


УТВЕРЖДАЮ:

И.о. директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского
центра «Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН»
Д.Х.  Москалик М.Ю.
3 октября 2025 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН» (ИрИХ СО РАН)
о диссертационной работе Быкова Василия Николаевича, представленной на
соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности
1.4.3. Органическая химия.

Диссертационная работа «Строение и реакционная способность
фотопереключаемых *пери*-ариллоксихинонов» выполнена в лаборатории
фотофункциональных материалов ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет» (ИРНИТУ) и в лаборатории
фотоактивных соединений ИрИХ СО РАН

В период подготовки диссертации соискатель Быков Василий Николаевич
проходил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» (01.09.2021 – 31.08.2025).
В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника ИРНИТУ
и ИрИХ СО РАН.

В 2021 году окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет» по направлению «19.04.02 – продукты
питания из растительного сырья». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана
в 2025 г. ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический
университет».

Научный руководитель – доктор химических наук, профессор кафедры химии
и биотехнологии им. В.В. Тутуриной, заведующий лабораторией
фотофункциональных материалов ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет» Львов Андрей Геннадьевич.

ВЫПИСКА

из протокола № 195 от 30 сентября 2025 года заседания специализированной
секции «Органическая химия и химия высокомолекулярных соединений» Учёного
совета ФГБУН Федерального исследовательского центра «Иркутский институт
химии им. А.Е. Фаворского СО РАН».

ПРИСУТСТВОВАЛИ: 33 члена (в т. ч. д.х.н. – 8, к.х.н. – 25) специализированной секции «Органическая химия и химия высокомолекулярных соединений» Учёного совета ИрИХ СО РАН.

СЛУШАЛИ: доклад по диссертационной работе Быкова Василия Николаевича «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *пери*-арилоксихинонов».

В ОБСУЖДЕНИИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПРИНЯЛИ УЧАСТИЕ:

к.х.н. Кондрашов Е.В.; к.х.н. Смирнов В.И.; к.х.н. Дворко М.Ю.; д.х.н., доцент Розенцвейг И.Б.; д.х.н., профессор Афонин А.В.; д.х.н., профессор Корчевин Н.А.; к.х.н. Ганин А.С.; д.х.н. Беляева К.В.; к.х.н., доцент Петрушенко; д.х.н. Рулёв А.Ю.; к.х.н. Поздняков А.С.

РЕЦЕНЗЕНТЫ: к.х.н., доцент Петрушенко И.К. (лаборатория сетевых систем и ИТ инфраструктуры ИРНИТУ) и к.х.н., с.н.с Бидусенко И.А. (лаборатория неопределённых гетероатомных соединений ИрИХ СО РАН).

Рецензии положительные.

В процессе обсуждения диссертационной работы были заданы следующие ВОПРОСЫ:

к.х.н. Кондрашов Е.В. Есть ли уверенность, что работает только ультрафиолетовый свет с длиной волны 365 нм, учитывая, что на представленном спектре нет максимумом поглощения в этой области? Есть ли возможность выделения монохромного излучения определенной длины волны или регулировки длины волны с целью получения монохромной? Каким методом проводилось моделирование при поиске переходного состояния? Применим ли он для расчета систем с открытой электронной оболочкой?

к.х.н. Смирнов В.И. Использовались ли светофильтры для ультрафиолетовой лампы? Как на фотопереключении в твердом состоянии сказываются нековалентные взаимодействия карбонильных атомов с молекулой бензола, установленные данными РСА на молекулярной структуре в виде сольвата?

к.х.н. Дворко М.Ю. С какими количествами вещества вы работаете в фотохимическом синтезе? Наблюдается ли осмоление при проведении фотореакций? Каким образом проводилась оценка выходов фотореакций? Может ли повышение или понижение температуры повлиять термическую стабильность *ана*-изомера?

д.х.н., доцент Розенцвейг И.Б. Как наличие воды влияет на превращения *пери*-арилоксихинонов?

д.х.н., профессор Афонин А.В. Каков механизм фотохимической изомеризации *пери*-арилоксихинонов?

д.х.н., профессор Корчевин Н.А. Обязательно ли наличие заместителей в мигрирующей арильной группе? Различаются ли свойства соединений с заместителем в *пара*- и *орто*-положениях мигрирующей арильной группы? Какой фактор (стерический или электронный) оказывает влияние на свойства таких соединений?

