

УДК 631.467.2:635.21

СООБЩЕСТВА ПОЧВООБИТАЮЩИХ НЕМАТОД НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ АГРОЦЕНОЗА С МОНОКУЛЬТУРОЙ КАРТОФЕЛЯ

Е. М. Матвеева, А. А. Суцук, Д. С. Калинкина, В. В. Лаврова

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

Изучено влияние культивирования картофеля на сообщества почвенных нематод в условиях лабораторного эксперимента (начальный этап формирования агроценоза) и на основе полевых данных (долгосрочное культивирование). В качестве контроля рассмотрены естественные луга (окрестности г. Петрозаводска, Республика Карелия). Показана перестройка структуры сообществ нематод в почвах агроценозов по сравнению с лугами: увеличение обилия бактериотрофов в ходе краткосрочных наблюдений, уменьшение доли нематод-политрофов, хищников (*K*-стратеги) и нематод, ассоциированных с растениями, в сообществе при долгосрочном функционировании агроценоза. Выявлено снижение значений индекса зрелости сообществ нематод ΣMI и индекса структурирования *SI* во всех вариантах исследования; увеличение индекса обогащения *EI* в полевых образцах. Показана эффективность использования в нематологических исследованиях понятия «метаболический отпечаток», характеризующего величину потоков углерода в почвенных трофических сетях, для оценки вклада сообществ нематод в экосистемные функции агроценозов и луговых биоценозов.

Ключевые слова: почвенные нематоды; паразиты растений; структура сообществ; монокультура; эксперимент; полевые исследования.

E. M. Matveeva, A. A. Sushchuk, D. S. Kalinkina, V. V. Lavrova. SOIL NEMATODE COMMUNITIES AT THE INITIAL STAGE OF AGROCENOSIS FORMATION AND IN LONG CULTIVATED POTATO FIELDS

Soil nematode communities influenced by potato cultivation were studied in a laboratory experiment (initial stages of agrocenosis formation) and on the basis of field data (long-term crop cultivation). Natural meadows located nearby Petrozavodsk (Republic of Karelia) were taken for reference. The soil nematode community structure in the agrocenoses has changed as compared with meadows. The number of bacterial feeders increased in the short-term observation, the contribution of *K*-strategist omnivores and predators to the nematode community, and the abundance of nematodes associated with plants decreased under long-term potato cultivation. In all the trials (experimental and field data) the values of the Maturity index and Structure index decreased. In contrast, the Enrichment index of the soil food web increased in field samples. The analysis of nematode metabolic footprints characterizing the magnitudes of carbon flow in the soil food webs is suggested as an effective tool in nematology investigations for the assessment of nematode contributions to ecosystem functions of agrocenoses and meadows.

Key words: soil nematodes; plant parasites; community structure; monoculture; experiment; field studies.

Введение

Сельскохозяйственная деятельность человека вносит значительные изменения в биоценозы. Возделываемые человеком земли сельскохозяйственного назначения, как правило, характеризуются наличием одной или нескольких выращиваемых культур, дополнительным внесением в почву питательных веществ (различные виды удобрений) и утратой основного свойства природных экосистем – устойчивости. Такие изменения не могут не сказаться на фауне почвенных организмов. Почвенные нематоды вследствие довольно высокой численности, большого видового разнообразия и широких экологических предпочтений позволяют проследить воздействие антропогенного фактора на структуру и функционирование почвенной экосистемы в целом.

В мировом масштабе исследования сообществ почвенных нематод в агроценозах ведутся в большей степени с прикладных позиций для выявления плотности популяций фитопаразитов в разных типах почв, тестирования эффективности различных видов сельскохозяйственных обработок и методов контроля их численности [Kimpinski et al., 2003; Collins et al., 2006]. Например, эффективность использования растений семейства Brassicaceae для биофумигации почв картофельных полей с различным уровнем заражения картофельной цистообразующей нематодой *Globodera rostochiensis* была оценена на основе плотности популяций паразита и структуры сообществ почвенных нематод в работе бельгийских авторов [Valdes et al., 2012]. Научные публикации по данной теме многочисленны, особенно в Европе, где находятся ведущие мировые научно-исследовательские центры по изучению нематод – паразитов растений. Кроме того, особенности нематодофауны агроэкосистем рассматриваются в зависимости от интенсивности сельскохозяйственной нагрузки [Freckman, Etema, 1993], вида выращиваемого сельскохозяйственного растения, например, сопоставление пропашных и многолетних культур [Neher, Campbell, 1994; Yeates et al., 1999], выполняется сравнение с естественными малонарушенными биоценозами [Hanel, 2003; Briar et al., 2007]. В частности, данные об изменениях структуры сообществ нематод при культивировании картофеля как одной из наиболее распространенных культур в агроценозах имеются в зарубежных

публикациях [Wasilewska, 1989; Hanel, 1994; Liang et al., 1999; Matute et al., 2013] и работах авторов статьи [Груздева, Суцук, 2008; Груздева, Матвеева, 2010; Матвеева и др., 2015].

Важный аспект влияния трансформации почвенных экосистем на педобионтов, в том числе при сельскохозяйственном использовании, касается экосистемных услуг почв, а именно группы поддерживающих услуг (почвообразование, фотосинтез, круговорот веществ и др.), необходимых для существования самой экосистемы и обеспечивающих выполнение ею других функций. Снижение уровня экосистемных услуг трансформированных почв, вызванное ухудшением их состояния, может быть диагностировано с использованием нового в нематологии понятия – метаболического отпечатка нематод (nematode metabolic footprint, NMF) [Ferris, 2010]. Дополняя разработанные ранее эколого-популяционные индексы, метаболические отпечатки обеспечивают информацию о биомассе нематод, метаболической активности и величине потоков углерода (C) и энергии в почвенных трофических сетях, что представляет собой эффективный метод мониторинга доступных ресурсов и является мерой вклада нематод в экосистемные услуги и функции почв. Тема влияния различных факторов среды на величину метаболических отпечатков нематод стала активно разрабатываться зарубежными исследователями только в последние годы [Ferris et al., 2012; Zhang et al., 2012, 2015; Hodson et al., 2014; Gutierrez et al., 2016; Kergunteuil et al., 2016]. В России к настоящему времени накоплен обширный фактический материал по эколого-популяционным индексам сообществ нематод естественных и трансформированных биоценозов [Матвеева и др., 2008, 2015; Суцук, Груздева, 2011; Матвеева, Суцук, 2016], в то же время исследования по графическому выражению метаболической активности нематод до сих пор не проводились.

Для условий Европейского Севера России имеются ограниченные сведения об изменениях фауны нематод луговых почв под влиянием распахивания и дальнейшего выращивания картофеля на начальных этапах формирования агроценоза и в срезе длительных временных периодов. В связи с этим сформулированы цели настоящего исследования: 1) выявление и сравнение кратко- и долгосрочных изменений, происходящих в сообществах почвенных

нематод агроценозов, сформированных из луговых биоценозов, в том числе с использованием новых методов анализа нематологических данных; 2) оценка роли сельскохозяйственной деятельности в формировании сообществ почвенных нематод.

