

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 1.4.06.09
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

от 16 июня 2025 г. № 16

о присуждении **Шарапову Айнуру Диньмухаметовичу**, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Кумарины, аннелированные и замещенные моноазагетероциклами: синтез и фотофизические свойства» по специальности 1.4.3. Органическая химия принята к защите диссертационным советом УрФУ 1.4.06.09 «12» мая 2025 г. протокол № 12.

Соискатель, **Шарапов Айнур Диньмухаметович**, 1997 года рождения, в 2021 г. окончил ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология;

обучается в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (Органическая химия) с 01.09.2021 по настоящее время (предполагаемый срок окончания аспирантуры – 31.08.2025 г);

работает в должности инженера-исследователя кафедры органической и биомолекулярной химии Химико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (основное место), а также в должности младшего научного сотрудника кафедры органической и биомолекулярной химии Химико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (внутреннее совместительство).

Диссертация выполнена на кафедре органической и биомолекулярной химии Химико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат химических наук, **Халымбаджа Игорь Алексеевич**, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Химико-технологический институт, кафедра органической и биомолекулярной химии, старший научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Доценко Виктор Викторович – доктор химических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет», г. Краснодар, кафедра органической химии и технологий, заведующий кафедрой;

Мустафин Ахат Газизьянович – доктор химических наук, профессор, Уфимский институт химии - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, лаборатория органических функциональных материалов, заведующий лабораторией;

Обыденнов Дмитрий Львович – кандидат химических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт естественных наук и математики, кафедра органической химии и высокомолекулярных соединений, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 50 опубликованных работ, в том числе, по теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 7 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ и входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, 1 патент РФ на изобретение. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 6,65 п.л., авторский вклад – 1,11 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. **Шарапов, А. Д.** Рентгеноструктурное исследование 8-(пиридин-2-ил)- и 8-([1,2,4]триазин-5-ил)замещенных кумаринов. / П. А. Слепухин, Р. Ф. Фатыхов, **А. Д. Шарапов**, М. И. Валиева, Е. С. Старновская, И. А. Халымбаджа, Д. С. Копчук, Г. В. Зырянов, О. Н. Чупахин // Журнал общей химии. – 2022. – Т. 92. – № 7. – С. 1125-1130. (0.4 п.л. / 0.07 п.л.)

Sharapov A. D. X-Ray Diffraction Study of 8-(Pyridin-2-yl)- and 8-(1,2,4-Triazin-5-yl)-2H-chromen-2-ones / P. A. Slepukhin, R. F. Fatykhov, **A. D. Sharapov**, M. I. Valieva, E. S. Starnovskaya, I. A. Khalymbadzha, D. S. Kopchuk, G. V. Zyryanov, O. N. Chupakhin // Russian Journal of General Chemistry. – 2022. – Vol. 92. – № 7. – P. 1285-1289. (0.4 п.л. / 0.07 п.л.) (*Scopus, Web of Science*).

2. **Sharapov A. D.** Synthesis of 4-hydroxy and 6-hydroxyindoles: a renaissance of the Bischler reaction / **A. D. Sharapov**, R. F. Fatykhov, I. A. Khalymbadzha, O. N. Chupakhin // Chimica Techno Acta. – 2022. – Vol.9(S). – № 201192S2. (0.26 п.л. / 0.09 п.л.) (*Scopus*).

3. **Sharapov A. D.** Coumarin-pyridine push-pull fluorophores: Synthesis and photophysical studies / R. F. Fatykhov, **A. D. Sharapov**, E. S. Starnovskaya, Y.K. Shtaitz, M. I. Savchuk, D. S. Kopchuk, I. L. Nikonov, G. V. Zyryanov, I. A. Khalymbadzha, O. N. Chupakhin // Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2022. – Vol. 267. – № 120499. (0.8 п.л. / 0.1 п.л.) (*Scopus, Web of Science*).

