

## Д. х. н., профессору И. В. Трушкову – 60

5 Ноября 2024 г. исполняется 60 лет многолетнему члену редколлегии журнала "Химия гетероциклических соединений" доктору химических наук Игорю Викторовичу Трушкову.

И. В. Трушков в 1987 г. окончил химический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (МГУ), где остался работать и прошел путь младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника, доцента и ведущего научного сотрудника. В первые годы своей научной деятельности он занимался изучением теоретической органической химии, механизмов органических реакций. Этому была посвящена и его диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, которую он защитил в 1993 г. ("Трехмерная диаграмма реакции как метод анализа реакционной способности в процессах нуклеофильного замещения"). В 1999–2000 гг. И. В. Трушков работал в качестве приглашенного ученого в Университете Инха (Инчхон, Республика Корея), где разрабатывал новые окислительные системы. После возвращения в Москву в сотрудничестве с профессором М. А. Юровской занимался синтезом и изучением физиологической активности органических производных фуллерена  $C_{60}$ .<sup>1,2</sup>

В 2006 г. И. В. Трушков начал совместную работу с профессором А. В. Бутиным по изучению реакций рециклизации производных фурана. Исследования по этой теме он продолжил и после смерти А. В. Бутина совместно с группами к. х. н. М. Г. Учускина (Пермский государственный университет) и профессора В. Т. Абаева (Северо-Осетинский государственный университет им. К. Хетагурова).<sup>3–11</sup> В 2015 г. И. В. Трушков защитил докторскую диссертацию по теме "Фураны в синтезе азатетрациклов". В 2016 г. он перешел из МГУ в Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы (РУДН), где работал в должности профессора, а в 2018 г. – в Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН, где с 2019 г. возглавляет лабораторию направленной функционализации органических молекулярных систем. Одновременно начиная с 2010 г. И. В. Трушков возглавляет лабораторию химического синтеза в Национальном медицинском исследовательском центре детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева.

Другим направлением научной деятельности И. В. Трушкова, постепенно ставшим основным, стало изучение превращений донорно-акцепторных (ДА) циклопропанов. Начиная с 2006 г. И. В. Трушковым с



коллегами были впервые описаны реакции [4+3]-циклоприсоединения ДА циклопропанов с 1,3-диенами,<sup>12</sup> обнаружена конкуренция реакций циклоприсоединения и аннелирования при использовании ДА циклопропанов, содержащих в качестве донора электронообогатщенные (гетеро)ароматические заместители,<sup>13–15</sup> изучены реакции изомеризации,<sup>16–18</sup> димеризации<sup>19–22</sup> и расширения циклов ДА циклопропанов.<sup>23</sup> Основные результаты по превращению ДА циклопропанов в различные карбоциклы были суммированы в обзоре в журнале "Chemical Records".<sup>24</sup> В ходе исследований реакций ДА циклопропанов интерес закономерно сместился к изучению их превращений в различные гетероциклические соединения, для чего была разработана концепция раскрытия ДА циклопропанов азотсодержащими нуклеофилами с последующей модификацией первичных продуктов, позволяющей осуществлять их превращения в разнообразные гетероциклы, включая сложные полициклические соединения.<sup>25</sup> В ходе этих исследований были не только разработаны новые методы синтеза известных типов гетероциклов, но и синтезированы соединения с ранее неизвестным скелетом,<sup>25–29</sup> а также получены важные результаты с точки зрения физической органической химии. В частности, показано, что при использовании ДА циклопропанов возможно нарушение правил Болдуина для процессов нуклеофильной циклизации: были осуществлены процессы 6-эндо-тет-циклизации, счи-

тавшие запрещенными.<sup>30</sup> При этом, в отличие от других процессов *эндо-тет*-циклизации, продуктами реакции являлись циклические соединения, причем содержащие в цикле на один атом больше, чем в переходном состоянии, ведущем к их образованию. Также на примере взаимодействия ДА циклопропанов с азиридинами И. В. Трушковым с сотр. была впервые реализована реакция (3+3)-циклоприсоединения двух разных трехчленных циклов.<sup>31</sup>

