Check for updates

Проблемы современной науки и образования. Научная дискуссия

УДК 378/184 + 547.512 + 615.3

EDN JZFDPT

Нитроциклопропаны: маленькие кольца с большим потенциалом

И. А. Пилипенко [1], О. Ю. Озерова [1], А. Н. Лёвкин [1], С. В. Макаренко [✉1]

[1] Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48

Для цитирования: Пилипенко, И. А., Озерова, О. Ю., Лёвкин, А. Н., Макаренко, С. В. (2026) Нитроциклопропаны: маленькие кольца с большим потенциалом. *Герценовский вестник*, т. 2, № 2, с. 75–81. EDN JZFDPT

Получена 12 января 2026; прошла рецензирование 22 мая 2026; принята 10 августа 2026.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке внутреннего гранта Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена (проект № 51ВГ).

Права: © И. А. Пилипенко, О. Ю. Озерова, А. Н. Лёвкин, С. В. Макаренко (2026). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению в научно-популярной форме современных представлений об уникальных химических веществах — циклопропанах, в том числе нитроциклопропанах — объектах фундаментальных научных исследований одного из внутренних грантов РГПУ им. А. И. Герцена. Представлены результаты выполнения исследований по гранту. Дана общая оценка потенциальных практически значимых свойств нитроциклопропанов. Рассмотрены основные подходы к их получению. Особое внимание уделено возможностям, которые предоставляет РГПУ им. А. И. Герцена в рамках реализации внутренних грантов, преподавателям и студентам.

Ключевые слова: фундаментальные исследования, грантовая поддержка, научное волонтерство, циклопропаны, нитросоединения, нитроциклопропаны

Nitrocyclopropanes: Small rings with great potential

I. A. Pilipenko [1], O. Yu. Ozerova [1], A. N. Levkin [1], S. V. Makarenko [✉1]

[1] Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia

For citation: Pilipenko, I. A., Ozerova, O. Yu., Levkin, A. N., Makarenko, S. V. (2026) Nitrocyclopropanes: Small rings with great potential. *Herzen University Bulletin*, vol. 2, no. 2, pp. 75–81. EDN JZFDPT

Received 12 January 2026; reviewed 22 May 2026; accepted 10 August 2026.

Funding: The research was supported by an internal grant of the Herzen State Pedagogical University of Russia (project № 51VG).

Copyright: I. A. Pilipenko, O. Yu. Ozerova, A. N. Levkin, S. V. Makarenko (2026). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY License 4.0.

Abstract. This article provides a science-popular overview of current knowledge regarding a distinctive class of chemical compounds — cyclopropanes, including nitrocyclopropanes — which are the focus of fundamental research funded by an internal grant of Herzen University. The study describes the outcomes of the grant project, with an emphasis on the structural features and properties of original representatives within this class of compounds, specifically trichloromethyl-substituted nitrocyclopropanes. The article provides a general assessment of their potentially significant practical properties and discusses the main approaches to their synthesis. Special attention is paid to the research opportunities afforded to the faculty and students by Herzen University through its internal grant program.

Keywords: fundamental research, grant support, participatory research, cyclopropanes, nitrocompounds, nitrocyclopropanes

Фундаментальные исследования занимают особое передовое место в системе научного знания. Не преследуя получение немедленных прикладных результатов, они способствуют глубокому пониманию законов природы, общества и мышления (Золотов 2021). Именно они формируют актуальную основу для будущих технологий, открытий и инноваций, которые могут радикально изменить жизнь человечества спустя десятилетия. История науки убедительно показывает, что многие прорывные технологии — от создания интернета до новых методов лечения — стали возможны благодаря фундаментальным изысканиям, которые на первых этапах казались далекими от практического применения (Золотов 2012; Ткачева, Гусева 2019).

