраняют свою практическую

значимость благодаря простоте синтеза и хорошим колористическим свойствам – высокой светостойкости, атмосферостойкости, термостойкости, стойкости к растворителям). Ведется достаточно активный поиск методов

синтеза структур такого типа, которые позволили бы расширить область использования соединений, содержащих в своей структуре электроноакцепторный хинофталоновый фрагмент.

Список источников

1. *Chen D., Su S.-J., Cao Y.* Nitrogen heterocycle containing materials for highly efficient phosphorescent OLEDs with low operating voltage // *Journal of Materials Chemistry C*. 2014. Vol. 2, № 45. P. 9565–9578. <https://doi.org/10.1039/C4TC01941E>.
2. *Пожарский А.Ф.* Теоретические основы химии гетероциклов. М.: Химия, 1985. 278с.
3. *Bettenhausen J., Greczmiel M., Jandke M., et al.* Oxadiazoles and phenylquinoxalines as electron transport materials // *Synthetic Metals*. 1997. Vol. 91, № 1–2. P. 223–228. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(98\)80035-0](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(98)80035-0).
4. *Karastatiris P., Mikroyannidis J.A., Spiliopoulos I.K., et al.* Synthesis, Photophysics, and Electroluminescence of New Quinoxaline-Containing Poly(p-phenylenevinylene)s // *Macromolecules*. 2004. Vol. 37, № 21. P. 7867–7878. <https://doi.org/10.1021/ma048903q>.
5. *Hwang F.-M., Chen H.-Y., Chen P.-S., et al.* Iridium(III) Complexes with Orthometalated Quinoxaline Ligands: Subtle Tuning of Emission to the Saturated Red Color // *Inorganic Chemistry*. 2005. Vol. 44, № 5. P. 1344–1353. <https://doi.org/10.1021/ic0489443>.
6. *Morin J.-F., Leclerc M.* 2,7-Carbazole-Based Conjugated Polymers for Blue, Green, and Red Light Emission // *Macromolecules*. 2002. Vol. 35, № 22. P. 8413–8417. <https://doi.org/10.1021/ma020880x>.
7. *Kulkarni A.P., Zhu Y., Jenekhe S.A.* Quinoxaline-Containing Polyfluorenes: Synthesis, Photophysics, and Stable Blue Electroluminescence // *Macromolecules*. 2005. Vol. 38, № 5. P. 1553–1563. <https://doi.org/10.1021/ma048118d>.
8. *Носова Э.В., Achelle S., Лулунова Г.Н. и др.* Функционализированные бензазины как люминесцентные материалы и компоненты для оптоэлектроники // *Успехи химии*. 2019. Т. 88, № 11. С. 1128–1178. <https://doi.org/10.1070/RCR4887>.
9. *Radtke V.V.* Quinophthalone Pigments // *High Performance Pigments* / E.B. Faulkner, R.J. Schwartz (Eds.), Wiley Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2ndEd., 2009, Ch. 19, P. 331–340.
10. *Manukian B.K., Niklaus P., Ehram H.* Beitrag zur Deutung der Lichtechtheit bei den Chinophthalon-Farbstoffen // *Helvetica Chimica Acta*. 1969. Vol. 52, № 5. P. 1259–1273. <https://doi.org/10.1002/hlca.19690520512>.
11. *Mitewa M., Bontchev P.R., Enchev V., et al.* Complexation Ability of Quinophthalone // *Journal für Praktische Chemie*. 1985. Vol. 327, № 3. P. 516–520. <https://doi.org/10.1002/prac.19853270318>.
12. *Kashchieva M., Stoyanov N., Enchev V., et al.* Structure of six- and seven-membered cyclic- β -diketones and their metal(II) complexes // *Polyhedron*. 1997. Vol. 16, № 10. P. 1693–1699. [https://doi.org/10.1016/S0277-5387\(96\)00472-X](https://doi.org/10.1016/S0277-5387(96)00472-X).