Кроме этих направлений, круг научных интересов И. В. Трушкова включает в себя использование в синтезе илидов Кори – метилидов диметилсульфония и диметилсульфоксония, а также их функционализированных производных. В частности, научной группой было показано, что в зависимости от природы субстрата и условий проведения реакции эти илиды при взаимодействии с ненасыщенными соединениями способны давать не только продукты реакции Кори–Чайковского (оксираны из карбонильных соединений, азиридины из иминов, циклопропаны из акцепторных алкенов), но также неклассические продукты "прерванных" и "расширенных" реакций Кори–Чайковского,<sup>32–34</sup> и иных направлений взаимодействия данных реагентов.<sup>35</sup>

Еще одним важным направлением работ И. В. Трушкова является использование в органическом синтезе протонных ионных жидкостей (ПИЖ). Он и коллеги разработали новый подход, в котором ПИЖ применяются как вещества тройного назначения: 1) растворители, которые способны растворять как липофильные органические соединения, так и многие гидрофильные неорганические соли, и могут быть регенерированы для повторного использования без потери эффективности; 2) кислотные катализаторы (источники протонов) и 3) реагенты (например, нуклеофилы).<sup>36,37</sup> В ходе этой работы было показано также, что азид 4-(диметиламино)пиридиния представляет собой эффективный негигроскопичный безопасный источник азид-иона или нестабильной азотистоводородной кислоты, хорошо растворимый в растворителях разной полярности, что позволяет использовать его в самых разных процессах органического синтеза.<sup>38</sup>

И. В. Трушков ведет также активную деятельность по подготовке новых научных кадров. Он много лет читал лекции на химическом факультете МГУ и в РУДН, руководит научной работой аспирантов и студентов, является членом методических комиссий Всероссийской олимпиады школьников по химии и Менделеевской олимпиады школьников, несколько раз был членом научного комитета Международной химической олимпиады, автор большого количества задач для олимпиад разного уровня.

И. В. Трушков давно и активно сотрудничает с журналом "Химия гетероциклических соединений", в котором начиная еще с 1996 г. им опубликовано около 20 работ, много лет входит в состав редколлегии журнала. Игорь Викторович является ярким и вдохновляющим примером ума, эрудиции, порядочности и жизнелюбия для друзей, коллег и молодежи.

От всего сердца поздравляем И. В. Трушкова со знаменательным юбилеем и желаем ему здоровья, счастья и творческих успехов!

**В. Т. Абаев**, д.х.н., профессор,  
зав. кафедрой органической химии  
Северо-Осетинского  
государственного университета  
им. К. Хетагурова

**М. Г. Учускин**, к.х.н.,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории органического синтеза  
Пермского национального  
исследовательского университета