Поддержка фундаментальной науки требует особого внимания со стороны государства, научных фондов и частных организаций. Одним из наиболее эффективных инструментов такой поддержки являются гранты, позволяющие ученым и преподавателям сосредотачиваться на научной работе, проводить масштабные эксперименты и формировать исследовательские коллективы. Важно подчеркнуть, что грантовую поддержку получают актуальные проекты, обладающие высокой научной новизной, способные, в том числе, заложить фундамент для будущих открытий.

Таким образом, грантовая поддержка фундаментальных исследований становится инвестицией в будущее: она укрепляет интеллектуальный капитал страны, способствует развитию научных школ и создает базу для технологического прогресса.

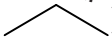
Особую роль играет грантовая поддержка в отношении молодых исследователей (студентов, аспирантов, преподавателей), так как открывает для них возможность участия в актуальных научных исследованиях, овладевая подходами их планирования, проведения и сопровождения. Участие в таких исследованиях студентов, обучающихся по УГСН* 44.00.00 Педагогическое образование, безусловно, создает благоприятные условия для подготовки современных высококвалифицированных педагогических кадров. Эти студенты под эгидой студенческого научного общества привлекаются к выполнению современного научно-исследовательского проекта в качестве научных волонтеров. Получаемый ими таким образом экспериментальный опыт и знания в предметной области они впоследствии смогут с успехом применить в своей профессиональной деятельности. Таким образом, для университета такая грантовая программа становится важным механизмом привлечения талантливой молодежи, развития научных школ и укрепления исследовательского потенциала.

Герценовский университет регулярно реализует такую внутривузовскую грантовую поддержку актуальных и перспективных проектов профессорско-преподавательского состава подразделений университета. В 2025 г. среди поддержанных проектов оказалась заявка научного коллектива кафедры органической химии факультета химии (руководитель доктор химических наук, доцент С. В. Макаренко) по теме «Тригалогенметилсодержащие *гем*-бромнитроалкены в синтезе карбо- и гетероциклов, перспективных фармакологически значимых веществ», выполняемая по одному из основных научных направлений университета «Химия функционализированных нитросоединений и поиск на их основе веществ с практически полезными свойствами».

В рамках данного проекта коллектив ученых-химиков (преподавателей и студентов) изучает поведение интересных объектов органической химии — тригалогенметилсодержащих (Hal_3C) геминальных бромнитроалкенов — в реакциях с веществами, называемыми в химии СН-кислотами (кислотами, отщепляющими протон от атома углерода). В результате таких реакций образуются циклические соединения, в частности ***нитроциклопропаны***. Посмотрим на эти циклопропаны несколько подробнее.

Как известно, молекулы большинства органических веществ образованы цепями, состоящими из атомов углерода («С»). Если молекулы органических веществ образованы только атомами углерода и водорода, такие вещества называют углеводородами, и они могут быть ациклическими (незамкнутыми в цикл) и циклическими (замкнутыми в цикл) (Реутов и др. 2004). Так, в состав баллонного газа (пропан-бутановая смесь применяется для бытовых газовых плит) входит углеводород пропан, молекула которого представляет собой цепочку из трех атомов углерода:

$$H_3C–CH_2–CH_3$$

(часто его формулу изображают только углерод-углеродными связями (углеродным скелетом), в виде черточек: ).

Вещество, в молекуле которого три атома углерода образуют цикл, — это циклопропан —

* Укрупненная группа специальностей и направлений подготовки.

тоже углеводород, но циклический. Его формулу можно представить с указанием всех атомов и химических связей (***а***) или в сокращенном виде углеродной цепи или скелета (***б***) (рис. 1).

