

Научная статья

УДК 632.651:591.48

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2026-20-1-82-87>

Гамма-аминомасляная кислота как вероятный тормозной нейромедиатор нервной системы фитопаразитических нематод (краткий обзор)

Малютина Татьяна Анатольевна¹, Удалова Жанна Викторовна²

^{1,2} Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук; Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (ВНИИП – фил. ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН); Москва, Россия

¹ maliytina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-000-3961-3853>

² zh.udalova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8254-4495>

Аннотация

Цель исследований – анализ литературы, посвященной изучению гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) в качестве вероятного тормозного нейромедиатора нервной системы фитопаразитических нематод; ее обнаружению и локализации в нервных структурах, основным функциям и возможности применения в целях защиты растений.

Среди ряда нейромедиаторов большой интерес у исследователей вызывает ГАМК, являющаяся основным тормозным нейромедиатором в нервной системе позвоночных и беспозвоночных животных. Анализ литературы показал, что у паразитических фитонематод в нервных структурах выявлены все компоненты ГАМКергической нервной системы, регулирующей двигательную активность нематод, что подтверждено иммуноцитохимическими данными – показано присутствие ГАМК в нервной системе фитонематод, фармакологическими данными о реакции мускулатуры нематод на воздействие агонистов и антагонистов ГАМК. Определенный интерес представляют онтогенетические изменения ГАМКергической нервной системы седентарных паразитических нематод в связи с утратой ими подвижности. Выявление у зоо-, фито- и свободноживущих нематод одного из компонентов в структуре ионных каналов ГАМК рецепторов – субъединицы UNC-49B – и ее фармакологических свойствах свидетельствует о консервативности ГАМКергической нервной системы у различных представителей типа Nematoda, которая не зависит от среды обитания нематод. Одним из перспективных направлений в защите растений может быть индуцирование ГАМК растений, поскольку они широко представлены в высших растениях. Повышенное содержание ГАМК в трансгенных линиях табака снижало зараженность растений северной галловой нематодой.

Ключевые слова: фитопаразитические нематоды, локомоции, гамма-аминомасляная кислота, нейромедиаторы, ГАМКергическая нервная система

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Малютина Т. А., Удалова Ж. В. Гамма-аминомасляная кислота как вероятный тормозной нейромедиатор нервной системы фитопаразитических нематод (краткий обзор) // Российский паразитологический журнал. 2026. Т. 20. № 1. С. 82–87.

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2026-20-1-82-87>

© Малютина Т. А., Удалова Ж. В., 2026



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

Gamma-aminobutyric acid as a probable inhibitory neurotransmitter of the nervous system of phytoparasitic nematodes (brief review)

Tatyana A. Malyutina¹, Zhanna V. Udalova²

^{1,2}Federal State Budget Scientific Institution, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre VIEV»; Moscow, Russia

¹malyutina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-000-3961-3853>

²zh.udalova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8254-4495>

Abstract

The purpose of the research is to analyze the literature on gamma-aminobutyric acid (GABA) as a potential inhibitory neurotransmitter in the nervous system of plant-parasitic nematodes, its detection and localization in neural structures, its main functions, and potential applications for plant protection.

Among several neurotransmitters, GABA, the main inhibitory neurotransmitter in the nervous system of vertebrates and invertebrates, is of great interest to researchers. A literature review revealed that all components of the GABAergic nervous system, which regulates nematode motor activity, are found in the nervous structures of parasitic plant nematodes. This is confirmed by immunocytochemical data, which demonstrates the presence of GABA in the nervous system of plant nematodes, and by pharmacological data on the response of nematode muscles to GABA agonists and antagonists. Of particular interest are the ontogenetic changes in the GABAergic nervous system of sedentary parasitic nematodes associated with their loss of motility. The identification of one of the components of the GABA receptor ion channel structure – the UNC-49B subunit – and its pharmacological properties in zoo-, plant-, and free-living nematodes indicates the conservatism of the GABAergic nervous system across various representatives of the phylum Nematoda, independent of their roundworm lifestyle. One of the promising directions in plant protection may be the induction of GABA in plants, since they are widely represented in higher plants. Increased GABA content in transgenic tobacco lines reduced plant infestation by the northern root-knot nematode.