4. **Sharapov A. D.** Mechanochemical synthesis of coumarins via Pechmann condensation under solvent-free conditions: an easy access to coumarins and annulated pyrano[2,3-*f*] and [3,2-*f*]indoles / **A. D. Sharapov**, R. F. Fatykhov, I. A. Khalymbadzha, V. V. Sharutin, S. Santra, G. V. Zyryanov, O. N. Chupakhin, B. C. Ranu // Green Chemistry. – 2022. – Vol. 24(6). – P. 2429-2437. (0.83 п.л. / 0.1 п.л.) (*Scopus, Web of Science*).

5. **Sharapov A. D.** Fluorescent Pyranoindole Congeners: Synthesis and Photophysical Properties of Pyrano[3,2-*f*], [2,3-*g*], [2,3-*f*], and [2,3-*e*]Indoles. / **A. D. Sharapov**, R. F. Fatykhov, I. A. Khalymbadzha, M. I. Valieva, I. L. Nikonov,

O. S. Taniya, D. S. Kopchuk, G. V. Zyryanov, A. P. Potapova, A. S. Novikov, V. V. Sharutin, O. N. Chupakhin // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27(24). – № 8867. (1.78 п.л. / 0.3 п.л.) (Scopus, Web of Science).

6. **Sharapov A. D.** Expedient synthesis of 1,2,4-triazinyl substituted benzo[c]coumarins via double oxidation strategy / R. F. Fatykhov, I. A. Khalymbadzha, **A. D. Sharapov**, A. P. Potapova, E. S. Starnovskaya, D. S. Kopchuk, O. N. Chupakhin // *Chimica Techno Acta*. – 2023. – Vol. 10(2). – № 202310205. (0.78 п.л. / 0.2 п.л.) (Scopus).

7. **Sharapov A. D.** Conjugates of 8-[2,2'-bipyridinyl]coumarins as potential chemosensors for Al^{3+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} ions: synthesis and photophysical properties / **A. D. Sharapov**, R. F. Fatykhov, I. A. Khalymbadzha, D. S. Kopchuk, I. L. Nikonov, A. P. Potapova, Y. K. Shtaitz, P. A. Slepukhin // *Chimica Techno Acta*. – 2023. – Vol. 10(4). – № 202310417. (0.6 п.л. / 0.1 п.л.) (Scopus).

Патенты:

8. Патент 2799566 РФ. Механохимический способ синтеза кумаринов / **А. Д. Шарапов**, Р. Ф. Фатыхов, И. А. Халымбаджа, О. Н. Чупахин // заявители и патентообладатели Урал. фед. ун-т. – № 2022112695; заявл. 12.05.22; опубл. 06.07.23, Бюл. № 19. – (0.80 п.л. / 0.08 п.л.).

На автореферат поступили положительные отзывы от:

1. **Рыбаковой Анастасии Владимировны**, кандидата химических наук, доцента, доцента кафедры теоретической и прикладной химии, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск. Содержит вопросы, касающиеся региоселективности в синтезе пирролоаннелированных кумаринов без использования растворителей.

2. **Халилова Леонарда Мухибовича**, доктора химических наук, профессора, заведующего лабораторией структурной химии, Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук. Без замечаний.

3. **Будниковой Юлии Германовны**, доктора химических наук, профессора, заведующей лабораторией электрохимического синтеза

Института органической и физической химии имени А.Е. Арбузова - обособленного структурного подразделения Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук. Без замечаний.

4. **Зайнуллина Радика Анваровича**, доктора химических наук, профессора, профессора кафедры современных технологий пищевых индустрий Института экосистем бизнеса и креативных индустрий ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». Без замечаний.

5. **Егорова Виктора Анатольевича**, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника лаборатории синтеза низкомолекулярных биорегуляторов, и **Мифтахова Мансура Сагарьяровича**, доктора химических наук, профессора, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией синтеза низкомолекулярных биорегуляторов Уфимского института химии - обособленного структурного подразделения ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук. Содержит примечания, касающиеся этапов реакции нуклеофильного замещения водорода в 1,2,4-триазилах с кумаринами.