Действительно, изображение его молекулы по форме напоминает треугольник, поэтому ее изображают именно этой геометрической фигурой — равностороннего треугольника, углы в котором равны и составляют 60°. В этом случае, однако, появляется некоторое противоречие с теорией строения атома и образования химической связи. Согласно теоретическим представлениям углы между атомами углерода в циклопропане должны быть равны 109°28' (это является следствием их sp^3-гибридизации). Такие особенности строения приводят к изменению характера одинарной связи (σ-типа) между атомами углерода, которая остается σ-связью, но по характеру приближается к π-связи (такие химические связи получили название τ-связь или «банановая» связь), обладающей высокой реакционной способностью. Такая τ-связь имеет область перекрывания гибридизованных орбиталей вне оси, соединяющей центры атомов (как в обычной σ-связи), и эта область перекрывания у нее одна, в отличие от π-связи, у которой их две (рис. 2). В таком виде молекула циклопропана приобретает уникальные свойства, становясь способной к реакциям, не свойственным алканам.

Впервые циклопропан получен в 1881 г. Августом Фройндом, австрийско-польским ученым-химиком-органиком (Freund 1882). Впоследствии циклопропан нашел применение для ингаляционного наркоза и долгое время использовался во время оперативных вмешательств (Паевский 2015).

К настоящему времени интерес к циклопропану и, в особенности, к его производным, связан с обнаружением таких фрагментов в структурах многих природных соединений, обладающих практически полезными свойствами. Например, природные инсектициды *пиретрины* (содержатся в цветах некоторых сортов ромашки), а также карбоновые кислоты — *лактобациллова кислота*, выделенная из микроорганизмов *Lactobacillus arabinosus*, и аминокислота *гипоглицин А*, выделенная из мякоти плодов и косточек *Blighia Sapida* (Фогель 1961).

Особый интерес вызывают производные циклопропана, о которых уже упоминалось выше, — ***нитроциклопропаны***, в молекулах которых циклопропановое кольцо соединено с нитрогруппой (рис. 3) (Averina et al 2009; Chaidali et al. 2025; Kulinkovich 2015).

Введение нитрогруппы усиливает реакционную способность всей молекулы, позволяя использовать их в качестве исходных веществ для синтеза новых лекарственных препаратов, биологически активных веществ и различных функциональных материалов.

В литературе представлены многочисленные примеры реакций конструирования нитроциклопропановой системы, но одним из самых распространенных способов является MIRC-реакция (Michael Initiated Ring Closure — замыкание цикла, инициируемое присоединением по Михаэлю), в которую вступают электрофильные системы — **нитроалкены** (например, нитростиролы) и СН-кислоты (**малонаты** или близкие им соединения). Маршрут данной реакции можно описать как нуклеофильное присоединение с последующей внутримолекулярной циклизацией.

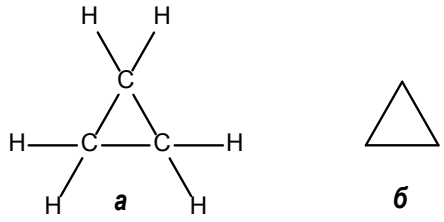


Рис. 1. Изображение молекулы циклопропана с указанием всех атомов и химических связей (***а***); сокращенный вид углеродной цепи или скелета (***б***)

Fig. 1. Structure of the cyclopropane molecule showing all atoms and chemical bonds (a) and in the abbreviated carbon-chain, or skeletal representation (b)

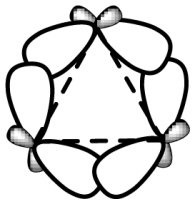


Рис. 2. Образование атомными орбиталями (несимметричные восьмерки) τ-связей или «банановых» связей в молекуле циклопропана

Fig. 2. Formation of τ-bonds, or 'banana' bonds, in the cyclopropane molecule from atomic orbitals (asymmetric figure-eight shapes)

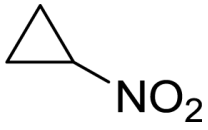


Рис. 3. Молекула нитроциклопропана

Fig. 3. Nitrocyclopropane molecule

В качестве достоинств данного метода можно назвать простые условия синтеза, высокие выходы и возможность асимметрического контроля (т. е. получения только одного из двух возможных оптических изомеров).

