

Научная статья

УДК 595.132(571.6)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_1

Эколого-фаунистический анализ почвенных нематод широколиственных лесов о-ва Попова в Японском море

Т.В. Волкова , С.В. Клышевская

Тамара Владимировна Волкова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии

ДВО РАН, Владивосток, Россия

volkova@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2596-7675>

Серафима Владимировна Клышевская

научный сотрудник

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии

ДВО РАН, Владивосток, Россия

klyshevskaya@biosoil.ru


<https://orcid.org/0000-0002-3730-6869>

Аннотация. Впервые исследована фауна почвенных нематод прибрежных ценозов на территории (50 × 50 м) широколиственных лесов в шестикратном повторе каждый месяц с мая по октябрь на о-ве Попова в Японском море. Выявлены представители 43 родов нематод из 23 семейств. Виды *Rotylenchus ferocis*, *Criconemoides pleriannulatus* и *C. informis* являются доминирующими. По типу питания здесь преобладают фитофаги. Рассмотрено влияние концентрации тяжелых металлов на индексы разнообразия почвенных нематод.

Ключевые слова: почвенные нематоды, биоиндикация, индексы разнообразия, тяжелые металлы, о-в Попова, Дальний Восток России

Для цитирования: Волкова Т.В., Клышевская С.В. Эколого-фаунистический анализ почвенных нематод широколиственных лесов о-ва Попова в Японском море // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 5–16. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_1.

Ecological-faunistic analysis of root nematodes from coniferous-broadleaved forests on the Popov Island in the Japan Sea

T.V. Volkova , S.V. Klyshevskaya

Tamara V. Volkova

Candidate of (Biology) Sciences

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia

volkova@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2596-7675>

Serafima V. Klyshevskaya

Researcher

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia

klyshevskaya@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3730-6869>

Abstract. For the first time, the fauna of soil nematodes of coastal cenoses was studied in a six-fold repetition every month from May to October on the territory of broadleaved forests (50 x 50 m) on the Popov Island in the Sea of Japan. Representatives of 43 genera of nematodes from 23 families were identified. The group of species *Rotylenchus ferox*, *Criconemoides plerianulatus* and *C. informis* are dominant. Phytophages prevail here by the type of nutrition. The influence of the concentration of heavy metals on the indices of the diversity of soil nematodes is considered.

Keywords: soil nematodes, bioindication, diversity indices, heavy metals, Popov Island, Russian Far East

For citation: Volkova T.V., Klyshevskaya S.V. Ecological-faunistic analysis of root nematodes from coniferous-broadleaved forests on the Popov Island in the Japan Sea. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2): 5–16. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_1.

Изменение комплексов почвенных беспозвоночных является удобным показателем при исследовании и оценке степени загрязнения среды различными отходами производства [1]. В качестве организмов-биоиндикаторов преимущественно используют микроорганизмы, представителей мезофауны.

В настоящее время все большую поддержку находит предположение о возможности экологической оценки почвенных условий на основе сообществ нематод. Нематоды являются широко распространенной группой беспозвоночных, которые обитают практически в любом биотопе и могут составлять от 80 до 90 % численности многоклеточных организмов в почве [2]. В сравнении с другими группами организмов свободноживущие нематоды имеют ряд существенных преимуществ для использования их в качестве биоиндикаторов. Они практически не мигрируют, имеют очень короткий цикл развития при крайне высокой чувствительности

к среде обитания (т.е. при изменении условий среды структура нематодного сообщества очень быстро изменяется), повсеместно распространены (это позволяет интерпретировать и обобщать результаты, полученные в разных регионах планеты), относительно легко могут быть собраны. Нематоды наиболее чувствительны к ионам тяжелых металлов и органическим загрязнителям. В ряде зарубежных исследований показано, что при вмешательстве в естественный процесс сукцессии почвенных и растительных ценозов происходят изменения в сообществах этих круглых червей, это облегчает оценку «качества среды» и позволяет использовать данных животных для мониторинга нарушения и восстановления экосистем. Данная тематика является актуальной для всей мировой нематологии [3–5].

