

УДК 635.21 : 632.651

АПРОБАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ РЕГУЛЯЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ КАРТОФЕЛЬНОЙ ЦИСТООБРАЗУЮЩЕЙ НЕМАТОДЫ – ОПАСНОГО ВРЕДИТЕЛЯ КАРТОФЕЛЯ

Е. М. Матвеева*, Д. С. Калинкина, А. А. Сущук

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *matveeva@krc.karelia.ru

В полевых условиях апробированы современные способы регуляции численности вредителя картофеля – картофельной цистообразующей нематоды *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975, основанные на инновационных приемах защиты растений и повышения устойчивости картофеля к заражению. Исследование выполнено на территории о. Кижы (Медвежьегорский р-н Республики Карелия). Все способы показали эффективность очищения почвы от цист нематоды, но в различной степени. Выявлена высокая результативность применения нематодоустойчивого сорта картофеля, подтверждены нематодцидные свойства лигносульфонатов натрия – побочного продукта целлюлозно-бумажной промышленности и определена роль предпосадочной низкотемпературной обработки семенных клубней картофеля для повышения неспецифической устойчивости растений восприимчивого сорта. Показано, что эффект изученных регуляторов плотности популяций картофельной цистообразующей нематоды проявляется в снижении численности и увеличении доли мелких цист. Установлено, что наиболее эффективно их применение в комплексе: на зараженных почвах сначала рекомендуется возделывание нематодоустойчивых сортов картофеля, затем – внесение в почву лигносульфонатов натрия и использование обработанных температурой семенных клубней картофеля. Применение такого комплекса обеспечивает получение стабильного урожая картофеля при возделывании культуры на инфицированных почвах. Выявлена тенденция постепенного очищения почвы от вредителя (снижение количества цист) в течение 5 последующих лет, обусловленного применением севооборота на картофельном поле и нарушением жизненного цикла фитопаразита после применения способов регуляции численности картофельной цистообразующей нематоды.

Ключевые слова: фитопаразитическая нематода *Globodera rostochiensis*; регуляция численности вредителя; устойчивые и восприимчивые сорта картофеля; лигносульфонаты натрия; кратковременная низкотемпературная обработка

Для цитирования: Матвеева Е. М., Калинкина Д. С., Сущук А. А. Апробация современных способов регуляции численности картофельной цистообразующей нематоды – опасного вредителя картофеля // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. doi: 10.17076/eb1976

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0005).

E. M. Matveeva*, D. S. Kalinkina, A. A. Sushchuk. TESTING MODERN METHODS FOR POPULATION CONTROL OF THE POTATO CYST NEMATODE – A DANGEROUS POTATO PEST

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910, Petrozavodsk, Karelia, Russia), *matveeva@krc.karelia.ru

Modern methods for controlling the population of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 were tested in field conditions. All the methods showed different degrees of effectiveness in clearing the soil from cysts. The study was conducted on Kizhi Island (Medvezhyegorsky District, Republic of Karelia). Cultivation of a nematode-resistant potato variety proved to be highly effective. Sodium lignosulfonates, a by-product of the pulp and paper industry, were confirmed to have nematicidal properties. The role of low-temperature treatment of seed tubers prior to planting in enhancing the non-specific resistance of nematode-susceptible potato varieties was determined. It has been shown that the effect of the studied regulators of the nematode population density is manifested in a decrease in the number and an increase in the proportion of small cysts in the nematode population. Combined application of the methods proved to be the most effective: it is recommended to first cultivate nematode-resistant potato varieties and then to apply sodium lignosulfonates to the soil and to use temperature-pretreated seed potato tubers. Such a combination ensures a stable potato yield when cultivating the crop on infected soils. The soil tended to become gradually cleared of the pest (reduction in the number of cysts) over the next 5 years, due to crop rotation in the potato field and disruption of the phytoparasite's lifecycle after the application of the methods for controlling potato cyst nematode numbers.

Keywords: phytoparasitic nematode *Globodera rostochiensis*; pest management; resistant and susceptible potato varieties; sodium lignosulfonates; short-term low-temperature treatment

For citation: Matveeva E. M., Kalinkina D. S., Sushchuk A. A. Testing modern methods for population control of the potato cyst nematode – a dangerous potato pest. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024. doi: 10.17076/eb1976

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment of the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (FMEN-2022-0005).

Введение

Республика Карелия является территорией, входящей в ареал картофельной цистообразующей нематоды (КЦН) *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 (Tylenchida, Heteroderidae). КЦН относится к высоковредоносным фитопаразитическим нематодам, входит в топ 100 самых опасных инвазивных видов России [Самые..., 2018], является объектом внешнего и внутреннего карантина и представляет серьезную угрозу для сельского хозяйства Российской Федерации, так как картофель – одна из основных продовольственных культур. Опасность этого паразита заключается в его высокой вредоносности, больших адаптивных способностях к низким температурам, способности быстро расселяться на больших территориях. КЦН снижает урожай картофеля до 30–60 % в зависимости от степени

зараженности почвы [Тихонова и др., 1999], особенно в личных подсобных хозяйствах вследствие возделывания монокультуры картофеля в течение длительного времени. Степень снижения урожая зависит от предпосевной плотности популяций нематод в почве, сорта картофеля, типа почвы и ее плодородия, погодных условий [Шамонин, 1973; Инструкция..., 1988; Тихонова и др., 1999; Матвеева, 2004].

