

УТВЕРЖДАЮ

И.о. Директора ФГБУН Институт
органического синтеза им. И. Я. Постовского
Уральского отделения Российской академии
наук
доктор химических наук

Я.В. Бургарт

31 марта 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу **Черненко Сергея Александровича** «3*N*-Нафто[1,2,3-*de*]хинолин-2,7-дионы. Синтез и свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3 — Органическая химия

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа С.А. Черненко посвящена разработке новых методов синтеза и изучению свойств антрапиридонов и родственных им бензодихинолиндионов. Выбор темы представляется обоснованным и своевременным. Антрапиридоны относятся к классу гетероциклических соединений и представляют большой практический интерес, так как обладают ценными фотофизическими свойствами, могут использоваться в качестве люминесцентных красителей и сенсоров, а также рассматриваются как перспективные материалы для органической электроники и биомедицинских исследований. За последние 25 лет было опубликовано более 90 патентов посвященным применению этих соединений в качестве красителей. Несмотря на известность антрапиридинового фрагмента, методы получения 1-функциональнозамещенных производных данного ряда до настоящего времени ограничены: многие из них требуют жестких условий, характеризуются недостаточной универсальностью и не всегда обеспечивают высокие выходы целевых продуктов. В этой связи разработка удобных и эффективных подходов к синтезу новых 1-*N*-, *O*- и *S*- замещенных антрапиридонов, изучение их фотофизических свойств и поиск практически полезных соединений этого ряда является актуальной задачей.

Структура и содержание работы. Диссертация построена по классической схеме и включает введение, три главы, заключение, список литературы и приложение. Работа изложена на 163 страницах, содержит 25 рисунков, 68 схем и 22 таблицы. Список источников включает 274 наименования, что свидетельствует о хорошей проработке автором современного состояния исследуемой проблемы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет собой литературный обзор, посвященный синтезу, свойствам и применению антрапиридонов и родственных соединений. Автором выполнен большой объем аналитической работы, систематизированы сведения о способах синтеза, химических превращениях, фотофизических и электрохимических свойствах, а также областях применения исследуемых соединений. Литературный обзор логично построен и подводит к постановке задач собственного исследования.

Во второй главе подробно изложены результаты оригинальных исследований автора. Последовательно рассмотрены синтез исходных соединений, получение 1-тозилантрапиридонов и 1,7-дитозилбензодихинолиндионов, их реакции с различными нуклеофилами, превращения amino- и нитропроизводных, аннелирование, одnoreакторный синтез, получение тетраазокороненов, изучение фотохромизма, а также прикладные аспекты, связанные с клеточной визуализацией липидных капель и созданием молекулярных сенсоров Cu^{2+} . Следует отметить широту охвата задач и удачное сочетание классического органического синтеза с исследованиями свойств и функциональной активности полученных соединений.

Третья глава содержит экспериментальную часть, выполненную на хорошем методическом уровне. Описание синтезов, условий проведения реакций и характеристик полученных соединений является достаточным и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным исследованиям в области органической химии.

Научная новизна работы. К числу основных научных результатов диссертационной работы следует отнести разработку метода получения ранее неизвестных 1-тозил-3*H*-нафто[1,2,3-*de*]хинолин-2,7-дионов и 1,7-

дитозилбензо[1,2,3-*de*:4,5,6-*d'e'*]дихинолин-2,8(3*H*,9*H*)-дионов на основе соответствующих хлорацетамидов, а также исследование реакционной способности этих соединений в реакциях с *O*-, *N*- и *S*-нуклеофилами, позволившее установить закономерности замещения тозильной группы и получить широкий ряд новых функциональнозамещенных производных. Изучено влияние строения полученных соединений на их фотофизические характеристики. В ряду исследованных веществ выявлены эффективные люминофоры, а также впервые показано, что 1-арилокси-3*H*-нафто[1,2,3-*de*]хинолин-2,7-дионы обладают фотохромными свойствами. Помимо этого, были проведены исследования, связанные с синтезом новых тетраазокороненовых систем и изучением их фотофизических, электрохимических и электронных свойств.

Практическая значимость работы заключается в разработке препаративных методов синтеза новых производных антрапиридона и бензодихинолиндиона, выявлении соединений с ценными люминесцентными характеристиками, разработке селективного люминесцентного красителя для визуализации липидных капель в живых клетках, обладающего большим сдвигом Стокса, а также разработке серии колориметрических зондов для чувствительного и селективного определения катионов меди(II). Колориметрические сенсоры позволяют определять Cu^{2+} невооруженным глазом в питьевой воде на уровне ПДК.

Степень обоснованности и достоверности результатов. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Для установления строения синтезированных соединений и исследования их свойств автором использован современный комплекс физико-химических методов: ЯМР ^1H и ^{13}C , ИК-, УФ- и флуоресцентная спектроскопия, циклическая вольтамперометрия, элементный анализ. Экспериментальная часть диссертации изложена подробно и позволяет воспроизвести описанные методики. Выводы работы логично вытекают из приведенных экспериментальных данных и находятся в соответствии с поставленными целью и задачами исследования.

