

К диагностике нематод рода *Globodera*, связанных с подкарантинной продукцией

Е.А. ХУДЯКОВА¹, С.В. СУДАРИКОВА²

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия

¹ e-mail: fer59@mail.ru

² e-mail: sudarikovah@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Цистообразующие нематоды рода *Globodera* паразитируют на корнях растений. Два вида – золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* и бледная картофельная нематода *Globodera pallida* – являются карантинными для многих стран мира, в том числе для Российской Федерации. Был проанализирован материал по растениям – хозяевам нематод рода *Globodera*. Восемь видов нематод этого рода паразитируют на растениях семейства Solanaceae, за исключением картофеля. Помимо того, существует большая группа нематод рода *Globodera*, паразитирующих на растениях семейства Asteraceae. Представлены также результаты исследования по географическому распространению *Globodera*, возможным путям распространения. При лабораторных исследованиях в почвенных образцах и в подкарантинной продукции бывают случаи выявления некарантинных видов цистообразующих нематод рода *Globodera*, а также смешанных популяций карантинных и некарантинных видов. Правильная диагностика важна для установления фитосанитарного состояния продукции. Идентификация морфологическим методом близкородственных видов рода *Globodera* может быть затруднена из-за схожести некоторых характеристик строения нематод. В статье представлен дифференциальный диагноз, позволяющий отделить карантинные виды от некарантинных по морфологическим признакам. Даны описания трех некарантинных видов, которые периодически встречались при лабораторных исследованиях. Поскольку карантинные виды *Globodera rostochiensis* и *Globodera pallida* могут распространяться не только с картофелем, но и с частицами почвы на корневищах и луковицах цветочных растений и другом посадочном материале, в статье представлен полный перечень продукции (с указанием кодов ТН ВЭД), которая подлежит лабораторным исследованиям. При идентификации нематод до вида очень важен четкий подход к понятиям, обозначаемым отдельными терминами, и единообразие промеров. Определены разночтения в терминологии и промерах морфометрических признаков, которые важно учитывать при диагностике.

Ключевые слова. Карантин, подкарантинная продукция, цистообразующие нематоды, географическое распространение, морфология нематод, типовые локализации.

On diagnosis of *Globodera* genus nematodes connected with regulated products

E.A. KHUDYAKOVA¹, S.V. SUDARIKOVA²

FGBU "All-Russian Plant Quarantine Center" (FGBU "VNIKIR"), Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia

¹ e-mail: fer59@mail.ru

² e-mail: sudarikovah@mail.ru

ABSTRACT

Cyst nematodes of the genus *Globodera* colonize root plants. Two species – golden potato nematode *Globodera rostochiensis* and pale potato cyst nematode *Globodera pallida* – are quarantine pests for many countries, including the Russian Federation. The material on host plants of *Globodera* nematodes has been analyzed. Eight nematode species of this genus colonize Solanaceae family plants, except for potato. Besides, there is a large *Globodera* nematode group colonizing Asteraceae. The work also presents the results of geographical distribution of *Globodera*, as well as possible pathways. In laboratory studies of soil samples and regulated products, there are cases of detection of non-quarantine species of *Globodera* cyst nematodes, as well as mixed populations of quarantine and non-quarantine species. Proper diagnosis is important to establish the phytosanitary status of products. Identification by morphological method of closely related species of the genus *Globodera* can be difficult due to the similarity of some characteristics of the nematode structure. The article presents a differential diagnosis that makes it possible to separate quarantine species from non-quarantine ones by morphological features. Descriptions are given of three non-quarantine species that periodically occurred in laboratory studies. Since the quarantine species *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* can spread not only with potatoes, but also with soil particles on the rhizomes and bulbs of flower plants and other planting material, the article provides a complete list of products (indicating the Commodity Classification of Foreign Trade Activity codes) that are subject to laboratory research. When identifying nematodes to a species, a clear approach to the concepts denoted by individual terms and the uniformity of measurements are very important. Discrepancies in the terminology and measurements of morphometric features are determined, which are important to consider in the diagnosis.

Key words. Plant quarantine, quarantine products, cyst nematodes, geographical distribution, nematode morphology, typical localizations.

ВВЕДЕНИЕ



ва вида цистообразующих нематод из рода *Globodera* семейства Heteroderidae – золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* и бледная картофельная нематода *Globodera pallida* – являются карантинными для ЕАЭС видами. Это опасные эндопаразиты корней картофеля, которые наносят большой ущерб урожаю картофеля. Также они поражают томаты, баклажаны, некоторые виды паслена. Картофельные нематоды были завезены в Европу, Азию и другие регионы мира из Южной Америки с посадочным материалом (клубнями картофеля).

Золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* – объект внешнего и внутреннего карантина во многих странах мира. В настоящее время она встречается в 51 субъекте РФ на площади 39,2 тыс. га (Национальный доклад, 2022). Эта нематода представлена в России только патотипом Ro1 (Ефременко и др., 1988; Лиманцева, 2010). Бледная картофельная нематода *Globodera pallida*, близкий по биологическим особенностям вид, но более агрессивный, отсутствует в России и является объектом внешнего карантина. Очень важно не допустить проникновения этого вида на территорию РФ. В 2008 г. в США, в штатах Айдахо и Орегон, обнаружен новый вид *Globodera ellingtonae*, который поражает картофель, но пока еще не включен в карантинные списки (Zasada et al., 2013a; Zasada et al., 2013b).

При лабораторных исследованиях в образцах выявляются как карантинные, так и некарантинные виды рода *Globodera*. Изучение морфологических признаков некарантинных видов рода *Globodera* и их дифференциальный диагноз имеют большое значение для правильной идентификации. Это очень важно при установлении фитосанитарного состояния продукции. Ниже приводится описание некарантинных видов рода *Globodera*, не паразитирующих на картофеле, но встречающихся в исследуемых образцах. Надо отметить, что в случае затруднений при морфологической идентификации исследование проводят методом полимеразной цепной реакции (ПЦР).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При проведении исследований был использован оригинальный сравнительный материал по близким видам, собранный исполнителями ранее на территории Российской Федерации. Были использованы все необходимые и доступные литературные источники и электронные базы данных.