Именно такой доступный и препаративно удобный метод синтеза нитроциклопропанов разработан на кафедре органической химии РГПУ им. А. И. Герцена, основанный на взаимодействии функционализированных *гем*-активированных нитроалкенов с различными линейными и циклическими СН-кислотами (рис. 4) (Метелкина и др. 1974; Pelipko et al. 2023).

Благодаря особенностям строения и, как следствие, высокой реакционной способности, нитроциклопропаны открывают широкий спектр возможностей для дальнейшего синтеза на их основе различных соединений, обладающих практической значимостью: аминоциклопропанов (**I**) — продуктов восстановления нитрогруппы, аминокислот (**II**), *N*-оксидов изоксазолина (**III**) или пирролов (**IV**) — продуктов раскрытия или расширения циклопропанового кольца (рис. 5) (Davies et al. 1996, Wurz, Charette 2005).

Кроме большого значения в синтетической органической химии, нитроциклопропаны

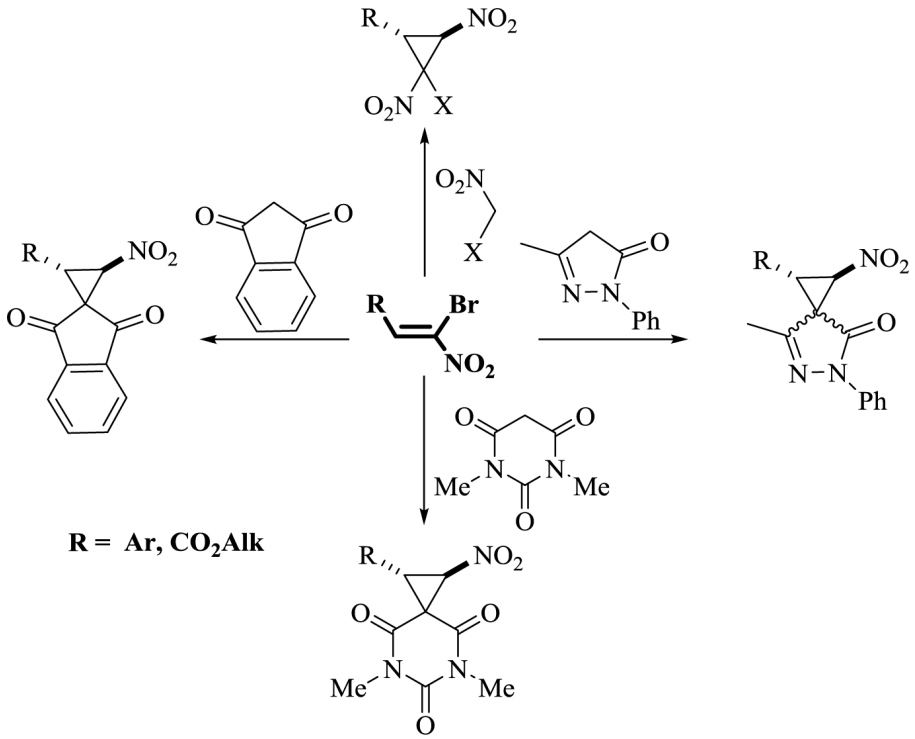


Рис. 4. Получение нитроциклопропанов MIRC-реакциями

Fig. 4. Synthesis of nitrocyclopropanes via MIRC reaction

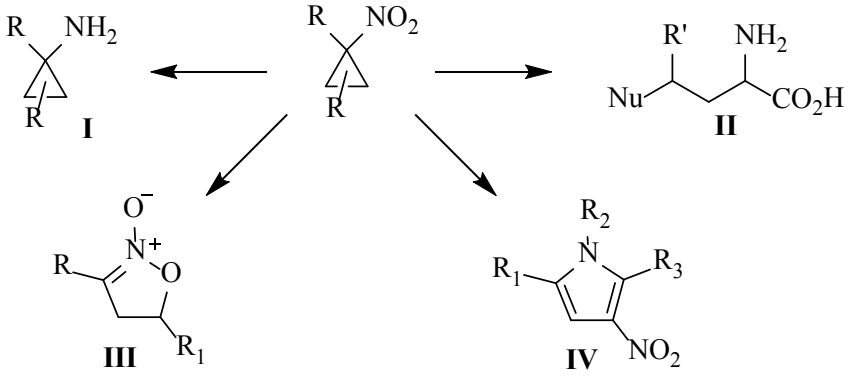


Рис. 5. Получение практически значимых веществ на основе нитроциклопропанов

Fig. 5. Synthesis of substances with practical value from nitrocyclopropanes

играют и важную роль в фармацевтической химии. Замещенные нитроциклопропаны являются биологически активными соединениями и используются как **строительные блоки для конструирования сложных биологически активных молекул**, таких как:

- **транилципромин** — антидепрессант, ингибитор моноаминоксидазы;
- **гормаомицин** — природный антибиотик с двумя нитроциклопропановыми фрагментами;
- **ленватиниб** — противораковое средство, ингибитор тирозинкиназы;
- **белактосин А** — природный ингибитор протеасом.

Производные нитроциклопропанов активно исследуются как **регуляторы роста растений**, так как их восстановление приводит к образованию предшественника растительного гормона, который играет ключевую роль практически во всех аспектах развития растений, включая вегетативный рост, созревание плодов, старение и опадение.