13. *Stoyanova A., Petkova G., Peyerimhoff S.D.* Correlation between the molecular structure and the corrosion inhibiting effect of some pyrophthalone compounds // *Chemical Physics*. 2002. Vol. 279, № 1. P. 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0301-0104\(02\)00408-1](https://doi.org/10.1016/S0301-0104(02)00408-1).
14. *Pigment layer for polymer-dispersed liquid crystal displays: patent 6788362 United States of America / Stephenson S.W., Brick M.C.; assignee Eastman Kodak Company (Rochester, NY); filing date 08/16/2002; publication date 09/07/2004.*
15. *Quinophthalone dyes: patent 4785114 United States of America / Lotsch W., Neumann P., Kowarsch H.; assignee BASF Aktiengesellschaft (Rheinland-Pfalz, DE); filing date 09/15/1986; publication date 11/15/1988.*
16. *Kuramoto N., Kitao T.* Photochemical oxidation of a quinolone dye // *Journal of the Chemical Society. Chemical Communications*. 1979. Vol. 8. P. 379–380. <https://doi.org/10.1039/C39790000379>.
17. *Чичибабин А.Е.* Основные начала органической химии / под ред. П.Г. Сергеева. М.: ГНТИХЛ, 1957. Т. 2. 770 с.
18. *Neiland O.Ya., Katsen Ya.Ya.* Phthalones and their structural analogs (review) // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1975. Vol. 11, № 4. P. 381–395. <https://doi.org/10.1007/BF00502419>.
19. *Han G.R., Hwang D., Lee S., et al.* Shedding new light on an old molecule: Quinophthalone displays uncommon N-to-O excited state intramolecular proton transfer (ESIPT) between photobases // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7, № 1. P. 3863. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04114-9>.
20. *Dobosz R, Kolehmainen E, Valkonen A, et al.* Tautomeric preferences of phthalones and related compounds // *Tetrahedron*. 2007. Vol. 63, № 37. P. 9172–9178. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2007.06.064>.
21. *Haupt E.T.K., Dieck H, Bontchev P.R.* Solution structures of pyrophthalones. I. Structure and conformation of 1,3-indandionato-2(2-pyridinium)-betain – a $^1\text{H}/^{13}\text{C}$ NMR approach // *Zeitschrift für Naturforschung – Section B. Journal of Chemical Sciences*. 1987. Vol. 42, № 1. P. 31–36. <https://doi.org/10.1515/znb-1987-0107>.
22. *Haupt E.T.K., Dieck H, Bontchev P.R.* Solution structures of pyrophthalones, II [1]. Structure and conformation of iminopyrophthalone – a high resolution ^1H , ^{13}C , ^{15}N and solid state ^{13}C -CP/MAS-NMR study // *Zeitschrift für Naturforschung – Section B Journal of Chemical Sciences*. 1987. Vol. 42, № 11. P. 1419–1423. <https://doi.org/10.1515/znb-1987-1109>.
23. *Haupt E.T.K., Eggers M.* Solution structures of pyrophthalones, III [1]: Complementary application of ^{14}N / ^{15}N -NMR spectroscopy to study solution structures of pyrophthalones // *Spectroscopic Letters*. 1998. Vol. 31, № 3. P. 521–528. <https://doi.org/10.1080/00387019808002746>.
24. *Bogert M.T., Heidelberger M.* Researches on quinazolines (28th paper). On 4-quinazolone-2-phthalones and certain their derivatives // *Journal of the American Chemical Society*. 1912. Vol. 34, № 2. P. 183–201.
25. *Phthalone derivatives utilizable as pigments: patent 4256901 United States of America / Gangneux P.Y.E.; assignee Produits, Chimiques Ugine Kuhlmann (Courbevoie, FR); filing date 01/04/1979; publication date 03/17/1981.*
26. *Коган И.М.* Химия красителей / под ред. проф. А.И. Королева, М.: ГНТИХЛ, 1956, 675 с.