Материалом для исследований были образцы почвы, растений, яйца, личинки, взрослые особи, цисты нематод различных видов рода *Globodera*. Исследовали образцы почвы с приусадебных участков и из-под луговой растительности происхождением из Московской, Тульской, Орловской, Рязанской областей, Дальнего Востока, а также импортный и отечественный материал, поступивший на экспертизу. Всего было исследовано 28 образцов. Изготовление временных и постоянных препаратов, определение видового состава нематод осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками. Данные о географической распространенности

INTRODUCTION

Two species of cyst nematodes from the genus *Globodera* of the family Heteroderidae – golden potato nematode *Globodera rostochiensis* and pale potato cyst nematode *Globodera pallida* – are quarantine species for the EAEU. These are dangerous endoparasites of potato roots that cause great damage to the potato crop. They also infect tomatoes, eggplants, some Solanaceae species. Potato nematodes were introduced in Europe, Asia and other regions of the world from South America with planting material (potato tubers).

Golden potato nematode *Globodera rostochiensis* is an object of external and internal quarantine in many countries. Currently, it occurs in 51 constituent entities of the Russian Federation on an area of 39.2 thousand hectares (National report, 2022). This nematode is represented in Russia only by the Ro1 pathotype (Efremenko et al., 1988; Limantseva, 2010). Pale potato cyst nematode *Globodera pallida* is a species similar in biological characteristics, but more aggressive, is absent in Russia and is an object of external plant quarantine. It is very important to prevent the introduction of this species into the territory of the Russian Federation. In 2008, a new species, *Globodera ellingtonae*, was discovered in the US in Idaho and Oregon, which infects potatoes, but has not yet been included in plant quarantine lists (Zasada et al., 2013a; Zasada et al., 2013b).

In laboratory studies, both quarantine and non-quarantine species of the genus *Globodera* are detected in the samples. The study of morphological characters of *Globodera* non-quarantine species and their differential diagnosis are of great importance for correct identification. This is essential when establishing the phytosanitary status of products. Below is a description of *Globodera* non-quarantine species that do not colonize on potatoes, but are detected in the studied samples. It should be noted that in case of difficulties in morphological identification, the study is carried out by the polymerase chain reaction (PCR) method.

MATERIALS AND METHODS

During the research, original comparative material on closely related species, collected by the performers earlier on the territory of the Russian Federation, was used. All necessary and available literary sources and electronic databases were used.

The material for the study was soil samples, plants, eggs, larvae, adults, nematode cysts of various *Globodera* species. We studied soil samples from home gardens and from under meadow vegetation originating from the Moscow Oblast, Tula Oblast, Oryol Oblast, Rязан Oblast, the Far East, as well as imported and domestic material submitted for examination. A total of 28 samples were examined. The manufacture of temporary and permanent slides, determination of the species composition of nematodes was carried out in accordance with generally accepted methods. Data on the geographical distribution of *Globodera* were obtained on the basis of the results of our own research, as well as the systematization of disparate primary sources and reports from a number of scientific and government

глободер получены на основе результатов собственных исследований, а также систематизации разрозненных первоисточников и отчетов ряда научных и государственных учреждений и сведены в таблицу. Для изучения коллекционного материала применялись традиционные в гельминтологии методы приготовления микропрепаратов и микроскопирование с помощью микроскопа Axio Imager A1 (Karl Zeiss, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных данных показал, что род *Globodera* включает 14 действительных видов:

- 1) *Globodera agulhasensis* Knoetze, Swart, Wentzel & Tiedt, 2017;
- 2) *Globodera arenaria* Chizhov, Udalova & Nasonova, 2008;
- 3) *Globodera artemisiae* (Eroshenko & Kazachenko, 1972) Behrens, 1975;
- 4) *Globodera capensis* Knoetze, Swart & Tiedt, 2013;
- 5) *Globodera ellingtonae* Handoo, Carta, Skantar & Chitwood, 2012;
- 6) *Globodera leptonepia* (Cobb & Taylor, 1953) Skarbilovich, 1959;
- 7) *Globodera mali* (Kirjanova & Borisenko, 1975) Behrens, 1975;
- 8) *Globodera mexicana* Subbotin, Mundo-Ocampo & Baldwin, 2010;
- 9) *Globodera millefolii* (Kirjanova & Krall, 1965) Behrens, 1975; синоним: *Globodera achilleae* (Golden & Klindic, 1973) Behrens, 1975;
- 10) *Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens, 1975;
- 11) *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959;
- 12) *Globodera sandveldensis* Knoetze, Swart, Wentzel & Tiedt, 2017;
- 13) *Globodera tabacum sensu lato* (Lownsbery & Lownsbery, 1954) Skarbilovich, 1959;
- 14) *Globodera zelandica* Wouts, 1984.

Цистообразующие нематоды, принадлежащие к роду *Globodera*, паразитируют на растениях, принадлежащих к семейству Solanaceae либо Asteraceae. Филогенетический анализ последовательностей ДНК выявил 3 основные группы видов *Globodera* (Subbotin et al., 2011).

Первая группа – это нематоды, паразитирующие на пасленовых растениях, включая группу видов *G. tabacum* из Северной Америки. Было идентифицировано по крайней мере 8 видов *Globodera*, паразитирующих на Solanaceae. Все 8 видов паразитируют и на томатах, но картофель не является для них растением-хозяином (Subbotin et al., 2019).

Ко второй группе относятся 3 вида картофельных цистообразующих нематод – золотистая картофельная *Globodera rostochiensis*, бледная картофельная нематода *Globodera pallida*, которые паразитируют на картофеле и вызывают значительные экономические потери картофеля во всем мире, а также *Globodera ellingtonae*.

К третьей группе нематод рода *Globodera* относятся виды, паразитирующие не на пасленовых растениях, включая небольшую группу видов глободер из Европы, паразитирующих на Asteraceae (Stone, 1973). Недавно в Западно-Капской провинции Южно-Африканской Республики были обнаружены 3 новых вида глободер, которые также входят в клад глободер, паразитирующих на неполянистых

institutions, and are summarized in a table. To study the collection material, traditional methods of slide preparation in helminthology and microscopy using an Axio Imager A1 microscope (Karl Zeiss, Germany) were used.