Материалы и методы

Исследования сообществ почвенных нематод на начальном этапе формирования агроценоза с культурой картофеля проводились в условиях лабораторного эксперимента, тогда как влияние длительного функционирования агроценоза оценено на основе полевых данных.

Лабораторный эксперимент по изучению сообществ почвенных нематод на начальном этапе формирования агроценоза

Для изучения фауны нематод на начальном этапе формирования агроценоза проведен лабораторный эксперимент с применением камер искусственного климата. Контейнеры (40×17×15 см) заполняли почвой, отобранной в луговом биоценозе, расположенном на Агробиологической станции (АБС) ИБ КарНЦ РАН (61°45'08.79" с. ш., 34°20'47.02" в. д.). Тип почвы – дерново-среднеподзолисто-глееватая супесчаная на водно-ледниковых суглинистых отложениях, pH = 4,8; C_{орг} = 3,48 %; N_{общ} = 0,10 %. Перед проведением эксперимента в почву добавляли комплексное органоминеральное (ОМУ) гранулированное удобрение «Картофельное» и дренаж. Мини-клубни картофеля *Solanum tuberosum* (сорт Невский), полученные на базе Санкт-Петербургского аграрного университета, проращивали стандартным способом на свету и высаживали в контейнеры (по 3 клубня массой 30 ± 5 г на один контейнер, 8-кратная повторность). Далее растения выращивали в камере искусственного климата при температуре 23 °С, фотопериоде (день/ночь) 16/8 ч и освещенности 10 клк в течение 2 месяцев. Отбор образцов почвы проводился на начальном этапе постановки эксперимента – май (исходная фауна в почве, изъятая из лугового биоценоза) и по мере развития растений – июнь (25-е сутки после посадки) и июль (43-и сутки после посадки).

Полевые исследования сообществ почвенных нематод при долгосрочном функционировании агроценоза

Для изучения фауны нематод в условиях долгосрочного культивирования картофе-

ля в период 2013–2015 гг. выполнены полевые исследования в агроценозах с известной (АБС ИБ КарНЦ РАН, 61°45'02.96" с. ш., 34°20'55.42" в. д.) и неустановленной (окрестности г. Петрозаводска; 61°49'23.82" с. ш., 34°15'41.84" в. д.) историей землепользования. На опытном участке АБС почва агродерново-подзолистая легкосуглинистая, сформировавшаяся на легкосуглинистой сильно завалуненной морене (pH = 5,3; C_{орг} = 2,83 %; N_{общ} = 0,35 %); длительность культивирования картофеля – более 30 лет. Картофельное поле в окрестностях г. Петрозаводска имело следующие характеристики почвы: тип – агродерново-подзолистая тяжелосуглинистая, pH = 5,1; C_{орг} = 5,1 %; N_{общ} = 0,33 %.

Для сравнения использованы луговые биоценозы на территориях, прилегающих к картофельным полям. Луг на АБС (61°45'08.79" с. ш., 34°20'47.02" в. д.): почва дерново-среднеподзолисто-глееватая супесчаная, pH = 4,8; C_{орг} = 3,48 %; N_{общ} = 0,10 %; травяной покров сформирован ежой сборной *Dactylis glomerata* L., лисохвостом луговым *Alopecurus pratensis* L., плевелом многолетним (райграсом пастбищным) *Lolium perenne* L., мятликом луговым *Poa pratensis* L., люпином многолистным *Lupinus polyphyllus* Lindl., одуванчиком лекарственным *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. Луг, прилегающий к картофельному полю в окрестностях Петрозаводска (61°49'23.68" с. ш., 34°15'47.60" в. д.): почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, pH = 4,4; C_{орг} = 4,1 %; N_{общ} = 0,22 %; травяной покров представлен купырем лесным *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., видами сем. Poaceae, одуванчиком лекарственным *Taraxacum officinale*, иван-чаем узколистным *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., крапивой двудомной *Urtica dioica* L., лопухом войлочным *Arctium tomentosum* Mill.

Отбор образцов почвы проводился с использованием почвенного бура на глубину 0–15 см в 9 повторностях. Выделение, фиксацию и идентификацию нематод как в ходе лабораторного эксперимента, так и при полевых исследованиях выполняли по единым методикам. Нематод из почвы выделяли по модифицированному методу Бермана с экспозицией 48 ч, фиксация – ТАФом (триэтаноламин : формалин : вода в соотношении 2:7:91) [van Bezooijen, 2006]. Идентификацию нематод осуществляли на временных глицериновых препаратах. Эколого-трофическое группирование нематод было проведено на основе классификации Йейтса [Yeates et al., 1993a, b], адаптированной на русский язык авторами статьи с выделением шести трофических групп: бактериотрофы

(Б), микотрофы (М), политрофы (П), хищники (Х), нематоды, ассоциированные с растениями (Асп) и паразиты растений (Пр).

Для оценки состояния сообществ нематод использованы следующие параметры: таксономическое разнообразие (количество родов), индекс Шеннона H' , плотность популяций (численность) нематод (кол-во экз. / 100 г сырой почвы), эколого-трофическая структура. Также были проанализированы индекс зрелости сообществ нематод (ΣMI) [Bongers, 1990] и эколого-популяционные индексы, характеризующие почвенную трофическую сеть (индексы структурирования (Structure index, SI) и обогащения (Enrichment index, EI) почвенной трофической сети, индекс преобладающего пути разложения органического вещества в почве (Channel index, CI)) [Ferris et al., 2001]. Расчет и интерпретация экологических индексов детально рассмотрены в статьях авторов [Груздева и др., 2007; Матвеева, Сузук, 2016].

Для оценки вклада сообществ почвенных нематод в экосистемные услуги и функции применено понятие «метаболический отпечаток» нематод (NMF), основанный на количестве углерода, расходуемом на образование биологической продукции (рост нематоды и формирование яиц в течение всей жизни особи), и его затратах на дыхание (углерод, используемый в метаболической активности). NMF состоит из двух компонентов: отпечатка обогащения (enrichment footprint, EF) и структурирования (structure footprint, SF), которые дают информацию о метаболической активности и величине потоков углерода и энергии на низких и высоких трофических уровнях соответственно [Ferris, 2010]. При расчете отпечатка обогащения EF большее внимание уделяется утилизации углерода нематодами-оппортунистами, такими как r -стратеги низких трофических уровней. Отпечаток структурирования SF отражает метаболическую активность нематод высоких трофических уровней, т. е. нематод, выполняющих регуляторную функцию в почвенных трофических сетях и косвенно являющихся индикаторами численности других педобионтов со сходными функциями [Ferris и др., 2012]. Расчеты и графическое представление отпечатков (значений NMF) выполнены с использованием программы NINJA: Nematode Indicator Joint Analysis (<https://sieriebriennikov.shinyapps.io/ninja/>) [Sieriebriennikov et al., 2014].