27. Modern colorants: Synthesis and structure, in *Advances in Color Chemistry Series* / Peters A.T., Freeman H.S. (Eds.). Blackie academic & professional. 1995. Vol.3. 244 p.
28. *Brooker L.G.S., Keyes G.H.* Color and Constitution. XII.1 Absorption of the Phthalones // *Journal of the American Chemical Society*. 1951. Vol. 73, № 11. P. 5356–5358. <https://doi.org/10.1021/ja01155a098>.
29. *Herbst W., Hunger K.* *Industrial Organic Pigments: Production, Properties, Applications*, 2nd Edition. Wiley-VCH, 1997. 670 p.
30. *Jacobsen E., Reimer C.L.* Ueber condensationsprodukte methylirter chinoline und pyridine // *Chemical Berichte*. 1883. Vol. 16. P. 2602–2608.
31. *Степанов Б.И.* Введение в химию и технологию органических красителей. М.: Химия, 1984. 592 с.
32. *Method of preparing quinophthalone dyes: patent 3872131 United States of America* / Wallace W.E; assignee GAF Corporation; filing date 10/01/1971; publication date 03/18/1975.
33. *Dyes tuff of the quinophthalone series of good fastness to light: patent 2006022 United States of America* / Kranzlein G., Schornig L.; assignee GEN Aniline Works INC; filing date 11/14/1933; publication date 11/14/1933.
34. *Quinophthalones Patents for C09B 25* URL: https://www.google.com/patents/sitemap/en/Sitemap/C09/C09B/C09B_25.html (дата обращения: 15.09.2023).
35. *Quinaldinedye intermediates and quinophthalone dyes thereof: patent 2211662 United States of America* / Kyrides L.P.; assignee Monsanto, Chemicals; filing date 09/02/1936; publication date 08/13/1940.
36. *Process for producing quinolone yellow dyes: patent 3108109 United States of America* / Allen C.R.; Pont DUs; filing date 07/02/1962; publication date 10/22/1963.
37. *Synthesis of solvent yellow 33 (D & C Yellow 11) with excess phthalic anhydride acid as a solvent: patent 5468862 United States of America* / Sujeeth P.K.; assignee Warner-Jenkinson Company (St. Louis, MO); filing date 04/25/1994; publication date 11/21/1995.
38. *Láčová M., Chabreček P.* Aldol condensation of 2-methylbenzothiazole and 2-cyanomethylbenzothiazole with dicarboxylic acids anhydrides // *Chemical Papers*. 1987. Vol.41, № 5. P. 709–717.
39. *Loghmani-Khouzani H., Sadeghi M., Safari J.* Silica gel Catalyzed Synthesis of Quinophthalone Pigments Under Solvent-Free Conditions Using Microwave Irradiation // *Molecules*. 2002. Vol. 7, № 2. P. 135–139. <https://doi.org/10.3390/70200135>.
40. *Khalili S.D., Banitabaikoupaie S.H., Safari J.* Lewis Acid Catalyzed Synthesis of Quinophthalone Pigments under Solvent-Free Conditions // *Scientia Iranica*. 2009. Vol. 6. P. 1–6.
41. *Safari J., Naeimi H., Khakpour A.A. et al.* A rapid and efficient method for synthesis of new 3-arylideneisobenzofuran-1(3H)-one derivatives catalyzed by acetic anhydride under solvent-free and microwave conditions // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2007. Vol. 270, № 1-2. P. 236–240. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2007.02.002>.
42. *Sangher S., Kesornpun C., Aree T. et al.* Functionalization at C2, C3, and C4 of quinolines: discovery of water-soluble betaine dyes of C3 quinolinium derivatives with solvatochromic and pH-sensitive prop-

erties // *Dyes and Pigments*. 2020. Vol. 178. P. 108341–108352. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108341>.

43. *Порай-Кошиц А.Е., Чижевская И.И.* Исследования в области таутомерных соединений. 22. О подвижности водородных атомов метильных групп хинальдинов // *Журнал общей химии*. 1956. Т. 26, № 6. С. 1950–1958.

44. *Feng J., Liang B., Wang D. et al.* Novel Fluorescent Dyes with Fused Perylene Tetracarboxylic Diimide and BODIPY Analogue Structures // *Organic Letters*. 2008. Vol. 10, № 20. P. 4437–4440. <https://doi.org/10.1021/ol801668r>.