RESULTS AND DISCUSSION

An analysis of the literature data showed that the genus *Globodera* includes 14 valid species:

- 1) *Globodera agulhasensis* Knoetze, Swart, Wentzel & Tiedt, 2017;
- 2) *Globodera arenaria* Chizhov, Udalova & Nasonova, 2008;
- 3) *Globodera artemisiae* (Eroshenko & Kazachenko, 1972) Behrens, 1975;
- 4) *Globodera capensis* Knoetze, Swart & Tiedt, 2013;
- 5) *Globodera ellingtonae* Handoo, Carta, Skantar & Chitwood, 2012;
- 6) *Globodera leptonepia* (Cobb & Taylor, 1953) Skarbilovich, 1959;
- 7) *Globodera mali* (Kirjanova & Borisenko, 1975) Behrens, 1975;
- 8) *Globodera mexicana* Subbotin, Mundo-Ocampo & Baldwin, 2010;
- 9) *Globodera millefolii* (Kirjanova & Krall, 1965) Behrens, 1975; synonym: *Globodera achilleae* (Golden & Klindic, 1973) Behrens, 1975;
- 10) *Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens, 1975;
- 11) *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959;
- 12) *Globodera sandveldensis* Knoetze, Swart, Wentzel & Tiedt, 2017;
- 13) *Globodera tabacum sensu lato* (Lownsbery & Lownsbery, 1954) Skarbilovich, 1959;
- 14) *Globodera zelandica* Wouts, 1984.

Globodera cyst nematodes colonize on plants belonging to the Solanaceae or Asteraceae families. Phylogenetic analysis of DNA sequences revealed 3 main groups of *Globodera* species (Subbotin et al., 2011).

The first group are nematodes colonizing on Solanaceae, including the *G. tabacum* species group from North America. At least 8 *Globodera* species have been identified as parasites on Solanaceae. All 8 species also colonize on tomatoes, but potato is not a host plant for them (Subbotin et al., 2019).

The second group includes 3 species of potato cyst nematodes – golden potato nematode *Globodera rostochiensis*, pale potato cyst nematode *Globodera pallida*, which colonize on potatoes and cause significant economic losses of potatoes worldwide, as well as *Globodera ellingtonae*.

The third *Globodera* group includes species colonizing not on Solanaceae, including a small group of *Globodera* species from Europe parasitizing Asteraceae (Stone, 1973). Recently, in the Western Cape of South Africa, 3 new *Globodera* species have been detected, which are also included in the *Globodera* clade parasitizing non-weedy plants (Subbotin et al., 2011). This confirms the theory of the Gondwanan origin of the genus that the divergence of the two main *Globodera* lineages could occur after the separation of the continents of Africa and South America (Subbotin et al., 2011). Data on the distribution of *Globodera* species are given in the table.

Таблица

Распространение видов *Globodera** по географическим регионам

Table

Distribution of *Globodera** species according to geographic regions

Европа Europe	Африка Africa	Азия Asia	Северная и Центральная Америка North and Central America	Южная Америка South America	Океания Oceania
<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. rostochiensis</i>
<i>G. pallida</i>	<i>G. pallida</i>	<i>G. pallida</i>	<i>G. pallida</i>	<i>G. pallida</i>	<i>G. pallida</i>
<i>G. artemisiae</i>	<i>G. agulhasensis</i>	<i>G. artemisiae</i>	<i>G. bravoae</i> = <i>G. mexicana</i>	<i>G. leptonepia</i>	<i>G. zelandica</i>
<i>G. tabacum</i>	<i>G. tabacum</i>	<i>G. tabacum</i>	<i>G. tabacum</i>	<i>G. tabacum</i>	
<i>G. arenaria</i>	<i>G. capensis</i>	<i>G. mali</i>	<i>G. ellingtonae</i>		
<i>G. millefolii</i>	<i>G. sandveldensis</i>				

* Каждый вид *Globodera* выделен отдельным цветом.

* Each *Globodera* species is marked in a different colour.

растениях (Subbotin et al., 2011). Это подтверждает теорию гондванского происхождения рода о том, что расхождение двух основных линий глободер могло произойти после разделения континентов Африки и Южной Америки (Subbotin et al., 2011). Данные по распространению видов нематод рода *Globolera* приведены таблице.

Globodera bravoae была описана на сарахе съедобной *Jaltomata procumbens* в Мексике, также является синонимом *G. mexicana* (= *G. bravoae* n. syn.) (Subbotin et al., 2019).

Нематоды рода *Globodera* распространены в Европе (6 видов), Северной и в Центральной Америке (5 видов), Азии (5 видов), Южной Америке (4 вида), Океании (3 вида) и Африке (6 видов) (Subbotin et al., 2010).

G. rostochiensis и *G. pallida* присутствуют на всех континентах, но местом происхождения считается Южная Америка (Turner, Evans, 1998).

Наиболее часто в отечественном и импортном материале встречается золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis*, но нередко попадают и некарантинные виды нематод – *Globodera millefolii*, *Globodera tabacum* и *Globodera artemisiae*. Поэтому необходимо отличать карантинные виды от некарантинных.

Анализ образцов почвы из приусадебных участков показал присутствие вида *Globodera rostochiensis* в 20 образцах. В трех образцах отечественного и импортного происхождения были обнаружены некарантинные виды, были проанализированы их основные морфологические характеристики, позволяющие провести дифференциальный диагноз. Ниже мы приводим описание признаков этих видов нематод.

Globodera millefolii (Kirjanova & Krall, 1965) Behrens, 1975 – тысячелистниковая цистообразующая нематода

Globodera millefolii интересна тем, что ее типовые местонахождения (Эстония и Россия) географически далеки от мест обитания картофельных цистообразующих нематод, а также тем, что типовое растение-хозяин принадлежит к семейству Asteraceae, а не Solanaceae. Размножается на тысячелистнике, ромашке, трехребернике, нивянике, пижме, купальнице, хризантеме. Может

Globodera bravoae was described on *Jaltomata procumbens* in Mexico, is also a synonym for *G. mexicana* (= *G. bravoae* syn. n.) (Subbotin et al., 2019).

Globodera nematodes are spread in Europe (6 species), North and Central America (5 species), Asia (5 species), South America (4 species), Oceania (3 species) and Africa (6 species) (Subbotin et al., 2010).

G. rostochiensis and *G. pallida* occur on all continents, but are considered to originate from South America (Turner, Evans, 1998).

Most often detected in domestic and imported material is golden potato nematode *Globodera rostochiensis*, but non-quarantine nematode species are often detected too – *Globodera millefolii*, *Globodera tabacum* and *Globodera artemisiae*. Therefore, it is necessary to distinguish between quarantine and non-quarantine species.

Analysis of soil samples from household plots showed the presence of the species *Globodera rostochiensis* in 20 samples. In three samples of domestic and imported origin, non-quarantine species were detected, their main morphological characters were analyzed, allowing for a differential diagnosis. Below we provide a description of the features of these nematode species.

Globodera millefolii (Kirjanova & Krall, 1965) Behrens, 1975

Globodera millefolii is interesting because its type localities (Estonia and Russia) are geographically far from the habitats of potato cyst nematodes, and also because the type host plant belongs to the family Asteraceae, and not Solanaceae. Propagated on yarrow, chamomile, wild chamomile, daisy, tansy, globeflower, chrysanthemum. It occurs in household plots, along fields, in meadows. Does not breed on wormwood (Zinovieva, Chizhov, 2012).

Cysts of the studied species were of domestic origin, were identified during the examination (Fig. 1).

Eggs (n = 10): length, 130–133 (132) µm; width – 50–52 (51) microns; length to width ratio – 2.6.

Cysts (n = 3): length, 550–585 (568) µm; width, 354–367 (360) µm; length to width ratio – 1.6; fenestra diameter, 18–22.5 (20) µm; the distance from the edge

встретиться на приусадебных участках, вдоль полей, на лугах. На полыни не размножается (Зиновьева, Чижов, 2012).

Цисты исследуемого вида имели отечественное происхождение, были выявлены при экспертизе (рис. 1).

Яйца ($n = 10$): длина – 130–133 (132) мкм; ширина – 50–52 (51) мкм; отношение длины к ширине – 2,6.

Цисты ($n = 3$): длина – 550–585 (568) мкм; ширина – 354–367 (360) мкм; отношение длины к ширине – 1,6; диаметр фенестры – 18–22,5 (20) мкм; расстояние от края фенестры до ануса – 26–33 (30) мкм; индекс Гранека – 1,5.

Личинки 2-го возраста ($n = 10$): длина – 495–503 (499) мкм; $a = 22$; $c = 9,6$; стилет – 23,8–24,5 (24) мкм; ширина тела – 21–24 (23) мкм; длина хвоста – 50–54 (52) мкм.

Дифференциальный диагноз. Нематода *G. millefolii* сходна с *G. artemisiae*, от которой она отличается более длинным стилетом личинки 2-го возраста (25 против 22–24 мкм), различными видами растений-хозяев (Зиновьева, Чижов, 2012). От карантинного вида *G. rostochiensis* тысячелистниковая цистообразующая нематода *G. millefolii* отличалась меньшим количеством складок между анусом и вульвой (8 против 14–21), меньшим индексом Гранека (1,5 против 3,7), круговым рисунком кутикулярных складок вокруг вульвы и ануса, большим размером стилета (25 против 22). От *G. pallida* отличается более мелкими головками стилета инвазионных личинок, наклоненными назад, как у *G. rostochiensis*.

Globodera tabacum sensu lato (Lownsbery & Lownsbery, 1954) Skarbilovich, 1959 – табачная цистообразующая нематода

Хотя есть некоторые разногласия среди ученых по систематике *Globodera tabacum*, считается, что этот комплекс состоит из трех подвигов, отличающихся некоторыми морфологическими признаками, ареалом обитания и географическим распределением (Subbotin et al., 2019). Это следующие подвиды:

Globodera tabacum solanacearum;
Globodera tabacum tabacum;
Globodera tabacum virginiae.

Распространение

(<https://www.cabi.org/isc/datasheet/27037>):

Африка: Мадагаскар, Марокко;

Азия: Китай, Пакистан, Северная Корея, Япония;

Европа: Болгария, Греция, Испания, Италия, Словения, Франция, Югославия;

Америка: Аргентина, Канада, Куба, Колумбия, Мексика, США.

Жизненный цикл и биология комплекса *G. tabacum* очень похожи на таковые у картофельных цистообразующих нематод, хотя нематоды комплекса *G. tabacum* были изучены гораздо менее подробно. Паразитирует на пасленовых растениях, но не на картофеле.

of the fenestra to the anus, 26–33 (30) μm ; Granek index – 1.5.

Second instar larvae ($n = 10$): length, 495–503 (499) μm ; $a = 22$; $c = 9.6$; stylet, 23.8–24.5 (24) μm ; body width, 21–24 (23) μm ; tail length – 50–54 (52) μm .

Differential diagnosis. Nematode *G. millefolii* is similar to *G. artemisiae*, from which it differs in the longer stylet of the 2nd instar larvae (25 versus 22–24 μm), various host plant species (Zinovieva, Chizhov, 2012). *G. millefolii* differed from the quarantine species *G. rostochiensis* fewer folds between the anus and vulva (8 versus 14–21), smaller Granek index (1.5 versus 3.7), circular pattern of cuticular folds around the vulva and anus, larger stylet size (25 versus 22). From *G. pallida* it differs in smaller stylet heads of infective larvae, tilted backwards, as in *G. rostochiensis*.

Globodera tabacum sensu lato (Lownsbery & Lownsbery, 1954) Skarbilovich, 1959

Although there is some controversy among scholars on taxonomy of *Globodera tabacum*, it is believed that this complex consists of three subspecies that differ in some morphological characters, habitat, and geographical distribution (Subbotin et al., 2019). These are the following subspecies:

Globodera tabacum solanacearum;
Globodera tabacum tabacum;
Globodera tabacum virginiae.

Distribution (<https://www.cabi.org/isc/datasheet/27037>):

Africa: Madagascar, Morocco;

Asia: China, Pakistan, North Korea, Japan;

Europe: Bulgaria, Greece, Spain, Italy, Slovenia, France, Yugoslavia;

America: Argentina, Canada, Cuba, Colombia, Mexico, USA.

Life cycle and biology of the complex *G. tabacum* very similar to those of potato cyst nematodes, although the nematodes of the complex *G. tabacum* have been studied in much less detail. It parasitizes Solanaceae plants, but not on potatoes.

The studied cysts of *G. tabacum* were of European origin (Fig. 2).

Eggs ($n = 10$): length, 95–98 (97) μm ; width, 43–53 (48) μm ; length to width ratio – 2.

Cysts ($n = 6$): length, 565–570 (568) μm ; width, 348–355 (352) μm ; length to width ratio – 1.6; fenestra

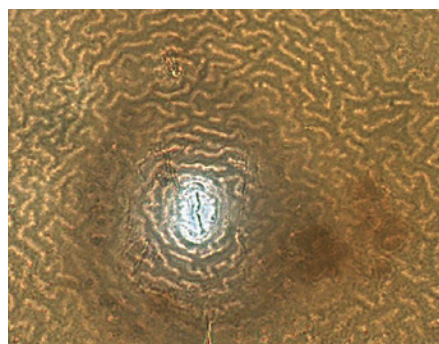


Рис. 1. Анально-вульварная область *Globodera millefolii* (фото Е.А. Худяковой)

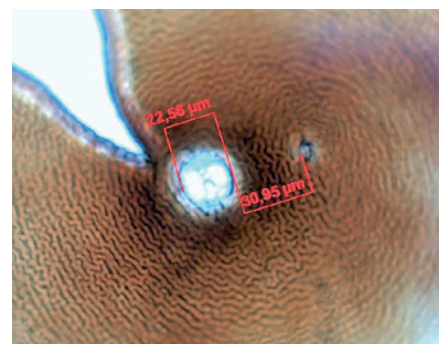


Fig. 1. Anal-vulvar region of *Globodera millefolii* (photos by E.A. Khudyakova)

Исследуемые цисты *G. tabacum* имели европейское происхождение (рис. 2).

Яйца ($n = 10$): Длина – 95–98 (97) мкм; ширина – 43–53 (48) мкм; отношение длины к ширине – 2.

Цисты ($n = 6$): длина – 565–570 (568) мкм; ширина – 348–355 (352) мкм; отношение длины к ширине – 1,6; диаметр фенестры – 28–33 (31) мкм; расстояние от края фенестры до ануса – 33–45 (39) мкм; индекс Гранека – 1,3.

Личинки 2-го возраста ($n = 10$): длина – 488–502 (495) мкм; $a = 23$; $c = 9,9$; стилет – 25–27 (26) мкм; ширина тела – 21–23 (22) мкм; длина хвоста – 49–51 (50) мкм (рис. 3).

Дифференциальный диагноз. От карантинного вида *G. rostochiensis* табачная цистообразующая нематода *G. tabacum* отличалась большим диаметром фенестры (31 мкм против 20 мкм), меньшим количеством складок между анусом и вульвой (менее 14), меньшим индексом Гранека (1,3 против 3,7), более крупными складками и округлым рисунком кутикулярных складок вокруг вульвы. От *G. pallida* и *G. rostochiensis* исследуемая популяция *G. tabacum* отличалась более округлыми, вытянутыми в поперечном направлении головками стилета инвазионных личинок, от *G. rostochiensis* – более длинным стилетом (26 мкм против 22 мкм).

Globodera artemisiae (Eroshenko & Kazachenko, 1972) Behrens, 1975 – полынная

цистообразующая нематода

Исходное описание не задокументировано.

Globodera artemisiae паразитирует на полынн *Artemisia vulgaris* L. и распространена в России, Армении, Польше, Германии, Швеции, Японии (Зиновьева, Чижов, 2012; Буторина и др., 2006).

Исследуемые цисты *G. artemisiae* выявлены в образцах с Дальнего Востока России (рис. 4).

Яйца ($n = 10$): длина – 85–99 (92) мкм; ширина – 35–39 (37) мкм; отношение длины к ширине – 2,4.

Цисты ($n = 5$): длина – 457–535 (496) мкм; ширина – 290–340 (315) мкм; отношение длины к ширине – 1,6; диаметр фенестры – 22–28 (25) мкм; расстояние от края фенестры до ануса – 24–33 (29) мкм; индекс Гранека – 1,2.

Личинки 2-го возраста ($n = 10$): длина – 370–450 (410) мкм; $a = 21$; $c = 9,7$; стилет – 25–27,5 (26) мкм; ширина тела – 18–22 (20) мкм; длина хвоста – 35–48 (42) мкм (рис. 5).

Дифференциальный диагноз. От карантинного вида *G. rostochiensis* полынная цистообразующая нематода *G. artemisiae* отличалась большим диаметром фенестры (25 мкм против 20 мкм), меньшим количеством складок между анусом и вульвой (менее 10), меньшим индексом Гранека (1,2 против 3,7), округлым рисунком кутикулярных складок вокруг вульвы и ануса, напоминающим цифру 8. От *G. pallida* исследуемая популяция *G. artemisiae* отличалась головками стилета инвазионных личинок, наклоненными назад, от *G. rostochiensis* – более длинным стилетом (26 мкм против 22 мкм).

Анализ данных лабораторных исследований показал, что основным путем распространения цистообразующих нематод *Globodera pallida* и *Globodera rostochiensis* является картофель свежий или охлажденный (код ТНВЭД 0701); также они могут распространяться с луковицами, клубнями, клубневидными корнями, клубнелуковицами,

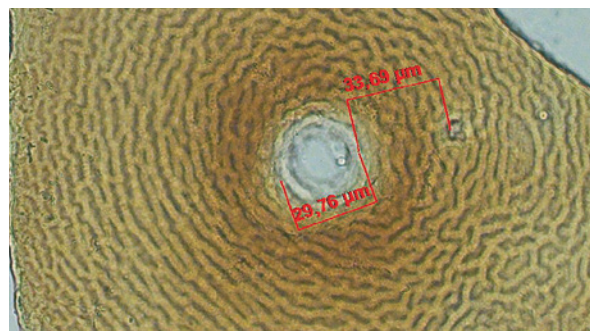


Рис. 2. Анально-вульварная область *G. tabacum* (фото С.В. Судариковой)

Fig. 2. Anal-vulvar region of *G. tabacum* (photo by S.V. Sudarikova)



Рис. 3. Личинка *G. tabacum* (фото С.В. Судариковой)

Fig. 3. *G. tabacum* larva (photo by S.V. Sudarikova)

diameter, 28–33 (31) μm; the distance from the edge of the fenestra to the anus, 33–45 (39) μm; Granek index – 1.3.

Second instar larvae ($n = 10$): length, 488–502 (495) μm; $a = 23$; $c = 9,9$; stylet, 25–27 (26) μm; body width, 21–23 (22) μm; tail length, 49–51 (50) μm (Fig. 3).