Подводя итог, можно отметить, что нитроциклопропаны представляют собой яркий пример сочетания простоты структуры и высокой химической активности, приводящей к множеству практических применений. Благодаря своей универсальности и способности к различным трансформациям, они заслуженно занимают ключевое место в современной органической химии.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о высокой актуальности и перспективности исследований синтеза нитроциклопропановых структур, а также поиска возможных способов их модификации с целью получения новых потенциально биологически активных веществ, перспективных для создания новых лекарственных препаратов на основе производных нитроциклопропанов. Привлекаемые к выполнению проекта студенты — научные волонтеры — приобретают уникальный опыт и знания, полезные им в учебном процессе и в будущей профессиональной деятельности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в подготовку рукописи статьи.

Author Contributions

The authors have made an equal contribution to the preparation of the manuscript of the article.

Список литературы

Золотов, Ю. А. (2012). Российская химия сквозь призму времени. *Вестник Российской академии наук*, т. 82, № 10, с. 938–948.

Золотов, Ю. А. (2021) Методологические аспекты аналитической химии. *Журнал аналитической химии*, т. 76, № 1, с. 5–19. https://doi.org/10.31857/S0044450221010175

Метелкина, Э. Л., Сопова, А. С., Перекалин, В. В., Ионин, Б. И. (1974) Взаимодействие *гем*-бромнитроэтенов с нитроацетонитрилом и нитроуксусным эфиром. *Журнал органической химии*, т. 10, вып. 2, с. 209–211.

Паевский, А. (2015) Циклопропан. *Химия и Жизнь*, № 11. [Электронный ресурс]. URL: https://hij.ru/read/issues/2015/november/5694/ (дата обращения 18.12.2025).

Реутов, О. А., Курц, А. Л., Бутин, К. П. (2004) *Органическая химия: в 4 т. Т. 3*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 544 с.

Ткачева, Т. М., Гусева, Е. А. (2019) Исторический обзор развития отечественной микроэлектроники. *История и педагогика естествознания*, № 2, с. 35–40. https://doi.org/10.24411/2226-2296-2019-10206

Фогель, Е. (1961) Малые углеродные циклы. *Успехи химии*, т. 30, вып. 1, с. 92–141.

