ИрИХ СО РАН

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИРКУТСКИЙ
ИНСТИТУТ ХИМИИ
им. А.Е. ФАВОРСКОГО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ИрИХ СО РАН)

ул. Фаворского, д. 1, г. Иркутск, 664033
Для телеграмм: Иркутск-33, Полимеры
Факс (395-2) 41-93-46
Телефон (395-2) 51-14-31, 42-92-32
E-mail: irk_inst_chem@irioch.irk.ru
http://www.irkinstchem.ru
ОКПО 03533719 ОГРН 1023801755779
ИНН/КПП 3812011770/381201001

06.11.2025 № 15327-01-07/1477
На № ________________ от ________________

Председателю совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук 24.1.092.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук академику РАН Егорову М.П.

[О согласии выступить
в качестве ведущей организации]

Глубокоуважаемый Михаил Петрович!

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук» дает согласие на выполнение функций ведущей организации по диссертации Уварова Дениса Юрьевича на тему «Новые BODIPY с карбо- и гетероциклическими фрагментами: синтез, фотофизические свойства и оценка возможности применения в биовизуализации», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3. – органическая химия и предоставить отзыв в диссертационный совет в установленном порядке.

В соответствии с Федеральным законом от 27.07.2006 г. № 152 - ФЗ «О персональных данных» настоящим даем согласие на обработку данных об организации в целях включения в аттестационное дело соискателя для защиты диссертации.

Отзыв будет подготовлен в Лаборатории фотоактивных соединений.

Приложение: сведения о ведущей организации.

Директор д.х.н. Иванов А.В.

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе Уварова Дениса Юрьевича на тему «Новые BODIPY с карбо- и гетероциклическими фрагментами: синтез, фотофизические свойства и оценка возможности применения в биовизуализации», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3. – органическая химия.

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИрИХ СО РАН
Организационно-правовая форма организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс и адрес организации	664033, Иркутск, ул. Фаворского, д. 1
Официальный веб-сайт организации	https://www.irkinstchem.ru
Адрес электронной почты	irk_inst_chem@irioch.irk.ru
Телефон	+7 (3952) 51-14-31
Руководитель организации	Доктор химических наук Андрей Викторович Иванов
Наименование профильного структурного подразделения, занимающегося проблематикой диссертации	Лаборатория фотоактивных соединений

Список публикаций работников структурного подразделения, в котором будет готовиться отзыв, по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	1. Болотова Ю. А., Кавун А. М., Ширинян В. З., Львов А. Г. Бензоаннелирование ароматических гетероциклов: развитие в XXI веке // Успехи химии – 2025. – Т. 94, № 7. – RCR5163. 2. Bykov V. N., Faizdrakhmanova A. A., Ushakov I. A., Mikhailov I. E., Dushenko G. A., Artyushkina Y. M., Vologzhanina A. V., Lvov A. G. Efficient photoswitching of aryloxy-substituted naphthacenequinones // ChemPhotoChem. – e202500220. 3. Sergeeva E. S., Svistova A. A., Ushakov I. A., Vologzhanina A. V., Pavlov D. V., Lyssenko K. A., Shirinian V. Z., Lvov A. G. Photoreactions of semi-stiff-diarylethenes based on the cyclohexenol motif // Organic Letters. – 2024. – Т. 26, № 37. – С. 7841-7846. 4. Bykov V. N., Ukhanev S. A., Ushakov I. A., Vologzhanina A. V., Antsiferov E. A., Klimenko L. S., Lvov A. G. Activation of anthraquinone's electrophilicity by light for a dynamic C–O bond // Journal of the American Chemical Society. – 2024. – Т. 146, № 3. – С. 1799-1805. 5. Lvov A. G., Klimenko L. S., Bykov V. N., Hecht S. Revisiting peri-aryloxyquinones: from a forgotten photochromic system to a promising tool for emerging applications // Chemistry–A European Journal. – 2024. – Т. 30, № 11. – e202303654. 6. Semionova V. V., Pozdnyakov I. P., Grivin V. P., Plyusnin V. F., Tsentalovich Y. P., Shirinian V. Z., Melnikov A. A., Chekalin S. V., Lvov A. G., Glebov E. M. Multifunctional fluorescent diarylethene: time-resolved study of photochemistry // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2023. – Т. 25, № 20. – С. 14179-14192. 7. Faizdrakhmanova A. A., Shatrova A. A., Semionova V. V., Ushakov I. A., Lyssenko K. A., Glebov E. M., Lvov A. G. A bisphotochromic system featuring two modes of photoisomerization controlled by solvent polarity // Dyes and Pigments. – 2023. – Т. 218. – С. 111453. 8. Lvov A. G., Koffi Kouame E., Khusniyarov M. M. Light-induced dyotropic rearrangement of diarylethenes: scope, mechanism, and prospects // Chemistry–A European Journal. – 2023. – Т. 29, № 60. – e202301480. 9. Bolotova I. A., Ustyuzhanin A. O., Sergeeva E. S., Faizdrakhmanova A. A., Hai Y., Stepanov A. V., Ushakov I.

