

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.092.01

на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт органической химии имени Н.Д. Зелинского» Российской академии наук» (ИОХ РАН) по диссертации **Вараксина Михаила Викторовича** на соискание ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Стратегия прямой C(sp<sup>2</sup>)–H функционализации в конструировании перспективных азагетероциклических систем ароматической и неароматической природы» по специальности 1.4.3 – Органическая химия в виде рукописи выполнена на кафедре органической и биомолекулярной химии химико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ) и принята к защите 27 сентября 2022 г., протокол № 33 диссертационным советом 24.1.092.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук (ИОХ РАН), деятельность которого возобновлена 24 сентября 2021 года в соответствии с приказом № 964/нк.

Соискатель, Вараксин Михаил Викторович, гражданин РФ, директор химико-технологического института, доцент кафедры органической и биомолекулярной химии УрФУ, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук «Некатализируемые C–C сочетания литийорганических реагентов с азинами в синтезе лигандов» в 2010 г. на диссертационном совете, созданном на базе УрФУ, диплом кандидата наук ДКН № 132368 (решение ВАК от 08 апреля 2011 г. № 15к/108).

Научный консультант – академик РАН, профессор, доктор химических наук, профессор кафедры органической и биомолекулярной химии Чупахин Олег Николаевич.

### Официальные оппоненты:

1. Трифонов Александр Анатольевич, член-корреспондент РАН, доктор химических наук, директор Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН;
2. Багрянская Елена Григорьевна, доктор физико-математических наук, директор, заведующий лабораторией магнитной радиоспектроскопии Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения РАН;
3. Белоглазкина Елена Кимовна, доктор химических наук, профессор кафедры органической химии, заведующий лабораторией биологически активных органических

соединений Химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

**дали положительные отзывы о диссертации.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» (СПбГТИ(ТУ)) – в своем **положительном заключении на диссертацию** (заключение составлено доктором химических наук, профессором кафедры химии и технологии органических соединений азота Островским Владимиром Ароновичем) указала, что диссертационная работа М.В. Вараксина является законченным исследованием, и по поставленным задачам, уровню их решения, полученным результатам, их научной новизне и практической значимости, а также по количеству и уровню публикаций, полностью соответствует всем требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора химических наук, установленным в пункте 9 “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Диссертация М.В. Вараксина является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Автор работы, Вараксин Михаил Викторович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора наук по специальности 1.4.3 – Органическая химия.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью тематик научных работ:** диссертационная работа относится к областям разработки новых методов органического синтеза, химии азотсодержащих гетероциклических соединений, химии элементоорганических соединений, химии координационных соединений, химии органических радикалов и фотоактивных соединений.

На диссертацию и автореферат поступило **6 положительных отзывов**, из них **3 полностью положительные** от:

1. Российско-Армянского университета, подписанный член-корреспондентом НАН Республики Армения, доктором химических наук, профессором, заведующим лабораторией биоактивных азотистых гетероциклов Данагуляном Г.Г.;
2. Института технической химии УрО РАН – филиала ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, подписанный доктором химических наук, профессором Шкляевым Ю.В.

3. Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, подписанный доктором химических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории механизмов реакций, профессором Снегур Л.В.

**3 положительных отзыва с замечаниями от:**

1. Института металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, подписанный директором, академиком РАН, доктором химических наук, профессором Федюшкиным И.Л.;

2. Казанского (Приволжского) федерального университета, подписанный членом-корреспондентом РАН, доктором химических наук, профессором кафедры органической и медицинской химии Антипиным И.С.;

3. Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева, подписанный доктором химических наук, профессором кафедры биологии, химии и экологии Горностаевым Л.М.

Изложенные замечания по работе не носят принципиального характера, относятся к оформлению автореферата, терминологии, а также неполноте в обсуждении структуры полученных соединений. Все недостающие в автореферате сведения содержатся в тексте диссертации и опубликованных по теме диссертации статьях.