Averina, E. B., Yashin, N. V., Kuznetsova, T. S., Zefirov, N. S. (2009) Nitrocyclopropanes: Synthesis and properties. *Russian Chemical Reviews*, vol. 78, no. 10, pp. 887–902. https://doi.org/10.1070/RC2009v078n10ABEH004050

Chaidali, A. G., Terzidis, M. A., Lykakis, I. N. (2025) Nitrocyclopropanes as valuable building blocks in organic synthesis and biology: Exploring the origin of the nitro group. *Chemistry — A European Journal*, vol. 31, no. 20, article e202404791. https://doi.org/10.1002/chem.202404791

Davies, H. M., Bruzinski, P. R., Lake, D. H. et al. (1996) Asymmetric cyclopropanations by rhodium (II) *N*-(arylsulfonyl) prolinate catalyzed decomposition of vinyldiazomethanes in the presence of alkenes. Practical enantioselective

synthesis of the four stereoisomers of 2-phenylcyclopropan-1-amino acid. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 118, no. 29, pp. 6897–6907. https://doi.org/10.1021/ja9604931
Freund, A. (1882) Ueber trimethylen. *Journal für Praktische Chemie*, vol. 26, no. 1, pp. 367–377. https://doi.org/10.1002/prac.18820260125
Werz, D. B. (2016) Cyclopropanes in Organic Synthesis. Von Oleg G. Kulinkovich. *Angewandte Chemie*, vol. 128, no. 28. https://doi.org/10.1002/ange.201603984
Pelipko, V. V., Baichurin, R. I., Lyssenko, K. A. et al. (2023) New spiro-fused 2-nitrocyclopropanecarboxylates: Synthesis and structure. *Mendeleev Communications*, vol. 33, no. 4, pp. 451–454. https://doi.org/10.1016/j.mencom.2023.06.003
Wurz, R. P., Charette, A. B. (2005) Doubly activated cyclopropanes as synthetic precursors for the preparation of 4-nitro-and 4-cyano-dihydropyrroles and pyrroles. *Organic Letters*, vol. 7, no. 12, pp. 2313–2316. https://doi.org/10.1021/ol050442l

References

Averina, E. B., Yashin, N. V., Kuznetsova, T. S., Zefirov, N. S. (2009) Nitrocyclopropanes: Synthesis and properties. *Russian Chemical Reviews*, vol. 78, no. 10, pp. 887–902. https://doi.org/10.1070/RC2009v078n10ABEH004050 (In English)
Chaidali, A. G., Terzidis, M. A., Lykakis, I. N. (2025) Nitrocyclopropanes as valuable building blocks in organic synthesis and biology: Exploring the origin of the nitro group. *Chemistry — A European Journal*, vol. 31, no. 20, article e202404791. https://doi.org/10.1002/chem.202404791 (In English)
Davies, H. M., Bruzinski, P. R., Lake, D. H. et al. (1996) Asymmetric cyclopropanations by rhodium (II) *N*-(arylsulfonyl) prolinate catalyzed decomposition of vinyldiazomethanes in the presence of alkenes. Practical enantioselective synthesis of the four stereoisomers of 2-phenylcyclopropan-1-amino acid. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 118, no. 29, pp. 6897–6907. https://doi.org/10.1021/ja9604931 (In English)
Fogel, E. (1961) Small carbon cycles. *Uspekhi Khimii*, vol. 30, iss. 1, pp. 92–141. (In Russian)
Freund, A. (1882) Ueber trimethylen [On trimethylene]. *Journal für Praktische Chemie*, vol. 26, no. 1, pp. 367–377. https://doi.org/10.1002/prac.18820260125 (In German)
Werz, D. B. (2016) Cyclopropanes in Organic Synthesis. Von Oleg G. Kulinkovich. *Angewandte Chemie*, vol. 128, no. 28. https://doi.org/10.1002/ange.201603984 (In English)
Metelkina, E. L., Sopova, A. S., Perekalin, V. V., Ionin, B. I. (1974) Interaction of *gem*-bromonitroethenes with nitroacetonitrile and nitroacetic ester. *Zhurnal organicheskoi khimii*, vol. 10, iss. 2, pp. 209–211. (In Russian)
Paevskii, A. (2015) Cyclopropane. *Khimiya i Zhizn'*, no. 11. [Online]. Available at: https://hij.ru/read/issues/2015/november/5694/ (18.12.2025). (In Russian)
Pelipko, V. V., Baichurin, R. I., Lyssenko, K. A. et al. (2023) New spiro-fused 2-nitrocyclopropanecarboxylates: Synthesis and structure. *Mendeleev Communications*, vol. 33, no. 4, pp. 451–454. https://doi.org/10.1016/j.mencom.2023.06.003 (In English)
Reutov, O. A., Kurts, A. L., Butin, K. P. (2004) *Organic chemistry: in 4 volumes. Vol. 3*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znanij Publ., 544 p. (In Russian)
Tkacheva, T. M., Guseva, E. A. (2019) Historical review of national microelectronics development. *History and Pedagogy Natural Science*, no. 2, pp. 35–40. https://doi.org/10.24411/2226-2296-2019-10206 (In Russian)
Wurz, R. P., Charette, A. B. (2005) Doubly activated cyclopropanes as synthetic precursors for the preparation of 4-nitro-and 4-cyano-dihydropyrroles and pyrroles. *Organic Letters*, vol. 7, no. 12, pp. 2313–2316. https://doi.org/10.1021/ol050442l (In English)
Zolotov, Yu. A. (2012) Russian chemistry through the prism of time. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, vol. 82, no. 10, pp. 938–938. (In Russian)
Zolotov, Yu. A. (2021) Methodological aspects of analytical chemistry. *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 76, no. 1, pp. 5–19. https://doi.org/10.31857/S0044450221010175 (In Russian)