6. **Белецкой Ирины Петровны**, доктора химических наук, академика РАН, профессора кафедры органической химии, и **Тарасенко Елены Александровны**, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника кафедры органической химии Химического Факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ). Без замечаний.

7. **Фаттахова Альберта Ханифовича**, кандидата химических наук, доцента, доцента кафедры органической и биоорганической химии ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ). Без замечаний.

8. **Егоровой Алевтины Юрьевны**, доктора химических наук, профессора, заведующего кафедрой органической и биоорганической химии Института химии ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями, исследованиями в области химии гетероциклических соединений, фотоактивных материалов и биологически активных соединений, и наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития органической химии: разработка новых методов синтеза и исследование фотофизических свойств моноазагетероциклических кумаринов.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

- Разработан двухстадийный метод синтеза флуорофоров на основе (пиридин-2-ил)- и (2,2'-бипиридин-6-ил)замещенных кумаринов, бензо[с]кумаринов и пирроло[3,2-*g*]кумаринов при помощи последовательности реакций нуклеофильного замещения водорода (S_N^H) – Дильса-Альдера – ретро-Дильса-Альдера (реакция Боджера).
- Проведены исследования фотофизических свойств (пиридин-2-ил)- и (2,2'-бипиридин-6-ил)- замещенных кумаринов и бензо[с]кумаринов. Изучены фотофизические свойства, для перспективных соединений экспериментально исследовано явление сольватохромизма, которое теоретически подтверждено математическими моделями Липперта-Матага, шкалами Косовера и Димрота/Райхардта. Исследован люминесцентный отклик 8-(2,2'-бипиридин-6-ил)кумаринов на катионы Al^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} и Cu^{2+} .
- Разработан одnoreакторный синтез 1,2,4-триазилилзамещенных бензо[с]кумаринов методом двойного окисления циклогексенового фрагмента и дигидротриазинового фрагмента в аддуктах.

- Исследована молекулярная и кристаллическая структура методом рентгеноструктурного анализа (РСА) для полученных 8-(пиридин-2-ил)- и 8-(1,2,4-триазин-5-ил)-замещенных кумаринов.

- Впервые разработан механохимический подход в синтезе линейных производных пирроло[2,3-*g*] и [3,2-*g*]кумаринов при взаимодействии производных гидроксиндолов с β -кетозэфирами в шаровой мельнице в присутствии метансульфоновой кислоты.

- Разработан двухстадийный синтез новых флуорофоров на основе пирролокумаринов с четырьмя типами аннелирования ([3,2-*g*], [2,3-*g*], [2,3-*h*], [2,3-*f*]) из гидроксиндолов по Пехману. Исследованы фотофизические свойства полученных соединений, проведены квантово-химические расчеты и проанализированы данные по уравнению Липперта-Матага. Изучены фотофизические свойства 9-(пиридин-2-ил)замещенных пирролокумаринов.

В рамках данной работы разработаны простые и эффективные методы синтеза производных кумаринов и, в частности, пирролоаннелированных, 1,2,4-триазинил- и 2-пиридинил- кумаринов, бензо[*c*]кумаринов, пирролокумаринов, представляющих собой перспективные флуорофоры. Предложенный синтетический подход реакции Пехмана (в том числе с применением механохимической активации), реакции S_N^H и реакции Боджера, открывает простой путь к моноазагетероциклическим кумаринам и позволяет варьировать гибкую конструкцию хромофорных каркасов. Эмиссия флуорофоров на основе моноазагетероциклических кумаринов охватывала диапазон от синего до зеленого, с максимумами эмиссии от 368 до 586 нм. Были найдены соединения с высокими квантовыми выходами до 89 % и большими Стоксовыми сдвигами около 14000-16000 см^{-1} , а также обнаружено явление положительного сольватохромизма.

Моноазагетероциклические производные кумаринов с высокими значениями квантового выхода и обладающие положительным сольватохромизмом представляют собой перспективные материалы для солнечных батарей, для OLED-материалов, как материалы для молекулярной электроники, как потенциальные кандидаты для создания флуоресцентных