**В дискуссии приняли участие:** д.х.н., проф., С.З. Вацадзе (заведующий лабораторией супрамолекулярной химии № 2), д.х.н., проф., Л. И. Беленъкий (ведущий научный сотрудник лаборатории гетероциклических соединений № 3), А.А. Таболин (старший научный сотрудник лаборатории химии органических и металл-органических азот-кислородных систем № 9), д.х.н., проф. В.В. Веселовский (заведующий лабораторией полинепредельных соединений № 7), чл.-корр. РАН А.О. Терентьев (заведующий лабораторией исследования гомолитических реакций № 13), д.х.н., доцент А. Ю. Сухоруков (заведующий лабораторией химии органических и металл-органических азот-кислородных систем № 9), , к.х.н. В.А. Виль (старший научный сотрудник лаборатории исследования гомолитических реакций № 13), д.х.н. Л.Л. Ферштат (заведующий лабораторией азотсодержащих соединений № 19)

Соискатель имеет 122 опубликованные работы, в том числе 70 публикаций по теме диссертации. Из них 5 обзорных и 32 экспериментальные статьи, опубликованные в ведущих отечественных и зарубежных журналах, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, а также рекомендованных ВАК по теме диссертации, 78 тезис на всероссийских и международных конференциях (в том числе 31 по теме диссертации), 2 патента на изобретение по теме диссертации.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

Обзоры:

1. А.А. Акулов, М.В. Вараксин, В.Н. Чарушин, О.Н. Чупахин / Методология прямой функционализации связи C(sp<sup>2</sup>)-H в альдиминах и родственных соединениях: современное состояние и перспективы // Успехи химии. – 2021. – Том 90. – № 3. – С. 374-394.
2. A.A. Akulov, M.V. Varaksin, P. Mampuys, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin, B.U.W. Maes / C(sp<sup>2</sup>)-H functionalization in non-aromatic azomethine-based heterocycles // Org. Biomol. Chem. – 2021. – Vol. 19. – № 2. – P. 297-312.
3. T.D. Moseev, M.V. Varaksin, D.A. Gorlov, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / Recent advances in the functionalization of polyfluoro(aza)aromatics via C-C coupling strategies // Org. Biomol. Chem. – 2021. – Vol. 19. – № 20. – P. 4429-4459.
4. L.A. Smyshliaeva, M.V. Varaksin, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / Azaheterocyclic Derivatives of ortho-Carborane: Synthetic Strategies and Application Opportunities // Synthesis. – 2020. – Vol. 52. - № 3. – P. 337-352.

Статьи:

5. M.V. Varaksin, I.A. Utepova, O.N. Chupakhin, V.N. Charushin / Direct nucleophilic C-H functionalization of azines and their N-oxides by lithium derivatives of aldonitrones // Tetrahedron. – 2015. – Vol. 71. – № 38. – P. 7077-7082.
6. O.N. Chupakhin, E.V. Tretyakov, I.A. Utepova, M.V. Varaksin, G.V. Romanenko, A.S. Bogomyakov, S.L. Veber, V.I. Ovcharenko / Ferro-and antiferromagnetic interactions in polymeric and molecular complexes of Cu(hfac)<sub>2</sub> with 1-oxoazin-2-yl-substituted nitronyl nitroxides // Polyhedron. – 2011. – Vol. 30. – № 4. – P. 647-653.
7. I.A. Lavrinchenko, T.D. Moseev, M.V. Varaksin, G.V. Zyryanov, O.S. Taniya, A.N. Tsmokalyuk, O.P. Demidov, I.V. Borovlev, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / A BF<sub>3</sub>-mediated C-H/C-Li coupling of 1,3,7-triazapyprene with 2-thienyllithium in the design of push-pull fluorophores and chemosensors for nitroaromatics // New J. Chem.. – 2022. – Vol. 46. – № 11. – P. 5121-5128.
8. L.A. Smyshliaeva, M.V. Varaksin, E.I. Fomina, M.V. Medvedeva, T.S. Svalova, A.N. Kozitsina, O.P. Demidov, I.V. Borovlev, C. Mensch, P. Mampuys, B.U.W. Maes, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / 1,3,7-Triazapyprene-Based *ortho*-Carborane Fluorophores: Convenient Synthesis, Theoretical Studies, and Aggregation-Induced Emission Properties // Organometallics. – 2021. – Vol. 40. – № 16. – P. 2792-2807.
9. L.A. Smyshliaeva, M.V. Varaksin, E.I. Fomina, M.N. Joy, V.A. Bakulev, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / Cu(I)-catalyzed cycloaddition of vinylacetylene ortho-carborane and arylazides in the design of 1,2,3-triazolyl-modified vinylcarborane fluorophores // Organometallics. – 2020. – Vol. 39. – № 20. – P. 3679-3688..