Статистическая обработка данных проведена с использованием H -критерия Краскела – Уоллиса для малого числа повторностей. Различия между группами считали достоверными при $p \leq 0,05$. Числовые данные представлены

в форме $M \pm SE$ (среднее значение \pm стандартная ошибка среднего). Расчеты выполнены при помощи программы PAST 1.68. [Hammer et al., 2001].

Аналитическая обработка почвенных проб проведена по общепринятым методикам [Аринушкина, 1970] на оборудовании ЦКП Аналитическая лаборатория ИЛ КарНЦ РАН и частично в лаборатории экологии и географии почв ИБ КарНЦ РАН. Для выполнения исследования почвенных нематод использовано оборудование (микроскоп Olympus серии CX41) ЦКП ИБ КарНЦ РАН «Комплексные фундаментальные и прикладные исследования особенностей функционирования живых систем в условиях Севера».

Результаты и обсуждение

Краткосрочные изменения фауны и структуры сообществ почвенных нематод на начальном этапе формирования агроценоза с культурой картофеля

Результаты лабораторного эксперимента показали, что под влиянием культивирования картофеля происходит повышение численности нематод в первый месяц опыта (июнь) и дальнейшее снижение до уровня, отмеченного в исходной луговой почве. Таксономическое разнообразие (как среднее число родов, так и индекс биоразнообразия Шеннона H') демонстрирует устойчивое снижение в ходе эксперимента. Эколого-трофическая структура сообществ нематод также претерпевает изменения в посадках картофеля: возрастает обилие бактериотрофов, а доля микотрофов, нематод, ассоциированных с растениями, и паразитов растений снижается. Процентный вклад хищников и политрофов в структуру сообщества существенно не меняется (табл. 1).

Значения эколого-популяционных индексов в условиях культивирования картофеля либо уменьшались в ходе эксперимента (SI , EI), либо варьировали незначительно (CI) (табл. 1). Соотношение индексов, рассчитанных для фауны нематод исходного луга, позволяет оценить местообитание как стабильное со сложными многокомпонентными трофическими сетями (значение SI выше 50) и значительным количеством доступной органики в почве (значение EI выше 50). Низкие значения индексов SI и EI , полученные при выращивании картофеля, свидетельствуют об упрощении и нестабильности трофической сети, что в нашем случае может быть связано с изъятием дернины из лугового биоценоза и механическим перемешиванием почвы. Индекс преобладающего пути разложения

органического вещества *CI* показал, что де-струкция идет с преимущественным участием бактерий (табл. 1).

Выращивание культуры картофеля оказа-ло влияние на динамику численности доми-нирующих таксонов нематод, определивших колебания общей численности по срокам на-блюдений. Так, для популяций нематод-бак-териотрофов значительное увеличение коли-чества особей отмечено для родов *Acrobeloides* и *Mesorhabditis* на первом этапе, затем наблю-далось снижение их плотности. После двух ме-сяцев эксперимента нематоды р. *Mesorhabditis* имели численность на уровне исходной в лу-говой почве (рис. 1). Известно, что бактерио-трофы с *s-p* значением 1 (нематоды-колониза-торы) быстро увеличивают свою численность сразу после резких изменений или нарушений среды обитания (загрязнение почв, внесение удобрений, вспашка и т. д.), а затем замеща-ются нематодами со значением 2 по *s-p*-шка-ле, которые обычно преобладают в сообщест-вах, формируя базальную трофическую сеть, и за счет широкой экологической пластичнос-ти являются стабильным компонентом почв агроценозов [Ferris et al., 2001]. В нашем экс-перименте это нематоды рода *Acrobeloides*, сохраняющие высокую численность до кон-ца эксперимента.

Качественные перестройки были отмечены в комплексе нематод-фитопаразитов: плот-ность нематод р. *Paratylenchus* уменьшилась в ходе опыта, а р. *Pratylenchus* – поддержива-лась на уровне контроля с достоверным уве-личением в июне (рис. 1). Это позволяет пред-положить, что начальные этапы становления агроценоза, а именно распаивание исходной

Таблица 1. Характеристика сообществ почвенных нематод лугового биоценоза и агроценоза на первых этапах его функционирования (данные лабораторно-го эксперимента)

Показатель	Исходная фауна, луг	Начало культивирования картофеля	
	май	июнь	июль
Численность, экз./100 г почвы	1708 ± 321 ^a	2950 ± 308 ^b	1878 ± 293 ^a
Среднее число родов	37 ± 1,0 ^a	28 ± 1,5 ^b	24 ± 2,3 ^b
<i>H'</i>	4,3 ± 0,1 ^a	3,3 ± 0,1 ^b	3,2 ± 0,2 ^b
Эколого-трофические группы, %			
Б	35,4 ± 1,8 ^a	63,9 ± 2,5 ^b	68,6 ± 2,3 ^b
М	13,4 ± 1,4 ^a	6,6 ± 0,5 ^b	6,2 ± 1,1 ^b
П	5,5 ± 1,4 ^a	2,5 ± 0,4 ^b	3,4 ± 1,1 ^{ab}
Х	1,8 ± 0,6 ^a	1,5 ± 0,3 ^a	2,0 ± 0,4 ^a
Аср	9,4 ± 2,1 ^a	5,3 ± 0,8 ^{ab}	1,7 ± 0,6 ^b
Пр	34,5 ± 2,7 ^a	20,2 ± 1,9 ^b	18,1 ± 1,2 ^b
Эколого-популяционные индексы			
ΣMI	2,6 ± 0,06 ^a	2,6 ± 0,02 ^a	2,5 ± 0,1 ^a
<i>SI</i>	76,2 ± 2,4 ^a	37,4 ± 3,3 ^b	35,5 ± 7,6 ^b
<i>EI</i>	71,0 ± 3,5 ^a	56,6 ± 3,5 ^{ab}	40,5 ± 5,5 ^b
<i>CI</i>	8,9 ± 3,4 ^a	7,0 ± 1,7 ^a	11,6 ± 2,8 ^a

Примечание. Здесь и в табл. 2: Б – бактериотрофы, М – микотрофы, П – политрофы, Х – хищные нематоды, Аср – нематоды, ассоциированные с растениями, Пр – паразиты растений. *H'* – индекс Шеннона, ΣMI – индекс зрелости сообществ нематод, *SI* – индекс структурирования почвенной трофической сети, *EI* – индекс обогащения почвенной трофической сети, *CI* – индекс преобладающего пути разложе-ния органического вещества в почве. Значения с различными буквенными обозначениями статисти-чески различаются ($p \leq 0,05$).

