

АРГАНІЧНАЯ ХІМІЯ
ORGANIC CHEMISTRY

УДК 574:539.1.04
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-312-317>

Поступила в редакцию 21.12.2022
Received 21.12.2022

**Е. А. Дикусар¹, А. Л. Пушкарчук¹, Т. В. Безъязычная¹, Е. А. Акишина¹,
Е. Г. Косандрович¹, А. Г. Солдатов², С. А. Кутень³, С. Г. Стёпин⁴,
А. П. Низовцев⁵, С. Я. Килин⁵, В. А. Кульчицкий⁶, В. И. Поткин¹**

¹Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

²Научно-практический центр по материаловедению Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь

³Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

⁴Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, Витебск, Беларусь

⁵Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

⁶Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

**ТЕТРАЭЙКОЗАГИДРОКСИФУЛЛЕРЕН C₆₀(OH)₂₄:
ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ ПРЕПАРАТИВНЫЙ СИНТЕЗ,
СВОЙСТВА И ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

Аннотация. Тетраэйкозагидроксифуллерен C₆₀(OH)₂₄ обладает широким спектром уникальных и целительных свойств, позволяющих с успехом использовать его в целом ряде отраслей народного хозяйства. Внимание к этому соединению обусловлено его чрезвычайно высоким биологическим потенциалом, проявляющимся в потенцирующем действии химиопрепаратов против злокачественных новообразований (в частности, при совместном применении с препаратом цисплатин), а также в качестве агента доставки радиоактивных изотопов в радиационной медицине. Представлена легко масштабируемая методика синтеза и очистки тетраэйкозагидроксифуллерена C₆₀(OH)₂₄ путем каталитического бромирования фуллерена C₆₀ в среде жидкого брома в присутствии металлического железа. Разработана технология очистки целевого продукта с использованием ионообменных смол АВ-17-8 и ТОКЕМ-100.

Ключевые слова: фуллерен, тетраэйкозагидроксифуллерен, тетраэйкоза бромфуллерен, цисплатин, потенцирующее действие

Для цитирования. Тетраэйкозагидроксифуллерен C₆₀(OH)₂₄: оптимизированный препаративный синтез, свойства и примеры применения / Е. А. Дикусар [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 312–317. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-312-317>

**E. A. Dikusar¹, A. L. Pushkarchuk¹, T. V. Bezyazychnaya¹, E. A. Akishina¹,
E. G. Kasandrovich¹, A. G. Soldatov², S. A. Kuten³, S. G. Stepin⁴,
A. P. Nizovtsev⁵, S. Ya. Kilin⁵, V. A. Kulchitsky⁶, V. I. Potkin¹**

¹Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

³Institute of Nuclear Problems of the Belarusian State University, Minsk, Belarus

⁴Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk, Belarus

⁵B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

⁶Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**TETRAEICOSAHYDROXYFULLERENE C₆₀(OH)₂₄:
OPTIMIZED PREPARATIVE SYNTHESIS, PROPERTIES AND APPLICATIONS**

Abstract. Tetraeicosahydroxyfullerene C₆₀(OH)₂₄ has a wide range of unique and useful properties that allow it to be successfully used in a number of sectors of the national economy. Interest in this compound is due to its extremely high biological potential, which manifests itself in a potentiating effect against malignant neoplasms (when used together with

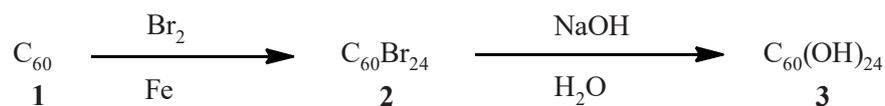
cisplatin) and as an agent for the delivery of radioactive isotopes in radiation medicine. This paper presents a convenient and easily scalable procedure for the synthesis and purification of $C_{60}(OH)_{24}$ tetraeicosahydroxyfullerene by catalytic bromination of C_{60} fullerene in liquid bromine in the presence of metallic iron. The technology of purification of the target product using ion exchange resins AB-17-8 and TOKEM-100 has been developed.

