

Краткое сообщение

УДК 57:579.26:579.64:60:378(470+571)(092)

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-06



К юбилею президента Вавиловского общества генетиков и селекционеров академика Игоря Анатольевича Тихоновича

А. А. Нижников^{1,2,3}, Е. К. Хлесткина^{1,4}¹Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Санкт-Петербург, Россия²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия³Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия⁴Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Антон Александрович Нижников, a.nizhnikov@spbu.ru

1 января 2024 года исполнилось 75 лет академику РАН Игорю Анатольевичу Тихоновичу, выдающемуся отечественному специалисту в области генетики растительно-микробных взаимодействий, видному педагогу высшей школы и организатору науки. Им опубликовано более 250 работ в рецензируемых изданиях, подготовлены 10 монографий и учебников, получено 12 патентов. Академик Тихонович более сорока лет руководил Всероссийским институтом сельскохозяйственной микробиологии, который под его руководством сформировал ведущую научную школу в области симбиогенетики, признанную на мировом уровне. Одним из важнейших концептуальных обобщений, предложенных И.А. Тихоновичем, стал сформулированный им принцип дополнительности геномов. Под руководством и при непосредственном участии Игоря Анатольевича в Санкт-Петербургском государственном университете и Научно-технологическом университете «Сириус» произошло становление и развитие новых образовательных программ магистратуры по агробиотехнологии и молекулярной биологии растений. Возглавляемое Игорем Анатольевичем Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС) за время его руководства пополнилось новыми отделениями и провело ряд важных научных мероприятий, включая VII Съезд ВОГиС и Форумы «Генетические ресурсы России». Друзья и соратники, представители отечественного генетико-селекционного сообщества, горячо поздравляют Игоря Анатольевича с юбилеем и желают крупных научных открытий, новых педагогических свершений и достижения всех поставленных целей.

Ключевые слова: симбиогенетика, горох, клубеньковые бактерии, бобовые, продовольственная безопасность, растительно-микробные взаимодействия, генетика, молекулярная биология

Для цитирования: Нижников А.А., Хлесткина Е.К. К юбилею президента Вавиловского общества генетиков и селекционеров академика Игоря Анатольевича Тихоновича. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(1):58-64. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-06

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Нижников А.А., Хлесткина Е.К., 2024

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-o6

On the anniversary of the President of Vavilov Society of Geneticists and Breeders Academician Igor Anatolyevich Tikhonovich

Anton A. Nizhnikov^{1,2,3}, Elena K. Khlestkina^{1,4}¹Vavilov Society of Geneticists and Breeders, St. Petersburg, Russia²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia³All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia⁴N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Anton A. Nizhnikov, a.nizhnikov@spbu.ru

On January 1, 2024, Academician of the Russian Academy of Sciences Igor Anatolyevich Tikhonovich, an outstanding specialist in the field of genetics of plant-microbial interactions, a prominent higher education teacher and organizer of science, turned 75 years old. He has published more than 250 papers in peer-reviewed journals, prepared 10 monographs and textbooks, and received 12 patents. Academician Tikhonovich led the All-Russian Institute of Agricultural Microbiology for more than forty years, which under his leadership developed into a leading internationally recognized scientific school in the field of symbiogenetics. One of the most important conceptual generalizations formulated by I.A. Tikhonovich was the principle of complementarity of genomes. Under the leadership and with the direct participation of Igor Anatolyevich, the formation and development of new Master's degree programs in agrobiotechnology and molecular biology of plants was started at St. Petersburg State University and the Sirius University of Science and Technology. During the leadership of Igor Anatolyevich, the Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS) was replenished with new departments and held a number of important scientific events, including the VII Congress of VOGiS and the "Russian Genetic Resources" Forums. Friends and associates, the community of geneticists and breeders of the Russian Federation warmly congratulate Igor Anatolyevich on his anniversary and wish him major scientific discoveries, new pedagogical achievements and the attainment of all his goals.