к.х.н. Ганин А.С. Объясните изменения в спектре поглощения 1-феноксиантрахинона при облучении светом (слайд 1)? Были ли синтезированы *пери*-

арилоксихиноны с йодом в качестве заместителя? Как побочные продукты возникают при облучении *пери*-арилоксихинонов?

д.х.н. Беляева К.В. Насколько верно утверждать, что экспериментальные данные по термической стабильности *пара*-замещенного *пери*-арилоксихинона подтверждаются теоретическим расчетом *орто*-замещенного производного? Был ли проведен эксперимент по термической стабильности на *орто*-замещенном производном? Прокомментируйте вывод о влиянии строения фотохромов на молярный коэффициент экстинкции, квантовый выход фотореакций и конверсию в фотостационарном состоянии.

к.х.н., доцент Петрушенко И.К. Какие изменения были внесены согласно предложениям рецензентов с прошлого заседания секции?

д.х.н. Рулёв А.Ю. Как определяли конфигурацию аддуктов *ана*-изомеров с фенолами, представленных в виде одного энантиомера?

к.х.н. Поздняков А.С. Что подразумевается под термином термическая стабильность?

В процессе обсуждения диссертационной работы были высказаны следующие ЗАМЕЧАНИЯ:

д.х.н., доцент Розенцвейг И.Б. Необходимо переформулировать заголовок на слайде, описывающем термическую стабильность.

к.х.н. Дворко М.Ю. В автореферате нумерация соединений начинается с 80. Насколько это допустимо в автореферате?

к.х.н. Кондрашов Е.В. Можно ли утверждать, что при изомеризации работает именно ультрафиолетовый свет?

д.х.н. Беляева К.В. Исправить нумерацию соединений на слайдах.

По итогам обсуждения диссертации «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *пери*-арилоксихинонов» принято следующее

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Актуальность работы. Фотохромные соединения способны переключаться между двумя или более состояниями под действием света. Встраивание фотопереключателя в химическую систему или материал открывает возможность для точного пространственно-временного управления свойствами и запуска химических процессов в выбранном объеме материи. Этот подход используется в различных областях химии материалов и биологии при создании новых технологий, таких, как объемная 3D-печать ксолография и флуоресцентная микроскопия сверхвысокого разрешения. Дальнейшее развитие в данном направлении требует разработки фотопереключателей с улучшенными характеристиками. *Пери*-арилоксихиноны, открытые отечественными учеными в 1971 году, являются семейством фотохромов с уникальными свойствами и механизмом изомеризации. Под действием света *пери*-арилоксихиноны претерпевают обратимую внутримолекулярную миграцию арильной группы, в результате которой *пара*-хинон превращается в *ана*-изомер. Обратное превращение происходит под действием видимого света. Известные на сегодняшний день свойства (термическая

стабильность *ана*-изомера, сохранение фотохромизма в кристаллическом состоянии, значительная разница в свойствах между *пара*- и *ана*-изомерами, поглощение обоих фотоизомеров в видимом диапазоне спектра) делают *перу*-арилоксихиноны уникальным классом соединений, которым предстоит найти применение в современных технологиях.

Цель работы – исследование структурных особенностей и реакционной способности фотопереключаемых *перу*-арилоксихинонов. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1) синтезировать новые производные *перу*-арилоксихинонов на основе нафтаценхинона; изучить фотопереключаемую способность производных нафтаценхинона, используя ЯМР и электронную спектроскопию. Оценить влияние структуры на фотохимические свойства (коэффициенты экстинкции, квантовые выходы, конверсию в фотостационарном состоянии) полученных соединений;

2) изучить взаимодействие *перу*-арилоксихинонов с фенолами как в исходной, так и в фотоиндуцированной форме;

3) исследовать строение *перу*-арилоксихинонов с помощью рентгеноструктурного анализа; изучить их фотохромные свойства в кристаллическом состоянии; исследовать структуру фотогенерируемого *ана*-изомера с помощью рентгеноструктурного анализа.

Исследования проводились в соответствии с планом НИР ИрНИТУ по теме: «Фотофункциональные переключатели для динамических ковалентных, каталитических и сенсорных систем, а также фотофармакологии» (регистрационный номер 122011800077-9).