Keywords: fullerene, tetraeicosahydroxyfullerene, tetraeicosabromofullerene, cisplatin, potentiating action

For citation. Dikusar E. A., Pushkarchuk A. L., Bezyazychnaya T. V., Akishina E. A., Kasandrovich E. G., Soldatov A. G., Kuten S. A., Stepin S. G., Nizovtsev A. P., Kilin S. Ya., Kulchitsky V. A., Potkin V. I. Tetraeicosahydroxyfullerene $C_{60}(OH)_{24}$: optimized preparative synthesis, properties and applications. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2023, vol. 59, no. 4, pp. 312–317 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-312-317>

Тетраэйкозагидроксифуллерен $C_{60}(OH)_{24}$ **3** обладает широким спектром уникальных и полезных свойств, позволяющих с успехом его использовать в некоторых отраслях народного хозяйства (для адресной доставки лекарственных препаратов в клетки-мишени, в биологии, медицине и сельском хозяйстве) [1–6]. Интерес к этому соединению обусловлен его чрезвычайно высоким биологическим потенциалом, проявляющимся в потенцирующем действии против злокачественных новообразований (при совместном применении с препаратом цисплатин) [7] и в качестве агента доставки радиоактивных изотопов в радиационной медицине [8–10].

В настоящей работе представлена удобная и легко масштабируемая методика синтеза и очистки тетраэйкозагидроксифуллерена $C_{60}(OH)_{24}$ **3** путем каталитического бромирования фуллерена C_{60} **1** в среде жидкого брома в присутствии металлического железа. Полученный тетраэйкозабромфуллерен $C_{60}Br_{24}$ **2** был подвергнут гидролизу 0,1 М раствором едкого натра, в результате чего был получен разбавленный водный раствор целевого соединения **3**, содержащий NaBr и NaOH:

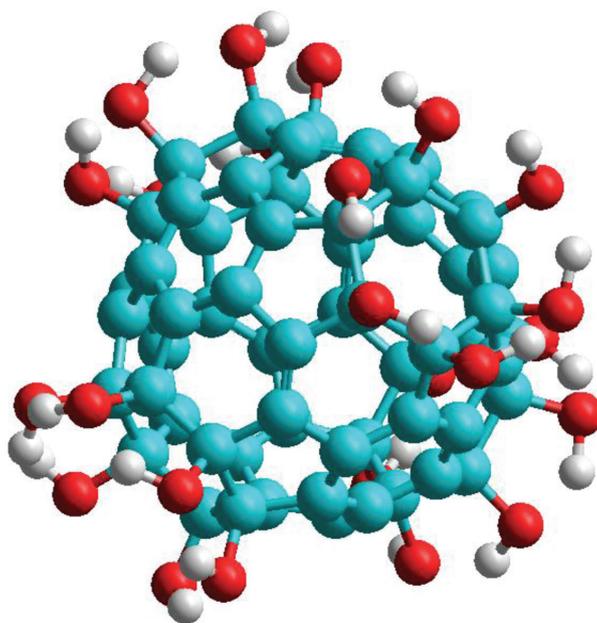


Очистка **3** от неорганических примесей проводилась путем пропускания водного раствора через две колонки, заполненные сильноосновным анионитом АВ-17 в OH^- -форме и сильнокислым катионитом ТОКЕМ-100 в H^+ -форме (рис. 1). Полученный после пропускания через ионообменные смолы деионизированный водный раствор **3** был сконцентрирован путем отгонки воды при



Рис. 1. Очистка тетраэйкозагидроксифуллерена $C_{60}(OH)_{24}$ **3** от неорганических примесей путем пропускания водного раствора через колонки, заполненные анионитом АВ-17 в OH^- -форме (1) и катионитом ТОКЕМ-100 в H^+ -форме (2)

Fig. 1. Purification of tetraeicosahydroxyfullerene $C_{60}(OH)_{24}$ **3** from inorganic impurities by passing an aqueous solution through columns filled with AV-17 anion exchanger in the OH^- form (1) and TOKEM-100 cation exchanger in the H^+ form (2)

Рис. 2. Структура тетраэйкозагидроксифуллерена $C_{60}(OH)_{24}$ **3** [11]Fig. 2. Structure of of tetraeicosahydroxyfullerene $C_{60}(OH)_{24}$ **3** [11]

атмосферном давлении в условиях защиты от воздействия света. Целевой тетраэйкозагидроксифуллерен **3** в индивидуальном состоянии был получен методом лиофильной сушки в вакууме.