луговой почвы и дальнейшее культивирование одного вида растений (картофеля), сопровож-даются ограничением субстрата питания для

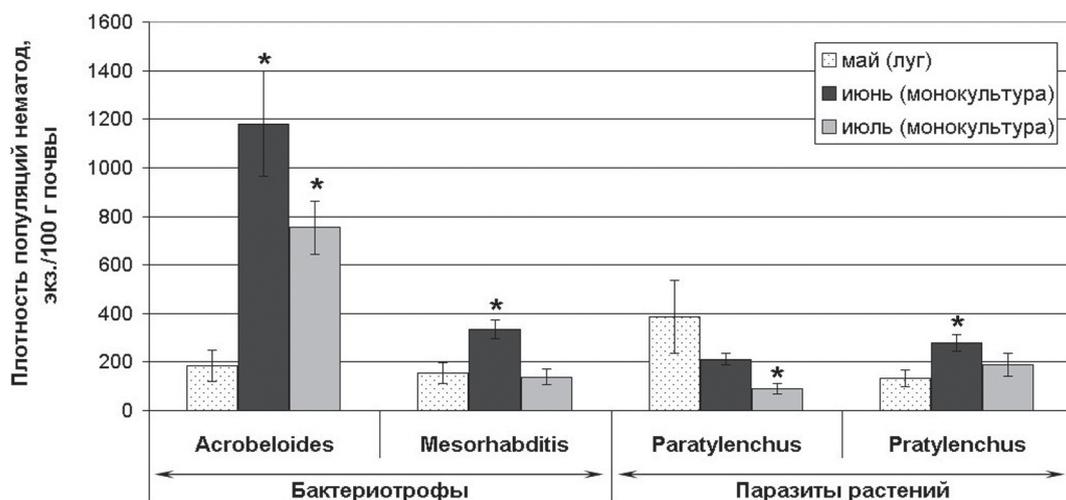


Рис. 1. Динамика численности доминирующих таксонов нематод в луговой почве и на первых этапах функционирования агроценоза с культурой картофеля (данные лабораторного эксперимента). *Различия статистически значимы по отношению к контролю ($p \leq 0,05$)

Таблица 2. Характеристика сообществ почвенных нематод луговых биоценозов и агроценозов при длительном культивировании картофеля (данные полевых исследований)

Показатель	Полевые исследования			
	АБС		Окрестности г. Петрозаводска	
	Луг	Агроценоз	Луг	Агроценоз
Численность, экз./100 г почвы	3145 ± 270 ^a	1354 ± 179 ^b	1062 ± 46 ^a	3594 ± 134 ^b
Среднее число родов	45 ± 0,6 ^a	25 ± 0,7 ^b	31 ± 0,9 ^a	35 ± 0,9 ^a
<i>H'</i>	4,5 ± 0,1 ^a	2,8 ± 0,2 ^b	4,0 ± 0,1 ^a	3,8 ± 0,1 ^a
Эколого-трофические группы, %				
Б	38,5 ± 2,3 ^a	77,7 ± 3,9 ^b	70,1 ± 5,4 ^a	70,4 ± 3,5 ^a
М	7,7 ± 2,0 ^a	14,4 ± 2,6 ^a	7,3 ± 1,5 ^a	9,4 ± 2,9 ^a
П	8,0 ± 0,8 ^a	0,6 ± 0,2 ^b	10,6 ± 2,4 ^a	6,6 ± 2,7 ^a
Х	1,2 ± 0,3 ^a	0,4 ± 0,2 ^b	5,3 ± 1,2 ^a	0,6 ± 0,3 ^b
Аср	20,3 ± 2,3 ^a	5,5 ± 2,1 ^b	4,5 ± 1,3 ^a	1,1 ± 0,9 ^b
Пр	24,3 ± 1,6 ^a	1,4 ± 0,5 ^b	2,2 ± 0,8 ^a	11,9 ± 1,3 ^b
Эколого-популяционные индексы				
<i>ΣMI</i>	2,8 ± 0,1 ^a	2,4 ± 0,1 ^b	2,6 ± 0,1 ^a	2,4 ± 0,1 ^a
<i>SI</i>	67,9 ± 3,3 ^a	12,7 ± 3,6 ^b	61,9 ± 8,5 ^a	48,9 ± 8,7 ^a
<i>EI</i>	29,2 ± 1,8 ^a	84,0 ± 1,8 ^b	56,1 ± 5,4 ^a	70,7 ± 2,2 ^b
<i>CI</i>	30,8 ± 4,9 ^a	6,7 ± 1,4 ^b	9,8 ± 4,9 ^a	7,7 ± 2,4 ^a

Примечание. Значения с различными буквенными обозначениями для пар «луг – агроценоз» статистически различаются ($p \leq 0,05$).

нематод-эктопаразитов р. *Paratylenchus*. Снижение их численности может быть связано, в частности, с отсутствием злаков – группы растений, с которой нематоды сем. Paratylenchidae тесно связаны и которую предпочитают в качестве основного растения-хозяина [Соловьева, 1986; Brzeski, 1998]. С другой стороны, формируются благоприятные условия для мигрирующих эндопаразитов р. *Pratylenchus*, питающихся на корнях культивируемых растений, в том числе картофеля.

Долгосрочные изменения фауны и структуры сообществ почвенных нематод под влиянием культивирования картофеля (полевые исследования)

Результаты полевых исследований показали, что под влиянием длительного выращивания одной сельскохозяйственной культуры (картофель) такие характеристики сообществ почвенных нематод, как численность, число родов, индекс *SI*, могут колебаться в больших пределах; эколого-трофическая структура сообществ, напротив, является более стабильным показателем (табл. 2).

Сравнение агроценозов с лугами в силу вышеописанного варьирования значений ряда параметров не показало однонаправленных изменений: численность и таксономическое разнообразие нематод как снижались (АБС, опытный участок), так и повышались (окрестности

г. Петрозаводска), что, возможно, определяется локальными условиями местообитаний – почвенными (например, запасы органического углерода и общего азота) и фитоценозными характеристиками. Анализ эколого-трофической структуры сообществ нематод показал, что в почве исследованных биоценозов доминирующей группой являются бактериотрофы: их доля была значимо выше в агроценозах (АБС, опытный участок) или сопоставима с лугами (окрестности г. Петрозаводска). Кроме того, установлено, что в агроценозах по сравнению с лугами процент политрофов, хищников и нематод, ассоциированных с растениями, был ниже (табл. 2). Изменение их вклада в сообщество нематод обусловлено увеличением интенсивности сельскохозяйственной нагрузки. Известно, что присутствие хищных и всеядных нематод, относящихся к *K*-стратегам, является показателем стабильности сообществ почвенных нематод; их численность снижается в условиях трансформации среды обитания [Bongers, 1990]. Согласно литературным данным, уменьшение численности нематод *Аср* также было показано ранее в почве интенсивно используемых сельскохозяйственных полей по сравнению с разнотравным лугом для территории Центральной Европы [Hanel, 2003].