Научная новизна и практическая значимость работы. Синтезирована серия новых *перу*-арилоксихинонов на основе нафтаценхинона с заместителями различного строения в мигрирующей арильной группе. Изучено влияние заместителей в мигрирующей арильной группе на ключевые характеристики *перу*-арилоксихинонов (молярный коэффициент экстинкции, квантовый выход фотореакций, конверсия в фотостационарном состоянии). Фотохромизм *перу*-арилоксихинонов на основе нафтаценхинона был впервые изучен с использованием спектроскопии ЯМР. Показана возможность многократного переключения этих фотохромов без признаков фотодеградаци. Получен ряд фотохромов с устойчивыми к гидролизу *ана*-изомерами.

Показано, что *перу*-арилоксихиноны образуют фотоуправляемую динамическую ковалентную систему с участием фенолов. Показано, что *ана*-изомеры *перу*-арилоксихинонов обладают способностью взаимодействовать с фенолами по ранее неизвестной *окса*-реакции Михаэля с получением 4-гидроксо-10,10-диарилоксиантрацен-9-онов. Согласно квантово-химическим расчетам реакция протекает через циклическое переходное состояние с одновременным образованием связей С-О и О-Н и разрывом другой связи О-Н. Аддукты находятся в термическом равновесии *ана*-изомерами *перу*-арилоксихинонов и полностью исчезают при облучении смеси видимым светом. Этот процесс позволяет проводить

контролируемое светом замещение одной арилокси группы на другую, что невозможно без активации электрофильности антрахинона.

Проведено первое систематическое исследование *пери*-арилоксихинонов методом рентгеноструктурного анализа. Показано, что *пери*-арилоксихиноны сохраняют фотохромные свойства в кристаллическом состоянии. Впервые проведено рентгеноструктурное исследование монокристалла *ана*-изомера *пери*-арилоксихинона. Раскрыты особенности молекулярного строения *пери*-арилоксихинонов на основе антрахинона и нафтаценхинона.

Достоверность полученных результатов В работе использовались физико-химические методы: спектроскопия ЯМР на ядрах ^1H , ^{13}C , ^{15}N ; методы 2D ЯМР-спектроскопии, такие как COSY, NOESY, HSQC, HMBSC; масс-спектрометрия, в том числе высокого разрешения; электронная спектроскопия; циклическая вольтамперометрия. Исследования монокристаллов методом рентгеноструктурного анализа проведено совместно с сотрудниками ИНЭОС РАН и ИриХ СО РАН с использованием оборудования Байкальского аналитического центра (БАЦ ИриХ СО РАН). Часть соединений была синтезирована в группе проф. Клименко (Югорский государственный университет). Фенолы на основе оксадиазола представлены проф. И.Е. Михайловым (Южный федеральный университет). В работе использовались квантово-химические расчеты (DFT) для оптимизации геометрии и определения механизмов отдельных реакций.

Личный вклад автора состоял в поиске, анализе и систематизации литературных источников, планировании и проведении экспериментов, установлении строения полученных соединений и интерпретации экспериментальных данных.

Апробация работы и публикации. По результатам исследований были опубликованы 2 статьи в рецензируемых научных изданиях (также, одна статья была отправлена в печать) и 8 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях.

Результаты исследования были представлены на Всероссийской научной конференции «Современные проблемы органической химии» (Новосибирск, 2023 г.), Международной конференции по химии «Байкальские чтения – 2023» (Иркутск, 2023 г.), Всероссийской научной школе-конференции «Марковниковские чтения: Органическая химия от Марковникова до наших дней» (Москва, 2023 г.), XIII International Conference on Chemistry for Young Scientists «Mendeleev 2024» (Санкт-Петербург, 2024 г.), IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг» (Иркутск, 2025 г.), Международной конференции «New Emerging Trends in Chemistry» (Армения, Ереван, 2025 г.).

Материалы диссертационной работы достаточно полно изложены в работах, опубликованных соискателем.

Автореферат диссертационной работы соответствует её содержанию.

Диссертационная работа отвечает требованиям пункта 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., и не содержит заимствованных материалов и результатов без ссылок на авторов и источник заимствования.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой были получены фундаментальные данные о строении и реакционной способности фотопереключаемых *пери*-арилоксихинонов. Синтезирована серия новых фотохромных *пери*-арилоксихинонов на основе нафтаценхинона с заместителями различной природы в мигрирующей арильной группе и изучены их фотохромные свойства. Получены *пери*-арилоксихиноны, устойчивые к фотодеградаци и гидролизу. Показано, что *ана*-изомеры *пери*-арилоксихинонов на основе антрахинона способны присоединять фенолы по реакции *окса*-Михаэля. Обнаружена общая предорганизация молекул, предположительно способствующая фотохимической арилтропии. Показана способность *пери*-арилоксихинонов переключаться в кристаллическом состоянии под действием УФ и видимого света.