Наиболее вероятным и термодинамически выгодным строением соединения **3** является симметричное тетраэдрическое пространственное расположение $[4 \times C_6(OH)_6]$ -групп (рис. 2).

Экспериментальная часть. ИК-спектр записан на Фурье-спектрофотометре Protege-460 фирмы Nicolet с приготовлением образцов в виде таблеток с KBr. Элементный анализ выполняли на CHNS-анализаторе Vario MICRO cube V1.9.7. Определение остаточного содержания Na и Br проводили на атомно-эмиссионном спектрометре на индуктивно-связанной плазме Vista-PRO. Лиофильную сушку выполняли на приборе LYOQUEST-85 Telsar Technologies, S.L. Фуллерен C_{60} с чистотой 99,5 % использовали компании ЗАО «ИЛИП» (Санкт-Петербург, Россия). Реагенты бром, вода, метанол, железо в виде фольги (толщиной 0,1 мм) имели чистоту 99,9 %. Жидкие реагенты подвергали двойной фракционной перегонке. Использовали сильноосновный стиролдивинилбензольный анионит АВ-17-8 в С1-форме (ПО «ТОКЕМ», ГОСТ 20301-74) и стиролдивинилбензольный сульфокатионит в H^+ -форме ТОКЕМ-100 (ПО «ТОКЕМ», ТУ 2227-023-72285630-2011).

Тетраэйкозабромфуллерен 2. Суспензию 2,0 г (2,77531 ммоль) фуллерена C_{60} **1** в 50 мл (1,0 моль) жидкого брома в присутствии 3,0 г (53,7 ммоль) железной фольги толщиной 0,1 мм помещали в круглодонную герметично закрытую пробкой колбу на 5 суток в защищенном от света месте при 25 °С, периодически перемешивая путем осторожного встряхивания. Целевой продукт отфильтровывали на плотном стеклянном фильтре Шотта S5 (с отверстиями диаметром 1,0–1,5 мкм) после испарения остаточного количества брома (избыток брома может быть использован повторно после перегонки), осадок **2** и непрореагировавшая железная фольга 20 раз по 20 мл при тщательном перемешивании промывались метанолом. Полученный светло-желтый пылевидный продукт **2** сушился на воздухе при 25 °С 2 суток в защищенном от света месте. Вес продукта составил 7,2 г (выход 98,3 %). Найдено, %: С 27,20; Br 72,88. $C_{60}Br_{24}$. Вычислено, %: С 27,31; Br 72,69. *M* 2 638,34.

Тетраэйкозагидроксифуллерен 3. Суспензию 6,0 г (2,27420 ммоль) тетраэйкозабромфуллерена **2** в 1 л 0,1 *M* водного раствора NaOH перемешивали на магнитной мешалке 2 суток в защищенном от света месте при 25 °С. Полученный черно-коричневый раствор пропускали через две колонки, заполненные: 130 г сильноосновного анионита АВ-17-8 в С1-форме (перед работой

анионит был переведен в OH^- -форму обработкой водным раствором $\sim 1 \text{ M NaOH}$ в динамичном режиме с последующей отмыжкой ионита от реагентов дистиллированной водой) и 130 г сильно-кислотного сульфостирольного катионита ТОКЕМ-100 в H^+ -форме. Предполагалось, что емкость ионообменных смол будет использована не более чем на 50 %, поэтому они были взяты в большом избытке ($\sim 2,5$ раза). Пропускание очищаемого от ионов Na^+ , Br^- и OH^- раствора **3** (см. рис. 1) проводилось вначале через колонку с анионитом (1), а затем – с катионитом (2), что было необходимо для предотвращения загрязнения фильтрата аминами, а также недопущения образования НВг. Полученный после пропускания через ионообменные смолы деионизированный водный раствор **3** был сконцентрирован путем отгонки воды при атмосферном давлении в условиях защиты от воздействия света. Целевой тетраэкозагидроксифуллерен **3** в индивидуальном состоянии был получен методом лиофильной сушки в вакууме. Вес продукта – 2,0 г (выход – 77,9 %). ИК- спектр, ν , cm^{-1} : 3 409 (OH), 2 956, 2 921, 2 853, 1 713 ($\text{C}=\text{C}$), 1 624 ($\text{C}=\text{C}$), 1 372, 1 342, 1 320, 1 168, 1 058 ($\text{C}-\text{O}$), 1038 ($\text{C}-\text{O}$), 526, 469. Найдено, %: С 64,07; Н 2,20. $\text{C}_{60}\text{H}_{24}\text{O}_{24}$. Вычислено, %: С 63,84, Н 2,14. M 1 128,82. Содержание ионов Na^+ и Br^- , определенное методом атомно-эмиссионной спектроскопии на индуктивно-связанной плазме, не превышало 10^{-4} %.