	A., Lyssenko K. A., You L., Lvov A. G. 2, 3-Diarylmaleate salts as a versatile class of diarylethenes with a full spectrum of photoactivity in water // Chemical Science. – 2023. – Т. 14, № 35. – С. 9553-9559.
	10. Kharitonov V. B., Sergeeva E. S., Kouame E. K., Nelyubina Y. V., Ushakov I. A., Loginov D. A., Lvov A. G. Redirecting of charge transfer enables the control of the photoactivity of terarylenes // Organic Letters. – 2022. – Т. 24, № 41. – С. 7538-7543.
	11. Ustyuzhanin A. O., Bidusenko I. A., Kouame E. K., Ushakov I. A., Gudovannyy A. O., Lyssenko K. A., Schmidt E. Y., Lvov A. G. Competition between two modes of 6π-photocyclization: a case study for 3-(1, 2-diarylvinyl)-2-arylimidazo[1,2-*a*]pyridines // European Journal of Organic Chemistry. – 2022. – Т. 2022, № 37. – e202200921.
	12. Verchozina Y. A., Lvov A. G. Effect of incorporation of silole and phosphole heterocycles into photoswitchable diarylethenes // Journal of Organometallic Chemistry. – 2022. – Т. 957. – С. 122151.
	13. Glebov E. M., Semionova V. V., Lazareva S. K., Smolentsev A. B., Fedunov R. G., Shirinian V. Z., Lvov A. G. Solvent dependent photoswitching and emission of diarylethenes with a π-conjugated push-pull system // Journal of Luminescence. – 2022. – Т. 241. – 118472.
	14. Yadykov A. V., Lvov A. G., Krayushkin M. M., Zakharov A. V., Shirinian V. Z. Photocyclization of diarylethenes: the effect of electron and proton acceptors as additives // The Journal of Organic Chemistry. – 2021. – Т. 86, № 15. – С. 10023-10031.
	15. Lvov A. G., Bredihhin A. Azulene as an ingredient for visible-light-and stimuli-responsive photoswitches // Organic & Biomolecular Chemistry. – 2021. – Т. 19, № 20. – С. 4460-4468.

Директор д.х.н. А.В. Иванов

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук»
кандидат технических наук

А.А. Левчук

“2” декабря 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу

Уварова Дениса Юрьевича

«Новые BODIPY с карбо- и гетероциклическими фрагментами: синтез, фотофизические свойства и оценка возможности применения в биовизуализации»,

представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.3. Органическая химия