В Республике Карелия КЦН впервые обнаружена в 1976 году в юго-западных районах, и за четыре десятилетия она распространилась до северных районов республики [Груздева, Матвеева, 2010]. Такое быстрое распространение КЦН обусловлено отсутствием доступных химических средств защиты растений, так как они дорогостоящие и их применение ограничено в силу специфических условий климата и почв региона. Для исключения накопления плотности популяций паразитической нематоды в почве

обычно применяются агротехнические приемы, такие как противонематодные севообороты и возделывание нематоустойчивых сортов. Однако это малоприемлемо на приусадебных участках, где картофель выращивается беспрерывно многие годы. В связи с этим уже с середины 90-х годов XX века назрела необходимость поиска и разработки эффективных, экологически безопасных способов защиты картофеля. Наряду с существующими способами регуляции численности картофельной нематоды особый интерес представляют средства защиты растений, не загрязняющие окружающую среду и не нарушающие экологическое равновесие в агроценозах. Так, доказаны нематотоксические свойства отходов деревообрабатывающей промышленности (свежераздробленная кора хвойных деревьев) и побочного продукта целлюлозно-бумажного производства в Карелии (лигносульфонаты натрия) [Груздева, Богданова, 1996; Груздева и др., 1999, 2006, 2010; Матвеева, Груздева, 1999; Matveeva et al., 2002, 2010; Груздева, Матвеева, 2010].

Одним из основных абиотических факторов, влияющих на рост и развитие растений, является температура. Ранее проведенные исследования показали, что кратковременные ежесуточные снижения температуры, широко распространенные в природе, приводят к одновременному развитию устойчивости растений к нескольким стресс-факторам разной природы, включая биотический, в том числе могут повышать устойчивость растений картофеля к нематоду [Сысоева и др., 2011; Лаврова, Матвеева, 2014; Лаврова и др., 2015, 2017; Seimi-Buchinger, Matveeva, 2019].

Сведения об эффективности вышеописанных способов снижения плотности популяций картофельной нематоды в полевых условиях на примере действующих частных приусадебных участков немногочисленны. В связи с этим сформулирована цель настоящего исследования – апробация и сравнительный анализ современных методов регуляции численности КЦН, основанных на инновационных способах защиты растений и повышения устойчивости картофеля к заражению нематодой.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась локальная полевая популяция картофельной цистообразующей нематоды *Globodera rostochiensis* Woll., патотип Ro1 – узкоспециализированного паразита картофеля. Апробацию способов борьбы с КЦН проводили в 2019 году на естественном инфекционном фоне на кар-

тофельном поле, включенном в мониторинг нематологической ситуации на территории Кижского архипелага и музея-заповедника «Кижь» с 2006 года (о. Кижь, Медвежьегорский р-н, 62°3'59.04"N, 35°13'27.37"E). В почвенном покрове острова наиболее широко представлены уникальные для Карелии дерновые литогенные шунгитовые почвы, характеризующиеся очень высоким содержанием углерода, а также карбонатной, силикатной, кремнистой и терригенной минеральной основой [Потахин, 2006]. Они преимущественно темно-серого или серо-черного цвета, сильнокаменистые, но с хорошей комковато-зернистой структурой и характеризуются, по сравнению с фоновыми почвами региона, относительно высоким уровнем плодородия и повышенной буферной способностью, несмотря на их каменистость и кислую реакцию [Ахметова, 2018].

КЦН была обнаружена в почве картофельного поля в 2016 году (34 цисты / 100 г почвы), и постепенно численность нематоды нарастала. Весной 2019 г. исходный уровень инфицированности почвы цистами КЦН составил 84 цисты / 100 г почвы. Способы регуляции численности КЦН, протестированные в условиях полевого опыта, представлены в табл. 1. Каждый вариант включал 5 растений; площадь питания одного растения составляла 70×30 см; агротехника картофеля – общепринятая для региона. В конце вегетационного периода (осень 2019 г.) оценивали репродуктивный потенциал КЦН по числу самок новой генерации, развившихся на корнях растений, в почве ризосферы каждого растения; дана характеристика урожая картофеля (по количеству и размерам клубней).

Эффективность применения способов регуляции численности КЦН и степень очищения почвы от вредителя оценивали через 1 год (в 2020 г.) и 5 лет после применения севооборота – чередования выращивания картофеля и содержания почвы под черным паром в течение 2 лет (2023–2024 гг.) путем отбора почвенных проб и определения уровня зараженности почвы цистами КЦН. Анализ почвы проводился в лаборатории паразитологии животных и растений ИБ КарНЦ РАН.