Keywords: symbiogenetics, peas, nodule bacteria, legumes, food security, plant-microbial interactions, genetics, molecular biology

For citation: Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K. On the anniversary of the President of Vavilov Society of Geneticists and Breeders Academician Igor Anatolyevich Tikhonovich. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(1):58-64. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-o6

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K., 2024

Выдающийся генетик академик РАН Игорь Анатольевич Тихонович (01.01.1949, Горловка, УССР) (Рис. 1) известен в нашей стране и за рубежом как специалист в области генетики растительно-микробных взаимодействий и, в более широком смысле, симбиогенетики. Творческий путь Игоря Анатольевича начался в Донецком государственном университете и был продолжен в стенах кафедры генетики и селекции Ленинградского государственного университета им. А.А. Жданова (ныне кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета), где он проходил аспирантуру (1971–1972, 1973–1975) с перерывом на службу в рядах Советской Армии. В 1975 году Игорь Анатольевич защитил кандидатскую, а в 1992 году – докторскую диссертацию. С 1975 года работал младшим научным сотрудником Биологического института ЛГУ; с 1979 – старший научный сотрудник, затем с 1983 – заместитель директора, и с 1986 – директор и заведующий лабораторией биотехнологии Всесоюзного (Всероссийского) научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИСХМ). Институтом Игорь Анатольевич руководил более 30 лет, а в настоящее время является его научным руководителем. За время руководства И.А. Тихоновича авторитет и известность Института сельскохозяйственной микробиологии значительно возросли на российском и мировом уровне, существенно улучшилась материальная база и, что особенно важно, был сохранен и получил дальнейшее развитие уникальный исследовательский коллектив.

Игорь Анатольевич создал ведущую отечественную школу по генетике растительно-микробных взаимодействий: под его руководством защитили диссертации десятки кандидатов и докторов наук, а исследования получили широкую известность и признание на мировом уровне. Масштаб этой научной школы подтверждается не только сотнями работ по данной тематике, опубликованных в международных периодических изданиях (см., например, Kosolapova et al., 2022; Safronova et al., 2020; Dolgikh et al., 2019; Kitaeva et al., 2016; Serova et al., 2017; Sulima et al., 2017; Kulaeva et al., 2017; Samorodova et al., 2018; Kirienko et al., 2018; Serova et al., 2019; Dolgikh et al., 2020; Lepyanen et al., 2021) и монографиях (см., например, Tikhonovich, Provorov, 2009; Provorov et al., 2016), но и целым рядом международных грантов и крупнейших конференций, проведенных под руководством И.А. Тихоновича, таких как Международный конгресс по биологической азотфиксации (Санкт-Петербург, 1995 год, около 700 участников из 50 стран мира) и Международный конгресс по молекулярным микробно-растительным взаимодействиям (Санкт-Петербург, 2003 год, около 800 участников из 70 стран). Игорем Анатольевичем внесен вклад мирового уровня в изучение молекулярных механизмов генетического контроля симбиотических взаимоотношений растений и микроорганизмов. Исследования проведены с использованием современных подходов геномики, транскриптомики, метаболомики и биоинформатической

обработки данных, что позволило описать, конкретизировать целый ряд аспектов подобных взаимодействий и сформулировать принцип дополнительности геномов, характеризующий процессы, происходящие при образовании взаимовыгодных микробно-растительных надорганизменных систем. Многие из направлений научной работы И.А. Тихоновича имели значимое практическое применение, подтвержденное целым рядом патентов, прежде всего, в части создания микробиологических препаратов для современного земледелия, обеспечивающих оптимальное питание сельскохозяйственных растений, их защиту от вредителей и патогенов с минимальными экологическими рисками.

На протяжении всей своей работы И.А. Тихонович ведет активную педагогическую деятельность на кафедре генетики и биотехнологии СПбГУ, являясь с 2002 года профессором кафедры, участвуя в подготовке учебников и учебных пособий (Tikhonovich, Provorov, 2015). С 2015 года И.А. Тихонович возглавляет биологический факультет СПбГУ в качестве декана. Работа Игоря Анатольевича на трудном и ответственном посту декана ознаменовалась развитием образовательных программ магистратуры, направленных на подготовку кадров в области агробиотехнологии и молекулярной биологии растений. Усилилось взаимодействие с Научно-технологическим университетом «Сириус», где возникла сетевая образовательная программа в области генетики растений. Важным этапом в развитии факультета стало создание в составе консорциума из семи организаций научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего», соруководителем которого от СПбГУ стал И.А. Тихонович.