Выводы. Разработана удобная, легко масштабируемая методика синтеза и очистки тетраэкозагидроксифуллерена с использованием достаточно доступного и относительно дешевого сырья (фуллерена C_{60}) и вспомогательных материалов (ионообменных смол АВ-17-8 и ТОКЕМ-100). Целевой продукт имеет чистоту около 99,99 % и по своим характеристикам превосходит коммерчески доступные образцы.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция 2025».

Acknowledgements. This work has been performed with the financial support of SSRP “Convergence 2025”.

Список использованных источников

1. Противоопухолевая активность производных фуллерена и возможности их использования для адресной доставки лекарств / М. А. Орлова [и др.] // Онкогематология. – 2013. – № 2. – С. 83–89.
2. Тетраэкозагидроксибакминстерфуллеренол – реагент будущего / Е. А. Дикусар [и др.] // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии: XXXI Междунар. науч.-техн. конф. «Реактив-2018», 2–4 окт. 2018 г., Минск, Беларусь: тез. докл. – Минск: Беларуская навука, 2018. – С. 22.
3. Пиотровский, Л. Б. Фуллерены в биологии / Л. Б. Пиотровский, О. И. Киселев. – СПб.: Росток, 2006. – 335 с.
4. Đorđević, A. Fullereneol: A new nanopharmaceutic? / A. Đorđević, G. Bogdanović // Archive of Oncology. – 2008. – Vol. 16, iss. 3–4. – P. 42–45. <https://doi.org/10.2298/AOO0804042D>
5. Производные фуллерена стимулируют продукционный процесс, рост и устойчивость к окислительному стрессу у растений пшеницы и ячменя / Г. Г. Панова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, вып. 1. – С. 38–49. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.38rus>
6. Semenov, K. N. Fullereneol synthesis and identification. Properties of fullereneol water solutions / K. N. Semenov, N. A. Charykov, V. A. Keskinov // J. Chem. Eng. Data. – 2011. – Vol. 56, iss. 2. – P. 230–239. <https://doi.org/10.1021/jc100755v>
7. DFT Study of the Biological Activity of Fullereneol – Cisplatin Conjugate as an Antitumor Therapy Agent / A. Pushkarchuk [et al.] // J. Biomed. Res. Environ. Sci. – 2023. – Vol. 4, iss. 2. – P. 179–183. <https://doi.org/10.37871/jbres1661>
8. Квантово-химическое моделирование кортизон-фуллереноловых агентов терапии онкологических заболеваний / Е. А. Дикусар [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хіміч. навук. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 400–407. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-400-407>
9. Перспективы создания радонсодержащих агентов радионуклидной терапии / Е. А. Дикусар [и др.] // Вестн. фармації. – 2021. – № 3 (93). – С. 64–72. <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2021.3.64>
10. Квантово-химическое моделирование доксорубин-фуллереноловых агентов терапии онкологических заболеваний / Е. А. Дикусар [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хіміч. навук. – 2022. – Т. 58, № 4. – С. 369–378. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-4-369-378>
11. Теоретическое и экспериментальное исследование молекул и ионов фуллеренола $\text{C}_{60}(\text{OH})_{24-n}(\text{OL})_n$ и $\text{C}_{60}(\text{OH})_{24-n}(\text{OL})_n\text{L}^+$, последовательно замещенных атомами щелочных металлов L ($n = 1-24$) / О. П. Чаркин [и др.] // Журн. неорг. химии. – 2011. – Т. 56, вып. 4. – С. 623–633.