10. M.V. Varaksin, L.A. Smyshliaeva, V.L. Rusinov, O.G. Makeev, V.V. Melekhin, A.D. Baldanshirieva, O.G. Gubina, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / Synthesis, characterization, and in vitro assessment of cytotoxicity for novel azaheterocyclic nido-carboranes – Candidates in agents for boron neutron capture therapy (BNCT) of cancer // Tetrahedron. – 2021. – Vol. 102. – 132525.
11. P. Mampuys, T.D. Moseev, M.V. Varaksin, J. De Houwer, C.M.L. Vande Velde, O.N. Chupakhin, V.N. Charushin, B.U.W. Maes / Synthesis of Functionalized Pyrazin-2(1*H*)-ones via Tele-Nucleophilic Substitution of Hydrogen Involving Grignard Reactants and Electrophiles // Org. Lett. – 2019. – Vol. 21. – № 8. – P. 2699-2703.
12. M.V. Varaksin, I.A. Utepova, O.N. Chupakhin, V.N. Charushin / Palladium(II)-catalyzed oxidative C-H/C-H coupling and eliminative S<sub>N</sub><sup>H</sup> reactions in direct functionalization of imidazole oxides with indoles // J. Org Chem. – 2012. – Vol. 77. – № 20. – P. 9087-9093.
13. M. Varaksin, T. Moseev, O. Chupakhin, V. Charushin, B. Trofimov / Metal-free C-H functionalization of 2*H*-imidazole 1-oxides with pyrrolyl fragments in the design of novel azaheterocyclic ensembles // Org. Biomol. Chem. – 2017. – Vol. 15. – № 39. – P. 8280-8284.
14. A.A. Akulov, M.V. Varaksin, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / Direct Functionalization of C(sp<sup>2</sup>)-H Bond in Nonaromatic Azaheterocycles: Palladium-Catalyzed Cross-Dehydrogenative Coupling (CDC) of 2*H*-Imidazole 1-Oxides with Pyrroles and Thiophenes // ACS Omega. – 2019. – Vol. 4. – № 1. – P. 825-834.
15. A.A. Akulov, M.V. Varaksin, A.N. Tsmokalyuk, V.N. Charushin, O.N. Chupakhin / Blue-light-promoted radical C-H azolation of cyclic nitrones enabled by Selectfluor® // Green Chem. – 2021. – Vol. 23. – № 5. – P. 2049-2057.

Патенты на изобретения:

16. М.В. Вараксин, И.С. Ковалев, Г.В. Зырянов, Д.Е. Павлюк, Д.С. Копчук, А.Ф. Хасанов, А.П. Криночкин, В.А. Зарипов, В.Н. Чарушин, О.Н. Чупахин, В.Л. Русинов / Реагент для обнаружения катионов металлов на основе 2,2'-бипиридинина и способ его получения // Патент РФ № 2668133 от 30.11.2016.
17. М.В. Вараксин, И.С. Ковалев, Г.В. Зырянов, Д.Е. Павлюк, Д.С. Копчук, А.Ф. Хасанов, А.П. Криночкин, В.А. Зарипов, В.Н. Чарушин, О.Н. Чупахин, В.Л. Русинов / Реагент для обнаружения катионов металлов на основе изохинолина и способ его получения // Патент РФ № 2668134 от 29.11.2016.

## ПОСТАНОВИЛИ

Диссертационный совет отмечает, что в рамках диссертационной работы соискателем **впервые выполнено** комплексное систематическое исследование реакционной способности

азагетероциклических систем ароматической природы на примере замещенных и незамещенных моно-, ди- и триазинов с различным расположением гетероатомов, а также азин-N-оксидами и субстратов неароматической природы на примере пяти- и шестичленных циклических альдонитронов, содержащих свободную для нуклеофильной и радикальной функционализации  $C(sp^2)-H$  связь.