### Список литературы

1. Yurovskaya, M. A.; Trushkov, I. V. Cycloaddition to Buckminsterfullerene C<sub>60</sub>: Advancements and Future Prospects. *Russ. Chem. Bull.* **2002**, *51*, 367.
2. Сидоров, Л. Н.; Юровская, М. А.; Борщевский, А. Я.; Трушков, И. В.; Иоффе, И. Н. *Фуллерены*; Экзамен: Москва, 2005.
3. Trushkov, I. V.; Uchuskin, M. G.; Butin, A. V. Furan's Gambit: Electrophile-Attack-Triggered Sacrifice of Furan Rings for the Intramolecular Construction of Azaheterocycles. *Eur. J. Org. Chem.* **2015**, 2999.
4. Makarov, A. S.; Uchuskin, M. G.; Trushkov, I. V. Furan Oxidation Reactions in the Total Synthesis of Natural Products. *Synthesis* **2018**, *50*, 3059.
5. Butin, A. V.; Uchuskin, M. G.; Pilipenko, A. S.; Tsiunchik, F. A.; Cheshkov, D. A.; Trushkov, I. V. Furan Ring-Opening/Indole Ring-Closure: Pictet-Spengler-Like Reaction of 2-(*o*-Aminophenyl)furans with Aldehydes. *Eur. J. Org. Chem.* **2010**, 920.
6. Uchuskin, M. G.; Pilipenko, A. S.; Serdyuk, O. V.; Trushkov, I. V.; Butin, A. V. From Biomass to Medicines. A Simple Synthesis of Indolo[3,2-*c*]quinolines, Antimalarial Alkaloid Isocryptolepine, and its Derivatives. *Org. Biomol. Chem.* **2012**, *10*, 7262.
7. Abaev, V. T.; Plieva, A. T.; Chaliki, P. N.; Uchuskin, M. G.; Trushkov, I. V.; Butin, A. V. A Simple Route to Polysubstituted Indoles Exploiting Azide Induced Furan Ring Opening. *Org. Lett.* **2014**, *16*, 4150.
8. Makarov, A. S.; Merkushev, A. A.; Uchuskin, M. G.; Trushkov, I. V. Oxidative Furan-to-Indole Rearrangement. Synthesis of 2-(2-Acylvinyl)indole and Flinderole C Analogues. *Org. Lett.* **2016**, *18*, 2192.
9. Zelina, E. Y.; Nevolina, T. A.; Sorotskaja, L. N.; Skvortsov, D. A.; Trushkov, I. V.; Uchuskin, M. G. A General Synthetic Route to Isomeric Pyrrolo[1,2-*x*][1,4]diazepinones. *J. Org. Chem.* **2018**, *83*, 11747.
10. Zelina, E. Y.; Nevolina, T. A.; Skvortsov, D. A.; Trushkov, I. V.; Uchuskin, M. G. A Route to (Het)arene-Annulated Pyrrolo-[1,2-*d*][1,4]diazepines via the Expanded Intramolecular Paal-Knorr Reaction: Nitro Group and Furan Ring as Equivalents of Amino Group and 1,4-Diketone. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 13707.
11. Merkushev, A. A.; Makarov, A. S.; Shpuntov, P. M.; Abaev, V. T.; Trushkov, I. V.; Uchuskin, M. G. Oxidative Rearrangement of 2-(2-Aminobenzyl)furans: Synthesis of Functionalized Indoles and Carbazoles. *Eur. J. Org. Chem.* **2021**, 1274.
12. Ivanova, O. A.; Budyina, E. M.; Grishin, Y. K.; Trushkov, I. V.; Verteletskii, P. V. The Donor-Acceptor Cyclopropanes as Three-Carbon Component in [4+3] Cycloaddition Reaction with 1,3-Diphenylisobenzofuran. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, *47*, 1107.