References

1. Orlova M.A., Trofimova T.P., Orlov A.P., Shatalov O.A., Napolov Yu.K., Svistunov A.A., Chekhonin V.P. Antitumor activity of fullerene derivatives and their possible use for target drug delivery. *Onkogematologija = Oncohematology*, 2013, no. 2, pp. 83–92. <https://doi.org/10.17650/1818-8346-2013-8-2-83-92> (in Russian).

2. Dikusar E. A., Pushkarchuk A. L., Bezyazychnaya T. V., Kasandrovich E. G., Soldatov A. G., Kuten S. A., Stepin S. G., Nizovtsev A. P., Kilin S. Ya. Tetracosyhydroxybuckminsterfullerenol is a reagent of the future. Chemical reagents, reagents and processes of small-scale chemistry. – Abstracts of the XXXI International scientific and technical conference “React-2018”. – October 2–4, 2018, Minsk, Belarus. Minsk: Belarusian Science, 2018, p. 22 (in Russian).

3. Piotrovskiy L. B., Kiselev O. I. *Fullerenes in biology*. St. Petersburg, Rostock, 2006. 335 p. (in Russian).

4. Đorđević A., Bogdanović G. Fullerene: A new nanopharmaceutical? *Archive of Oncology*, 2008, vol. 16, no. 3–4, pp. 42–45. <https://doi.org/10.2298/AOO0804042D>

5. Panova G. G., Kanash E. V., Semenov K. N., Charykov N. A., Khomyakov Yu. V., Anikina L. M., Artem'eva A. M., Korniyukhin D. L., Vertebnyi V. E., Sinyavina N. G., Udalova O. R., Kulenova N. A., Blokhina S. Yu. Fullerene derivatives stimulate the production process, growth and resistance to oxidative stress in wheat and barley plants. *Sel'skhozjajstvennaja biologija = Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 1, pp. 38–49. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.38rus (in Russian).

6. Semenov K.N., Charykov N.A., Keskinov V.A. Fullerene synthesis and identification. Properties of fullerene water solutions. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2011, vol. 56, no. 2, pp. 230–239. doi: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jc100755v>

7. Pushkarchuk A., Bezyazychnaya T., Potkin V., Dikusar E., Soldatov A., Kilin S., Nizovtsev A., Kuten S., Ermak D., Pushkarchuk V., Zhou H., Kulchitsky V. DFT Study of the Biological Activity of Fullerene – Cisplatin Conjugate as an Antitumor Therapy Agent. *Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 2023, vol. 4, no. 2, pp. 179–183. doi: 10.37871/jbres1661

8. Dikusar E. A., Pushkarchuk A. L., Bezyazychnaya T. V., Akishina E. A., Soldatov A. G., Kuten S. A., Stepin S. G., Nizovtsev A. P., Kilin S. Ya., Potkin V. I. Quantum-chemical modeling of cortisone-fullerene agents of cancer therapy. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 400–407 (doi: <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-400-407> (in Russian)).

9. Dikusar E. A., Pushkarchuk A. L., Bezyazychnaya T. V., Akishina E. A., Soldatov A. G., Kuten S. A., Stepin S. G., Nizovtsev A. P., Kilin S. Ya., Babichev L. F., Potkin V. I. Prospects for creating radon containing agents in radionuclide therapy. *Vestnik farmacii = Pharmacy bulletin*, 2021, no. 3 (93), pp. 64–72 (in Russian).

10. Dikusar E. A., Pushkarchuk A. L., Bezyazychnaya T. V., Akishina E. A., Soldatov A. G., Kuten S. A., Stepin S. G., Nizovtsev A. P., Kilin S. Ya., Kulchitsky V. A., Potkin V. I. Quantum-chemical modeling of doxorubicin-fullerene agents of cancer therapy. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 4, pp. 369–378 (in Russian).