Различия в относительном обилии фитопаразитических нематод при выращивании картофеля обусловлены присутствием в агроценозе окрестностей г. Петрозаводска личинок

картофельной цистообразующей нематоды *Globodera rostochiensis*, облигатного паразита корневой системы картофеля, возбудителя глободероза картофеля – широко распространенного и наиболее вредоносного заболевания этой культуры на территории России [Матвеева, 2011]. Доля инвазионных личинок глободеры в фауне нематод составила 8,5 %. Другой особенностью исследованных картофельных полей является отсутствие нематод р. *Paratylenchus*, что согласуется с результатами лабораторного эксперимента (рис. 1).

По большинству эколого-популяционных индексов сообщества нематод лугов и агроценозов разделяются отчетливо. Луга характеризуются высокими значениями индекса зрелости ΣMI и структурирования SI , умеренным уровнем обогащения почв (средние значения индекса EI), что в совокупности свидетельствует о стабильной почвенной экосистеме с многокомпонентными трофическими сетями. Индекс преобладающего пути разложения органического вещества CI показал, что деструкция идет с преимущественным участием бактерий. Использование земель для бессменного выращивания картофеля привело к изменению значений индексов: ΣMI , SI , CI снижались; EI , напротив, возрастал, что связано с обогащением почвы органикой (табл. 2). Такое соотношение индексов указывает на упрощенную трофическую сеть и нарушенную почвенную экосистему [Матвеева и др., 2015; Матвеева, Сущук, 2016].

Метаболический отпечаток нематод как мера вклада сообществ в экосистемные функции почв в условиях культивирования картофеля

Оценка величин метаболических отпечатков нематод, позволяющих определять потоки углерода и энергии на низких и высоких трофических уровнях, выполнена в ходе полевых исследований агроценозов с монокультурой картофеля и лугов, рассмотренных в качестве контроля. Показано, что величина отпечатка обогащения EF в агроценозах была значительно выше, что связано с внесением органического вещества в почву и последующим увеличением в экосистеме роли нематод, быстро реагирующих на обогащение (бактериотрофы и/или микотрофы) (рис. 2). С другой стороны, величина отпечатка структурирования SF , характеризующая метаболическую активность нематод высоких трофических уровней (хищники, политрофы), в агроценозах или практически не изменялась (окрестности г. Петрозаводска), или снижалась (АБС, опытный участок). Таким образом,

существование агроценоза в локальных условиях с недостатком органического углерода (АБС, опытный участок) может быстрее привести к потере регуляторной функции, выполняемой нематодами данных групп в трофической сети.

Понятие «суммарный метаболический отпечаток» нематод, NMF (площадь фигуры), вводится для определения соответствия формы отпечатка максимальным пропорциям: когда фигура ромба становится квадратом, это указывает на продукцию и скорость размножения нематод низких трофических уровней (жертва), достаточную для поддержания потребностей нематод высоких уровней (хищник), т. е. система находится в метаболическом балансе [Ferris, 2010]. Данным критериям в большей мере соответствует суммарный метаболический отпечаток луговых биоценозов (рис. 2). В исследованных агроценозах из-за высоких EF -значений, обусловленных повышенным содержанием органики в почве, отпечатки имеют форму, далекую от соответствия оптимальной фигуре квадрата. Однако в агроценозе окрестностей Петрозаводска площадь отпечатка увеличивается по сравнению с лугом. В данном случае высокое NMF -значение позволяет предположить, что величина потока углерода через сообщество нематод в почвенной трофической сети возрастает, но высокий трофический уровень отреагирует позднее согласно сопряженным колебаниям численности в системе «хищник – жертва» или не способен отреагировать из-за чувствительности нематод данного уровня – политрофов и хищников – к увеличению интенсивности сельскохозяйственной нагрузки. Известно, что в почве сельскохозяйственных полей с пропашными культурами значения SF обычно низкие, EF – высокие, при этом после смены стратегии землепользования, направленной на снижение нагрузки на почвенную экосистему, нематодам высокого трофического уровня может потребоваться значительное время для восстановления плотности их популяций [Ferris, 2010].

Заключение

Настоящее исследование позволило более полно охарактеризовать сообщества нематод агроценозов и естественных лугов, оценить роль сельскохозяйственной деятельности в формировании сообществ почвенных нематод. В ходе исследования установлена реакция нематод на распахивание луговой почвы и дальнейшее выращивание отдельной сельскохозяйственной культуры (картофеля) как на начальном этапе формирования агроценоза,

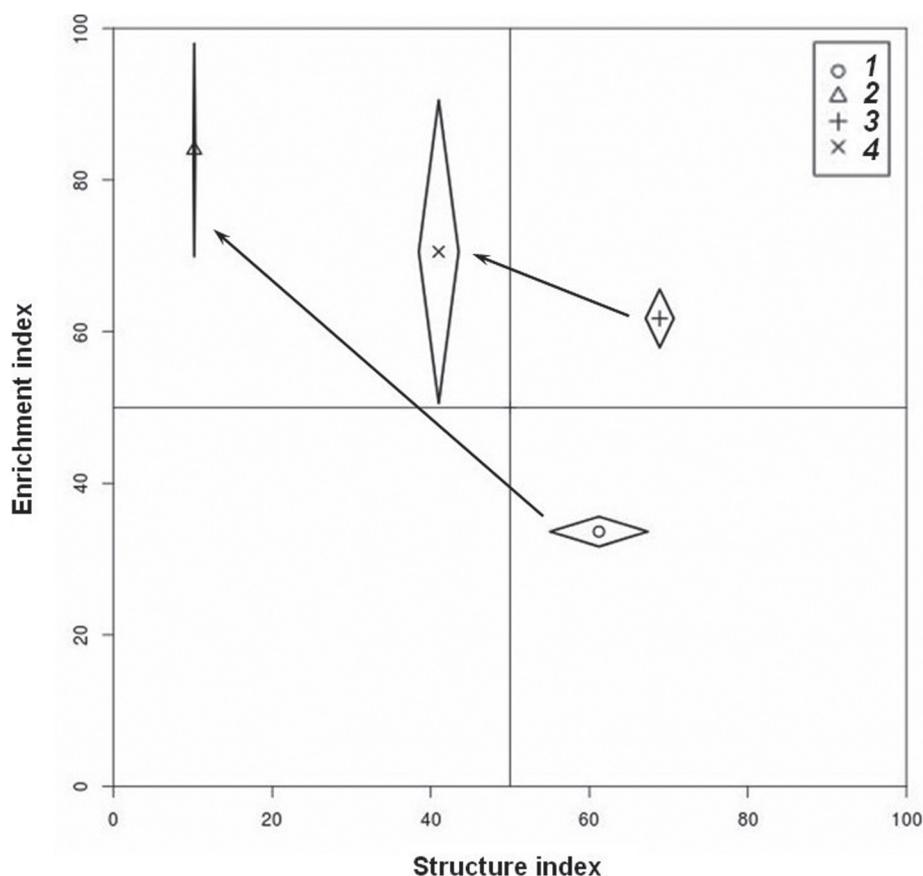


Рис. 2. Функциональные метаболические отпечатки нематод в луговых почвах и в условиях длительного культивирования картофеля (данные полевых исследований)