Статистическая обработка проведена с использованием программы PAST 4.09 [Hammer et al., 2001], MS Excel. Значимость различий оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна – Уитни (Mann-Whitney, U-test) для парных сравнений, вследствие несоответствия распределения признаков нормальному. Различия между группами считали достоверными при $p < 0,05$.

Таблица 1. Способы регуляции численности КЦН, протестированные на картофельном поле, расположенном на о. Кизи

Table 1. Methods for regulating the number of PCN tested in a potato field located on Kizhi Island

Вариант опыта Variant of experiment	Описание способов регуляции численности КЦН Description of methods for PCN regulating
1. Выращивание нематодоустойчивого сорта картофеля 1. Growing anematode-resistant potato variety	Нематодоустойчивый картофель (<i>Solanum tuberosum</i> L.) сорта Ред Леди – раннеспелый сорт, устойчив к большинству болезней картофеля (вирусам, бактериям, парше, нематодам, фитофторозу) Nematode-resistant potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) variety Red Lady – an early-ripening variety, resistant to most potato diseases (viruses, bacteria, scab, nematodes, late blight)
2. Применение лигносульфонатов натрия до посадки восприимчивого к нематоды сорта картофеля 2. Application of sodium lignosulfonates before planting of nematode-susceptible potato variety	Лигносульфонаты натрия (ЛСН) – запатентованный способ борьбы с КЦН как нематодцидное средство (патент № 2268591, 2006 г.). ЛСН представляют собой побочный продукт целлюлозно-бумажного производства на Кондопожском ЦБК (густая паста коричневого цвета). Используется 10% раствор ЛСН, производится пролив почвы на глубину 5 см за 7 дней до посадки восприимчивого к заражению КЦН картофеля (<i>Solanum tuberosum</i> L.) сорта Невский – среднераннего сорта с высокими вкусовыми качествами клубней, высокой урожайностью, отличной устойчивостью к болезням Sodium lignosulfonates (SLS) are a patented method of combating PCN as a nematicidal agent (patent No. 2268591, 2006). SLS are a by-product of pulp and paper production at the Kondopoga Pulp and Paper Mill (a thick brown paste). A 10% solution of SLS is used, the soil is spilled to a depth of 5 cm 7 days before planting potatoes (<i>Solanum tuberosum</i> L.) susceptible to infection with PCN, Nevsky variety – a mid-early variety with high palatability of tubers, high yield, excellent disease resistance
3. Кратковременная низкотемпературная предпосадочная обработка клубней восприимчивого к нематоды сорта картофеля 3. Short-term low-temperature pre-planting treatment of seed tubers of susceptible to nematode potato variety	Запатентован способ предпосадочной низкотемпературной обработки клубней картофеля (патент № 2345515, 2009 г.). Семенные клубни сорта Невский после яровизации (проращивание стандартным способом на свету в течение 3 недель) подвергали ежедневно кратковременным (на 2 ч) снижениям температуры (с 23 до 5 °С) в течение 6 суток до посадки A method for pre-planting low-temperature treatment of potato tubers has been patented (patent No. 2345515, 2009). Seed tubers of the Nevsky variety after vernalization (germination in the standard way in the light for 3 weeks) were subjected to daily short-term (2 hours) decreases in temperature (from 23 to 5 °C) during 6 days before planting
4. Совместное применение лигносульфонатов натрия и кратковременной низкотемпературной обработки клубней до посадки картофеля 4. Combined use of sodium lignosulfonates and short-term low-temperature treatment of tubers before planting potatoes	Комбинированный способ регуляции численности КЦН – использование 10% р-ра ЛСН (см. вариант 2) и предпосадочной кратковременной низкотемпературной обработки клубней картофеля (см. вариант 3) A combined method for regulating the number of PCN is the use of a 10% SLS solution (see variant 2) and pre-planting short-term low-temperature treatment of potato tubers (see variant 3)

Результаты и обсуждение

Применение всех использованных способов регуляции численности картофельной цистообразующей нематоды очищало почву от КЦН: количество цист нематоды новой генерации снижалось в 1,5–4,6 раза по сравнению с контрольным участком картофельного поля (без применения каких-либо способов борьбы с нематодой). Наиболее эффективным способом можно считать выращивание нематодоустойчивого сорта, при этом численность КЦН достоверно снизилась (на 78 %) и в популяции нематоды увеличилась доля мелких цист (табл. 2).