11. Charkin O. P., Klimenko N. M., Wang Y.-S., Wang C.-C., Chen C.-H., Lin S. H. Theoretical and experimental study of fullerene molecules and ions $C_{60}(OH)_{24-N}(OL)_N$ and $C_{60}(OH)_{24-N}(OL)_N L^+$ successively substituted by alkali metal atoms I (N = 1–24). *Zhurnal neorganicheskoy himii = Russian journal of inorganic chemistry*, 2011, vol. 56, no. 4, pp. 623–633 (in Russian).

Информация об авторах

Дикусар Евгений Анатольевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: dikusar@ifoch.bas-net.by

Пушкарчук Александр Леонидович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: alex51@bk.ru

Безъязычная Татьяна Владимировна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kvant@ifoch.bas-net.by

Акишина Екатерина Александровна – научный сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: che.semenovaea@mail.ru

Косандрович Евгений Генрихович – доктор химических наук, доцент, заведующий лабораторией. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kosandrovich@ifoch.bas-net.by

Солдатов Андрей Геннадьевич – заведующий лабораторией. Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению (ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: andreisoldatov@mail.ru

Information about the authors

Dikusar Evgenij A. – Ph. D. (Chemistry), Senior Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dikusar@ifoch.bas-net.by

Pushkarchuk Alexander L. – Ph. D. (Physics and Mathematics), Senior Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alex51@bk.ru

Bezyazychnaya Tatsiana V. – Ph. D. (Physics and Mathematics), Senior Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kvant@ifoch.bas-net.by

Akishina Ekaterina A. – Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: che.semenovaea@mail.ru

Kasandrovich Evgenij G. – D. Sc. (Chemistry), Associate Professor, Head of the Laboratory. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kosandrovich@ifoch.bas-net.by

Soldatov Andrei G. – Head of the Laboratory. Scientific-Practical Materials Research Center of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andreisoldatov@mail.ru

Кутень Семен Адамовіч – кандидат фізіка-матэматычных навук, заведуючы лабораторыяй. Інстытут ядэрных праблем БГУ (ул. Бобруйская, 11, 220030, Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: kut@inp.bsu.by

Стёпин Святаслав Генрыхавіч – кандидат хімічных навук, доцент. Віцебскі дзяржаўны ордэна Дружбы народаў медыцынскі ўніверсітэт (пр-т Фрунзе, 27, 210023, Віцебск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: stepins@tut.by

Низовцев Александр Павлович – доктар фізіка-матэматычных навук, вядучы навучны супрацоўнік. Інстытут фізікі імяні Б. І. Степанова НАН Беларусі (пр-т Незавіскасці, 68, 220072, Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: apniz@ifanbel.bas-net.by

Кілін Сяргей Яковлевіч – акадэмік, доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар, заведуючы цэнтрам. Інстытут фізікі імяні Б. І. Степанова НАН Беларусі (Мінск, пр-т Незавіскасці, 68, 220072, Мінск, Рэспубліка Беларусь); E-mail: kilin@ifanbel.bas-net.by

Кульчыцкіі Владимир Адамовіч – акадэмік, доктар медыцынскіх навук, прафесар, кіраўнік цэнтру. Інстытут фізіялогіі НАН Беларусі (ул. Акадэмічэская, 28, 220072, Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: vladi@fizio.bas-net.by

Поткін Владимир Іванавіч – акадэмік, доктар хімічных навук, прафесар, заведуючы лабораторыяй. Інстытут фізіка-арганічнай хіміі НАН Беларусі (ул. Сурганова, 13, 220072, Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: potkin@ifoch.bas-net.by

Kutsen Siamion A. – Ph. D. (Physics and Mathematics), Head of the Laboratory. Institute for Nuclear Problems of the Belarusian State University (11, Bobruiskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kut@inp.bsu.by

Stepin Svyatoslav G. – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor. Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University (17, Frunze Ave., 210023, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: stepins@tut.by

Nizovtsev Alexander P. – D. Sc. (Physics and Mathematics), Leading Researcher. B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus (68, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: apniz@ifanbel.bas-net.by

Kilin Sergei Ya. – Academician, D. Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Center. B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus (68, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kilin@ifanbel.bas-net.by

Kulchitsky Vladimir A. – Academician, D. Sc. (Medicine), Professor, Head of the Center (28, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vladi@fizio.bas-net.by

Potkin Vladimir I. – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: potkin@ifoch.bas-net.by