Keywords: phytoparasitic nematodes, locomotion, gamma-aminobutyric acid, neurotransmitters, GABAergic nervous system

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Malyutina T. A., Udalova Zh. V. Gamma-aminobutyric acid as a probable inhibitory neurotransmitter of the nervous system of phytoparasitic nematodes (brief review). *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal = Russian Journal of Parasitology*. 2026;20(1):82–87. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2026-20-1-82-87>

© Malyutina T. A., Udalova Zh. V., 2026

Фитопаразитические нематоды относятся к числу высоко патогенных организмов растений. В результате их жизнедеятельности теряются большие объемы сельскохозяйственной продукции, что приводит к ежегодному многомиллиардному ущербу во всех странах мира [1, 2].

Традиционный подход в защите растений от нематод – применение химических нематодицидов, поскольку они дают быстрый результат. Однако, ограничение использования токсичных

химических нематодицидов, а также возникновение устойчивости к подобному рода препаратам вынуждает искать альтернативные методы борьбы и на их основе разрабатывать новые нематодициды, которые были бы относительно экологически безопасными, и направлены на потенциальные мишени в нервной системе паразитов, взаимодействие с которыми вызывало бы модуляцию жизненно важных поведенческих реакций паразитов. В качестве мишеней

используют различные компоненты нервной системы паразитических организмов, регулирующие их поведение.

Одной из наиболее важных функций организма нематоды является ее двигательная активность - локомоция, осуществляемая соматической мускулатурой тела, обеспечивающая выживаемость в среде их обитания. Направленное воздействие на локомоторное поведение фитонематод может быть использовано в защите ресурсных сельскохозяйственных и декоративных растений.

В литературе приведены данные, свидетельствующие о регулировании локомоторного поведения нематод с помощью различных эндогенных нейромедиаторов, таких как ацетилхолин, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), дофамин, серотонин, глутамат, нейропептиды и другие биологически активные молекулы [10]. Среди перечисленных нейромедиаторов большой интерес у исследователей вызывает ГАМК, которая является основным тормозным медиатором в нервной системе позвоночных и беспозвоночных животных [11].

Исследования биологической функции ГАМК у нематод были начаты в 60-ые годы прошлого столетия в результате электрофизиологических экспериментов на мышечных волокнах зоопаразитических нематод *Ascaris suum* и *A. lumbricoides* [4, 5]. Было показано, что введение ГАМК или ее агониста пиперазина с помощью электрофореза в экспериментальную среду, где находился мышечный фрагмент аскариды, вызывало гиперполяризацию постсинаптической мембраны мышечных клеток аскарид и открытие хлорных каналов рецепторов ГАМК с последующим торможением. В дальнейших исследованиях было показано, что ГАМК рецепторы аскарид по способности взаимодействовать с ГАМК и ее агонистами имеет сходство с ГАМК рецепторами ГАМК-А мозга млекопитающих, но не подвергаются блокированию сильным конкурентным антагонистом ГАМК-А рецепторов мозга млекопитающих [10]. При сравнении фармакологических эффектов ГАМКергических веществ, включающих агонисты и антагонисты ГАМК, на соматическую двигательную активность аскарид и других относительно крупных зоонематод, паразитирующих у позвоночных животных, было установлено, что ГАМК-рецепторы нема-

тод не проявляют чувствительности к агонистам ГАМК-рецепторов их хозяев [3].

Основные данные о ГАМКергической нервной системе нематод в целом получены исследователями на зоопаразитической нематоды *A. suum* [7, 20] и свободноживущей *Caenorhabditis elegans* [10]. Сведений о роли ГАМК в регулировании локомоторного поведения растительных паразитических нематод в литературе представлено значительно меньше. Особый интерес представляют иммуноцитохимические исследования выявления и локализации ГАМК в нервной системе наиболее вредоносных фитонематод – седентарных видов *Meloidogyne incognita* и *Globodera rostochiensis* [19].

В данной работе авторами показано присутствие ГАМК-подобной иммунореактивности в различных структурах нервной системы личинок J2 фитонематод: в отростках и клеточных телах нейронов и в вентральном нервном стволе у *M. incognita*; у *G. rostochiensis* в нейрональных отростках в дорзальном и вентральном нервных стволах, в цитоплазме и ядрах некоторых клеточных тел в вентральном нервном стволе. Иммунореактивность была выявлена также в нервных отростках и в клеточном теле предполагаемого моторного нейрона в нервном кольце *G. rostochiensis*. Такое расположение ГАМК-иммунореактивных нейронов в нервных стволах личинок нематод, по мнению авторов, дает основание считать их ингибиторными моторными нейронами. Данная работа была выполнена на личинках второго возраста седентарных нематод (J2). Эти нематоды имеют морфологически отличные личиночные и взрослые стадии, а также половые различия в подвижности. На седентарной цистообразующей нематоды *Heterodera glycines* показано, что, самки нематод подвергаются дегенерации мышц на неподвижных стадиях постэмбрионального развития, самцы подвергаются соматическому обновлению мышц перед линькой в подвижную взрослую особь [8]. Показано, что атрофия мышц нематод происходит в сочетании с утратой локомоции, а не вызвана отсутствием подвижности как таковой [8]. По мнению авторов, неподвижность питающихся цистообразующих нематод обусловлена сочетанием мышечной атрофии и отслоением мышц от кутикулы, а также изменением в структуре двигательных нейронов и экспрессии генов. При исследовании ГАМКергической нервной

системы *H. glycines*, установлено снижение экспрессии гена *hg-unc-25*, кодирующего основной фермент синтеза ГАМК, а также снижение количества ГАМК-иммунореактивных нейронов на стадиях развития, связанных с утратой подвижности. Экспрессия *hg-unc-25* значительно снижена у самок личинок J3 и J4 по сравнению с личинками J2. Эти данные указывают на снижение синтеза фермента ГАМК – глутаматдекарбоксилазы и, возможно, на сопутствующее снижение продукции ГАМК. При этом было показано, что уровень экспрессии *hg-unc-25* у подвижных взрослых самцов был ниже уровня личинок J2, однако экспрессия *hg-unc-25* взрослых самцов была значительно выше по сравнению с личинками самок J4. Аналогичная мышечная дегенерация у филогенетически дивергированной паразитической нематоды *Meloidogyne incognita*, в связи с чем авторы делают предположение о снижении образования ГАМК у взрослых особей. Что касается расположения и морфологии ГАМК-иммунореактивных нейронов в теле J2 *H. glycines*, то имеются данные об обнаружении нескольких ГАМК-иммунореактивных клеток в головном отделе *H. glycines*, вокруг и позади нервного кольца, а также выявлена 21 ГАМК-иммунореактивная клетка в вентральной нервной цепочке. Большинство ГАМК-иммунореактивных комиссур *H. glycines* проходят дорзально вдоль левой стороны нематоды. Результаты позволяют предположить, что ГАМКергические нейроны относятся к числу тех, которые дегенерируют во время малоподвижных стадий.

В дальнейших исследованиях была выявлена ГАМК иммунореактивность нейронов у других видов фитопаразитических нематод – *Pratylenchus penetrans*, *Aphelenchus avenae*, *H. glycines*, а также получены дополнительные сведения о наличии ГАМК-иммунореактивных нейронов у *M. incognita* [16]. Результаты иммуногистохимических исследований подтвердили наличие ГАМК-иммунореактивных нейронов в головном отделе тела, вентральном нервном стволе и хвостовой части тела всех исследованных видов паразитов. Авторы предположили, что множественные ГАМК-иммунореактивные нейроны в вентральной нервной цепочке каждого вида нематод являются регуляторами характерной синусоидной формы двигательной активности мускулатуры фитонематод. В то же время авторами была отмечена существенная вариабельность в окрашивании ГАМК-

иммунореактивных нейронов как между видами нематод, так и между отдельными особями одного вида. Эти данные указывают на наличие ГАМКергической нервной системы у фитопаразитических нематод и на ее своеобразие.