Игорь Анатольевич ведет большую общественную и экспертную работу. В 2014 году он был избран президентом межрегиональной общественной организации «Вавиловское общество генетиков и селекционеров» (ВОГиС), объединяющей около 3000 российских специалистов в области генетики и селекции. Под руководством Игоря Анатольевича в ряды ВОГиС вошли новые отделения. Общество провело ряд научных мероприятий, в том числе крупнейших, в области генетики и селекции. Так, в 2016 году в Москве состоялась Всероссийская с международным участием конференция «50 лет ВОГиС: успехи и перспективы», посвященная 50-летию ВОГиС (Рис. 2). В 2019 году с большим успехом прошел Международный конгресс «VII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы», собравший 1307 участников из более чем 30 стран (Рис. 3). На 2024 год запланировано проведение в Саратове Международного конгресса «VIII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров», к участию в котором на момент написания данной статьи зарегистрировалось более 1000 специалистов. Наконец, в 2022 и 2023 годах состоялись I и II Научные форумы «Генетические ресурсы России», посвященные проблемам сохранения, пополнения и изучения различных биоресурсных коллек-

ций, включившие в себя пленарную часть и ряд специализированных конференций (Рис. 4). Игорь Анатольевич является членом целого ряда экспертных комиссий, включая Совет по реализации Федеральной научно-технологической программы развития генетических технологий на 2019-2030 годы.

Масштабные научные и педагогические достижения И.А. Тихоновича отмечены целым рядом званий, наград и премий. С 1993 года он – член-корреспондент Российской академии сельскохозяйственных наук, в 1995 году ему присвоено звание профессора по специальности «микробиология», а в 1997 – звание академика Российской академии сельскохозяйственных наук. В 2014 году Игорь Анатольевич становится действительным членом

Российской академии наук, с 2023 года – членом Президиума Санкт-Петербургского отделения РАН. Работа Игоря Анатольевича удостоена Государственных наград, включая Орден Дружбы «За достигнутые трудовые успехи и многолетнюю добросовестную работу» в 2005 году и премию Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 2013 год.

Друзья, соратники по президиуму ВОГиС, кафедре генетике и биотехнологии СПбГУ и ФГБНУ ВНИИ-ИСХМ, отечественные генетики и селекционеры сердечно поздравляют дорогого Игоря Анатольевича с юбилеем и желают энергии, здоровья и вдохновения, новых крупных научных открытий и педагогических свершений, достижения всех поставленных целей!



Рис. 1. Академик И.А. Тихонович выступает на VI Съезде ВОГиС в Ростове-на-Дону, 2014 год.
Фото из архивов ВОГиС.

Fig. 1. Academician Igor A. Tikhonovich speaks at the VI Congress of VOGiS in Rostov-on-Don, 2014.
Photo from VOGiS archives.



Рис. 2. Пленарное заседание Всероссийской с международным участием конференции «50 лет ВОГиС: успехи и перспективы», посвященной 50-летию ВОГиС, Москва, 2016 год.

Выступает генеральный директор РНФ А.В. Хлунов. В президиуме (слева направо) академики РАН С.В. Шестаков, И.А. Тихонович, С.Г. Инге-Вечтомов, Н.К. Янковский, Н.А. Колчанов. Фото из архивов ВОГиС.

Fig. 2. Plenary session of the All-Russian conference with international participation “50 years of VOGiS: successes and prospects”, dedicated to the 50th anniversary of VOGiS, Moscow, 2016.

Speaker: General Director of the Russian Science Foundation A.V. Khlunov. In the presidium (from left to right) RAS academicians S.V. Shestakov, I.A. Tikhonovich, S.G. Inge-Vechtomov, N.K. Yankovsky, N.A. Kolchanov. Photo from VOGiS archives.



Рис. 3. Академик РАН И.А. Тихонович открывает международный конгресс «VII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы», Санкт-Петербург, 2019 год.

В президиуме (слева направо) академики РАН И.М. Донник, С.Г. Инге-Вечтомов, И.А. Тихонович, Н.А. Колчанов, Н.К. Янковский. Фото из архивов ВОГиС.

Fig. 3. Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Tikhonovich opens the International Congress “VII Congress of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders, dedicated to the 100th anniversary of the Department of Genetics of St. Petersburg State University, and associated symposia”, St. Petersburg, 2019.