Мелкие цисты содержат меньше яиц КЦН, и часто самки небольших размеров не могут закончить жизненный цикл (до формирования зрелых яиц с личинками 1-го возраста внутри). Это указывает на наличие неблагоприятных для развития паразитической нематоды условий, вследствие чего снижается инвазионный потенциал вредителя для успешного заражения растений в следующий вегетационный период. С другой стороны, и урожай нематодоустойчивого сорта картофеля был ниже, чем в вариантах с использованием восприимчивого к нематоды сорта картофеля: в среднем на куст приходилось 7 клубней картофеля против 12 клубней

Таблица 2. Характеристика локальной популяции (цист) КЦН и урожая картофеля после применения способов регуляции численности вредителя

Table 2. Description of the local PCN population (cysts) and potato yields after applying the methods of regulating the pest population

Вариант опыта Variant of experiment	Количество цист КЦН (цист /100 почвы) The number of PCN cysts per 100 g of soil		Доля мелких цист Share of small cysts, %	Количество клубней (шт./раст.) The number of tubers per plant		Доля крупных клубней Share of large tubers, %
	M ± SE (min-max)	SD		M ± SE (min-max)	SD	
1. Нематодоустойчивый сорт картофеля (с. Ред Леди) 1. Nematode-resistant potato variety (cv. Red Lady)	17 ± 7,9 ^a (4–37)	313,8	59	7 ± 1,47 ^a (2–11)	10,8	46
2. 10% р-р ЛСН до посадки клубней (с. Невский) 2. 10% SLS solution before planting of potatoes (cv. Nevsky)	40 ± 7,5 ^{ab} (26–67)	278,3	20	12 ± 1,11 ^b (8–14)	6,2	28
3. Низкотемпературная обработка клубней до посадки (с. Невский) 3. Low-temperature pre-planting treatment of seed potato tubers (cv. Nevsky)	53 ± 7,4 ^b (35–73)	271,8	60	12 ± 3,18 ^{ab} (5–23)	50,7	47
4. 10% р-р ЛСН + низкотемпературная обработка клубней до посадки (с. Невский) 4. 10% SLS solution + Low-temperature pre-planting treatment of seed potato tubers (cv. Nevsky)	37 ± 9,5 ^{ab} (22–73)	450,8	30	13 ± 3,62 ^{ab} (5–26)	65,7	35
Контроль – участок поля без обработок, осень 2019 г. Control – apart of the field without any treatment, Autumn 2019	78 ± 8,5 ^b (65–94)	217,3	26	-	-	-

Примечание. Значения с разными буквенными обозначениями внутри столбцов статистически значимо различаются при $p < 0,05$ (U-тест Манна – Уитни); M ± SE (среднее значение ± стандартная ошибка); SD – стандартное отклонение; n = 5; (-) – нет данных.

Note. Values with different letter designations within columns are statistically significantly different at $p < 0.05$ (Mann-Whitney U-test); M ± SE (mean ± standard error); SD – standard deviation; n = 5; (-) – no data.

в других вариантах опыта (табл. 2). Кроме того, клубни были сильно поражены проволочником и паршой обыкновенной по сравнению с другими вариантами. Известно, что нематодоустойчивые сорта при отражении атаки вредителя запускают реакцию сверхчувствительности в месте локализации личинок нематоды; последние, прежде чем погибнуть в результате некротизации клеток, вызывают определенное повреждение растений, что отражается в снижении урожая [Симаков и др., 2009а]. Нематодоустойчивые сорта в большинстве своем не приспособлены к агроклиматическим условиям севера и не всегда обладают полным набором хозяйственно-полезных признаков [Симаков и др., 2009б].

Лигносальфонаты натрия – побочный продукт переработки лигнина в процессе производства целлюлозы, применяемый в виде 10% раствора путем пролива почвы до посадки картофеля, также является эффективным способом борьбы с КЦН. По результатам Л. И. Груздевой с соавторами [2006], при

использовании ЛСН достигается снижение численности популяции картофельной нематоды в 2–4 раза и обеспечивается повышение продуктивности картофеля. В нашем исследовании количество цист новой генерации снизилось в 2 раза, но разброс значений зараженности нематодой отдельных растений не позволяет рассматривать тенденцию снижения числа цист статистически значимым эффектом. Доля мелких цист в популяции также остается на уровне контроля. В ряде исследований показано, что лигносульфонаты могут быть использованы в качестве «улучшителей» почв, оказывающих положительное влияние на физические, химические и биологические их характеристики за счет хелатирующих, буферных и катионообменных свойств [Rodríguez-Lucena et al., 2009; Ertani et al., 2011; Carrasco et al., 2012; Ta'negonbadi, Noorzad, 2017; Хабаров и др., 2019; Liu et al., 2019]. ЛСН содержат среди прочих органических соединений поли- и моносахариды, которые негативно влияют на находящиеся в почве цисты.

Возможный механизм воздействия ЛСН на фитопаразитическую нематоду основан на эффекте склеивания поверхности цист, а именно закупорки специального отверстия, через которое вылупившиеся из яиц личинки покидают цисту в поисках молодых корешков картофеля, т. е. происходит нарушение процесса вылупления, запускающего жизненный цикл нематоды при посадке картофеля в почву.