Наряду с иммуногистохимическими исследованиями биологическая функция ГАМК у фитонематод изучалась с помощью фармакологических методов путем количественной оценки эффективности агонистов и антагонистов ГАМК на интактных нематодах *H. glycines*, *P. penetrans*, *A. avenae* и *M. incognita*. В результате экспериментов выявлена значительная разница в чувствительности нематод к ГАМК, ее агонистам и антагонистам. Показано, что ГАМК и ее агонисты вызывают изменение формы тела нематод (они приобретают крючковидную форму), за которым следует слабый паралич соматической мускулатуры.

Эффективность агонистов ГАМК на мускулатуре червей была оценена по величине EC_{50} концентрации вещества, которая вызывала у половины исследуемых нематод изменение формы тела и паралич. Показано, что для агониста ГАМК пиперазина величина EC_{50} у нематод *P. penetrans*, *M. incognita* и *H. glycines* имела сходные значения (12,3 мМ, 13,4 мМ и 14,4 мМ соответственно), а у нематоды *A. avenae* соответствовала более высокому значению и была равна 22,5 мМ. В отношении эффективности ГАМК на мускулатуре нематод *P. penetrans* и *H. glycines* показано, что EC_{50} имеет значительно более высокие величины (240 мМ и 264 мМ) по сравнению с эффектами пиперазина, а для нематод *M. incognita* и *A. avenae* эта величина превышала 10 000 мМ. Такие высокие значения EC_{50} свидетельствуют об отсутствии чувствительности нематод *M. incognita* и *A. avenae* при аппликации ГАМК на соматическую мускулатуру нематод.

При исследовании эффективности антагониста ГАМК пикротоксина установлено, что инкубация нематод в его растворе вызывает у нематоды *M. incognita* прекращение двигательной активности, а у нематод *P. penetrans* и *H. glycine* – снижение таковой. Однако это вещество не влияло на соматическую мускулатуру нематод *M. incognita* и *A. avenae*, если его применяли в высоких концентрациях. Приведенные данные указывают на разную чувствительность к ГАМКергическим веществам у разных видов фитонематод.

Относительно недавно в литературе были приведены сведения о выявлении ГАМК рецепторов у галловой нематоды *M. incognita*, в частности, дано описание фармакологических свойств субъединицы UNC-49B, входящей в структуру рецептора ГАМК этой нематоды, а также показана чувствительность субъединицы UNC-49B к ГАМК и ее антагонистам фипронилю и пикротоксину [15]. Авторы предположили, что обнаруженная ими субъединица указывает на образование функциональных гомопентамерных ГАМК-рецепторов у нематоды *M. incognita*, а полученные результаты облегчат понимание молекулярной функции нативных ГАМК-рецепторов фитопаразитических нематод, что будет способствовать разработке новых нематодицидов на основе их структуры.

ГАМК широко распространена у эукариотических организмов. Однако ее физиологическая роль в растениях недостаточно ясна. По количеству содержания ГАМК особенно выделяются растения сем. Solanaceae, и первая ГАМК была получена из клубней картофеля [18]. Показано, что в растениях ГАМК является свободной аминокислотой, выполняющей роль сигнальной молекулы и осуществляет метаболическую функцию. Она играет важную регуляторную роль в координации метаболизма C/N [6, 14] Помимо участия в устойчивости к абиотическим стрессам, накопление ГАМК в тканях растений несет существенную функцию в жасмонат-независимой защите к фитофагам [12]. Полагают, что образование ГАМК из глутамата представляет собой первую линию обороны быстрой защиты растений от беспозвоночных вредителей [17]. Так, в экспериментах на 9 трансгенных линиях растений табака с повышенной экспрессией глутаматдекарбоксилазы было показано, что неинфицированные трансгенные растения постоянно содержали высокий уровень ГАМК, а при заражении *Meloidogyne hapla* на 5 линиях табака отмечено существенное снижение плодовитости нематод в корнях [13]. На основании полученных результатов авторы предполагают, что трансгенная экспрессия глутаматдекарбоксилазы обуславливает устойчивость к галловой нематод у фенотипически нормальных растений табака, вероятнее всего, посредством ГАМК.