Диссертационная работа «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *пери*-арилоксихинонов» Быкова Василия Николаевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3. Органическая химия в диссертационном совете 24.1.165.01 (Д 003.052.01) при ФГБУН Федеральном исследовательском центре «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН».

Заключение принято на заседании специализированной секции «Органическая химия и химия высокомолекулярных соединений» Учёного совета ИрИХ СО РАН.

Результаты голосования: «за» – 33, «против» – нет, «воздержалось» – нет (протокол № 195 от 30 сентября 2025 года).

Заместитель председателя специализированной секции
«Органическая химия и химия высокомолекулярных соединений»
Учёного совета ФГБУН Федерального исследовательского центра
«Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН»
д.х.н., доцент, заведующий лабораторией
галогенорганических соединений
ИрИХ СО РАН

Розенцвейг И.Б.

Секретарь специализированной секции
«Органическая химия и химия высокомолекулярных соединений»
к.х.н., старший научный сотрудник лаборатории
непредельных гетероатомных соединений
ИрИХ СО РАН

Никитина Л.П.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», к.г.-м.н.



А.М. Кононов

» 09 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Диссертация «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *пери-арилоксихинонов*» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки соискатель Быков Василий Николаевич работал в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» в должности младшего научного сотрудника.

В 2021 году окончил магистратуру ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» по направлению 19.04.02 – продукты питания из растительного сырья. В 2025 году окончил аспирантуру в Иркутском государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», по направлению 19.06.01 – промышленная экология и биотехнологии, направленность «технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

Научный руководитель – доктор химических наук, профессор кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной, заведующий лабораторией фотофункциональных материалов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» Львов Андрей Геннадьевич.

ВЫПИСКА

из протокола № 1 заседания кафедры химии и биотехнологии
им. В.В. Тутуриной от 9 сентября 2025 года.

Присутствовали:

1. Евстафьев С. Н. – д.х.н., профессор, заведующий кафедрой;
2. Степанова М. В. – спец. по УМР I кат.;
3. Бегунова Л. А. – доцент, к.х.н.;
4. Бочкарева С. С. – доцент, к.х.н.;
5. Дударев В. И. – профессор, д.х.н.;
6. Грищенко А. И. – доцент, к.т.н.;
7. Кузнецова О. В. – доцент, к.х.н.;
8. Лебедева О. Ю. – профессор, д.х.н.;
9. Лозовая Т. С. – доцент, к.б.н.;
10. Львов А.Г. – д.х.н.; профессор
11. Привалова Е. А. – доцент, к.х.н.;
12. Сипкина Е. И. – доцент, к.х.н.;
13. Соболева В. Г. – доцент, к.т.н.;
14. Супрун Н. П. – старший преподаватель;
15. Тигунцева Н. П. – доцент, к.х.н.;
16. Филатова Е. Г. – доцент, к.т.н.;
17. Фомина Е. С. – доцент, к.х.н.;
18. Чеснокова А. Н. – заведующий лабораторией ХБТ, к.х.н.;
19. Яковлева А. А. – профессор, д.х.н.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Обсуждение диссертации Быкова Василия Николаевича: «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *пери*-ариллоксихинонов», представленной на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3. – органическая химия.

Научный руководитель – д.х.н. А. Г. Львов.

Рецензенты диссертации:

И. К. Петрушенко, к.х.н, доцент Лаборатории сетевых систем и ИТ инфраструктуры;

А. Н. Чеснокова, к.х.н., доцент кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной.

СЛУШАЛИ:

Доклад Быкова В.Н. по диссертационной работе «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *пери*-ариллоксихинонов».

Диссертационная работа была выполнена на кафедре химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной и лаборатории фотофункциональных

материалов Института высоких технологий Иркутского национального исследовательского технического университета.

Тема диссертационной работы Быкова В.Н. утверждена на заседании Ученого совета 25 апреля 2025 г., приказ №1058.