Использование семенных клубней восприимчивого к нематоды сорта картофеля, подверженных предпосадочной низкотемпературной обработке, имело следствием менее выраженное снижение количества цист (на 37 %), но значительное увеличение доли мелких цист (до 60 %) в популяции. Низкотемпературная обработка клубней положительно сказалась на урожае картофеля: доля крупных клубней была самой высокой среди всех вариантов (табл. 2). Такая предпосадочная подготовка позволяет повысить устойчивость картофеля к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам: в частности, повышается устойчивость к заражению картофельной цистообразующей нематодой и холодоустойчивость растений картофеля, что сказывается на увеличении урожайности культуры до 50 % на инфицированных КЦН почвах [Сысоева и др., 2009]. Кроме того, установлено, что предпосадочная низкотемпературная обработка семенных клубней приводила к улучшению качества урожая (высокий уровень содержания крахмала и витамина С в клубнях) по сравнению с необработанными клубнями [Лаврова, Матвеева, 2014].

Сочетание использования ЛСН и предпосадочной низкотемпературной обработки клубней несколько усиливало действие применяемых

в отдельности лигносульфонатов. Растения, выращенные из обработанных низкой температурой клубней, показали гетерогенность выборки по устойчивости к поражению КЦН, на что указывает увеличение разброса значений как по количеству цист новой генерации, развившихся на корнях растений, так и по урожайности картофеля (табл. 2). Этот факт создает предпосылки для возможности отбора более устойчивых к заражению растений восприимчивого к нематоды сорта Невский для использования в системе интегрированного метода борьбы с КЦН. Этот сорт – один из лучших сортов отечественной селекции; он не теряет популярности среди населения из-за непревзойденного сочетания положительных свойств: у него высокие вкусовые качества, высокая урожайность и отличная устойчивость к болезням.

Определение инфицированности почвы на контрольном и опытном участках картофельного поля в конце вегетационного периода (осень 2019 г.) показало снижение количества цист КЦН более чем в 2 раза и ухудшение состояния популяции фитопаразитической нематоды после применения изученных способов регуляции ее численности (табл. 3).

В последующие годы наблюдалась тенденция снижения зараженности почвы нематодой на всей площади поля, но на опытном участке очищение почвы от вредителя произошло быстрее. Такой пролонгированный эффект способов борьбы с картофельной цистообразующей нематодой можно объяснить влиянием содержания почвы под черным паром на заселенность вредителем, уникальными свойствами шунгитовых почв о. Кизи и последствиями нарушения жизненного цикла фитопаразитической нематоды.

Таблица 3. Уровень зараженности почвы цистами КЦН после применения способов регуляции численности вредителя

Table 3. The level of soil infection with PCN cysts after using methods of pest control

Сроки обследования почвы The terms (years) of soil survey for PCN cysts	Опытная часть поля Experimental part of the field		Контрольная часть поля Control part of the field	
	Уровень зараженности почвы (цист / 100 г почвы) Level of soil infection (cysts per 100 g of soil)	Доля мелких цист в популяции Share of small cysts (%)	Уровень зараженности почвы (цист / 100 г почвы) Level of soil infection (cysts per 100 g of soil)	Доля мелких цист в популяции Share of small cysts (%)
осень 2019 г. autumn 2019	37 ± 7,8	42	78 ± 8,5	26
2020 г.	26 ± 5,5	43	51 ± 7,4	30
2024 г.	5 ± 1,9	80	14 ± 4,8	59

Заключение

Все апробированные способы регуляции численности картофельной цистообразующей нематоды показали эффективность в очищении почвы от цист КЦН, но в различной степени. Наиболее эффективным является возделывание нематоустойчивых сортов картофеля. Его необходимо применять на начальной стадии борьбы с КЦН, чтобы быстро снизить численность нематоды в почве. В дальнейшем (на следующий год) можно задействовать другие агротехнические мероприятия: вносить в почву лигносульфонаты натрия или применять способ предпосадочной низкотемпературной обработки семенных клубней. Возможность использования лигносульфонатов в качестве «улучшителей» почв несет двойную выгоду: улучшаются почвенные свойства, а следовательно, условия для роста и развития растений и регулируется популяция вредителя картофеля. Следует отметить, что использование ЛСН в сельскохозяйственном производстве частично решает вопрос их утилизации.

Комбинирование способов регуляции численности КЦН (ЛСН и низкотемпературная обработка клубней перед посадкой) основано на различном механизме их воздействия на личинок нематоды в ходе прохождения стадий жизненного цикла. ЛСН вызывают нарушение процесса вылупления личинок, запускающего жизненный цикл нематоды, а низкотемпературная обработка является, по сути, технологией подготовки семенного материала к посадке, позволяющей повысить неспецифическую устойчивость картофеля к неблагоприятным условиям среды, что приводит к увеличению урожайности картофеля. Тем самым обеспечивается сохранение пищевой и биологической ценности картофеля для человека при возделывании культуры на инфицированных КЦН почвах.

Авторы искренне благодарят Р. С. Мартынова и коллектив сотрудников отдела сохранения природного наследия музея-заповедника «Кижы» за помощь в организации полевых исследований.

Литература

Ахметова Г. В. Почвенный экологический мониторинг на территории музея-заповедника «Кижы» // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. XXIX, № 2. С. 80–98. doi: 10.21513/0207-2564-2018-2-80-98

Груздева Л. И., Богданова А. П. Способ борьбы с картофельной нематодой. Патент России № 2054868. 1996 г.