Развитие методов визуализации в биомедицине и биологии последних лет во многом основано на использовании новых поколений флуоресцентных красителей. Прогресс в этом направлении обеспечивается разработкой соединений с новыми свойствами и улученными характеристиками (длины волн возбуждения и флуоресценции, квантовый выход эмиссии) и способностью накапливаться в заданных частях клетки или селективно взаимодействовать с определенными био- и малыми молекулами. Таким образом, разработка методов синтеза новых органических флуорофоров для использования в биовизуализации является **актуальной и практически значимой** задачей. Одним из наиболее востребованных классов флуорофоров для биомедицинских исследований являются представители семейства BODIPY (4,4-дифтор-4-бора-3a,4a-диаза-*s*-индацен). Кроме превосходных спектральных характеристик, они обладают широкими возможностями для направленной химической модификации. Целью диссертационной работы Дениса Юрьевича является разработка новых производных BODIPY с разнообразными карбо- и гетероциклическими остатками (аза-макроциклы, 1,3,4-тиадиазол, бензоаннелированные азолы, стероиды) и оценка их перспектив в качестве флуоресцентных красителей.

Диссертация Дениса Юрьевича изложена на 193 стр., содержит 31 рисунок, 10 схем, 6 таблиц. Работа состоит из введения, литературного обзора, обсуждения результатов, выводов, экспериментальной части, списка литературы (включающего 202 источника), а также приложений.

Во введении диссертантом сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, его актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Глава 1 (литературный обзор) предоставляет исчерпывающую информацию об использовании красителей BODIPY в биологии и медицине. Обсуждаются самые современные направления их использования для визуализации клеточных органелл, мониторинга внутриклеточного состояния, детектирования биологически важных молекул и т.д. Приведены методы синтеза эффективных флуорофоров семейства BODIPY и влияние структуры на их ключевые характеристики. Анализ данной литературы позволил Денису Юрьевичу сделать вывод о недостаточной изученности 2,6-замещенных BODIPY и практически полном отсутствии данных об эффективности введения стероидных фрагментов в структуру BODIPY. Восполнению этого пробела и посвящена диссертационная работа соискателя.

В главе 2 (обсуждение результатов) приведены результаты собственных исследований автора. По каждой из поставленных задач получены результаты, имеющие необходимые элементы **научной новизны и практической значимости**. Автором разработана методика синтеза красителей BODIPY, содержащих фрагменты циклена (1,4,7,10-тетраазациклододекана) в положениях 2 и 6, на основе реакции восстановительного аминирования соответствующих альдегидов. Были получены разнообразные красители симметричного, несимметричного, циклического, димерного и олигомерного строения путем варьирования структуры субстрата и условий реакции. Строение полученных продуктов было надежно доказано с использованием спектроскопии ЯМР и масс-спектрометрии высокого разрешения. В ряду циклен-замещенных BODIPY установлено влияние структуры и среды на спектральные характеристики (максимумы полос поглощения и флуоресценции, молярные коэффициенты экстинкции, квантовые выходы), обнаружены соединения, обладающие выраженным AIE- (aggregation-induced emission) эффектом и способностью накапливаться в лизосомах.

В следующей части работы автор сфокусировался на синтезе BODIPY, содержащих азольные заместители в положениях 2- и 2-,6-. Были разработаны условия для успешного синтеза этих соединений на основе классической сборки гетероциклов из альдегидов и бис-нуклеофилов (тиогидразидов, *о*-фенилендиаминов, *о*-аминотиофенолов, *о*-аминофенолов). Для полученных производных 1,3,4-тиадиазола, бензоимидазола, бензоксазола и бензотиазола также были проведены обширные спектральные исследования, выявившие влияние строения на свойства этих соединений.

В заключительной части работы диссертант обратился к разработке методов синтеза производных BODIPY с остатком стероида аллопрегнанолона. Путем многостадийного синтеза с хорошими выходами были получены три флуоресцентных конъюгата. Данные соединения показали отличные спектральные характеристики, не уступающие литературным аналогам. Показано, что полученные соединения являются перспективными флуоресцентными маркерами для визуализации нейронов в тканях мозга.