В условиях интенсивного использования природных ресурсов особое значение приобретают исследования флоры и фауны также в ненарушенных биоценозах. На территории о-ва Попова (зал. Петра Великого, Японское море) в естественных ценозах нематологические исследования практически не проводились, поэтому наши работы носят пионерный характер.

Цель данной работы – провести инвентаризацию фауны почвенных свободноживущих нематод в широколиственных лесах о-ва Попова, установить их численность и выявить доминирующие виды, что даст возможность оценить их потенциальное разнообразие в хвойно-широколиственных лесах всего Приморского края. Основное внимание уделено анализу эколого-фаунистических комплексов нематод. Для получения статистически достоверных показателей, позволяющих выделить лимитирующие факторы среды, требуется проведение многочисленных повторных съемок. Этот метод может считаться более точным, поскольку съемка биологических параметров является пролонгированной и полученные данные в меньшей степени зависят от кратковременного действия случайных для конкретного сообщества факторов. На основе данных о качественной и количественной характеристиках сообществ делаются выводы о состоянии экосистем в целом и степени их загрязненности. Итогом работы в перспективе является выявление степени нарушенности почвенных экосистем на территории Приморья.

Материалы и методы исследования

Остров Попова (42°57' с. ш. 131°43' в. д.) находится в архипелаге Императрицы Евгении в зал. Петра Великого Японского моря, в 20 км к югу от Владивостока и в 0,5 км к юго-западу от о-ва Русский, от которого его отделяет прол. Старка. Население согласно переписи 2010 г. составляет 1370 чел., проживает в двух поселках – Старк и Попов. На острове действует несколько турбаз и баз отдыха, каждое лето разбиваются палаточные лагеря. Площадь острова 1240 га, или 12,4 км². Рельеф характерен для юга Приморья. Максимальная высота 158 м над ур. м. Береговая линия представлена песчаными и галечными пляжами, чередующимися со скалистыми обрывами. Климат острова схож с климатом Владивостока. Средняя температура января –12,5 °С, августа +20,5 °С. Средняя температура воды в августе +22 °С¹.

Исследование структуры эколого-фаунистического комплекса почвенных нематод широколиственных лесов проводилось в 2014 г. в северной части

¹ [https://ru.wikipedia.org/wiki/остров Попова](https://ru.wikipedia.org/wiki/остров_Попова).

о-ва Попова (на берегу прол. Старка недалеко от одноименного поселка) в шестикратной повторности каждый месяц с мая по октябрь. Общее количество проанализированных проб – 60 (по 10 средних проб каждый месяц) из ризосферы 9 родов древесных широколиственных и хвойных растений (дуб, граб, береза, осина, тополь, клен, липа, ясень, сосна). Нематод из почвы выделяли центрифужно-флотационным методом [6], фиксировали 4–6%-м формалином. Просветление и приготовление постоянных препаратов фитонематод проводились по [7]. Объем каждой почвенной пробы составлял 200 см³. Содержание в почвах подвижных форм микроэлементов и тяжелых металлов исследовано общепринятыми методами в 1н НСl вытяжке на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi-05 М и плазменно-эмиссионном спектрофотометре «Shimadzu» AA-6601F в аналитическом центре при ДВГИ ДВО РАН. Относительное стандартное отклонение определения не более 5 %. Определение нематод проводили с.н.с. Т.В. Волкова и ст. лаборант И.П. Казаченко (лаборатория паразитологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), химический анализ почв – н.с. С.В. Клышевская (сектор биогеохимии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).

Эколого-трофическое группирование нематод осуществляли по [8, 9]. При анализе фауны корневых нематод использовали оценку постоянства видового состава, для чего рассчитывали коэффициент постоянства (процентное отношение числа проб, в которых данный вид обнаружен, к общему числу анализируемых проб). По четырем градациям этого коэффициента виды, составляющие фауну, подразделены на акцидентов (до 25 %) (АК), акцессоров (25–50 %) (АЦ), констант (51–70 %) (К) и эуконстант (71–100 %) (ЭК). Доля участия каждого вида в составе общей фауны корневых нематод выражалась как отношение (%) числа особей данного вида к общему числу нематод, виды были подразделены на эудоминантов (ЭД, более 10 % от всех обнаруженных особей), доминантов (Д, 5,1–10 %), субдоминантов (СД, 2,2–5 %), рецедентов (Р, 1,1–2,1 %) и субрецидентов (СР, менее 1,1 %) [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Важнейшей характеристикой любого сообщества и любой экосистемы является биоразнообразие (табл. 1).

Таблица 1

Эколого-трофические группы нематод в широколиственных лесах о-ва Попова

| Семейство, род | Индекс MI, с – р* | Количество нематод/100 г почвы в зависимости от времени отбора | | | | | | Всего нематод |
|---------------------|-------------------------|---|------|------|--------|----------|---------|------------------|
| | | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | |
| Фитофаги | | | | | | | | |
| Tylenchidae | | | | | | | | |
| <i>Basiria</i> | 2 | 270 | 391 | 622 | 311 | 739 | 307 | 2639 |
| <i>Filenchus</i> | 2 | 70 | 56 | 102 | 475 | 227 | 149 | 1079 |
| <i>Malenchus</i> | 2 | 9 | 11 | 14 | 0 | 7 | 6 | 47 |
| <i>Boleodous</i> | 2 | 0 | 0 | 39 | 1 | 6 | 0 | 46 |
| Tylodoridae | | | | | | | | |
| <i>Cephalenchus</i> | 2 | 9 | 23 | 19 | 21 | 42 | 30 | 144 |
| Anguinidae | | | | | | | | |
| <i>Anquina</i> | 2 | 1 | 0 | 2 | 4 | 3 | 0 | 10 |
| <i>Ditylenchus</i> | 2 | 3 | 16 | 3 | 0 | 6 | 28 | 56 |
| Telotylenchidae | | | | | | | | |

| Семейство, род | Индекс MI, с – р* | Количество нематод/100 г почвы в зависимости от времени отбора | | | | | | Всего нематод |
|-------------------------|-------------------------|---|------|------|--------|----------|---------|------------------|
| | | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | |
| <i>Geocenamus</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 11 | 39 | 1 | 51 |
| <i>Merlinius</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| <i>Trophurus</i> | 3 | 0 | 0 | 1 | 11 | 3 | 12 | 27 |
| Hoplolaimidae | | | | | | | | |
| <i>Helicotylenchus</i> | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| <i>Rotylenchus</i> | 3 | 69 | 402 | 406 | 241 | 145 | 600 | 1863 |
| Heteroderidae | | | | | | | | |
| <i>Meloidodera</i> | 3 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| Criconematidae | | | | | | | | |
| <i>Ogma</i> | 3 | 151 | 305 | 122 | 55 | 0 | 0 | 633 |
| <i>Criconemoides</i> | 3 | 85 | 710 | 152 | 83 | 470 | 407 | 1907 |
| <i>Xenocriconemella</i> | 3 | 58 | 34 | 0 | 0 | 9 | 0 | 101 |
| Paratylenchidae | | | | | | | | |
| <i>Paratylenchus</i> | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Longidoridae | | | | | | | | |
| <i>Longidorus</i> | 5 | 25 | 24 | 6 | 4 | 8 | 10 | 77 |
| <i>Xiphinema</i> | 5 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| Trichodoridae | | | | | | | | |
| <i>Trichodorus</i> | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| Diphterophoridae | | | | | | | | |
| <i>Diphterophora</i> | 3 | 25 | 17 | 45 | 15 | 45 | 16 | 163 |
| Всего | – | 833 | 1989 | 1536 | 1237 | 1749 | 1567 | 8911 |
| Микофаги | | | | | | | | |
| Aphelenchidae | | | | | | | | |
| <i>Aphelenchus</i> | 2 | 1 | 17 | 8 | 4 | 9 | 3 | 42 |
| <i>Aphelenchoides</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Всего | – | 1 | 17 | 8 | 4 | 9 | 5 | 44 |
| Бактериофаги | | | | | | | | |
| Rhabditidae | | | | | | | | |
| <i>Rhabditidis</i> | 1 | 7 | 23 | 23 | 209 | 126 | 48 | 436 |
| Diplogasteridae | | | | | | | | |
| <i>Diplogasteritus</i> | 1 | 3 | 0 | 55 | 16 | 0 | 6 | 80 |
| Cephalobidae | | | | | | | | |
| <i>Cephalobus</i> | 2 | 11 | 40 | 11 | 72 | 87 | 36 | 257 |
| <i>Heterocephalobus</i> | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| <i>Acrobeles</i> | 2 | 6 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| Teratocephalidae | | | | | | | | |
| <i>Teratocephalus</i> | 2 | 5 | 2 | 2 | 6 | 5 | 1 | 21 |
| Plectidae | | | | | | | | |
| <i>Plectus</i> | 2 | 25 | 100 | 75 | 56 | 130 | 98 | 484 |
| <i>Anaplectus</i> | 2 | 37 | 72 | 38 | 44 | 124 | 54 | 369 |
| Halaphonolaimidae | | | | | | | | |
| <i>Halaphonolaimus</i> | 3 | 4 | 6 | 0 | 10 | 0 | 0 | 20 |
| Prismatolaimidae | | | | | | | | |
| <i>Prismatolaimus</i> | 3 | 2 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 17 |
| Monhysteridae | | | | | | | | |
| <i>Monhystera</i> | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Всего | – | 107 | 270 | 206 | 415 | 475 | 247 | 1720 |