Сведения об авторах

Пилипенко Илья Александрович, ассистент кафедры органической химии факультета химии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена.
SPIN-код: 4835-3346, Scopus AuthorID: 58128302600, ResearcherID: DLF-2686-2022, ORCID: 0009-0007-6462-6001, e-mail: ipilipenko0608@gmail.com

Озерова Ольга Юрьевна, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии факультета химии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена.
SPIN-код: 8306-9778, Scopus AuthorID: 55447169600, ResearcherID: U-5953-2019, e-mail: ozerova_olga89@mail.ru

Лёвкин Антон Николаевич, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры неорганической химии факультета химии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена.
SPIN-код: 1954-7582, Scopus AuthorID: 6505922523, ResearcherID: FHA-9162-2022, ORCID: 0000-0002-8560-1301, e-mail: andgray@yandex.ru

Макаренко Сергей Валентинович, доктор химических наук, доцент, декан факультета химии, и. о. заведующего кафедрой органической химии факультета химии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена.
SPIN-код: 2590-5137, Scopus AuthorID: 7004182053, ResearcherID: J-7391-2012, ORCID: 0000-0002-7284-5147,
e-mail: makarenkosv@herzen.spb.ru

Authors

Ilya A. Pilipenko, Assistant Professor, Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Herzen State Pedagogical University of Russia.
SPIN: 4835-3346, Scopus AuthorID: 58128302600, ResearcherID: DLF-2686-2022, ORCID: 0009-0007-6462-6001,
e-mail: ipilipenko0608@gmail.com

Olga Yu. Ozerova, Candidate of Chemical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Herzen State Pedagogical University of Russia.
SPIN: 8306-9778, Scopus AuthorID: 55447169600, ResearcherID: U-5953-2019, e-mail: ozerova_olga89@mail.ru

Anton N. Levkin, Candidate of Pedagogical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Inorganic Chemistry Department, Faculty of Chemistry, Herzen State Pedagogical University of Russia.
SPIN: 1954-7582, Scopus AuthorID: 6505922523, ResearcherID: FHA-9162-2022, ORCID: 0000-0002-8560-1301,
e-mail: andgray@yandex.ru

Sergey V. Makarenko, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Chemistry, Acting Head of the Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Herzen State Pedagogical University of Russia.
SPIN: 2590-5137, Scopus AuthorID: 7004182053, ResearcherID: J-7391-2012, ORCID: 0000-0002-7284-5147,
e-mail: makarenkosv@herzen.spb.ru