In the presidium (from left to right) RAS academicians I.M. Donnik, S.G. Inge-Vechtomov, I.A. Tikhonovich, N.A. Kolchanov, N.K. Yankovsky. Photo from VOGiS archives.



Рис. 4. Академик РАН И.А. Тихонович открывает I научный форум «Генетические ресурсы России», Санкт-Петербург, 2022 г.

В президиуме (слева направо) профессор РАН А.А. Нижников, академики РАН И.М. Донник, И.А. Тихонович, вице-губернатор Санкт-Петербурга В.Н. Княгинин, профессор РАН Е.К. Хлесткина, председатель комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга А.С. Максимов. Фото из архивов ВОГиС.

Fig. 4. Academician of the RAS I.A. Tikhonovich opens the 1st scientific forum “Genetic Resources of Russia”, St. Petersburg, 2022.

In the presidium (from left to right) is RAS Professor A.A. Nizhnikov, RAS academicians I.M. Donnik, I.A. Tikhonovich, Vice-Governor of St. Petersburg V.N. Knyaginina, RAS Professor E.K. Khlestkina, Chairman of the Committee on Science and Higher Education of the Government of St. Petersburg A.S. Maksimov. Photo from VOGiS archives.

References/Литература

- Dolgikh A.V., Kirienko A.N., Tikhonovich I.A., Foo E., Dolgikh E.A. The DELLA proteins influence the expression of cytokinin biosynthesis and response genes during nodulation. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:432. DOI: 10.3389/fpls.2019.00432
- Dolgikh E.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Tsyganova A.V., Kirienko A.N., Leppyanen I.V., Dolgikh A.V., Ilina E.L., Demchenko K.N., Tikhonovich I.A., Tsyganov V.E. Mutational analysis indicates that abnormalities in rhizobial infection and subsequent plant cell and bacteroid differentiation in pea (*Pisum sativum*) nodules coincide with abnormal cytokinin responses and localization. *Annals of Botany*. 2020;125(6):905-923. DOI: 10.1093/aob/mcaa022
- Kirienko A.N., Porozov Y.B., Malkov N.V., Akhtemova G.A., Le Signor C., Thompson R., Saffray C., Dalmais M., Bendahmane A., Tikhonovich I.A., Dolgikh E.A. Role of a receptor-like kinase K1 in pea *Rhizobium* symbiosis development. *Planta*. 2018;248(5):1101-1120. DOI: 10.1007/s00425-018-2944-4
- Kitaeva A.B., Demchenko K.N., Tikhonovich I.A., Timmers A.C.J., Tsyganov V.E., Comparative analysis of the tubulin cytoskeleton organization in nodules of *Medicago truncatula* and *Pisum sativum*: bacterial release and bacteroid positioning correlate with characteristic microtubule rearrangements. *New Phytologist*. 2016;210(1):168-183. DOI: 10.1111/nph.13792
- Kosolapova A.O., Belousov M.V., Sulatsky M.I., Tsyganova A.V., Sulatskaya A.I., Bobylev A.G., Shtark O.Yu., Tsyganov V.E., Volkov K.V., Zhukov V.A., Tikhonovich I.A., Nizhnikov A.A. RopB protein of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* adopts amyloid state during symbiotic interactions with pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1014699. DOI: 10.3389/fpls.2022.1014699
- Kulaeva O.A., Zhernakov A.I., Afonin A.M., Boikov S.S., Sulima A.S., Tikhonovich I.A., Zhukov V.A. Pea Marker Database (PMD) – a new online database combining known pea (*Pisum sativum* L.) gene-based markers. *PLoS ONE*. 2017;12(10):e0186713. DOI: 10.1371/journal.pone.0186713
- Leppyanen I.V., Pavlova O.A., Vashurina M.A., Bovin A.D., Dolgikh A.V., Shtark O.Y., Sendersky I.V., Dolgikh V.V., Tikhonovich I.A., Dolgikh E.A. LysM Receptor-Like Kinase LYK9 of *Pisum sativum* L. may regulate plant responses to chitoooligosaccharides differing in structure. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(2):711. DOI: 10.3390/ijms22020711
- Provorov N.A., Tikhonovich I.A., Andronov E.E., Borisov A.Yu., Belimov A.A., Vorobyov N.I., Dolgikh E.A., Zhernakov A.I., Zhukov V.A., Kimeklis A.K., Kopat V.V., Kurchak O.N., Onischuk O.P., Safronova V.I., Sulima A.S., Chizhevskaya E.P., Chirak E.R., Stark O.Yu. Genetic basis of the evolution of bacteria – plant symbionts (Geneticheskiye osnovy evolyutsii bakteriy – simbiotov rasteniy). N.A. Provorov, I.A. Tikhonovich (eds). St. Petersburg; 2016. [in Russian] (Проворов Н.А.,