Груздева Л. И., Матвеева Е. М. Расширение ареала картофельной цистообразующей нематоды на Северо-Западе России // Труды Центра паразитологии. Т. XLVI: Биоразнообразие и экология паразитов. М.: Наука, 2010. С. 71–80.

Груздева Л. И., Матвеева Е. М., Коваленко Т. Е. Нематодцидное средство против картофельной цистообразующей нематоды. Патент России № 2268591. 2006 г.

Груздева Л. И., Матвеева Е. М., Коваленко Т. Е., Лай Г. Н. О регуляции численности картофельной нематоды в агроценозах Карелии // Вестник РАСХН. 1999. № 2. С. 41–44.

Груздева Л. И., Матвеева Е. М., Коваленко Т. Е., Суцук А. А. Нематоды как индикаторы состояния и степени изменений почвенной экосистемы в условиях Северо-Запада России // Успехи современной биологии. 2010. Т. 130, № 1. С. 100–112.

Инструкция по выявлению золотистой и бледной картофельных нематод и мерам борьбы с ними / Гос. агропром. ком. СССР. М.: Агропромиздат, 1988. 35 с.

Лаврова В. В., Матвеева Е. М. Влияние предпосевной обработки клубней картофеля ежедневными кратковременными снижениями температуры на продуктивность и качество урожая при заражении облигатным паразитом // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 1. С. 98–102.

Лаврова В. В., Матвеева Е. М., Зиновьева С. В. Экспрессия R-генов при генетической и индуцированной устойчивости картофеля к цистообразующей нематоде *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464, № 2. С. 231–233.

Лаврова В. В., Матвеева Е. М., Зиновьева С. В. Экспрессия генов защитных белков картофеля при инвазии цистообразующей нематодой *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 и модуляция их активности при кратковременном воздействии низких температур // Известия РАН. Сер. биол. 2017. № 2. С. 97–106.

Матвеева Е. М. Диагностика цистообразующих нематод рода *Globodera* (Nematoda: Tylenchida) // Паразитические нематоды растений и насекомых. М.: Наука, 2004. С. 119–136.

Матвеева Е. М., Груздева Л. И. Влияние коры хвойных деревьев на процесс вылупления личинок картофельной нематоды // Вестник РАСХН. 1999. № 3. С. 34–36.

Потахин С. Б. Ландшафтная структура острова Кижы (Карелия) // Бюллетень экологических исследований за 2005 г. / Сост. Мартынов Р. С., Протасов Ю. Г. Музей-заповедник «Кижы». Петрозаводск, 2006. URL: <https://kizhi.karelia.ru/library/byulleten-ekologicheskikh-issledovanij-na-territorii-muzeya-zapovednika-kizhi-kar-1/616.html> (дата обращения: 02.10.2024).

Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / Ред. Ю. Ю. Дгебуадзе, В. Г. Петросян, Л. А. Хляп. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2018. 688 с. URL: <http://www.sevin.ru/top100worst/monograph.html> (дата обращения: 02.10.2024).

Симаков Е. А., Яковлева В. А., Абросимова С. Б., Дьяченко А. А., Бирюкова В. А. Как оценивать

устойчивость картофеля к *Globodera rostochiensis*? // Защита и карантин растений. 2009а. Т. 1. С. 28–29.

Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Склярова Н. П., Яшина И. М., Еланский С. Н. Сорты картофеля, возделываемые в России: ежегодное справочное издание. М.: Агроспас, 2009б. 92 с.

Сысоева М. И., Матвеева Е. М., Шерудило Е. Г., Марковская Е. Ф. Способ предпосадочной обработки клубней семенного картофеля. Патент России № 2345515. 2009 г.

Сысоева М. И., Лаврова В. В., Марковская Е. Ф., Матвеева Е. М., Шерудило Е. Г., Топчиева Л. В. Кросс-адаптация растений картофеля к действию низких температур и заражению картофельной цистообразующей нематодой // Физиология растений. 2011. Т. 58, № 6. С. 853–858.

Тихонова Л. В., Марьяновская М. В., Масюк Ю. А., Яшина И. М. Биозоологический метод борьбы с глободерозом картофеля – эффективное звено интегрированной защиты растений // Аграрная Россия. 1999. № 3(4). С. 22–28.

Хабаров Ю. Г., Вешняков В. А., Кузяков Н. Ю. Получение и применение комплексов лигносульфоновых кислот с катионами железа // Изв. вузов. Лесной журнал. 2019. № 5. С. 167–187. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.167

Шамонин М. Г. Организация мероприятий по выявлению картофельной нематоды и борьбе с ней в СССР // Борьба с картофельной нематодой: Мат-лы симп. Тарту, 1973. С. 3–5.

Carrasco J., Kovács K., Czech V., Fodor F., Lucena J. J., Vértés A., Hernández-Apaolaza L. Influence of pH, iron source, and Fe/ligand ratio on iron speciation in lignosulfonate complex esstudied using Mössbauer spectroscopy. Implications on their fertilizer properties // J. Agric. Food Chem. 2012. Vol. 60. P. 3331–3340.