**Изучена** реакционная способность азагетероциклических субстратов с C-Li-производными нитронилнитроксильных радикалов, тетраметоксикаликс[4]аренов, тиофена, 2*H*-имиазол-1-оксида, пентафторбензола, *ортого*-карборана, Mg-органических реагентов, фенолов, пирролов, индолов и N-центрированными электроноизбыточными пятичленными азагетероароматическими соединениями.

**Проведено** исследование структурных, физико-химических, комплексообразующих, фотофизических, магнетохимических, фармакологических и сенсорных свойств синтезированных молекулярных систем для определения возможностей и перспектив их практического использования.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что впервые проведено** систематическое исследование прямой функционализации связи  $C(sp^2)-H$  в азагетероциклических системах неароматической природы. **Разработан** комплекс удобных и эффективных синтетических решений, которые позволяют, которые позволяют эффективно осуществить трансформацию связи  $C(sp^2)-H$  исходного азагетероциклического субстрата в связь  $C(sp^2)-R$  (где R – структурные блоки, несущие специфическую функциональную нагрузку) продукта реакции с высокой степенью атомной и стадийной экономичности, для направленного конструирования азагетероциклических соединений разнообразной архитектуры и создания перспективных материалов для фармацевтики, фотохимии и хемосенсорики.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) впервые** были получены следующие научные результаты:

**Разработаны** удобные синтетические методы, включая подходы  $S_N^H$  функционализации азагетероциклических субстратов ароматической (азины и азин-N-оксиды) и неароматической (циклические динитроны) природы под действием литийпроизводного 1*H*-имиазол-3-оксид-1-оксила, *мезо*-литиированными тетраметоксикаликсаренами и другие структурные трансформации, для конструирования ценных органических магнетиков и гетероспиновых металлокомплексов на их основе, а также азинил-модифицированных макроциклических молекулярных систем.

**Разработана** синтетическая стратегия  $\text{BF}_3$ -промотируемого окислительного замещения водорода ( $\text{S}_{\text{N}}^{\text{H}}\text{AO}$ ) в 1,3,7-триазапирене под действием 2-тиениллития, которая была впервые применена для получения целевых полициклических азаароматических соединений.

**Проведены** C–H/C–Li сочетания ароматических азагетероциклических субстратов с пентафторфениллитием в комбинации с реакциями аза-Дильса-Альдера и другими трансформациями для получения ранее недоступных полифторарилированных соединений – производных 1,2,4-триазина, 2,2'-бипиридида и пиридо[1,2-*a*]индола.

Методология  $\text{S}_{\text{N}}^{\text{H}}$  была **применена** для проведения не катализируемых переходными металлами C–H/C–Li сочетаний неароматических 2*H*-имидаэол-1-оксидов с пентафторфениллитием. Получен ряд перспективных фтор-обогащенных флуорофоров с ценными фотофизическими свойствами. На основании экспериментальных данных и квантово-химических расчетов **предложен механизм** разгорания протон-зависимой флуоресценции.

**Проведена**  $\text{S}_{\text{N}}^{\text{H}}$ -функционализация азинов и азин-N-оксидов под действием карбораниллития и фениллития. Синтезированы новые бор-обогащенные продукты моно- и двойной C–H-функционализации 1,3,7-триазапиреновых субстратов, обладающие перспективными флуоресцентными свойствами, получены ценные сведения о механизме и региоселективности окислительных  $\text{S}_{\text{N}}^{\text{H}}$  превращений на основе данных квантово-химических расчетов.

Методология прямой  $\text{C}(\text{sp}^2)\text{–H}$  функционализации **впервые** была **применена** для синтеза карборанил-замещенных азагетероциклических систем, содержащих 2*H*-имидаэольный фрагмент. Реализованы  $\text{S}_{\text{N}}^{\text{H}}$  реакции циклических альдонитронов под действием карбораниллития, получены недоступные ранее бор-обогащенные азагетероциклические соединения.