13. Ivanova, O. A.; Budynina, E. M.; Chagarovskiy, A. O.; Kaplun, A. E.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Lewis Acid-Catalyzed [3+4] Annulation of 2-(Heteroaryl)cyclopropane-1,1-dicarboxylates with Cyclopentadiene. *Adv. Synth. Catal.* **2011**, *353*, 1125.
14. Volkova, Yu. A.; Budynina, E. M.; Kaplun, A. E.; Ivanova, O. A.; Chagarovskiy, A. O.; Skvortsov, D. A.; Rybakov, V. B.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Duality of Donor-Acceptor Cyclopropane Reactivity as a Three-Carbon Component in Five-Membered Ring Construction: [3+2] Annulation Versus [3+2] Cycloaddition. *Chem.–Eur. J.* **2013**, *19*, 6586.
15. Rakhmankulov, E. R.; Ivanov, K. L.; Budynina, E. M.; Ivanova, O. A.; Chagarovskiy, A. O.; Skvortsov, D. A.; Latyshev, G. V.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Lewis and Brønsted Acid Induced (3+2)-Annulation of Donor-Acceptor Cyclopropanes to Alkynes: Indene Assembly. *Org. Lett.* **2015**, *17*, 770.
16. Chagarovskiy, A. O.; Ivanova, O. A.; Rakhmankulov, E. R.; Budynina, E. M.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Lewis Acid-Catalyzed Isomerization of 2-Arylcyclopropane-1,1-dicarboxylates: A New Efficient Route to 2-Styrylmalonates. *Adv. Synth. Catal.* **2010**, *352*, 3179.
17. Ivanova, O. A.; Andronov, V. A.; Vasin, V. S.; Shumsky, A. N.; Rybakov, V. B.; Voskressensky, L. G.; Trushkov, I. V. Expanding the Reactivity of Donor-Acceptor Cyclopropanes: Synthesis of Benzannulated Five-Membered Heterocycles via Intramolecular Attack of a Pendant Nucleophilic Group. *Org. Lett.* **2018**, *20*, 7947.
18. Ivanova, O. A.; Chagarovskiy, A. O.; Shumsky, A. N.; Krasnobrov, V. D.; Levina, I. I.; Trushkov, I. V. Lewis Acid Triggered Vinylcyclopropane–Cyclopentene Rearrangement. *J. Org. Chem.* **2018**, *83*, 543.
19. Ivanova, O. A.; Budynina, E. M.; Chagarovskiy, A. O.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. (3+3)-Cyclodimerization of Donor-Acceptor Cyclopropanes. Three Routes to Six-Membered Cycles. *J. Org. Chem.* **2011**, *76*, 8852.
20. Ivanova, O. A.; Budynina, E. M.; Chagarovskiy, A. O.; Rakhmankulov, E. R.; Trushkov, I. V.; Semeykin, A. V.; Shimanovskii, N. L.; Melnikov, M. Ya. Domino Cyclodimerization of Indole-Derived Donor-Acceptor Cyclopropanes: One-Step Construction of the Pentaleno[1,6a-*b*]-indole Skeleton. *Chem.–Eur. J.* **2011**, *17*, 11738.
21. Ivanova, O. A.; Budynina, E. M.; Skvortsov, D. A.; Limoge, M.; Bakin, A. V.; Chagarovskiy, A. O.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. A Bioinspired Route to Indanes and Cyclopentannulated Heteroarenes via (3+2)-Cyclodimerization of Donor-Acceptor Cyclopropanes. *Chem. Commun.* **2013**, *49*, 11482.
22. Ivanova, O. A.; Budynina, E. M.; Khrustalev, V. N.; Skvortsov, D. A.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. A Straightforward Approach to Tetrahydroindolo[3,2-*b*]carbazoles and 1-Indolyltetrahydrocarbazoles through [3+3] Cyclodimerization of Indole-Derived Cyclopropanes. *Chem.–Eur. J.* **2016**, *22*, 1223.
23. Shorokhov, V. V.; Zhokhov, S. S.; Rybakov, V. B.; Boichenko, M. A.; Andreev, I. A.; Ratmanova, N. K.; Trushkov, I. V.; Ivanova, O. A. Donor-Acceptor Cyclopropane Ring Expansion to 1,2-Dihydronaphthalenes. Access to Bridged Seven-Membered Lactones. *Org. Lett.* **2023**, *25*, 7963.
24. Ivanova, O. A.; Trushkov, I. V. Donor-Acceptor Cyclopropanes in the Synthesis of Carbocycles. *Chem. Rec.* **2019**, *19*, 2189.
25. Ivanov, K. L.; Villemson, E. V.; Budynina, E. M.; Ivanova, O. A.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Ring Opening of Donor-Acceptor Cyclopropanes with the Azide Ion: A Tool for Construction of *N*-Heterocycles. *Chem.–Eur. J.* **2015**, *21*, 4975.