Глава 3 (экспериментальная часть) описывает использованные в работе методы анализа, методики получения и физико-химические характеристики синтезированных соискателем органических соединений (всего более 40 новых химических соединений).

В целом, диссертантом впервые было проведено комплексное исследование 2- и 2-,6-замещенных BODIPY как перспективных флуоресцентных красителей для биовизуализации. Несомненным достоинством работы Дениса Юрьевича являются обширные спектральные исследования, проведенные непосредственно автором, а также получение массива данных о биологической активности полученных соединений, полученных в сотрудничестве с профильными специалистами.

Принципиальных замечаний по материалу диссертации нет. При прочтении работы возникли следующие вопросы и замечания:

1) Указано, что BODIPY с цикленовыми заместителями получены в аналитически чистом виде в виде солей. В таком случае встает вопрос, какие образцы были использованы для спектральных исследований? Каким образом проводилась их нейтрализация?
2) Для производных бензоимидазола (соединения **16**), которые могут существовать в виде двух изомеров из-за возможности миграции протона в имидазоле, автор всегда указывает конкретную структуру. На чем основано такое уверенное соотнесение структуры?
3) Значения молярных коэффициентов экстинкции для некоторых из полученных соединений (Таблица 6) приведены с точностью, очевидно превышающей погрешность измерений.

Данные замечания ни в коей мере не влияют на высокую оценку проведенной работы. Диссертационная работа произвела очень хорошее впечатление, полученные в ней результаты представляют как практический, так и теоретический интерес и могут быть использованы исследовательскими коллективами химических институтов и факультетов МГУ, СПбГУ, Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону), ИОХ РАН (г. Москва), ИНЭОС РАН (г. Москва), ИрИХ СО РАН (г. Иркутск), НИОХ СО РАН (г. Новосибирск), ИОС УрО РАН (г. Екатеринбург) при проведении экспериментальных исследований, а также в курсах, посвященных химии гетероциклических соединений и красителей. Текст автореферата, представление полученных результатов на конференциях, а также три статьи, опубликованные автором в признанных международных журналах, в полном объеме передают содержание диссертационной работы. Выводы, сделанные автором, четко сформулированы, обоснованы и отражают основное содержание работы.

Содержание автореферата и диссертации соответствует паспорту специальности 1.4.3 Органическая химия в направлениях: 1) Выделение и очистка новых соединений; 2) Открытие новых реакций органических соединений и методов их исследования; 7) Выявление закономерностей типа «структура – свойство».

Таким образом, рассматриваемая диссертационная работа **соответствует** специальности 1.4.3. Органическая химия и **удовлетворяет всем требованиям** «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в последней редакции), предъявляемым ВАК Минобрнауки России к кандидатским диссертациям, а ее автор, Уваров Денис Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.3 Органическая химия.

Отзыв составлен заведующим Лабораторией фотоактивных соединений ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН», д.х.н. А.Г. Львовым.

Отзыв обсужден и единогласно утвержден на открытом заседании Лаборатории фотоактивных соединений ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН» (протокол № 3 от 30 октября 2025 г).

Львов Андрей Геннадьевич ____________________

доктор химических наук (специальность 1.4.3. Органическая химия),
заведующий Лабораторией фотоактивных соединений,
ФГБУН Федеральный исследовательский центр
«Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения
Российской академии наук» (ИРИХ СО РАН)
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1;
тел.: +7 (916) 259-58-64;
e-mail: lvov-andre@yandex.ru

02.12.2025

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук» (ИрИХ СО РАН)
664033, Российская Федерация, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1;
тел.: +7 (3952) 51-14-31; факс: +7 (3952) 41-93-46;

e-mail: irk_inst_chem@irioch.irk.ru
сайт: www.irkinstchem.ru

Я, Львов Андрей Геннадьевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.092.01, и их дальнейшую обработку в соответствии с требованиями Минобрнауки РФ.

Подпись А.Г. Львова заверяю,
Ученый секретарь ИрИХ СО РАН
к.х.н. Н.Н. Трофимова