1 и 2 – луг и агроценоз на территории АБС; 3 и 4 – луг и агроценоз в окрестностях г. Петрозаводска

так и в срезе длительных временных периодов его функционирования. В условиях лабораторного эксперимента показано снижение таксономического разнообразия и увеличение обилия бактериотрофов в структуре сообщества как первая реакция на посадку картофеля. Среди рассмотренных параметров наиболее чувствительными к долгосрочному культивированию картофеля оказались процентный вклад в сообщество нематод, ассоциированных с растениями, и нематод-К-стратегов (политрофы, хищники). Сельскохозяйственные мероприятия влияли и на эколого-популяционные индексы, основанные на анализе фауны нематод: агроценозы характеризовались низкими значениями индекса зрелости ΣMI и структурирования SI , что указывает на упрощенную трофическую сеть и нарушенную почвенную экосистему.

Впервые показана возможность использования такой расчетной величины, как метаболический отпечаток нематод, позволяющей судить о потоках углерода на низких и высоких трофических уровнях и являющейся мерой

вклада сообществ нематод в экосистемные услуги и функции почв. Установлено, что величина отпечатка обогащения EF в агроценозах была значительно выше, чем в лугах, это связано с внесением органического вещества в почву и последующим увеличением в экосистеме роли нематод низких трофических уровней, быстро реагирующих на обогащение. Величина отпечатка структурирования SF , характеризующая метаболическую активность нематод высоких трофических уровней, показала зависимость от локальных условий местообитаний, в частности, от содержания органических веществ в почве, которые обуславливают сохранение или потерю регуляторной функции, выполняемой нематодами данных групп в трофической сети.

Результаты лабораторного эксперимента позволили выявить изменения фауны и структуры сообществ почвенных нематод на начальных этапах перехода от лугового разнотравья к агроценозу с монокультурой и в сравнительном аспекте с полевыми исследованиями показать,

что, несмотря на некоторые различия, выращивание картофеля независимо от длительности воздействия (начальный этап или многолетний агроценоз) влияет на сообщества почвенных нематод сходным образом.

Авторы признательны М. Г. Юркевич и В. А. Сидоровой за предоставленную информацию о типе почв в районе исследования.

Исследования были выполнены в рамках государственного задания (темы №№ 0221-2014-0030, 0221-2015-0006) при частичной поддержке РФФИ (№ 15-04-07675).

Литература

- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
- Груздева Л. И., Суцук А. А. Влияние степени загрязненности почвы картофельной цистообразующей нематодой на структуру сообществ почвенных нематод // Паразитология. 2008. Т. 42, № 6. С. 510–516.
- 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. Изменения в комплексах почвенных нематод под влиянием удобрений // Почвоведение. 2007. № 6. С. 756–768.
- Матвеева Е. М. Картофельная цистообразующая нематода – опасный вредитель картофеля // Краткий спецкурс по нематологии. Учебно-методическое пособие. Петрозаводск: ПИН, 2011. С. 61–69.
- Матвеева Е. М., Груздева Л. И., Коваленко Т. Е., Суцук А. А. Почвенные нематоды как биоиндикаторы техногенного загрязнения таежных экосистем // Труды КарНЦ РАН. 2008. Вып. 14. С. 63–75.
- Матвеева Е. М., Суцук А. А. Особенности сообществ почвенных нематод в различных типах естественных биоценозов: информативность параметров оценки // Известия РАН. Сер. биологическая. 2016. № 5. С. 551–560. doi: 10.7868/S0002332916040093.
- Матвеева Е. М., Суцук А. А., Калинин Д. С. Сообщества почвенных нематод агроценозов с монокультурами (на примере Республики Карелия) // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 2. С. 16–32. doi: 10.17076/eco16
- Соловьева Г. И. Экология почвенных нематод. Л.: Наука, 1986. 247 с.
- Суцук А. А., Груздева Л. И. Влияние техногенного загрязнения промышленных центров Карелии на сообщества почвенных нематод // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 445–452.
- van Bezooijen J. Methods and techniques for nematology. Wageningen: The Netherlands, Wageningen University Press, 2006. 112 p.
- Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition // Oecologia. 1990. Vol. 83. P. 14–19. doi: 10.1007/BF00324627
- Briar S. S., Jagdale G. B., Cheng Z., Hoy C. W., Miller S. A., Grewal P. S. Indicative value of soil nematode food web indices and trophic group abundance in differentiating habitats with a gradient of anthropogenic impacts // Environmental Bioindicators. 2007. Vol. 2. P. 146–160. doi: 10.1080/15555270701590909
- Brzeski M. W. Nematodes of Tylenchina in Poland and temperate Europe. Warszawa: Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences, 1998. 397 p.
- Collins H. P., Alva A., Boydston R. A., Cochran R. L., Hamm P. B., McGuire A., Riga E. Soil microbial, fungal, and nematode responses to soil fumigation and cover crops under potato production // Biology and Fertility of Soils. 2006. Vol. 42, no. 3. P. 247–257. doi: 10.1007/s00374-005-0022-0
- Ferris H. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web // European Journal of Soil Biology. 2010. Vol. 46, no. 2. P. 97–104. doi: 10.1016/j.ejsobi.2010.01.003
- Ferris H., Bongers T., de Goede R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept // Applied Soil Ecology. 2001. Vol. 18. P. 13–29. doi: 10.1016/S0929-1393(01)00152-4
- Ferris H., Sanchez-Moreno S., Brennan E. B. Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production // Applied Soil Ecology. 2012. Vol. 61. P. 16–25. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.04.006
- Freckman D. W., Etema C. H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention // Agriculture, ecosystems and environment. 1993. Vol. 45. P. 239–261.
- Gutierrez C., Fernandez C., Escuer M., Campos-Herrera R., Rodriguez M. E. B., Carbonell G., Rodriguez Martin J. A. Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity // Environmental pollution. 2016. Vol. 213. P. 184–194. doi: 10.1016/j.envpol.2016.02.012
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis // Paleontological Electronica. 2001. 4 (1). P. 1–9. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (дата обращения: 16.05.2017).
- Hanel L. Structure and dynamics of soil nematode communities in wheat and potato fields // Biologia, Bratislava. 1994. Vol. 49. P. 153–159.
- Hanel L. Recovery of soil nematode populations from cropping stress by natural secondary succession to meadow land // Applied Soil Ecology. 2003. Vol. 22. P. 255–270.
- Hodson A. K., Ferris H., Hollander A. D., Jackson L. E. Nematode food webs associated with native perennial plant species and soil nutrient pools in California riparian oak woodlands // Geoderma. 2014. Vol. 228–229. P. 182–191. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.07.021
- Kergunteuil A., Campos-Herrera R., Sanchez-Moreno S., Vittoz P., Rasmann S. The abundance, diversity, and metabolic footprint of soil nematodes is highest in high elevation alpine grasslands // Frontiers in Eco-