26. Pavlova, A. S.; Ivanova, O. A.; Chagarovskiy, A. O.; Stebunov, N. S.; Orlov, N. V.; Shumsky, A. N.; Budynina, E. M.; Rybakov, V. B.; Trushkov, I. V. Domino Staudinger/*aza*-Wittig/Mannich Reaction: An Approach to Diversity of Di- and Tetrahydropyrrole Scaffolds. *Chem.–Eur. J.* **2016**, *22*, 17967.
27. Villemson, E. V.; Budynina, E. M.; Ivanova, O. A.; Skvortsov, D. A.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Concise Approach to Pyrrolizino[1,2-*b*]indoles from Indole-Derived Donor-Acceptor Cyclopropanes. *RSC Adv.* **2016**, *6*, 62014.
28. Boichenko, M. A.; Ivanova, O. A.; Andreev, I. A.; Chagarovskiy, A. O.; Levina, I. I.; Rybakov, V. B.; Skvortsov, D. A.; Trushkov, I. V. Convenient Approach to Polyoxygenated Dibenzo[*c,e*]pyrrolo[1,2-*a*]azepines from Donor-Acceptor Cyclopropanes. *Org. Chem. Front.* **2018**, *5*, 2829.
29. Antropov, S. M.; Tokmacheva, S. A.; Levina, I. I.; Ivanova, O. A.; Trushkov, I. V. Synthesis of Bridged Bicyclic Systems *peri*-Annulated to the Indole Ring: Tropane-Fused Indoles. *Adv. Synth. Catal.* **2024**, *366*, 2784.
30. Vartanova, A. E.; Plodukhin, A. Yu.; Ratmanova, N. K.; Andreev, I. A.; Anisimov, M. N.; Gudymchuk, N. B.; Rybakov, V. B.; Levina, I. I.; Ivanova, O. A.; Trushkov, I. V.; Alabugin, I. V. Expanding Stereoelectronic Limits of *endo-tet* Cyclizations: Synthesis of Benz[*b*]azepines from Donor-Acceptor Cyclopropanes. *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 13952.
31. Chagarovskiy, A. O.; Vasin, V. S.; Kuznetsov, V. V.; Ivanova, O. A.; Rybakov, V. B.; Shumsky, A. N.; Makhova, N. N.; Trushkov, I. V. (3+3)-Annulation of Donor-Acceptor Cyclopropanes with Diaziridines. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, *57*, 10338.
32. Chagarovskiy, A. O.; Budynina, E. M.; Ivanova, O. A.; Villemson, E. V.; Rybakov, V. B.; Trushkov, I. V.; Melnikov, M. Ya. Reaction of Corey Ylide with  $\alpha,\beta$ -Unsaturated Ketones: Tuning of Chemoselectivity toward Dihydrofuran Synthesis. *Org. Lett.* **2014**, *16*, 2830.
33. Fadeev, A. A.; Makarov, A. S.; Ivanova, O. A.; Uchuskin, M. G.; Trushkov, I. V. Extended Corey–Chaykovsky reactions: transformation of 2-hydroxychalcones to benzannulated 2,8-dioxabicyclo[3.2.1]octanes and 2,3-dihydrobenzofurans. *Org. Chem. Front.* **2022**, *9*, 737.
34. Shcherbakov, R. O.; Myasnikov, D. A.; Trushkov, I. V.; Uchuskin, M. G. Extended Version of the Corey–Chaykovsky Reaction: Synthesis of 2,4-Substituted Furans by the Treatment of  $\beta$ -Dialkylamino Chalcones with Dimethylsulfonium Methylide. *J. Org. Chem.* **2023**, *88*, 8227.
35. Shorokhov, V. V.; Chabuka, B. K.; Tikhonov, T. P.; Filippova, A. V.; Zhokhov, S. S.; Tafeenko, V. A.; Andreev, I. A.; Ratmanova, N. K.; Uchuskin, M. G.; Trushkov, I. V.; Alabugin, I. V.; Ivanova, O. A. Converting Strain Release into Aromaticity Loss for Activation of Donor-Acceptor Cyclopropanes: Generation of Quinone Methide Traps for C-Nucleophiles. *Org. Lett.* **2024**, *26*, 8177.
36. Andreev, I. A.; Ratmanova, N. K.; Augustin, A. U.; Ivanova, O. A.; Levina, I. I.; Khrustalev, V. N.; Werz, D. B.; Trushkov, I. V. Protic Ionic Liquid as Reagent, Catalyst, Solvent: 1-Methylimidazolium Thiocyanate. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2021**, *60*, 7927.
37. Ratmanova, N. K.; Andreev, I. A.; Shcherbinin, V. A.; Ivanova, O. A.; Levina, I. I.; Khrustalev, V. N.; Trushkov, I. V. Triple Role of Thiocyanate-containing Protic Ionic Liquids in Chemodivergent Ring-opening of 1,3-Indanedione-derived Donor-Acceptor Cyclopropanes. *J. Mol. Liq.* **2023**, *385*, 122401.
38. Andreev, I. A.; Boichenko, M. A.; Ratmanova, N. K.; Ivanova, O. A.; Levina, I. I.; Khrustalev, V. N.; Sedov, I. A.; Trushkov, I. V. 4-(Dimethylamino)pyridinium Azide in Protic Ionic Liquid Media as a Stable Equivalent of Hydrazoic Acid. *Adv. Synth. Catal.* **2022**, *364*, 2403.