Differential diagnosis. *G. tabacum* differs from the quarantine species *G. rostochiensis* by a larger fenestra diameter (31 μm vs 20 μm), fewer folds between anus and vulva (less than 14), lower Granek index (1.3 vs 3.7), larger folds, and a rounded pattern of cuticular folds around the vulva. The studied population of *G. tabacum* differed from *G. pallida* and *G. rostochiensis* by more rounded, transversely elongated stylet heads of invasive larvae, from *G. rostochiensis* – by a longer stylet (26 μm versus 22 μm).

Globodera artemisiae (Eroshenko & Kazachenko, 1972) Behrens, 1975

The original description is not documented.

Globodera artemisiae parasitizes *Artemisia vulgaris* L. and is distributed in Russia, Armenia, Poland, Germany, Sweden, and Japan (Zinovieva and Chizhov, 2012; Butorina et al., 2006).

The studied cysts of *G. artemisiae* were detected in samples from the Russian Far East (Fig. 4).

Eggs ($n = 10$): length, 85–99 (92) μm; width, 35–39 (37) μm; length to width ratio – 2.4.

Cysts ($n = 5$): length, 457–535 (496) μm; width, 290–340 (315) μm; length to width ratio – 1.6; fenestra diameter, 22–28 (25) μm; the distance from the edge of the fenestra to the anus, 24–33 (29) μm; Granek index – 1.2.

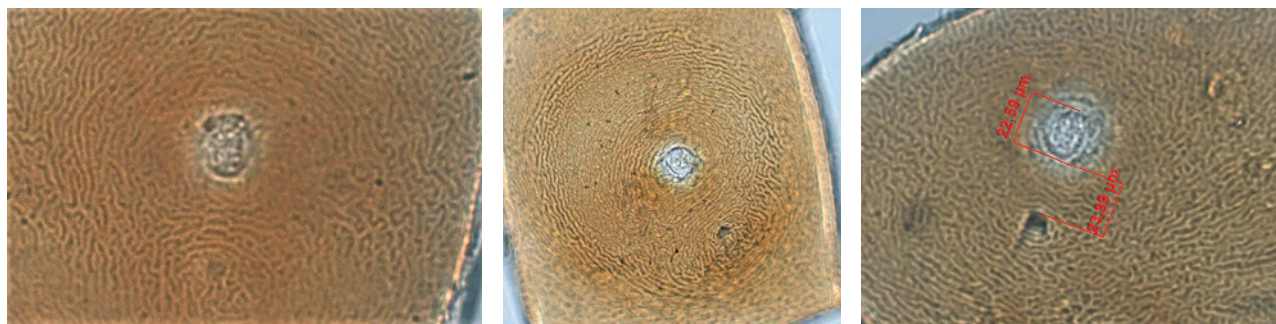


Рис. 4. Вариации анально-вульварных пластинок у *G. artemisiae* (фото С.В. Судариковой, Е.А. Худяковой)

Fig. 4. Variations of anal-vulvar plates of *G. artemisiae* (photos by S.V. Sudarikova, E.A. Khudyakova)

корневищами (код ТНВЭД 0601); прочими живыми растениями (включая их корни), черенками и отводками (кроме неукорененных черенков и мицелия гриба) (код ТНВЭД 0602); луком репчатым, луком-шалотом, чесноком, луком-пореем и прочими луковичными овощами, свежими или охлажденными (код ТНВЭД 0703); морковью, репой, свеклой столовой, козлородником, сельдереем корневым, редисом и прочими аналогичными съедобными корнеплодами, свежими или охлажденными (код ТНВЭД 0706); маниоком, марантой, салепом, земляной грушей, или топинамбуром, сладким картофелем, или бататом, и аналогичными корнеплодами и клубнеплодами (код ТНВЭД 0714).

Несмотря на то что *Globodera pallida* и *Globodera rostochiensis* не паразитируют на всей вышеперечисленной продукции (кроме картофеля), они могут передаваться с загрязняющими ее частицами почвы, поэтому продукция подлежит обязательным лабораторным исследованиям. Например, *Globodera pallida* дважды выявлялась на продукции «газонные травы» из Европы.

Интенсивное изучение рода *Globodera*, осуществляемое сейчас в странах Европы и Америки, привело к описанию ряда видов, очень близких морфологически к картофельной нематоде *G. rostochiensis*. Необходимость правильного разграничения всех этих нематод очевидна, но оно представляет довольно большие трудности, особенно если учесть отсутствие достаточно четкой договоренности о понятиях, обозначаемых отдельными терминами.

Так, необходимо пояснить, что Е.С. Кирьянова и А.В. Борисенко подразумевают под расстоянием «вульва – анус» расстояние от щели вульвы до центра анального отверстия. Диаметр вульварной

Second instar larvae (n = 10): length, 370–450 (410) μm; a = 21; c = 9.7; stylet, 25–27.5 (26) μm; body width, 18–22 (20) μm; tail length, 35–48 (42) μm (Fig. 5).

Differential diagnosis. *G. artemisiae* differs from the quarantine species *G. rostochiensis* by a larger fenestra diameter (25 μm vs 20 μm), fewer folds between the anus and vulva (less than 10), lower Granek index (1.2 vs 3.7), rounded pattern of cuticular folds around the vulva and anus resembling the number 8. The studied population of *G. artemisiae* differed from *G. pallida* in the stylet heads of invasive larvae, inclined backwards, from *G. rostochiensis* in a longer stylet (26 μm versus 22 μm).

Analysis of laboratory research data showed that the main pathway of cyst nematodes *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis* is fresh or chilled potatoes (HS code 0701); they can also spread with bulbs, tubers, tuberous roots, corms, rhizomes (HS code 0601); other live plants (including their roots), cuttings and layering (except unrooted cuttings and mycelium of the fungus) (HS code 0602); onions, shallots, garlic, leeks and other alliacious vegetables, fresh or chilled (HS code 0703); carrots, turnips, beetroot, buckthorn, celeriac, radishes and other similar edible root vegetables, fresh or chilled (HS code 0706); cassava, arrowroot, salep, ground pear or Jerusalem artichoke, sweet potato or sweet potato, and similar roots and tubers (HS code 0714).

Despite the fact that *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis* do not parasitize on all of the above products (except potatoes), they can be transmitted with soil particles contaminating it, therefore the products are subject to mandatory laboratory tests. For example, *Globodera pallida* was twice detected on “lawn grass” from Europe.

Intensive study of the genus *Globodera* carried out now in the countries of Europe and America, has led to the description of a number of species, morphologically very close to the potato nematode *G. rostochiensis*. The need for a correct distinction between all these nematodes is obvious, but it presents rather great difficulties, especially given the lack of a sufficiently clear agreement on the concepts denoted by individual terms.

So, it is necessary to clarify that E.S. Kiryanova and A.V. Borisenko mean by the distance “vulva – anus” the distance from the gap of the vulva to the center of the anus. The diameter of the vulvar plate, together with the basin, is measured along a long diameter, i. e., in the direction of the anus. The Granek index is taken with



Рис. 5. Личинка *G. artemisiae* (фото С.В. Судариковой)

Fig. 5. *G. artemisiae* larva (photo by S.V. Sudarikova)

пластинки вместе с базином измеряют по длинному поперечнику, т. е. в направлении к анусу. Индекс Гранека принимают с поправкой: в числителе помещают расстояние от щели вульвы до центра ануса, а в знаменателе – наиболее длинный диаметр вульварной пластинки. У цист с разрушенной вульвой измерение ведется от центра этого отверстия (Кириянова, Борисенко, 1975). При таком измерении ошибка в оценке расстояния от вульвы до ануса будет минимальной, особенно когда кутикула близ вульвы разрушена далеко за пределами вульварной пластинки и фенестры. Кроме того, это позволяет сравнивать такие измерения с данными предшествующих авторов. Несмотря на правильность и удобство такого способа измерений, в настоящее время все зарубежные авторы производят измерения от края вульварного окна. Поэтому при проведении исследований мы придерживались международной практики.

Также часто есть разночтения в терминологии. Например, термин «вульварная пластинка» у некоторых современных авторов используется вместо термина «анально-вульварная пластинка», и наоборот. Следует четко различать эти термины. Термин «вульварная пластинка» является синонимом вульварной фенестры (вульварного окна, базина), а термин «анально-вульварная пластинка» – синонимом перинеальной области, т. е. поверхностной области вокруг ануса и вульвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ материала по растениям – хозяевам нематод рода *Globodera* показал, что 8 видов нематод этого рода паразитируют на растениях семейства Solanaceae, за исключением картофеля. Группа нематод рода *Globodera* паразитирует на растениях семейства Asteraceae. Цистообразующие нематоды передаются с почвой, поэтому могут встречаться в подкарантинной продукции, загрязненной частицами почвы. Составлен список такой продукции, а также представлены результаты исследования по географическому распространению нематод рода *Globodera*. Проведен сбор и исследование образцов почвы из разных областей Российской Федерации и импортной продукции. Обнаружены некарантинные виды рода *Globodera*, проведено их исследование. Представлен дифференциальный диагноз, позволяющий отделить карантинные виды от некарантинных по основным морфологическим признакам. Даны описания трех некарантинных видов, которые периодически встречались при лабораторных исследованиях. Определены разночтения в терминологии и промерах морфометрических признаков, которые важно учитывать при диагностике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буторина Н., Зиновьева С., Кулинич О. и др. Прикладная нематология. – М.: Наука, 2006, 350 с.
2. Ефременко Т., Боровикова А., Дудик О., Гуськова Л., Маковская С. Инструкция по выявлению золотистой и бледной картофельных нематод и мерам борьбы с ними. – М.: Агропромиздат, 1988, 47 с.
3. Зиновьева С., Чижов В. и др. Фитопаразитические нематоды России. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012, 386 с.
4. Кириянова Е.С., Борисенко А.В., 1975. Цистообразующая нематода – *Heterodera (Globodera)*

a correction: the numerator is the distance from the slit of the vulva to the center of the anus, and the denominator is the longest diameter of the vulvar plate. In cysts with a destroyed vulva, measurements are made from the center of this hole (Kiryanova, Borisenko, 1975). With this measurement, the error in estimating the distance from the vulva to the anus will be minimal, especially when the cuticle near the vulva is destroyed far beyond the vulvar plate and fenestra. In addition, this allows such measurements to be compared with those of previous authors. Despite the correctness and convenience of this measurement method, at present, all foreign authors measure from the edge of the vulvar window. Therefore, when conducting research, we adhered to international practice.

There are also often inconsistencies in terminology. For example, the term “vulvar plate” is used by some modern authors instead of the term “anal-vulvar plate”, and vice versa. These terms should be clearly distinguished. The term “vulvar plate” is synonymous with the vulvar fenestra (vulvar window, basin), and the term “anal-vulvar plate” is synonymous with the perineal region, i. e., the superficial area around the anus and vulva.

CONCLUSION

The analysis of the material of host plants of the *Globodera* genus nematodes showed that 8 nematode species of this genus parasitize on Solanaceae plants, with the exception of potatoes. Group of nematodes of the genus *Globodera* parasitize on Asteraceae plants. Cyst nematodes are transmitted with the soil; therefore, they can be detected in regulated products contaminated with soil particles. A list of such products has been compiled, as well as the results of a study on the geographical distribution of nematodes of the genus *Globodera* are presented. Soil samples were collected and studied from different regions of the Russian Federation and imported products. Non-quarantine species of the genus *Globodera* were detected and studied. A differential diagnosis is presented, which makes it possible to separate quarantine species from non-quarantine ones according to the main morphological features. Descriptions are given of three non-quarantine species that were periodically detected in laboratory studies. Discrepancies in the terminology and measurements of morphometric features, which are important to take into account in the diagnosis, are determined.

REFERENCES

1. Butorina N., Zinovieva S., Kulinich O. et al. Applied nematology [Prikladnaya nematologiya]. M.: Nauka, 2006, 350 p. (in Russian).
2. Efremenko T., Borovikova A., Dudik O., Guskova L., Makovskaya S. Instructions for the detection of golden and pale potato nematodes and measures to control them [Instruktsiya po vyavleniyu zolotistoy i blednoy kartofelnykh nematod i meram borby s nimi]. M.: Agropromizdat, 1988, 47 p. (in Russian).
3. Zinovieva S., Chizhov V. et al. Phytoparasitic nematodes in Russia [Fitoparaziticheskiye nematody Rossii]. M.: Association of scientific publications KMK, 2012, 386 p. (in Russian).

mali sp. n. – паразит яблони в Казахстане. – Паразитология, вып. 4: 335–338.

5. Лиманцева Л. Золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* в Северо-Западном регионе РФ: состав популяции, источники и доноры устойчивости; автореф. дисс. канд. биол. наук: 06.01.07 / Лиманцева Людмила Алексеевна. – Санкт-Петербург, 2010, 21 с.

6. Национальный доклад о карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации в 2021 году. – Фитосанитария. Карантин растений, 2022, 10 (2): 2–13.

7. Stone A., 1973. *Heterodera pallida* and *Heterodera rostochiensis*. C.I.H. Descriptions of Plant-parasitic Nematodes, № 16 and 17. – Wallingford, UK: CAB International, 71 p.

8. Subbotin S., Mundo-Ocampo M. and Baldwin J., 2010. Systematics of cyst nematodes (Nematoda: Heteroderinae). – In: Nematology Monographs and Perspectives, 8A Series, eds D.J. Hunt and R.N. Perry (Leiden: Brill), 351 p.

9. Subbotin S., Cid Del Prado Vera I., Mundo-Ocampo M. and Baldwin J., 2011. Identification, phylogeny and phylogeography of circumfenestrate cyst nematodes (Nematoda: Heteroderidae) as inferred from analysis of ITS-rDNA. – Nematology, 13 (7): 805–824. URL: <https://doi.org/10.1163/138855410x552661>.

10. Subbotin S., Franco J., Knoetze R., Roubtsova T., Bostock R., Cid Del Prado Vera I., 2019. DNA barcoding, phylogeny and phylogeography of the cyst nematode species from the genus *Globodera* (Tylenchida: Heteroderidae). – Nematology, Vol. 0 (0), 1–29. URL: https://www.Russjnmematology.com/Subbotin/reprint/Globodera_2019.pdf.

11. Turner S. and Evans K., 1998. The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* Stone). – In: Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control, Marks, R.J. and B.B. Brodie (eds.). Wallingford, UK: CAB International, p. 7–26.

12. Zasada I., Ingham R., Phillips W., 2013a. Current state of knowledge of *Globodera ellingtonae*: a new cyst nematode species. – La Serena, Chile: ONTA Abstracts.

13. Zasada I., Peetz A., Wade N., Navarre R., Ingham R., 2013b. Host status of different potato (*Solanum tuberosum*) varieties and hatching in root diffusates of *Globodera ellingtonae*. – Journal of Nematology, 45 (3): 195–201.

14. CABI. Invasive Species Compendium, 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27037> (дата обращения: 16.06.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Худякова Елена Анатольевна, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией гельминтологии ИЛЦ ФГБУ «ВНИИР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *e-mail: fer59@mail.ru*.

Сударикова Стелла Валериевна, старший научный сотрудник лаборатории гельминтологии ИЛЦ ФГБУ «ВНИИР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *e-mail: sudarikovah@mail.ru*.

4. Kiryanova E.S., Borisenko A.V. Cyst nematode – *Heterodera (Globodera) mali* sp. n. – a parasite of the apple tree in Kazakhstan [Tsistoobrazuyushchaya nematoda – *Heterodera (Globodera) mali* sp. n. – parazit yablони v Kazakhstane]. *Parasitology*, 1975; 4: 335–338 (in Russian).

5. Limantseva L. Golden potato nematode *Globodera rostochiensis* in the Northwestern region of the Russian Federation: population composition, sources and donors of resistance; PhD in Biology dissertation abstract: 06.01.07 / Lyudmila Alekseevna Limantseva. St. Petersburg, 2010, 21 p. (in Russian).

6. National report on the quarantine phytosanitary state of the territory of the Russian Federation in 2021. *Plant Health and Quarantine*, 2022, 10 (2): 2–13.

7. Stone A. *Heterodera pallida* and *Heterodera rostochiensis*. C.I.H. Descriptions of Plant-parasitic Nematodes, № 16 and 17. Wallingford, UK: CAB International, 1973, 71 p.

8. Subbotin S., Mundo-Ocampo M. and Baldwin J. Systematics of cyst nematodes (Nematoda: Heteroderinae). In: Nematology Monographs and Perspectives, 8A Series, eds D.J. Hunt and R.N. Perry (Leiden: Brill), 2010, 351 p.

9. Subbotin S., Cid Del Prado Vera I., Mundo-Ocampo M. and Baldwin J. Identification, phylogeny and phylogeography of circumfenestrate cyst nematodes (Nematoda: Heteroderidae) as inferred from analysis of ITS-rDNA. *Nematology*, 2011; 13 (7): 805–824. URL: <https://doi.org/10.1163/138855410x552661>.

10. Subbotin S., Franco J., Knoetze R., Roubtsova T., Bostock R., Cid Del Prado Vera I. DNA barcoding, phylogeny and phylogeography of the cyst nematode species from the genus *Globodera* (Tylenchida: Heteroderidae). *Nematology*, 2019; Vol. 0 (0), 1–29. URL: https://www.Russjnmematology.com/Subbotin/reprint/Globodera_2019.pdf.

11. Turner S. and Evans K. The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* Stone). In: Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control, Marks, R.J. and B.B. Brodie (eds.). Wallingford, UK: CAB International, 1998, p. 7–26.

12. Zasada I., Ingham R., Phillips W. Current state of knowledge of *Globodera ellingtonae*: a new cyst nematode species. La Serena, Chile: ONTA Abstracts, 2013a.

13. Zasada I., Peetz A., Wade N., Navarre R., Ingham R. Host status of different potato (*Solanum tuberosum*) varieties and hatching in root diffusates of *Globodera ellingtonae*. *Journal of Nematology*, 2013b; 45 (3): 195–201.

14. CABI. Invasive Species Compendium, 2022 [Electronic resource]. URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27037> (last accessed: 16.06.2022).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena Khudyakova, Senior Researcher, Head of Helminthology Laboratory of FGBU “VNIIR” Testing Laboratory Center, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: fer59@mail.ru*.

Stella Sudarikova, Senior Researcher, Helminthology Laboratory of FGBU “VNIIR” Testing Laboratory Center, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: sudarikovah@mail.ru*.