45. *Miyatake M., Ehashi Sh.* Studies on quinophthalone pigments // *Shikizai Kyokaiishi (Journal of the Japan Society of Colour Material)*. 1971. Vol. 4, № 7. P. 316–324.

46. *Verlackungsmittel* enthaltende farbstoffzubereitungen basischer farbstoffe: patent DE3329340A1 Germany / Degen H.-J. DR; assignee BASF Aktiengesellschaft; filing date 08/13/1983; publication date 03/07/1985.

47. *Quinophthalone* compound: patent 5359075 United States of America / Ohyama T., Shimokawa Y., Matsuzaki Y., Takuma K., Ghoda I., Koshida H.; assignee Mitsui Toatsu Chemicals, Inc. (Tokyo, JP); filing date 08/05/1992; publication date 10/25/1994.

48. *Quinophthalone* dyes for cellulose-containing fiber: patent 4500710 United States of America / Niwa T.; Hihara T.; assignee Mitsubishi Chemical Industries, Ltd (Tokyo, JP); filing date 06/16/1983; publication date 02/19/1985.

49. *Quinophthalone*-derivatives based crystallization modifiers: patent 20030172847 United States of America / He J., Schröck M.; assignee He Jianing., Schröck Manfred; filing date 06/22/2001; publication date 09/18/2003.

50. *Yellow dyes* of the phthalimidoquinophthalone series: patent DE1770960 Germany / Dr Dehnert J.; assignee BASF SE; filing date 07/24/1968; publication date 01/13/1972.

51. *Verfahren zur Herstellung von Pigmenten der 3-Hydroxychinophthalonreihe*: patent DE1279258B Germany / Dr. Wick A., Dr. Christoph F.; assignee BASF SE; filing date 06/26/1964; publication date 01/13/1972.

52. *Chinolinderivate*, verfahren zu ihrer herstellung und verwendung derselben: patent DE2626271A1 Germany / Harada T., Koga M., Shimada K.; assignee Teijin Ltd; filing date 06/12/1975; publication date 12/23/1976.

53. *Jayesh M.V., Paul R., Shankarling G.S.* Polycyclic pigments - Synthesis, properties and applications// *Paintindia: a technical trade journal devoted to paint, printing, ink industries*. 1996. Vol. 46, № 10. P. 45–51.

54. *Fujii I., Kodama T., Yanagihara N. et al.* Crystal structure of Pigment Yellow 138 Derivative // *Analytical Sciences*. 2004. Vol. 20. P. x35–x36. <https://doi.org/10.2116/analsci.20.x35>.

55. *A process for coloring of polymers*: patent JP51142049 A, Japan / Shimada K., Harada T., Koga M.; assignee Teijin Ltd; filing date 05/23/1976; publication date 12/07/1976.

56. *Process for preparing colored compound*: patent JP51137724 A, Japan / Harada T., Koga M., Shimada K.; assignee Teijin Ltd; filing date 05/26/1975; publication date 11/27/1976.

57. Choi J., Kim S.H., Lee W. et al. The influence of aggregation behavior of novel quinophthalone dyes on optical and thermal properties of LCD color filters // *Dyes and Pigments*. 2014. Vol. 101, P. 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.09.024>.

58. *High transmissional yellow dye for LCD and synthetic method thereof*: patent US 2014/0073794 (Patent KR20140034963 A), Korea / Kim Y., Lim J., Ahn B., Han S., Kim J., Kim S., Choi J., Namgoong J.; assignee Seoul National University R&DB Foundation (Seoul, KR) LG Display CO., Ltd. (Seoul, KR); filing date 12/31/2012; publication date 03/13/2014.

59. Ожгихина А.В., Шкляева Е.В., Абашев Г.Г. Новые хинофталоновые красители на основе 2,4-диметилхинолина и 2,3-диметилхиноксалина, содержащие π -сопряженные фрагменты: синтез и исследование оптических свойств // *Современные аспекты химии: материалы VIII молодежной школы-конференции*. Пермь: ПГНИУ, 2021. С. 161–164.

60. Bennett G.M., Pratt W.L.C. CLXXXVIII. 2,4-Dinitrobenzaldehyde as a reagent // *Journal of the Chemical Society*. 1929. P. 1465–1468.