Таким образом, экспериментальные данные, приведенные в современной литературе, свидетельствуют в пользу того, что ГАМК является тормозным нейротрансмиттером у нематод, в том числе фитопаразитических ее

представителей. ГАМК рецепторы нервной системы беспозвоночных подвержены воздействию извне, поскольку, в отличие от позвоночных, не имеют естественного барьера защиты. Поэтому рецепторы ГАМК нематод представляют собой удобную мишень для создания новых нематодицидов. Генетическая модификация растений в направлении индуцирования образования ГАМК можно рассматривать, как еще один вектор в борьбе с фитопаразитическими нематодами.

Список источников / References

- Zinovieva S. V. Phytoparasitic nematodes of Russia. Edited by S.V. Zinovieva, V.N. Chizhov. Moscow: KMK Scientific Publications Partnership, 2012; 386. (in Russ.) [Зиновьева С. В. Фитопаразитические нематоды России / под редакцией С. В. Зиновьевой, В. Н. Чижова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 386 с.]
- Chitwood D. J. Nematicides. In Encyclopedia of Agrochemicals; Plimmer J. R., Ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2003; 1104-1115. <https://doi.org/10.1002/047126363X>
- Choudhary S., Kashyap S. S., Martin R. J., Robertson A. P. Advances in our understanding of nematode ion channels as potential anthelmintic targets. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*. 2021; 18: 52–86. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2021.12.001>
- Del Castillo J. Morales T., Sanchez V. Action of piperazine on the neuromuscular system *Ascaris lumbricoides*. *Nature*. 1963; 200: 706-707. <https://doi.org/10.1038/200706a0>.
- Del Castillo J., De Mello W. C., Morales T. Inhibitory action of Gamma-aminobutyric acid (GABA) on *Ascaris* muscle. *Experientia*. 1964; 20 (3): 141-143.
- Fait A., Fromm H., Walter D., Galili G., Fernie A. R. Highway or byway: The metabolic role of the GABA shunt in plants. *Trends in Plant Science*. 2008; 13 (1): 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.10.005>.
- Fellowes R. A., Maule A. G., Martin R. J., Geary T. G., Thompson D. P., Kimber M. J., Marks N. J., Halton D. W. Classical neurotransmitters in the ovijector of *Ascaris suum*: localization and modulation of muscle activity. *Parasitology*. 2000; 121 (3): 325-336. <https://doi.org/10.1017/S0031182099006290>
- Han Z., Thapa S., Reuter-Carlson U., Reed H, Gates M, Lambert K. N., Schroeder N. E. Immobility in the sedentary plant-parasitic nematode *H. glycines* is associated with remodeling of neuromuscular tissue. *PLoS Pathogens*. 2018; 14(8): e1007198. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007198>
- Holden-Dye L., Krogsgaard-Larsen P, Nielsen L., Walker R. J. GABA receptors on the somatic muscle cells of the parasitic nematode, *Ascaris suum*: stereoselectivity indicates similarity to a GABAA-type agonist recognition site. *The British Journal of*

- Pharmacology*. 1989; 98 (3): 841–850. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.1989.tb14613.x>
10. Husson S. J., Mertens I., Janssen T., Lindemans M., Schoofs L. Neuropeptidergic signaling in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Progress in Neurobiology*. 2007; 82: 33–55. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.01.006>
 11. Jorgensen E. M. GABA WormBook, ed. The *C. elegans* Research Community, WormBook, <https://doi.org/10.1895/wormbook.1.14.1>
 12. Łukasz P. Tarkowski, Santiago Signorelli, Monica Höfte γ -Aminobutyric acid and related amino acids in plant immune responses: Emerging mechanisms of action. *Plant, Cell & Environment*. 2020; 43 (5): 1103-1330. <https://doi.org/10.1111/pce.13734>
 13. McLean M. D., Yevtushenko D. P., Deschene A., Van Cauwenberghe O. R., Makhmoudova A., Potter J. W., Bown A. W., Shelp B. J. Overexpression of glutamate decarboxylase in transgenic tobacco plants confers resistance to the northern root-knot nematode. *Molecular Breeding*. 2003; 11: 277–285. <https://doi.org/10.1023/A:1023483106582>
 14. Michaeli S., Fromm H. Closing the loop on the GABA shunt in plants: Are GABA metabolism and signaling entwined? *Frontiers in Plant Science*. 2015; 6 (6): 419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00419>
 15. Nomura K., Yoshizumi S., Ozoe F., Ozoe Y. Molecular cloning and pharmacology of Min-UNC-49B, a GABA receptor from the southern root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Pest Management Science*. 2021; 77 (8): 3763-3776. <https://doi.org/10.1002/ps.6096>
 16. Reed H. M., Han Z., Schroeder N. E. GABA Immunoreactivity and Pharmacological Effects vary Among Stylet-Bearing Nematodes. *Journal of Nematology*. 2023; 55 (1): 20230049. <https://doi.org/10.2478/jofnem-2023-0049>
 17. Scholz S. S., Malabarba J., Reichelt M., Heyer M., Ludewig F., Mithöfer A. Evidence for GABA-induced systemic GABA accumulation in Arabidopsis upon wounding. *Frontiers in Plant Science*. 2017; 8: 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00388>
 18. Steward F., Thompson J., Dent C. γ -Aminobutyric acid, a constituent of the potato tuber. *Science*, 1949; 110: 439-440.
 19. Steward G. R., Perry R. N., Wright D. J. Immunocytochemical studies on the occurrence of gamma-aminobutyric acid in nervous system of the nematodes *Panagrellus redivivus*, *Meloidogyne incognita* and *Globodera rostochiensis*. *Fundamental and Applied Nematology*. 1994; 17 (5): 433-439.
 20. Stretton A., Donmoyer J., Davis R., Meade J., Cowden C., Sithigorngul P. Motor behavior and motor nervous system function in the nematode *Ascaris suum*. *Journal of Parasitology*. 1992; 78 (2): 206-214.

Статья поступила в редакцию 27.10.25; одобрена после рецензирования 27.11.25; принята к публикации 09.02.26

Об авторах:

Малютина Татьяна Анатольевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фауны, экологии и экспериментальной паразитологии; SPIN-код: 8668-2905, AuthorID: 91752.

Удалова Жанна Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории паразитологии; SPIN-код: 3042-0520, Researcher ID: J-3667-2018, Scopus ID: 6603578215.

Вклад авторов:

Малютина Т. А. – анализ и интерпретация источников литературы, написание текста статьи.

Удалова Ж. В. – анализ и интерпретация источников литературы, написание текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted 27.10.2025; approved after reviewing 27.11.2025; accepted for publication 09.02.2026

About the authors:

Malyutina Tatyana A., PhD in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Fauna, Ecology, and Experimental Parasitology; SPIN: 8668-2905, Author ID: 91752.

Udalova Zhanna V., PhD in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Parasitology; SPIN: 3042-0520, Researcher ID: J-3667-2018, Scopus ID: 6603578215.

Contribution of the authors:

Malyutina T. A. – analysis and interpretation of literature sources, writing the article.

Udalova Zh. V. – analysis and interpretation of literature sources, writing the article.

All authors have read and approved the final manuscript.