logy and Evolution. 2016. Vol. 4. P. 1–12. doi: 10.3389/fevo.2016.00084

Kimpinski J., Gallant C. E., Henry R., Macleod J. A., Sanderson J. B., Sturz A. V. Effect of compost and manure soil amendments on nematodes and on yields of potato and barley: A 7-year study // *J. of Nematol.* 2003. Vol. 35, no. 3. P. 289–293.

Liang W. J., Lavian I., Steinberger Y. Dynamics of nematode community composition in a potato field // *Pedobiologia.* 1999. Vol. 43. P. 459–469.

Matute M. M., Manning Y. A., Kaleem M. I. Community structure of soil nematodes associated with *Solanum tuberosum* // *J. Agr. Sci.* 2013. Vol. 5, no. 1. P. 44–53. doi: 10.5539/jas.v5n1p44

Neher D. A., Campbell C. L. Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops // *Applied soil ecology.* 1994. Vol. 1. P. 17–28. doi: 10.1016/0929-1393(94)90020-5

Seriebriennikov B., Ferris H., de Goede R. G. M. NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring // *Eur. J. Soil Biol.* 2014. Vol. 61. P. 90–93. doi: 10.1016/j.ejsobi.2014.02.004

Valdes Y., Viaene N., Moens M. Effects of yellow mustard amendments on the soil nematode community in a potato field with focus on *Globodera rostochiensis* // *Applied soil ecology.* 2012. Vol. 59. P. 39–47. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.03.011

Wasilewska L. Impact of human activities on nematode communities in terrestrial ecosystems // *Ecology of arable lands – perspectives and challenges*

/ Eds. M. Clarholm, L. Bergstrom. Kluwer Academic Publishers. 1989. P. 123–132.

Yeates G. W., Bongers T., de Goede R. G. M., Freckman D. W., Georgieva S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera: An outline for soil ecologists // *J. of Nematol.* 1993a. Vol. 25, no. 3. P. 315–331.

Yeates G. W., Wardle D. A., Watson R. N. Relationships between nematodes, soil microbial biomass and weed-management strategies in maize and asparagus cropping systems // *Soil Biology and Biochemistry.* 1993b. Vol. 25, no. 7. P. 869–876. doi: 10.1016/0038-0717(93)90089-t

Yeates G. W., Wardle D. A., Watson R. N. Responses of soil nematode populations, community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period // *Soil Biology and Biochemistry.* 1999. Vol. 31. P. 1721–1733.

Zhang X., Li Q., Zhu A., Liang W., Zhang J., Steinberger Y. Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China // *Ecological Indicators.* 2012. Vol. 13, iss. 1. P. 75–81. doi: 10.1016/j.ecolind.2011.05.009

Zhang X., Guan P., Wang Y., Li Q., Zhang S., Zhang Z., Bezemer T. M., Liang W. Community composition, diversity and metabolic footprints of soil nematodes in differently-aged temperate forests // *Soil biology and biochemistry.* 2015. Vol. 80. P. 118–126. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.10.003

Поступила в редакцию 10.07.2017

References

Arinushkina E. V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [A manual of soil chemical analysis]. Moscow: MGU, 1970. 487 p.

Gruzdeva L. I., Sushchuk A. A. Vliyanie stepeni zarazhennosti pochvy kartofel'noi tsistoobrazuyushchei nematodoi na strukturu soobshchestv pochvennykh nematod [Effect of soil infection with potato cyst-forming nematodes on community structure of soil-inhabiting nematodes]. *Parazitologiya* [Parasitology]. 2008. Vol. 42, no. 6. P. 510–516.

Gruzdeva L. I., Matveeva E. M. Rasshirenie areala kartofel'noi tsistoobrazuyushchei nematody na Severo-Zapade Rossii [Spreading of potato cyst nematode in North-West Russia]. *Trudy Tsentra parazitologii* [Trans. of the Center of Parasitology]. Vol. XLVI: Bioraznoobrazie i ekologiya parazitov [Biodiversity Ecol. Parasites]. Moscow: Nauka, 2010. P. 71–80.

Gruzdeva L. I., Matveeva E. M., Kovalenko T. E. Changes in soil nematode communities under the impact of fertilizers. *Eurasian Soil Science.* 2007. Vol. 40, no. 6. P. 681–693. doi: 10.1134/S1064229307060105.

Matveeva E. M. Kartofel'naya tsistoobrazuyushchaya nematoda – opasnyi vreditel' kartofelya [Potato cyst nematode as a dangerous pest of potatoes]. *Kratkii spetskurs po nematologii* [A Short Course on Nematology: a Handbook]. Petrozavodsk: PIN, 2011. P. 61–69.

Matveeva E. M., Gruzdeva L. I., Kovalenko T. E., Sushchuk A. A. Pochvennye nematody kak bioindikatory

tekhnogennogo zagryazneniya taezhnykh ekosistem [Soil nematodes as bioindicators of technogenic pollution of taiga ecosystems]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2008. Iss. 14. P. 63–75.

Matveeva E. M., Sushchuk A. A. Osobennosti soobshchestv pochvennykh nematod v razlichnykh tipakh estestvennykh biotsenozov: informativnost' parametrov otsenki [Features of soil nematode communities in various types of natural biocenoses: effectiveness of assessment parameters]. *Izvestiya RAN* [Biol. Bull.]. 2016. Vol. 43, iss. 5. P. 474–482. doi: 10.1134/S1062359016040099

Matveeva E. M., Sushchuk A. A., Kalinkina D. S. Soobshchestva pochvennykh nematod agrotsenozov s monokul'turami (na primere Respubliki Kareliya) [Soil nematode communities under monoculture agrocenoses (example of the Republic of Karelia)]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 2. P. 16–32. doi: 10.17076/eco16

Solov'eva G. I. Ekologiya pochvennykh nematod [Ecology of soil nematodes]. Leningrad: Nauka, 1986. 247 p.