61. Ожгихина А.В., Майорова О.А., Жуланов В.Е. и др. Новые push-pull хромофоры, включающие хинолиновый и хиноксалиновый фрагменты // *Современные аспекты химии: материалы VI молодежной школы-конференции*. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 63–66.

Информация об авторах

Шкляева Елена Викторовна, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), sheklvik@gmail.com.

Ожгихина Анастасия Владимировна, магистр химии, ведущий химик-аналитик, АО «Медисорб» (614101, г. Пермь, ул. Причальная, 16/1), ozhghinanasty@gmail.com.

Абашев Георгий Георгиевич, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт технической химии УрО РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика королева 3), gabashev@psu.ru.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 30 августа 2023 г.; принята к публикации 6 сентября 2023 г.

References

1. Chen, D., Su, S.-J. and Cao, Y. (2014) “Nitrogen heterocycle-containing materials for highly efficient phosphorescent OLEDs with low operating voltage”, *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 2, no 45. pp. 9565–9578.
2. Pozharskii, A.F. (1997) *Teoreticheskie osnovy khimii geterocyclov* [Theoretical foundations of heterocyclic chemistry], Moscow, Chemistry. (in Russ.).
3. Bettenhausen, J., Greczmiel, M., Jandke, M. and Strohriegel, P. (1997) “Oxadiazoles and phenylquinoxalines as electron transport materials”, *Synthetic Metals*, vol. 91, no 1–2. pp. 223–228.

4. Karastatiris, P., Mikroyannidis, J.A., Spiliopoulos, I.K, Kulkarni, A.P. and Jenekhe, S.A. (2004) "Synthesis, Photophysics, and Electroluminescence of New Quinoxaline-Containing Poly(p-phenylenevinylene)s", *Macromolecules*, vol. 37, no 21, pp. 7867–7878.
5. Hwang, F.-M., Chen, H.-Y., Chen, P.-S., Liu, C.-S., Chi, Y., Shu, C.-F. , Wu, F.-I., Chou, P.-T., Peng, S.-M. and Lee, G.-H. (2005) "Iridium(III) Complexes with Orthometalated Quinoxaline Ligands: Subtle Tuning of Emission to the Saturated Red Color", *Inorganic Chemistry*, vol. 44, no 5, pp. 1344–1353.
6. Morin, J.-F. and Leclerc, M. (2002) "2,7-Carbazole-Based Conjugated Polymers for Blue, Green, and Red Light Emission", *Macromolecules*, vol. 35, no 22, pp. 8413.
7. Kulkarni, A.P., Zhu, Y. and Jenekhe, S.A. (2005) "Quinoxaline-Containing Polyfluorenes: Synthesis, Photophysics, and Stable Blue Electroluminescence", *Macromolecules*, vol. 38, no. 5, pp. 1553–1563.
8. Nosova, E.V., Achelle, S., Lipunova, G.N., Charushin, V.N. and Chupakhin, O.N. (2019). "Functionalized benzazines as luminescent materials and components for optoelectronics", *Russian Chemical Reviews*, vol. 88, no. 11, pp.1128–1178. (In Russ.).
9. Radtke, V.V. (2009) Quinophthalone Pigment. In: High Performance Pigments, E.B. Faulkner and R.J. Schwartz (Eds.), Wiley Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 331–340.
10. Manukian, B.K., Niklaus, P. and Ehrsam, H. (1969) "Beitrag zur Deutung der Lichtechtheit bei den Chinophthalon-Farbstoffen", *Helvetica Chimica Acta*, vol. 52, no 5, pp.1259–1273 (in German).
11. Mitewa, M., Bontchev, P.R., Enchev, V., Minchev, S. and Kashchieva, M. (1985) "Complexation Ability of Quinophthalone", *Journal für Praktische Chemie*, vol. 327, no 3, pp. 516–520 (in German).
12. Kashchieva, M., Stoyanov, Ne., Enchev, V., Minchev, S., Bontchev, P.R. and Mitewa, M. (1997) "Structure of six- and seven-membered cyclic β -diketones and their metal (II) complexes", *Polyhedron*, vol. 16, no 10, pp. 1693–1699.
13. Stoyanova, A., Petkova, G. and Peyerimhoff, S.D.(2002) "Correlation between the molecular structure and the corrosion inhibiting effect of some pyrophthalone compounds", *Chemical Physics*, vol. 279, no 1, pp. 1–6.
14. Stephenson, S.W. and Brick, M.C. (2004) *Pigment layer for polymer-dispersed liquid crystal displays*, United States of America, US, Pat. 6788362.
15. Lotsch, W., Neumann, P. and Kowarsch, H. (1988) *Quinophthalone dyes*, United States of America, US, Pat.4785114.
16. Kuramoto, N. and Kitao, T. (1979) "Photochemical oxidation of a quinolone dye", *Journal of the Chemical Society. Chemical Communications*, vol. 8, pp. 379–380.
17. Chichibabin, A.E. (1957) *Osnovnye nachala organicheskoi khimii* [Fundamentals of Organic Chemistry], vol. 2, Moscow, GNTIKHL (in Russ.).
18. Neiland, O.Ya. and Katsen, Ya.Ya. (1975) "Phthalones and their structural analogs (review)", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 11, no 4, pp. 381–395.
19. Han, G.R., Hwang, D., Lee, S., Lee, J.W., Lim, E., Heo, J. and Kim, S.K. (2017) "Shedding new light on an old molecule: Quinophthalone displays uncommon N-to-O excited state intramolecular proton transfer (ESIPT) between photobases", *Scientific Report*, vol.7, no 1, pp. 3863.

20. Dobosz, R., Kolehmainen, E., Valkonen, A., Ośmiałowski, B. and Gawinecki, R. (2007) "Tautomeric preferences of phthalones and related compounds", *Tetrahedron*, vol. 63, no 37, pp. 9172–9178.
21. Haupt, E.T.K., Dieck, H. and Bontchev, P.R. (1987) "Solution structures of pyrophthalones, I. Structure and conformation of 1, 3-indandionato-2(2-pyridinium)-betaïn– a ¹H/¹³C NMR approach", *Zeitschrift fur Naturforschung– Section B. Journal of Chemical Sciences*, vol. 42, no 1, pp. 31–36.
22. Haupt, E.T.K., Dieck, H and Bontchev, P.R. (1987) "Solution structures of pyrophthalones, II [1]. Structure and conformation of iminopyrophthalone– a high resolution ¹H, ¹³C, ¹⁵N and solid state ¹³C-CP/MAS-NMR study", *Zeitschrift fur Naturforschung– Section B. Journal of Chemical Sciences*, vol.42, no. 11, pp. 1419–1423.
23. Haupt, E.T.K. and Eggers, M. (1998) "Solution structures of pyrophthalones, III [1]: Complementary application of ¹⁴N / ¹⁵N-NMR spectroscopy to study solution structures of pyrophthalones", *Spectroscopic Letters*, vol. 31, no. 3, pp. 521–528.
24. Bogert, M.T., Heidelberger, M. (1912) "Researches on quinazolines (28th paper). On 4-quinzalone-2-phthalones and certain their derivatives", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 34, no 2, pp. 183–201.
25. Gangneux, P.Y.E. (1981) *Phthalone derivatives utilizable as pigments*, United States of America, US, Pat. 4256901.
26. Kogan, I.M. (1956) *Khimia krasitelei* [Dyes Chemistry], Moscow, GKHTIXL. (in Russ.).
27. Peters, A.T.and Freeman, H.S. (Eds) (1995) *Modern colorants: Synthesis and structure*. In: *Advances in Color Chemistry Series*, Vol. 3. Blackie Academic & Professional.
28. Brooker, L.G.S. and Keyes, G.H. (1951) "Color and Constitution. XII. 1 Absorption of the Phthalones", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 73, no. 11, pp. 5356–5358.
29. Herbst, W. and Hunger, K. (1997) *Industrial Organic Pigments: Production, Properties, Applications*, Wiley-VCH.
30. Jacobsen, E. and Reimer, C.L. (1883) "Ueber condensations produkte methylirterchinoline und pyridine", *Chemical Berichte*, vol. 16, pp. 2602–2608 (in German).
31. Stepanov, B.I. (1984) *Vvedenie v khimiyu i tekhnologiyu organicheskikh krasiteltei* [Introduction to the chemistry and technology of organic dyes], Moscow, Khimia. (In Russ.)
32. Wallace, W.E. (1975) *Method of preparing quinophthalone dyes*, United States of America, US, Pat. 3872131.
33. Kranzlein, G. and Schornig, L. (1933) *Dyestuff of the quinophthalone series of good fastness to light*, United States of America, US, Pat. 2006022.
34. *Quinophthalones* Patents for C09B25/ URL: https://www.google.com/patents/sitemap/en/Sitemap/C09/C09B/C09B_25.html (Available 15 September 2023).
35. Kyrides, L.P. (1940) *Quinaldinedye intermediates and quinophthalone dyes thereof*, United States of America, US, Pat. 2211662.
36. Allen, C.R. (1963) *Process for producing quinolone yellow dyes*, United States of America, US, Pat. 3108109.