**Разработан** метод двойной функционализации 1-метил-пиразин-2(*1H*)-онов, включающий взаимодействие азагетероциклического субстрата с магнийорганическими реагентами и последующие превращения с электрофилами, показавший высокую эффективность в синтезе 3,6-дизамещенных 1-метилпиразин-2(*1H*)-онов.

**Разработан** эффективный метод C–H функционализации пятичленных циклических альдонитронов для получения модифицированных индолины и пирролины фрагментами производных 2*H*-имидаэола при использовании реакций элиминационного нуклеофильного замещения водорода ( $\text{S}_{\text{N}}^{\text{H}}\text{AE}$ ).

**Впервые проведены** прямые не катализируемые переходными металлами C–H/C–H сочетания 2*H*-имидаэол-1-оксидов с фенолами разнообразного строения с получением бифункциональных систем с выраженной антиоксидантной/антирадикальной активностью.

**Разработан** оригинальный атом-экономичный синтетический метод кросс-дегидрогенативных C–H/C–H и C–H/C–N сочетаний неароматических гетероциклических N-оксидов с  $\pi$ -избыточными азагетероциклами для синтеза ранее неизвестных бигетероциклических N-оксид-содержащих органических молекул. **Подтвержден** радикальный характер C–N сочетаний на основе данных ЭПР-спектроскопии, включая эксперименты с радикальными ловушками, а также квантово-химических расчетов.

**Разработанные методы и подходы отличает высокая степень оригинальности и новизны**, носят общий характер и могут быть применены к широкому ряду азагетероциклических субстратов разнообразной архитектуры.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработан комплекс удобных и эффективных для практической реализации синтетических решений направленного конструирования азагетероциклических соединений разнообразной архитектуры, базирующихся на применении стратегии функционализации связи C(sp<sup>2</sup>)–H в ароматических и неароматических субстратах. Получен широкий ряд ценных с практической точки зрения би- и полифункциональных соединений разнообразных классов** (нитроксильные радикалы, каликсарены, полифторарены, карбораны, полифенолы и др.), в составе которых структурные блоки, отвечающие за специфическую функциональную нагрузку, введены путем конструирования новых C–C и C–N связей на более поздних стадиях ретросинтетических схем, в частности:

Перспективные молекулярные магнетики органической и гибридной природы, представляющие собой парамагнитные азагетероциклические лиганда, характеризующиеся относительной кинетической стабильностью, растворимостью в органических растворителях, биосовместимостью и другими важными характеристиками. Данные молекулярные ансамбли способны обеспечивать процесс сборки гетероспиновых металлокомплексов – координационных кластерных структур большей размерности, выполняя при этом функцию эффективных каналов для передачи обменных взаимодействий ферро- и антиферромагнитного характера между неспаренными электронами парамагнитных центров.

Бифункциональные флуорофорные системы на основе мезо-гетероарилированных каликс[4]аренов, показавшие эффективность как флуоресцентные ионофорные хемосенсоры, а также экстрагенты на катионы металлов (Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup>).

Моно- и дизамещенные 1,3,7-триазапирены, содержащие тиенильный функциональный блок, представляющие собой эффективные флуориметрические хемосенсоры для обнаружения анализов из группы нитроароматических соединений.

Би- и тридентатные лигандные системы, производные азинов, функционализированные фрагментом имидазола, а также полиядерные координационные соединения с переходными

металлами – перспективные матрицы для разработки на их основе светоизлучающих и электрокаталитических материалов.

Полифторарилированные производные 1,2,4-триазина, 2,2'-бипиридина, их аннелированные аналоги с высоким значением квантового выхода флуоресценции, а также полифторированные 1,2,3-триазолил-замещенные пиридо[1,2-*a*]индольные соединения, обладающие положительным сольватохромизмом, представляющие собой перспективные материалы для молекулярной электроники и медицинской химии.

Флуорофоры, характеризующиеся флуоресценцией в органических растворителях с высоким квантовым выходом и низкой цитотоксичностью в *in vitro* экспериментах и представляющие собой флуоресцентные зонды для определения pH в биологических средах.

Карборанил-замещенные азагетероциклические соединения разнообразной архитектуры – молекулярные системы, характеризующиеся эффектами внутримолекулярного переноса заряда (ICT) и усиления эмиссии, вызванной агрегацией (AIEE), а также водорастворимые кандидаты в агенты для борнейтронзахватной терапии (БНЗТ) онкологических заболеваний.

Новые производные 1-метилпиразин-2(1*H*)она и 2*H*-имидазола, функционализированные биогенными фрагментами полифенолов, индолов и пирролов, разнообразного строения – перспективные кандидаты в химиотерапевтические препараты, в том числе в ингибиторы деструктивных (био)химических процессов, обусловленных явлением окислительного стресса.

Гетероарилированные N-оксид-содержащие бигетероциклические соединения, в которых функциональные блоки соединены C–C и C–N связями, – перспективные структурные и функциональные элементы в дизайне лекарственных кандидатов.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**экспериментальные работы** выполнены на высоком уровне, анализ полученных продуктов проводился на современном сертифицированном оборудовании, обеспечивающем получение надежных данных. Состав, структура и свойства соединений, обсуждаемых в диссертационной работе, были подтверждены данными ЯМР-, ЭПР-, ИК-, УФ- и флуоресцентной спектроскопии, элементного анализа, масс-спектрометрии, хроматографии, колориметрии, рентгеноструктурного анализа, электрохимическими, магнетохимическими и расчетными методами;

**идея базируется** на обобщении и анализе литературных данных по реакциям C–H функционализации азагетероциклических субстратов ароматической и неароматической природы;

в качестве отправной точки **использованы** ранее полученные результаты исследований, осуществленных в УрФУ, посвященные реакциям C–H функционализации азагетероциклических соединений. Также **использованы** современные системы сбора и

обработки научно-технической информации: электронные базы данных Scopus, Web of Science, РИНЦ, Reaxys, SciFinder, а также полные тексты статей, патентов и книг.

**Личный вклад соискателя** состоит в том, что диссертант непосредственно участвовал в планировании и организации научного исследования, проведении экспериментов, обработке, обсуждении, интерпретации и обобщении результатов диссертационной работы. Выводы работы, отраженные в научных публикациях, базируются на данных, полученных автором лично или при его непосредственном участии. Автор руководил научно-исследовательской работой студентов, магистрантов и аспирантов УрФУ. В ходе выполнения научных исследований под руководством автора настоящей диссертационной работы был защищен ряд дипломных проектов, магистерских диссертаций, а также две диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. Соискатель также осуществлял апробацию работ на профильных российских и международных научных конференциях и выполнял подготовку публикаций по выполненным исследованиям.

**Диссертация охватывает** вопросы поставленной научной задачи по разработке эффективных подходов и систематическому изучению возможностей методологии прямой функционализации  $C(sp^2)$ -Н связи и сопутствующих структурных трансформаций для направленного конструирования би- и полифункциональных азагетероциклических систем ароматической и неароматической природы, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, основной идеальной линии, законченности исследования, концептуальности и взаимосвязи выводов. Опубликованные в печати работы и автореферат в полной мере отражают основное содержание работы. Тематика диссертации соответствует Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ и Перечню критических технологий РФ.

**Диссертационный совет** пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а именно, в диссертации разработаны следующие теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение: впервые проведено систематическое исследование прямой функционализации связи  $C(sp^2)$ -Н в азагетероциклических системах неароматической природы как эффективного синтетического инструмента направленного конструирования азагетероциклических систем ароматической и неароматической природы для получения перспективных органических и гибридных материалов на их основе. Разработан комплекс удобных и эффективных синтетических решений для направленного конструирования азагетероциклических соединений разнообразной архитектуры и создания перспективных

материалов для фармацевтической, фотохимии и хемосенсорики. На основании этого Диссертационный совет принял решение присудить Вараксину Михаилу Викторовичу ученую степень доктора химических наук по специальности 1.4.3 – Органическая химия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 12 докторов наук по специальности 1.4.3 – органическая химия рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 19, против присуждения учёной степени нет, недействительных бюллетеней нет.

Заместитель председателя диссертационного совета

Заместитель директора ИОХ РАН,

член-корр. РАН



А.Д. Дильман

Ученый секретарь

диссертационного совета д.х.н.

Г.А. Газиева

28 декабря 2022 года