Sushchuk A. A., Gruzdeva L. I. Vliyanie tekhnogennogo zagryazneniya promyshlennykh tsentrov Karelii na soobshchestva pochvennykh nematod [Effect of anthropogenic pollution of the Karelian industrial centres on the soil nematode communities]. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceed. of PSPU named after V. G. Belinsky]. 2011. No. 25. P. 445–452.

van Bezooijen J. Methods and techniques for nematology. The Netherlands, Wageningen: Wageningen University Press, 2006. 112 p.

Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*. 1990. Vol. 83. P. 14–19. doi: 10.1007/BF00324627

Briar S. S., Jagdale G. B., Cheng Z., Hoy C. W., Miller S. A., Grewal P. S. Indicative value of soil nematode food web indices and trophic group abundance in differentiating habitats with a gradient of anthropogenic impacts. *Environmental Bioindicators*. 2007. Vol. 2. P. 146–160. doi: 10.1080/15555270701590909

Bzreski M. W. Nematodes of Tylenchina in Poland and temperate Europe. Warszawa: Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences, 1998. 397 p.

Collins H. P., Alva A., Boydston R. A., Cochran R. L., Hamm P. B., McGuire A., Riga E. Soil microbial, fungal, and nematode responses to soil fumigation and cover crops under potato production. *Biology and Fertility of Soils*. 2006. Vol. 42, no. 3. P. 247–257. doi: 10.1007/s00374-005-0022-0

Ferris H. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. *European Journal of Soil Biology*. 2010. Vol. 46, no. 2. P. 97–104. doi: 10.1016/j.ejsobi.2010.01.003

Ferris H., Bongers T., de Goede R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*. 2001. Vol. 18. P. 13–29. doi: 10.1016/S0929-1393(01)00152-4

Ferris H., Sanchez-Moreno S., Brennan E. B. Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production. *Applied Soil Ecology*. 2012. Vol. 61. P. 16–25. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.04.006

Freckman D. W., Ettema C. H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agriculture, ecosystems and environment*. 1993. Vol. 45. P. 239–261.

Gutierrez C., Fernandez C., Escuer M., Campos-Herrera R., Rodriguez M. E. B., Carbonell G., Rodriguez Martin J. A. Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. *Environmental pollution*. 2016. Vol. 213. P. 184–194. doi: 10.1016/j.envpol.2016.02.012

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontological Electronica*. 2001. 4 (1). 9 pp. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (accessed: 16.05.2017).

Hanel L. Structure and dynamics of soil nematode communities in wheat and potato fields. *Biologia*. Bratislava. 1994. Vol. 49. P. 153–159.

Hanel L. Recovery of soil nematode populations from cropping stress by natural secondary succession to meadow land. *Applied Soil Ecology*. 2003. Vol. 22. P. 255–270.

Hodson A. K., Ferris H., Hollander A. D., Jackson L. E. Nematode food webs associated with native perennial plant species and soil nutrient pools in California riparian oak woodlands. *Geoderma*. 2014. Vol. 228–229. P. 182–191. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.07.021

Kergunteuil A., Campos-Herrera R., Sanchez-Moreno S., Vittoz P., Rasmann S. The abundance, diversity, and metabolic footprint of soil nematodes is highest in high elevation alpine grasslands. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2016. Vol. 4. P. 1–12. doi: 10.3389/fevo.2016.00084

Kimpinski J., Gallant C. E., Henry R., Macleod J. A., Sanderson J. B., Sturz A. V. Effect of compost and manure soil amendments on nematodes and on yields of potato and barley: A 7-year study. *J. of Nematol.* 2003. Vol. 35, no. 3. P. 289–293.

Liang W. J., Lavian I., Steinberger Y. Dynamics of nematode community composition in a potato field. *Pedobiologia*. 1999. Vol. 43. P. 459–469.

Matute M. M., Manning Y. A., Kaleem M. I. Community structure of soil nematodes associated with *Solanum tuberosum*. *J. of Agricultural Sci.* 2013. Vol. 5, no. 1. P. 44–53. doi: 10.5539/jas.v5n1p44

Neher D. A., Campbell C. L. Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops. *Applied soil ecology*. 1994. Vol. 1. P. 17–28. doi: 10.1016/0929-1393(94)90020-5

Sieriebriennikov B., Ferris H., de Goede R. G. M. NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. *Eur. J. of Soil Biol.* 2014. Vol. 61. P. 90–93. doi: 10.1016/j.ejsobi.2014.02.004

Valdes Y., Viaene N., Moens M. Effects of yellow mustard amendments on the soil nematode community in a potato field with focus on *Globodera rostochiensis*. *Applied soil ecology*. 2012. Vol. 59. P. 39–47. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.03.011

Wasilewska L. Impact of human activities on nematode communities in terrestrial ecosystems. *Ecology of arable lands – perspectives and challenges*. Kluwer Academic Publishers, 1989. P. 123–132.

Yeates G. W., Bongers T., de Goede R. G. M., Freckman D. W., Georgieva S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera: An outline for soil ecologists. *J. of Nematol.* 1993a. Vol. 25, no. 3. P. 315–331.

Yeates G. W., Wardle D. A., Watson R. N. Relationships between nematodes, soil microbial biomass and weed-management strategies in maize and asparagus cropping systems. *Soil Biol. and Biochem.* 1993b. Vol. 25, no. 7. P. 869–876. doi: 10.1016/0038-0717(93)90089-t

Yeates G. W., Wardle D. A., Watson R. N. Responses of soil nematode populations, community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biol. and Biochem.* 1999. Vol. 31. P. 1721–1733.

Zhang X., Li Q., Zhu A., Liang W., Zhang J., Steinberger Y. Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 13, iss. 1. P. 75–81. doi: 10.1016/j.ecolind.2011.05.009

Zhang X., Guan P., Wang Y., Li Q., Zhang S., Zhang Z., Bezemer T. M., Liang W. Community composition, diversity and metabolic footprints of soil nematodes in differently-aged temperate forests. *Soil Biol. and Biochem.* 2015. Vol. 80. P. 118–126. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.10.003

Received July 10, 2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Матвеева Елизавета Михайловна

старший научный сотрудник лаб. паразитологии животных и растений, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: matveeva@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 783622

Сушук Анна Алексеевна

научный сотрудник лаб. паразитологии животных и растений, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: anna_sushchuk@mail.ru
тел.: (8142) 762706

Калинкина Дарья Сергеевна

аспирант, младший научный сотрудник лаб. паразитологии животных и растений
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: dania_22@mail.ru
тел.: (8142) 762706

Лаврова Виктория Витальевна

научный сотрудник
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: victoria.v.lavrova@gmail.com
тел.: (8142) 762706

CONTRIBUTORS:

Matveeva, Elizaveta

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: matveeva@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 783622

Sushchuk, Anna

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: anna_sushchuk@mail.ru
tel.: (8142) 762706

Kalinkina, Darya

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: dania_22@mail.ru
tel.: (8142) 762706

Lavrova, Victoria

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: victoria.v.lavrova@gmail.com
tel.: (8142) 762706