37. Sujeeth, P.K. (1995) *Synthesis of solvent yellow 33 (D&C Yellow 11) with excess phthalic anhydride acid as a solvent*, United States of America, US, Pat.5468862.
38. Lácová, M. and Chabreček, P. (1987) “Aldol condensation of 2-methylbenzothiazole and 2-cyanomethylbenzothiazole with dicarboxylic acids anhydrides”, *Chemical Papers.*, vol.41, no 5, pp. 709–717.
39. Loghmani-Khouzani, H., Sadeghi, M. and Safari, J.(2002) “Silica gel Catalyzed Synthesis of Quinophthalone Pigments under Solvent-Free Conditions Using Microwave Irradiation”, *Molecules*, vol. 7, no 2, pp. 135–139.
40. Khalili, S.D., Banitabaikoupaie, S.H. and Safari, J. (2009) “Lewis Acid Catalyzed Synthesis of Quinophthalone Pigments under Solvent-Free Conditions”, *Scientia Iranica*, vol. 6, pp. 1–6.
41. Safari, J., Naeimi, H., Khakpour, A.A., Jondani, R.S. and Khalili, S.D.(2007) “A rapid and efficient method for synthesis of new 3-arylideneisobenzofuran-1(3H)-one derivatives catalyzed by acetic anhydride under solvent-free and microwave conditions”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 270, no 1–2, pp.236–240.
42. Sangher, S., Kesornpun, C., Aree, T., Mahidol, C., Ruchirawat, S. and Kittakoop, P. (2020) “Functionalization at C2, C3, and C4 of quinolines: discovery of water-soluble betaine dyes of C3 quinolinium derivatives with solvatochromic and pH-sensitive properties”, *Dyes and Pigments*, vol. 178, pp. 108341–108352.
43. Porai-Koshits, A.E. and Chzhevskaya, I.I. (1956) Issledovanie v oblasti tautomernykh soedinenii. 22. “O povizhnosti vodorodnykh atomov metyl’nykh grup khinal’dinov” [Research in the field of tautomeric compounds. 22. On the mobility of hydrogen atoms of the methyl groups of quinaldines], *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 26, no 6, pp. 1950–1958 (in Russ.).
44. Feng, J., Liang, B., Wang, D., Xue, L. and Li, X. (2008) “Novel Fluorescent Dyes with Fused Perylene Tetracarboxylic Diimide and BODIPY Analogue Structures”, *Organic Letters*, vol. 10, no 20. pp. 4437–4440.
45. Miyatake, M. and Ehashi, Sh. (1971) “Studies on quinophthalone pigments”, *Shikizai Kyokaiishi (Journal of the Japan Society of Colour Material)*, vol. 4, no 7, pp. 316–324.
46. Degen, H.-J. (1985) *Verlackungsmittel enthaltende farbstoffzubereitungen basischer farbstoffe*, Germany, Pat. DE3329340A1 (in German).
47. Ohya, T., Shimokawa, Y., Matsuzaki, Y., Takuma, K., Ghoda I. and Koshida, H. (1994) *Quinophthalone compound*, United States of America, US, Pat. 5359075.
48. Niwa, T. and Hihara, T. (1985) *Quinophthalone dyes for cellulose-containing fiber*, United States of America, Pat. 4500710.
49. He, J. and Schröck, M. (2003) *Quinophthalone-derivatives based crystallization modifiers*, United States of America, Pat. 20030172847.
50. Dehnert, J. (1972) *Yellow dyes of the phthalimidoquinophthalone series*, Germany, DE, Pat. DE1770960.