Ertani A., Francioso O., Tugnoli V., Righi V., Nardi S. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism // J. Agric. Food Chem. 2011. Vol. 59. P. 11940–11948.

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontol. Electron. 2001. Vol. 4(1). P. 1–9.

Liu Q., Deng Y., Tang J., Chen D., Li X., Lin Q., Yin G., Zhang M., Hu H. Potassium lignosulfonate as a washing agent for remediating lead and copper co-contaminated soils // Sci. Total Environ. 2019. Vol. 658. P. 836–842.

Matveeva E. M., Gruzdeva L. I., Kovalenko T. E. Potato cyst nematode control by wastes of logging and wood industry // The alternative control methods against plant pests and diseases: Proceedings of 2nd Intern. conf. Lille, France, 2002. P. 162–169.

Matveeva E. M., Gruzdeva L. I., Sysoeva M. I., Sherrudilo E. G. Management practices for potato cyst nematode in the north-west of Russia // Asp. Appl. Biol. 2010. Vol. 103. P. 67–72.

Rodríguez-Lucena P., Tomasi N., Pinton R., Hernández-Apaolaza L., Lucena J. J., Cesco S. Evaluation of 59 Fe-lignosulfonate complexes as Fe sources for plants // Plant Soil. 2009. Vol. 325. P. 53–63.

Seiml-Buchinger V. V., Matveeva E. M. Expression and functional characteristics of genes in the *Globodera rostochiensis* Woll. potato cyst nematode at different

stages of its life cycle // Biol. Bull. 2019. Vol. 46, no. 3. P. 225–233. doi: 10.1134/S1062359019030142

Ta'negonbadi B., Noorzad R. Stabilization of clayey soil using lignosulfonate // Transp. Geotech. 2017. Vol. 12. P. 45–55. doi: 10.1016/j.trgeo.2017.08.004

References

Akhmetova G. V. Ecological monitoring of soils in the “Kizhi” Museum-Reserve. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem = Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*. 2018;29(2):80–98. (In Russ.). doi: 10.21513/0207-2564-2018-2-80-98

Carrasco J., Kovács K., Czech V., Fodor F., Lucena J. J., Vértés A., Hernández-Apaolaza L. Influence of pH, iron source, and Fe/ligand ratio on iron speciation in lignosulfonate complexes studied using Mössbauer spectroscopy. Implications on their fertilizer properties. *J. Agric. Food Chem.* 2012;60:3331–3340.

Dgebuadze Yu. Yu., Petrosyan V. G., Khlyap L. A. (eds.). The most dangerous invasive species in Russia (TOP-100). Moscow: KMK; 2018. 688 p. (In Russ.). URL: <http://www.sevin.ru/top100worst/monograph.html> (accessed: 02.10.2024).

Ertani A., Francioso O., Tugnoli V., Righi V., Nardi S. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism. *J. Agric. Food Chem.* 2011;59: 11940–11948.

Gruzdeva L. I., Bogdanova A. P. A method of combating potato nematode. Russian patent No. 2054868. 1996. (In Russ.)

Gruzdeva L. I., Matveeva E. M. Expansion of the range of potato cyst nematode in the North-West of Russia. *Trudy Tsentra parazitologii. T. XLVI: Bio-raznoobrazie i ekologiya parazitov = Proceedings of the Centre of Parasitology. Vol. XLVI: Biodiversity and Ecology of Parasites*. Moscow: Nauka, 2010. P. 71–80. (In Russ.)

Gruzdeva L. I., Matveeva E. M., Kovalenko T. E. Nematicidal agent against potato cyst-forming nematode. Russian patent No. 2268591. 2006. (In Russ.)

Gruzdeva L. I., Matveeva E. M., Kovalenko T. E., Lai G. N. On the regulation of abundance of potato nematode in agrocenoses of Karelia. *Vestnik RASKhN = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1999;2:41–44. (In Russ.)

Gruzdeva L. I., Matveeva E. M., Kovalenko T. E., Sushchuk A. A. Nematodes as indicators of the state and changes of soil ecosystem in the conditions of north-western Russia. *Uspekhi sovremennoi biologii = Advances in Current Biology*. 2010;130(1):100–112. (In Russ.)

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 2001;4(1):1–9.

Instruction for detecting golden and pale potato nematodes and methods for their control. Moscow: Agropromizdat, 1988. 35 p. (In Russ.)

Khbarov Yu. G., Veshnyakov V. A., Kuzyakov N. Yu. Preparation and application of complexes of lignosulfonic acids with iron cations. *Lesnoi zhurnal = Forestry Journal*. 2019. No. 5. P. 167–187. (In Russ.). doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.167

Lavrova V. V., Matveeva E. M. Pre-sowing treatment of potato tubers with low temperature to suppress *Globodera rostochiensis* invasion. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2014;(1):98–102. (In Russ.)