В своем докладе Быкова В.Н. сформулировал цели и задачи работы, отразил основные научные результаты и выводы. Из представленного доклада следовало, что в диссертационной работе синтезирована серия новых фотохромных *перу*-ариарилоксихинонов на основе нафтаценхинона с заместителями различной природы в мигрирующей арильной группе. Изучено влияние их природы на молярный коэффициент экстинкции, квантовый выход фотореакций и конверсию в фотостационарном состоянии. Показана возможность многократного переключения *перу*-ариарилоксихинонов на основе нафтаценхинона без признаков фотодеградации. Получен ряд фотохромов с устойчивыми к гидролизу термически стабильными *ана*-изомерами. Показано, что *ана*-изомеры *перу*-ариарилоксихинонов на основе антрахинона способны присоединять фенолы по реакции *окса*-Михаэля с образованием ранее неизвестных 4-гидрокси-10,10-диарилоксиантрацен-9-онов. Последние являются кинетически нестабильными частицами и находятся в равновесии с *ана*-изомерами. Полученную динамическую ковалентную систему можно деактивировать облучением видимым светом с фиксацией обмена арилоксигрупп. Методом рентгеноструктурного анализа изучено молекулярное строение шести *перу*-ариарилоксихинонов. Показана предорганизация молекул, способствующая фотохимической арилтропии. Показано сохранение фотоактивности *перу*-ариарилоксихинонов как в исходной, так и в фотоиндуцированной форме в кристаллическом состоянии. Впервые получен кристалл *ана*-изомера, строение которого было исследовано методом рентгеноструктурного анализа.

ВОПРОСЫ ЗАДАВАЛИ:

Д-р хим. наук, проф. Евстафьев С. Н.:

В чем состоит новизна выполненной работы?

Д-р хим. наук, проф. Евстафьев С. Н.:

Чем обусловлена подвижность атома хлора в молекуле 6-хлортетрацен-5,12-диона?

Д-р хим. наук, проф. Дударев В. И.:

Сколько циклов изомеризации можно провести для *перу*-ариарилоксихинонов на основе антрахинона и нафтаценхинона?

Д-р хим. наук, проф. Евстафьев С. Н.:

Как были получены фенолы на основе оксадиазола?

Д-р хим. наук, проф. Дударев В. И.:

Сколько публикаций было подготовлено по итогам выполнения диссертационной работы?

Д-р хим. наук, проф. Евстафьев С. Н.:

Каков механизм изомеризации *пер*-арилоксихинонов? Происходит ли она через радикальный интермедиат?

Д-р хим. наук, проф. Лебедева О. Ю.:

Какие побочные процессы происходят при фотоизомеризации *пер*-арилоксихинонов?

Канд. хим. наук, доц. Петрушенко И. К.:

Каким образом были получены данные о молекулярной упаковке *пер*-арилоксихинонов в кристаллах?

ВЫСТУПИЛИ:

Рецензенты диссертации:

И. К. Петрушенко, к.х.н, доцент лаборатории сетевых систем и ИТ инфраструктуры;

А. Н. Чеснокова, к.х.н. доцент кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной.

Основные рекомендации – внести изменения в текст диссертации и доработать иллюстрационный материал к докладу.

1. Необходимо исправить опечатки и неудачные места в тексте диссертации, предоставить более подробную информацию о расчетах с использованием теории функционала плотности и экспериментах по спектроскопии ЯМР.

2. Необходимо переработать раздел, описывающий результаты рентгеноструктурного анализа *пер*-арилоксихинонов.

ПОСТАНОВИЛИ:

Утвердить следующее заключение о диссертационной работе Быкова В.Н.

Оценка выполненной соискателем учёной степени работы. Диссертационная работа Быкова Василия Николаевича относится к фундаментальным исследованиям и посвящена изучению строения и реакционной способности фотопереключаемых *пер*-арилоксихинонов.

Актуальность темы исследования. Фотохромные соединения способны переключаться между двумя или более состояниями под действием света. Встраивание фотопереключателя в химическую систему или материал открывает возможность для точного пространственно-временного управления свойствами и запуска химических процессов в выбранном объеме материи. Этот подход используется в различных областях химии материалов и биологии при создании новых технологий, среди которых можно упомянуть 3D-печать ксолографию и флуоресцентную микроскопию сверхвысокого разрешения. Дальнейшее развитие подобных технологий требует разработки

фотопереключателей с улучшенными характеристиками. *Пери-арилоксихиноны*, открытые отечественными учеными в 1971 году, являются семейством фотохромов с уникальными свойствами: Под действием света, *пери-арилоксихиноны* претерпевают обратимую внутримолекулярную миграцию арильной группы, в результате которой *пара-хинон* превращается в *ана-изомер*. Обратное превращение происходит под действием видимого света. Известно, что фотохромизм *пери-арилоксихинов* характеризуется термической стабильностью *ана-изомера*, сохранением светочувствительности в кристаллическом состоянии, значительной разницей в свойствах между *пара-* и *ана-изомерами*, поглощением обоих изомеров в видимой области спектра. Вместе с тем, остается неисследованным ряд вопросов, касающихся строения и реакционной способности *пери-арилоксихинов*.

Личный вклад автора состоял в поиске, анализе и систематизации литературных источников, планировании и проведении экспериментов, установлении строения полученных соединений и интерпретации экспериментальных данных.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается их хорошей воспроизводимостью, использованием в исследовании современных методов физико-химического анализа и публикацией результатов исследования в высокорейтинговых научных журналах.

Основные результаты работы были представлены в виде докладов на научных конференциях: Всероссийской научной конференции «Современный проблемы органической химии» (Новосибирск, 2023 г.), Международной конференции по химии «Байкальские чтения – 2023» (Иркутск, 2023 г.), Всероссийской научной школе-конференции «Марковниковские чтения: Органическая химия от Марковникова до наших дней» (Москва, 2023 г.), XIII International Conference on Chemistry for Young Scientists «Mendeleev 2024» (Санкт-Петербург, 2024 г.), IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг» (Иркутск, 2025 г.).

Основное содержание работы изложено в 10 публикациях, в том числе в виде 2-х статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, индексируемых базой Web of Science (также, одна статья была отправлена в редакцию журнала).

Научная новизна работы и практическая значимость работы. Синтезирована серия новых *пери-арилоксихинов* на основе нафтаценхинона с заместителями различного строения в мигрирующей арильной группе. Изучено влияние строения на ключевые характеристики *пери-арилоксихинов* (молярный коэффициент экстинкции, квантовый выход фотореакций, конверсия в фотостационарном состоянии). Впервые проведено систематическое исследования фотохромизма *пери-арилоксихинов* на основе нафтаценхинона с использованием спектроскопии ЯМР. Показана возможность многократного переключения этих фотохромов без признаков

деградации. Получен ряд фотохромов с устойчивыми к гидролизу и фотодеструкции фотоиндуцированными изомерами.

Обнаружено, что *пери*-арилоксихиноны образуют фотоуправляемую динамическую ковалентную систему с участием фенолов. Показано, что *ана*-изомеры *пери*-арилоксихинонов обладают способностью взаимодействовать с фенолами по ранее неизвестной *окса*-реакции Михаэля с получением 4-гидроксо-10,10-диарилоксиантрацен-9-онов. Согласно квантово-химическим расчетам, реакция протекает через циклическое переходное состояние с одновременным образованием связей С-О и О-Н и разрывом другой связи О-Н. Аддукты находятся в термическом равновесии *ана*-изомерами *пери*-арилоксихинонов и полностью исчезают при облучении смеси видимым светом. Этот процесс позволяет проводить контролируемое светом замещение одной арилокси группы на другую, что невозможно без активации электрофильности антрахинона.

Проведено систематическое исследование строения и молекулярной упаковки *пери*-арилоксихинонов различного строения методом рентгеноструктурного анализа. Показано, что *пери*-арилоксихиноны сохраняют фотохромные свойства в кристаллическом состоянии. Впервые проведено рентгеноструктурное исследование монокристалла *ана*-изомера *пери*-арилоксихинона (6-(4-(*трет*-бутил)феноксид)тетрацен-5,11-диона). Раскрыты особенности молекулярного строения *пери*-арилоксихинонов на основе антрахинона и нафтаценхинона.

Научная специальность, которой соответствует диссертация.

Диссертационная работа по своим целям и задачам, научной новизне, актуальности исследований, содержанию и методам исследования соответствует пунктам паспорта специальности 1.4.3 – Органическая химия:

П. 1. Выделение и очистка новых соединений.

П. 2. Открытие новых реакций органических соединений и методов их исследования.

П. 7. Выявление закономерностей типа «структура – свойство».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем учёной степени.

1. Lvov, A. G. Revisiting *Peri*-Aryloxyquinones: From a Forgotten Photochromic System to a Promising Tool for Emerging Applications / A. G. Lvov, L. S. Klimenko, V. N. Bykov, S. Hecht // Chem. Eur. J. – 2024. – Vol. 30. – e202303654 (DOI: 10.1002/chem.202303654).

2. Bykov, V. N. Activation of anthraquinone's electrophilicity by light for a dynamic C-O bond / V. N. Bykov, S. A. Ukhanev, I. A. Ushakov, A. V. Vologzhanina, E. A. Antsiferov, L. S. Klimenko, A. G. Lvov // J. Am. Chem. Soc. – 2024. – Vol. 146. – P. 1799-1805 (DOI: 10.1021/jacs.3c12461).

3. Bykov V. N. Efficient Photoswitching of Aryloxy-Substituted Naphthacenequinones / V. N. Bykov, A. A. Faizdrakhmanova, I. A. Ushakov, I. E.

Mikhailov, G. A. Dushenko, Y.M. Artyushkina, A. V. Vologzhanina, A. G. Lvov // ChemPhotoChem. – отправлено в редакцию.

4. Быков, В. Н. Иницируемый светом динамический обмен фенолов в *перу*-арилоксихинонах / В. Н. Быков, Л. С. Клименко, А. В. Вологжанина, С. А. Уханев, А. Г. Львов // Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные проблемы органической химии». Новосибирск. – 2023. – С. 117.

5. Быков, В. Н. Иницируемый светом динамический обмен фенолов в *перу*-арилоксихинонах / В. Н. Быков, Л. С. Клименко, А. В. Вологжанина, С. А. Уханев, А. Г. Львов // Международная конференция по химии «Байкальские чтения 2023». Иркутск. – 2023. – С. 68.

6. Быков, В. Н. Активация электрофильности антрахинона светом для динамической связи С-О / В. Н. Быков, С. А. Уханев, И. А. Ушаков, А. В. Вологжанина, Е. А. Анциферов, Л. С. Клименко, А. Г. Львов // Всероссийская научная школа-конференция «Марковниковские чтения: органическая химия от Марковникова до наших дней». Красновидово. – 2024. – С. 30.

7. Файзрахманова, А. А. Флуоресцентные переключатели на основе *перу*-арилоксихинонов / А. А. Файзрахманова, В. Н. Быков, И. Е. Михайлов, А. Г. Львов // Всероссийская научная школа-конференция «Марковниковские чтения: органическая химия от Марковникова до наших дней». Красновидово. – 2024. – С. 106.

8. Bykov, V. N. Activation of anthraquinone's electrophilicity by light for a dynamic C-O bond / V. N. Bykov, S. A. Ukhanev, I. A. Ushakov, A. V. Vologzhanina, E. A. Antsiferov, L. S. Klimenko, A. G. Lvov // XIII International Conference on Chemistry for Young Scientists «MENDELEEV 2024». – St Petersburg. – 2024. – P. 408.

9. Faizdrakhmanova, A. A. Fluorescent switches based on *peri*-aryloxyquinones / A. A. Faizdrakhmanova, V. N. Bykov, I. E. Mikhailov, A. G. Lvov // XIII International Conference on Chemistry for Young Scientists «MENDELEEV 2024». – St Petersburg. – 2024. – P. 420.

10. Быков В. Н. Строение переключаемых *перу*-арилоксихинонов / В. Н. Быков, А. В. Вологжанина, И. В. Стерхова, Л. С. Клименко, А. Г. Львов // IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг». Иркутск. – 2025. – С. 74-79.


Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертационной работы. Соавторы публикаций не возражают против использования материалов перечисленных работ в кандидатской диссертации В.Н. Быкова.

Диссертация «Строение и реакционная способность фотопереключаемых *перу*-арилоксихинонов» **рекомендуется** к защите на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3. – Органическая химия в Диссертационный совет Д 24.1.165.01 на базе Федерального

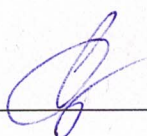
государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук». Заключение принято на заседании кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Присутствовало на заседании 19 человек. Результаты голосования: «за» – 19 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 1 от 9 сентября 2025 г.

Зав. кафедрой химии и
биотехнологии им. В.В. Тутуриной
д.х.н, профессор


_____ С. Н. Евстафьев

Секретарь


_____ М. В. Степанова