- Тихонович И.А., Андронов Е.Е., Борисов А.Ю., Белимов А.А., Воробьев Н.И., Долгих Е.А., Жернаков А.И., Жуков В.А., Кимеклис А.К., Копать В.В., Курчак О.Н., Онищук О.П., Сафронова В.И., Сулима А.С., Чижевская Е.П., Чирак Е.Р., Штарк О.Ю. Генетические основы эволюции бактерий – симбионтов растений / под ред. Н.А. Проворова, И.А. Тихоновича. Санкт-Петербург; 2016).
- Safronova V.I., Guro P.V., Sazanova A.L., Kuznetsova I.G., Belimov A.A., Yakubov V.V., Chirak E.R., Afonin A.M., Gogolev Y.V., Andronov E.E., Tikhonovich I.A. Rhizobial microsymbionts of Kamchatka *Oxytropis* species possess genes of the type III and VI secretion systems, which can affect the development of symbiosis. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2020;33(10):1232-1241. DOI: 10.1094/MPMI-05-20-0114-R
- Samorodova A.P., Tvorogova V.E., Tkachenko A.A., Potsenkovskaya E.A., Lebedeva M.A., Tikhonovich I.A., Lutova L.A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced *CLE* genes in pea. *Journal of Plant Physiology*. 2018;221:94-100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005
- Serova T.A., Tikhonovich I.A., Tsyganov V.E. Analysis of nodule senescence in pea (*Pisum sativum* L.) using laser microdissection, real-time PCR, and ACC immunolocalization. *Journal of Plant Physiology*. 2017;212:29-44. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.01.012
- Serova T.A., Tsyganova A.V., Tikhonovich I.A., Tsyganov V.E. Gibberellins inhibit nodule senescence and stimulate nodule meristem bifurcation in pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:285. DOI: 10.3389/fpls.2019.00285
- Sulima A.S., Zhukov V.A., Afonin A.A., Zhernakov A.I., Tikhonovich I.A., Lutova L.A. Selection signatures in the first exon of paralogous receptor kinase genes from the *Sym2* region of the *Pisum sativum* L. genome. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1957. DOI: 10.3389/fpls.2017.01957
- Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Genetic basis of biotechnology in symbiotic nitrogen fixation. Chapter 9. (Geneticheskiye osnovy biotekhnologii v simbioticheskoy azotifikatsii. Glava 9). In: *Agricultural biotechnology and bioengineering: textbook (Sel'skokhozyaystvennaya biotekhnologiya i bioingeneriya: uchebnik)*. V.S. Shevelukha (ed.). 4th ed. significantly reworked with additions. Moscow; 2015. p.356-390. [in Russian] (Тихонович И.А., Проворов Н.А. Генетические основы биотехнологии в симбиотической азотфиксации. Глава 9. В кн.: *Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия: учебник* / под ред. В.С. Шевелухи. Изд. 4-е, значительно переработанное и дополненное. Москва; 2015. С.356-390).
- Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Symbiosis of Plants and Microorganisms: The Molecular Genetics of the Agrosystems of the Future. St. Petersburg; 2009. [in Russian] (Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. Санкт-Петербург; 2009).

Информация об авторах

Антон Александрович Нижников, доктор биологических наук, профессор РАН, профессор, и.о. заведующего кафедрой генетики и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; заведующий лабораторией №7 Протеомики надорганизменных систем, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, 3, a.nizhnikov@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Information about the authors

Anton A. Nizhnikov, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Acting Head, Genetics and Biotechnology Department, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034 Russia; Head, Laboratory for Proteomics of Supra-Organismal Systems, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, Podbelsky Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608 Russia, a.nizhnikov@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.01.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2024; принята к публикации 24.01.2024.

The article was submitted on 01.01.2024; approved after reviewing on 12.01.2024; accepted for publication on 24.01.2024.