51. Wick, A. and Christoph, F. (1972) *Verfahren zur Herstellung von Pigmenten der 3-Hydroxychinophthalonreihe*, Germany, Pat. DE1279258B. (in German).
52. Shimada, K., Harada, T. and Koga, M., (1976) *Chinolinderivate, verfahren zu ihrer herstellung und verwendung derselben*, Germany, DE, Pat. DE2626271 (in German).
53. Jayesh, M.V., Paul, R. and Shankarling, G.S. (1996) "Polycyclic pigments – Synthesis, properties and applications", *Paintindia: a technical trade journal devoted to paint, printing, ink industries*, vol. 46, no 10, pp. 45–51.
54. Fujii, I., Kodama, T., Yanagihara, N. and Hirayama, N. (2004) "Crystal structure of Pigment Yellow 138 Derivative", *Analytical Sciences*, vol.20, pp. x35–x36.
55. Shimada, K., Harada, T. and Koga, M. (1976) *A process for coloring of polymers*., Japan, JP, Pat. JP51142049.
56. Harada, T., Koga, M. and Shimada, K. (1976) *Process for preparing colored compound*., Japan, JP, Pat. JP51137724 A.
57. Choi, J., Kim, S.H., Lee, W., Chang, J.B., Namgoong, J.W., Kim, Y.H., Han, S.H. and Kim, J.P. (2014) "The influence of aggregation behavior of novel quinophthalone dyes on optical and thermal properties of LCD color filters", *Dyes and Pigments*, vol.101, pp. 186–195.
58. Kim, Y., Lim, J., Ahn, B., Han, S., Kim, J., Kim, S., Choi, J. and Namgoong, J. (2014) *High transmission alyellow dye for LCD and synthetic method thereof*, United State of America, US, Pat. 20140073794; Korea, KR, Pat. KR20140034963.
59. Ozhgikhina, A.V., Shklyaeva, E.V. and Abashev, G.G. (2021) New quinophthalone dyes on-based 2,4-dimethylquinoline and 2,3-dimethylquinoxaline containing π -conjugated moieties: synthesis and researching of optical properties, *Sovremennyye aspect khimii: materialy VIII molodyozhnoi shkoly-konferentsii*, Perm, pp. 161–164 (in Russ.).
60. Bennett, G.M. and Pratt, W.L.C. (1929) "CLXXXVIII. – 2,4-Dinitrobenzaldehyde as a reagent", *Journal of the Chemical Society*, pp. 1465–1468.
61. Ozhgikhina, A.V., Maiorova, O.A., Zhulanov, V.E., Shklyaeva, E.V. and Abashev, G.G. (2019) New push-pull chromophores, incorporating quinoline and quinoxaline fragments, *Sovremennyye aspect khimii: materialy VI molodyozhnoi shkoly-konferentsii*, Perm, pp. 63–66 (in Russ.).

Information about the authors

Elena V. Shklyaeva, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Organic Chemistry Department, Perm State University, (15, Bukirev Str., Perm, Russia, 614068), sheklvik@gmail.com.

Anastazyia V. Ozhgikhina, Master of Chemistry, Leading Analytical Chemist, Medisorb JSC, (1b/1Prichalnaya Str., Perm, Russia, 614101), ozhgihinanasty@gmail.com.

Georgii G. Abashev, Doctor of Chemical Sciences, Leading Researcher, Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of RAS (3, Academic Korolev Str., Perm, Russian, 614013), gabashev@psu.ru.

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 30 August 2023; accepted 6 September 2023