Апробация работы и публикации

Материалы диссертации прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях. По теме работы опубликованы 4 статьи в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК и

индексируемых в международных базах данных, а также 9 тезисов докладов. Это свидетельствует о достаточной степени апробации результатов и их востребованности научным сообществом.

Замечания и вопросы по диссертационной работе.

По диссертационной работе имеются отдельные замечания и вопросы:

- 1) В разделе, посвященном однореакторному синтезу замещенных антрапиридонов, было бы полезно более подробно сопоставить преимущества и ограничения однореакторного и двухстадийного подходов с точки зрения препаративной ценности, необходимости дополнительной очистки и технологической применимости.
- 2) В части работы, связанной с визуализацией липидных капель в живых клетках, желательно было бы привести более развернутое количественное сравнение разработанных красителей с коммерческими аналогами по фотостабильности, яркости сигнала и селективности накопления в одинаковых условиях эксперимента.
- 3) Почему сульфиды **57**, **58c** и **59b** (стр. 53) в спирте не флуоресцируют?
- 4) 1-(Алкиламино)антрахиноны **2a-c**, N-(9,10-антрахинон-1-ил)хлорацетамиды **3**, **5a-c**, а также соединения **4**, **6**, **100** и **74** получены по известным методикам. Диссертант приводит их ^1H и ^{13}C ЯМР, ИК-спектры, температуры плавления, но не указывает, как эти характеристики соответствуют литературным данным.
- 5) Каков механизм перегруппировки интермедиата на схеме 6 (стр. 46) в продукт **45**?
- 6) Присутствуют ошибки на схемах. Например, в формуле антрапиридона **24** на схеме 8 на стр. 15 лишняя метильная группа у атома N. На схеме 15 (стр.60) приводятся условия окисления нафтиридина **79** воздухом при 80 °С, а в тексте говорится о комнатной температуре. На схеме 9 на стр. 50 приведенные условия и выходы не соответствуют обсуждаемым в тексте, где сказано, что с фенолами выходы меньше, чем с алкоголятами, а на схеме наоборот.
- 7) В тексте диссертации есть опечатки нумерации соединений. Например, на стр. 16 «для получения 1-амиантрапиридонов **29a-m...**», надо 1-амино-антрапиридонов **35a-m**; на стр. 67 в 1 абзаце раздела 2.10 в 5 строке «тетразакороненов **103-106**», надо **103-105**; на стр. 77 в табл. 19 ошибка номера соединения в 1 колонке **54**, надо **45**.

Отмеченные замечания не снижают общего высокого уровня и научной значимости работы, а также не противоречат выводам, сделанным по итогам исследования.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов

Результаты исследования могут быть полезны организациям занимающимся органическим синтезом: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет, Северо-Кавказский федеральный университет, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова, ФГБУН институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Институт им. А.Е. Фаворского СО РАН и других организациях занимающихся проблемами современной органической химии.

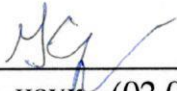
Автореферат полностью отражает содержание диссертации.


Заключение.

Диссертационная работа Черненко Сергея Александровича «3*N*-Нафто[1,2,3-*de*]хинолин-2,7-дионы. Синтез и свойства» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача органической химии, связанная с разработкой новых методов синтеза функционально замещенных антрапиридонов и родственных соединений, установлением закономерностей их реакционной способности и выявлением практически полезных свойств. По своей актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, объему экспериментального материала, достоверности полученных результатов соответствует п. 1 «Выделение и очистка новых соединений», п. 2. Открытие новых реакций органических соединений и методы их исследования, п. 3 «Развитие рациональных путей синтеза сложных молекул» и п. 7 «Выявление закономерностей типа «структура-свойство» паспорта научной специальности 1.4.3. Органическая химия и требованиям ВАК РФ установленным пунктом 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного

постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 в действующей редакции, а ее автор, **Черненко Сергей Александрович**, заслуживает присуждения ученой степени **кандидата химических наук** по специальности **1.4.3 — Органическая химия**.

Настоящий отзыв рассмотрен и утвержден на заседании совместного научного семинара лаборатории асимметрического синтеза и лаборатории медицинской химии ФГБУН Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН (протокол №__3__ от 30.03.2026 г

Краснов Виктор Павлович _____ 
чл.-корр. РАН, доктор химических наук (02.00.03 – Органическая химия), профессор (02.00.03 – Органическая химия), заведующий лабораторией асимметрического синтеза Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук
E-mail: ca@ios.uran.ru; тел.: +7 (343) 362-30-57

Королёва Марина Анатольевна _____ 
канд. хим. наук (02.00.03 – Органическая химия), научный сотрудник лаборатории асимметрического синтеза Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук
E-mail: kormorona@yandex.ru; тел.: +7 (343) 354-05-88

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук (ИОС УрО РАН)
E-mail: verbitsky@ios.uran.ru; тел.: +7 (343) 369-30-58; сайт: <https://www.ios.uran.ru/>

Подписи В.П. Краснова и М.А. Королёвой заверяю: _____  /О.В. Красникова
ученый секретарь ИОС УрО РАН, к.т.н.

30 марта 2026 г.