Lavrova V. V., Matveeva E. M., Zinov'eva S. V. The expression of R-genes in genetic and induced resistance of potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975. *Doklady Akademii nauk = Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2015;464(2):231–233. (In Russ.)

Lavrova V. V., Matveeva E. M., Zinov'eva S. V. Expression genes, encoded defense proteins, in potato plants infected with the cyst-forming nematode *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 and modulation of their activity during short-term exposure to low temperatures. *Izvestiya RAN. Ser. biol. = Biology Bulletin*. 2017;2:97–106. (In Russ.)

Liu Q., Deng Y., Tang J., Chen D., Li X., Lin Q., Yin G., Zhang M., Hu H. Potassium lignosulfonate as a washing agent for remediating lead and copper co-contaminated soils. *Sci. Total Environ*. 2019;658:836–842.

Matveeva E. M. Diagnosis of cyst-forming nematodes of the genus *Globodera* (Nematoda: Tylenchida). *Paraziticheskie nematody rastenii i nasekomykh = Parasitic nematodes of plants and insects*. Moscow: Nauka; 2004. P. 119–136. (In Russ.)

Matveeva E. M., Gruzdeva L. I. Influence of coniferous tree bark on the hatching process of potato nematode larvae. *Vestnik RASKhN = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1999;3:34–36. (In Russ.)

Matveeva E. M., Gruzdeva L. I., Kovalenko T. E. Potatocystnematode control by wastes of logging and wood industry. *The alternative control methods against plant pests and diseases: Proceedings of 2nd Int. conf. Lille*; 2002. P. 162–169.

Matveeva E. M., Gruzdeva L. I., Sysoeva M. I., Sherudilo E. G. Management practices for potato cyst nematode in the north-west of Russia. *Asp. Appl. Biol*. 2010;103:67–72.

Potakhin S. B. Landscape structure of Kizhi Island (Karelia). *Byulleten' ekologicheskikh issledovaniy za 2005 g. Muzei-zapovednik «Kizhi» = Bulletin of Environmental Research for 2005. Kizhi Museum-Reserve*. Petrozavodsk; 2006. (In Russ.). URL: <https://kizhi.karelia.ru>

lia.ru/library/byulleten-ekologicheskikh-issledovaniy-na-territorii-muzeya-zapovednika-kizhi-kar-1/616.html (accessed: 02.10.2024).

Rodríguez-Lucena P., Tomasi N., Pinton R., Hernández-Apaolaza L., Lucena J. J., Cesco S. Evaluation of 59 Fe-lignosulfonate complexes as Fe sources for plants. *Plant Soil*. 2009;325:53–63.

Seiml-Buchinger V. V., Matveeva E. M. Expression and functional characteristics of genes in the *Globodera rostochiensis* Woll. potato cyst nematode at different stages of its life cycle. *Biol. Bull*. 2019;46(3):225–233. doi: 10.1134/S1062359019030142

Shamonin M. G. Organization of measures to detect potato nematode and control it in the USSR. *Bor'ba s kartofel'noi nematodoi: Mat-ly simp. = Control of potato nematode. Proceedings of the symposium*. Tartu; 1973. P. 3–5. (In Russ.)

Simakov E. A., Yakovleva V. A., Abrosimova S. B., D'yachenko A. A., Biryukova V. A. How to assess potato resistance to *Globodera rostochiensis*? *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*. 2009;1:28–29 (In Russ.)

Simakov E. A., Anisimov B. V., Sklyarova N. P., Yashina I. M., Elanskii S. N. Potato varieties cultivated in Russia: annual reference publication. Moscow: Agrosplas; 2009. 92 p. (In Russ.)

Sysoeva M. I., Matveeva E. M., Sherudilo E. G., Markovskaya E. F. Method of pre-planting treatment of seed potato tubers. Russian patent No. 2345515. 2009. (In Russ.)

Sysoeva M. I., Lavrova V. V., Markovskaya E. F., Matveeva E. M., Sherudilo E. G., Topchieva L. V. Cross-adaptation of potato plants to the action of low temperatures and infection with potato cyst nematode. *Fiziologiya rastenii = Russian Journal of Plant Physiology*. 2011;58(6):853–858. (In Russ.)

Ta'negonbadi B., Noorzad R. Stabilization of clayey soil using lignosulfonate. *Transp. Geotech*. 2017;12: 45–55. doi: 10.1016/j.trgeo.2017.08.004

Tikhonova L. V., Mar'yanovskaya M. V., Masyuk Yu. A., Yashina I. M. Bioecological method of combating potatogloboderose – an effective linking in-tegrated plant protection. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 1999;3(4):22–28. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 21.10.2024; принята к публикации / accepted: 29.10.2024.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Матвеева Елизавета Михайловна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: matveeva@krc.karelia.ru

Калинкина Дарья Сергеевна

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: kalinkinads@gmail.com

Сушук Анна Алексеевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: anna_sushchuk@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Matveeva, Elizaveta

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Kalinkina, Dar'ya

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Sushchuk, Anna

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher