

**Фамилия, имя, отчество**

Муравьев Антон Андреевич

*на английском языке фамилия и инициалы*

Muravev A.A.

**WoS ResearcherID** D-4221-2014

**Scopus AuthorID** 55251986500

**ORCID** 0000-0002-2245-3460

**SPIN код:** 9289-4136

**Дата рождения:** 05.11.1986

**Гражданство:** Россия

**Ученая степень, год присуждения:** канд. хим. наук, 2012

**Основное место работы:** научный сотрудник, доцент научно-образовательного центра инфохимии Университета ИТМО.

**Область научных интересов:** Синтез, строение и реакционная способность органических соединений. Наноструктуры и кластеры. Супрамолекулярная химия. Коллоидные системы. Химия новых органических и гибридных функциональных материалов.

**Ключевые слова**

*на русском языке:* Органические мольбиты, каликсарены, краун-эфир, терпиридины, пиразолы, ультратонкие пленки, металлосенсоры, люминесценция

*английском языке:* Organic molbits, calixarenes, crown-ethers, terpyridines, pyrazoles, ultrathin films, metal sensors, luminescence

**Основные научные результаты за последние 5 лет:**

1. Предложена электрохимическая платформа для детектирования мочевой кислоты на основе углеволоконного электрода с послойно нанесенными берлинской лазурью (редокс-медиатор), ферментом уриказой (рецептор на мочевую кислоту), катионным и анионным полиэлектролитами (коацерватный комплекс). Для полученного сенсора установлена линейная корреляция между интенсивностью электрохимического сигнала и концентрацией мочевой кислоты в диапазоне  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  М, повышение воспроизводимости электрохимического определения аналита в реальных образцах при повышении числа полиэлектролитных слоев, а также низкое значение константы Михаэлиса-Ментена (до 2 мкМ), что свидетельствует о высоком сродстве сенсора к мочевой кислоте [Polymers, 2022, 14, 5145].
2. Предложена концепция пьезо-чувствительных органических архитектур, стабилизированных водородными связями и  $\pi$ -стекинг-взаимодействиями, на основе продуктов конденсации барбитуровой кислоты и производных ванилина. В результате замены метильного заместителя у эфирного атома кислорода ванилина на этильный изменилась форма частиц с жестких стержней на пористые структуры и существенно снижился вертикальный пьезо-коэффициент [Molecules, 2022, 27, 5659].
3. В условиях одnoreакторного синтеза осуществлено кросс-сочетание пропаргилового эфира 4-трет-бутилфенола с  $\text{PhC(O)Cl}$  и каскадное присоединение/циклоконденсация с участием кетоацетиленового интермедиата и  $\text{N}_2\text{H}_4$  в 5-(4-трет-бутилфенилокси)метокси-3-фенил-1H-пиразол. Полученный пиразол формирует тетрамерный мотив в кристаллической фазе, стабилизированный межмолекулярными  $\text{N-H}\cdots\text{N}$  водородными связями и  $\pi$ -стекинг взаимодействиями пиразольных циклов соседних молекул. В газовой фазе детектируются димерные ассоциаты пиразола [Molecules, 2022, 27, 5178].
4. Разработан удобный подход к кетоацетиленовым производным конформеров каликс[4]аренов и тиакаликс[4]аренов с использованием палладий-катализируемого кросс-сочетания (5% Pd(II) + 10% Cu(I)) с бензоилхлоридом [RSC Adv., 2018, 8, 32765]. Успешное превращение полученных инонов в пиразольные гетероциклы взаимодействием с гидразином наблюдалось вне зависимости от стереоизомерной формы макроцикла и длины линкера, что позволило получить доступ к библиотеке структур.

5. Выполнена токсикологическая характеристика серии пиразол-содержащих производных каликс[4]арена в стереоизомерных формах конус, частичный конус и 1,3-альтернат и тиакаликс[4]арена в стереоизомерной форме 1,3-альтернат, а также мономерного аналога по отношению к ряду клеточных моделей, представляющих терапевтический интерес (HeLa, MCF7, A-549, PC3, Chang liver и Wi38) [Eur. J. Clin. Invest., 2019, 49 (S1), 169]. Избирательная цитотоксичность наблюдалась в случае пиразолильных производных трет-бутилкаликс[4]арена по отношению к линии клеток HeLa, при этом гемотоксичность оставалась на низком уровне. Исследование корреляции структура-свойство показало, что специфический антипролиферативный эффект на линии клеток HeLa связан с сохранением стереоизомерных форм 1,3-альтернат и частичный конус при алкилировании нижнего обода каликсаренового макроцикла. По данным флуоресцентной микроскопии и проточной цитометрии соединения-лидеры индуцировали апоптотическую гибель клеток HeLa cells с преобладанием раннего апоптоза, а по данным мультиплексного анализа маркеров раннего апоптоза и генотоксичности клеток HeLa, обработанных исследованными соединениями, апоптоз зависит от белка p53, с остановкой клеточного цикла в фазе G0/G1, и протекает по внутреннему механизму активации каспазы-9, при котором смерть клетки обусловлена дисфункцией митохондрии.
6. Направленной функционализацией нижнего обода макроциклических систем тиакаликс[4]арена реакцией медь-катализируемого азид-алкинового циклоприсоединения синтезированы новые трехмерные рецепторы, содержащие триазол-терпиридилльные конъюгаты. Установлен антенный эффект терпиридилльных заместителей каликсарена по отношению к люминесценции лантанидов. Выявлена нелинейная зависимость интенсивности эмиссии от соотношения металл-лиганд и природы растворителя. Установлено формирование истинных монослоев Ленгмюра тиакаликс[4]аренов на границе раздела фаз вода-воздух [Russ. Chem. Bull., 2020, 69, 339].
7. Предложена и реализована стратегия нитрования/азо-сочетания и алкилирования для получения частично замещенных на нижнем ободу нитро- и 4-нитрофенилазотиакаликс[4]аренов [Int. J. Mol. Sci., 2020, 21, 6916]. По данным ЯМР-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии, а также расчетов методом DFT установлено необычное конформационное поведение нитрокаликсаренов с присутствием форм 1,2-альтернат и конус вследствие их малого энергетического различия. Синхронный термический анализ указал на более высокую термическую устойчивость нитротиакаликсареновых макроциклов по сравнению с мономерными аналогами. Полученные нитротиакаликсарены также оказались способными к формированию монослоев Ленгмюра на границе раздела фаз вода-воздух и пленок Ленгмюра-Блуджетт на твердой подложке. Для нитро-хромофоров выявлено плечо поглощения в области 360 нм в монослоях и пленках Ленгмюра и по данным теоретических расчетов в появлении данного плеча выявлена роль агрегации нитротиакаликсарена с близким расположением нитро-групп разных молекул.
8. Показано влияние среды на ионную селективность тиакаликскраун-эфиров в стереоизомерной форме 1,3-альтернат [Int. J. Mol. Sci., 2021, 22, 3535]. Так, например, краун-4 избирательно связывал ионы  $\text{Na}^+$  в газовой фазе,  $\text{Ag}^+$  в условиях жидкофазной экстракции и  $\text{Ca}^{2+}$  на границе раздела фаз вода-воздух. Данные различия в селективности были объяснены сольватацией и орбитальными взаимодействиями эпитио-групп с  $\text{Ag}^+$  в жидкой фазе, электростатическими взаимодействиями краун-эфира с  $\text{Na}^+$  в газовой фазе и катион-л взаимодействиями  $\text{Ca}^{2+}$  и бензольных колец в монослоях Ленгмюра.
9. В серии топологических производных тиоэфиров (линейный тиоэфир, тиакраун-эфир и тиакаликструбка) выявлена одинаковая избирательность связывания ионов  $\text{Ag}^+$  и  $\text{Hg}^{2+}$  по отношению к другим мягким ионам металлов в условиях жидкофазной экстракции, а методами ЯМР-спектроскопии, спектрофотометрии, DFT расчетов УФ-видимых спектров поглощения и рентгеновской дифрактометрии металлокомплексов установлена координация ионов  $\text{Hg}^{2+}$  с сульфидными группами нижнего обода, тогда как ионы  $\text{Ag}^+$  координируются также с эпитио-группами в ободу тиакаликсарена [Dokl. Chem., 2019, 487, 212; Int. J. Mol. Sci.,

2022, 23, 2341]. Обнаружена стабилизация различных топологий комплексов серебра с линейным тиоэфиром в зависимости от соотношения металл-лиганд: при эквимольном соотношении образуется димерный комплекс состава 2:2, при соотношении 1:3 - ранее неизвестный 8-ядерный кластер ионов серебра с молекулой хлороформа в его центре, стабилизированный 4-мя молекулами тиоэфира, а при соотношении 1:10 - одномерный зигзагообразный координационный полимер в соотношении металл:лиганд = 2:1. Выявлено существенное расширение монослоев всех тиоэфиров в присутствии ионов ртути и методом XPS на примере тиакраун-эфира доказана их адсорбция.

10. Синтезированы тиакаликскраун-терпиридилные конъюгаты в форме 1,3-альтернат с варьированием заместителя на верхнем ободе и краун-эфира. Конъюгаты формировали монослои Ленгмюра и квазинепрерывные пленки после переноса монослоев на кварц. В плотноупакованных монослоях на водной субфазе и твердой подложке был зафиксирован красный сдвиг полосы поглощения, обусловленный агрегацией молекул. Установлено отсутствие отрицательного аллостерического эффекта при взаимодействии краун-эфирного и терпиридилного рецептора соответствующих конъюгатов с ионами Ag<sup>+</sup> и щелочных металлов в растворе и монослоях Ленгмюра, установлен механизм координации ионов Ag<sup>+</sup> по атомам азота терпиридилного макроцикла.

#### **Общее число публикаций за последние 5 лет в Web of Science или Scopus – 14, из них 8 в изданиях первого квартала:**

1. E. V. Kukhtenko, F. V. Lavrentev, V. V. Shilovskikh, P. I. Zyrianova, S. I. Koltsov, A. S. Ivanov, A. S. Novikov, A. A. Muravev, K. G. Nikolaev, D. V. Andreeva, E. V. Skorb Periodic self-assembly of poly(ethyleneimine)–poly(4-styrenesulfonate) complex coacervate membranes *Polymers*, 2023, 15, 45. <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/1/45>, DOI: 10.3390/polym15010045, Impact factor 4.967
2. A. A. Baldina, L. V. Pershina, U. V. Noskova, A. A. Nikitina, A. A. Muravev, E. V. Skorb, K. G. Nikolaev Uricase crowding via polyelectrolyte layers coacervation for carbon fiber-based electrochemical detection of uric acid *Polymers*, 2022, 14, 5145. <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/23/5145#>, DOI: 10.3390/polym14235145, Impact factor 4.967
3. A.S. Nebalueva, A.A. Timralieva, R.S. Sadovnichii, A.S. Novikov, M.V. Zhukov, A.S. Aglikov, A.A. Muravev, T.V. Sviridova, V.P. Boyarskiy, A.L. Kholkin, E.S. Skorb Piezo-responsive hydrogen-bonded frameworks based on vanillin-barbiturate conjugates *Molecules*, 2022, 27, 5659. <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/17/5659>, DOI: 10.3390/molecules27175659, Impact factor 4.927
4. A.A. Muravev, A.S. Ovsyannikov, G.V. Konorov, D.R. Islamov, K.S. Usachev, A.S. Novikov, S.E. Solovieva, I.S. Antipin Thermodynamic vs. kinetic control in synthesis of O-donor 2,5-substituted furan and 3,5-substituted pyrazole from heteropropargyl precursor *Molecules*, 2022, 27, 5178. <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/16/5178>, DOI: 10.3390/molecules27165178, Impact factor 4.927
5. A. Muravev, A. Yakupov, T. Gerasimova, D. Islamov, V. Lazarenko, A. Shokurov, A. Ovsyannikov, P. Dorovatovskii, Y. Zubavichus, A. Naumkin, S. Selektor, S. Solovieva, I. Antipin Thiacalixarenes with sulfur functionalities at lower rim: heavy metal ion binding in solution and 2D-confined space *Int. J. Mol. Sci.*, 2022, 23, 2341. <https://doi.org/10.3390/ijms23042341>, DOI: 10.3390/ijms23042341, Impact factor 6.208
6. A. Muravev, A. Yakupov, T. Gerasimova, R. Nugmanov, E. Trushina, O. Babaeva, G. Nizameeva, V. Syakaev, S. Katsyuba, S. Selektor, S. Solovieva, I. Antipin Switching ion binding selectivity of thiacalix[4]arene monocrowns at liquid–liquid and 2D-confined interfaces *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, 22, 3535. <https://doi.org/10.3390/ijms22073535>, DOI: 10.3390/ijms22073535, Impact factor 6.208.
7. A. Muravev, T. Gerasimova, R. Fayzullin, O. Babaeva, I. Rizvanov, A. Khamatgalimov, M. Kadirov, S. Katsyuba, I. Litvinov, S. Latypov, S. Solovieva, I. Antipin Thermally stable nitrothiacalixarene chromophores: conformational study and aggregation behavior *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, 21, 6916 <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/18/6916>, DOI: 10.3390/ijms21186916, Impact factor 6.208.
8. A.A. Muravev, A.S. Agarkov, F.B. Galieva, A.T. Yakupov, O.B. Bazanova, I.Kh. Rizvanov, A.V. Shokurov, A.V. Zaitseva, S.L. Selektor, S.E. Solov'eva, I.S. Antipin New terpyridine derivatives of thiacalix[4]arenes in solution and at the water–air interface *Russ. Chem. Bull.*, 2020, 69, 339–350 <https://doi.org/10.1007/s11172-020-2766-y> DOI: 10.1007/s11172-020-2766-y, Impact factor 1.704.
9. A.S. Agarkov, D.I. Safiullin, A.S. Sapunova, A.D. Voloshina, A.T. Gubaidullin, A.A. Muravev Antitumor activity of lower rim amino derivatives of thiacalixarene *AIP Conf. Proc.*, 2020, 2280, 020001 <https://doi.org/10.1063/5.0018244> DOI: 10.1063/5.0018244, Impact factor n/a.

10. A.A. Muravev, A.T. Yakupov Conjugates of thiacalix[4]arenes in cone configuration and oligothi-oethylenes AIP Conf. Proc., 2020, 2280, 030010 <https://doi.org/10.1063/5.0018055>, DOI: 10.1063/5.0018055, Impact factor n/a.
11. S.E. Solovieva, A.A. Muravev, F.B. Galieva, A.S. Agarkov, A.S. Sapunova, A.D. Voloshina, S.E. Matthews, I.S. Antipin Calix[4]Arene Stereoisomers with Pyrazole Pharmacophoric Groups: Potential Cervical Carcinoma Therapy Eur. J. Clin. Invest., 2019, 49(Suppl. 1), 169 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/eci.13109>, DOI: 10.1111/eci.13109, Impact factor 5.722.
12. A.A. Muravev, A.T. Yakupov, S.E. Solovieva, I.S. Antipin, A new approach to the synthesis of thiacrowns on a thiacalix[4]arene scaffold Dokl. Chem., 2019, 487, 188–191 <https://link.springer.com/article/10.1134/S0012500819070103>, DOI: 10.1134/S0012500819070103, Impact factor 0.645.
13. A.A. Muravev, E.A. Trushina, A.T. Yakupov, S.E. Solovieva, and I.S. Antipin Ag-selective nano-tubes based on bithiacalix[4]arene with ethylene sulfide bridges Dokl. Chem., 2019, 487, 212–214 <https://link.springer.com/article/10.1134/S0012500819080056>, DOI: 10.1134/S0012500819080056, Impact factor 0.645.
14. A.A. Muravev, S.E. Solovieva, F.B. Galieva, O.B. Bazanova, I.Kh. Rizvanov, K.A. Ivshin, O.N. Kataeva, S.E. Matthews, I.S. Antipin Calix[4]arene Alpha-Ketoacetylenes: Versatile Platforms for Reaction with Hydrazine Nucleophile RSC Adv., 2018, 8, 32765–32769. <https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2018/RA/C8RA06349D#!divAbstract>, DOI: 10.1039/C8RA06349D, Impact factor 4.036.

## **Опыт руководства научными проектами и участия в них**

### *Руководство*

- 1) Грантополучатель программы Правительства Республики Татарстан «Алгарыш» 2021 года по категории «Преподаватели и научные сотрудники» (Россия) – 15.07.2021–15.10.2021. Мультивалентные рецепторы на каликсареновой платформе – потенциал в создании динамических функциональных материалов.
- 2) Грантополучатель программы Правительства Республики Татарстан «Алгарыш» 2019 года по категории «Проектные группы» (Великобритания) – 07.01.2020–08.04.2020. Синтез производных (тия)каликс[4]аренов и их применение в области биомедицины и фармацевтики.
- 3) РФФИ 20-33-70204 Стабильность (2019–2021) “Ультратонкие пленочные материалы для квантовой электроники на основе конъюгатов каликсаренов и краун-эфиров”.
- 4) РФФИ 17-33-50082-мол-нр (2018) “Макроциклические краун-эфирные ионофоры на границе раздела фаз вода—воздух и в составе ультратонких пленок”.
- 5) РФФИ 17-53-10016-КО-а (2018–2019) “Синтез и оценка связывания ДНК новыми макроциклами: потенциал в противоопухолевой терапии”.
- 6) МК-5778.2016.3 (2016–2017) “Разработка эффективного подхода к модификации твердой поверхности каликсареновыми пленками, обладающими нелинейными оптическими свойствами”.
- 7) РНФ 21-73-10185 "Изучение взаимодействий полиэлектролитных комплексов и белковых структур для создания высокочувствительных сенсоров вирусных заболеваний" (2022–2024).

### *Участие*

- 1) Программа фундаментальных исследований Президиума РАН 34П (2018–2020) Амфифильные (тия)каликс[4]арены: синтез, поверхностно-активные свойства и самоорганизация на поверхности раздела.
- 2) РФФИ 17-03-00389-а (2017–2019) Дизайн, синтез и супрамолекулярные свойства новых политопных гетероциклических лигандов на основе (тия)каликс[4]аренов с алкиноновыми заместителями
- 3) РФФИ 16-03-00920-а (2016–2018) Дизайн и синтез новых 1D-3D металл-органических сеток на основе функционализированных (тия)каликс[4]аренов и метациклофанов для квантовой электроники
- 4) РНФ 15-13-30006 (2015–2017) Дизайн и синтез кристаллических молекулярных сеток на основе каликсаренов с контролируемой пористостью и люминесценцией – подход к созданию новых смарт материалов.

### **Опыт экспертно-аналитической деятельности, рецензирования научных работ**

1. Оппонирование диссертационной работы Сибгатуллиной Регины Рифатовны на соискание ученой степени кандидата химических наук "ДИЗАЙН И СИНТЕЗ ГЕТЕРОГЕННЫХ ГЛИКОКОНЬЮГАТОВ НА ОСНОВЕ N-ГЛИКАНОВ И АЛЬБУМИНА ДЛЯ IN VITRO И IN VIVO ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ОРГАНОВ И РАКОВЫХ КЛЕТОК" - защищена в Казанском федеральном университете в июне 2019 года.

2. Оппонирование диссертационной работы Рулевой Анны Юрьевны на соискание ученой степени кандидата химических наук "БИССТИРИЛОВЫЕ КРАСИТЕЛИ КАК КОМПОНЕНТЫ ФОТОАКТИВНЫХ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ" - защищена в ИНЭОС РАН в июне 2019 года.

### **Награды:**

Диплом конкурса на соискание премии им. А.Е. и Б.А. Арбузовых за выдающиеся исследования в области фундаментальной и прикладной химии среди молодых ученых г. Казани за 2014 год  
Первая премия на Всероссийской молодежной школе-конференции "Актуальные проблемы органической химии-2015".

Диплом за лучший устный доклад на I Международной школе-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Биомедицина, материалы и технологии XXI века" (Казань, Россия, 25-28 ноября, 2015).

Диплом за лучший устный доклад на школе-конференции "Актуальные проблемы органической химии-2018".

Диплом «Приз зрительских симпатий» за устный доклад на VIII Молодежной конференции ИОХ РАН (Москва, Россия, 22-23 мая, 2019).

Контактный телефон, электронный адрес (E-mail): +79600371746, muravev@itmo.ru