| Семейство, род | Индекс MI, с – р* | Количество нематод/100 г почвы в зависимости от времени отбора | | | | | | Всего нематод |
|----------------------|-------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| | | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | |
| Хищники | | | | | | | | |
| Mononchida | | | | | | | | |
| <i>Mononchus</i> | 4 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| <i>Mylonchulus</i> | 4 | 19 | 40 | 22 | 15 | 83 | 130 | 309 |
| <i>Clarcus</i> | 4 | 22 | 10 | 20 | 20 | 0 | 43 | 115 |
| <i>Coomansus</i> | 4 | 31 | 46 | 18 | 0 | 12 | 177 | 284 |
| Tripylidae | | | | | | | | |
| <i>Paratripyla</i> | 3 | 23 | 98 | 120 | 86 | 82 | 270 | 679 |
| <i>Tobrilus</i> | 3 | 44 | 136 | 128 | 73 | 0 | 0 | 381 |
| Всего | – | 169 | 330 | 308 | 194 | 177 | 620 | 1798 |
| Всеядные | | | | | | | | |
| Dorylaimida | | | | | | | | |
| <i>Dorylaimus</i> | 4 | 150 | 135 | 185 | 30 | 49 | 359 | 908 |
| <i>Eudorylaimus</i> | 4 | 116 | 443 | 170 | 25 | 38 | 266 | 1058 |
| <i>Belondira</i> | 5 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 10 | 16 |
| Всего | – | 266 | 584 | 355 | 55 | 87 | 635 | 1982 |
| Всего нематод | – | 1376 | 3190 | 2413 | 1905 | 2497 | 3074 | 14 455 |

* Здесь и в табл. 3: индекс зрелости; присвоенные значения по шкале colonizators–persisters. Пояснения см. в тексте.

Для характеристики биоразнообразия были применены следующие индексы.

Наиболее широкое применение получил т.н. информационный **индекс Шеннона** (H'), или индекс разнообразия, один из основных по надежности и удобству использования:

$$H' = - \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} \times \log_2 \frac{N_i}{N},$$

где N_i – плотность (или биомасса) i -го вида, N – плотность (или биомасса) всего сообщества.

Достоинством индекса H' является его комплексность, он учитывает количество видов (видовую плотность) и их выравненность. Мы имеем возможность дать оценку видового разнообразия каждого ценоза в отдельности. В экстремальных условиях, в частности при загрязнении, его величина снижается.

Как меры доминирования были применены индексы Симпсона (D) и Бергера–Паркера (d), которые учитывают обилие отдельных видов, а не видовое богатство.

Индекс Симпсона описывает вероятность принадлежности любых двух особей, случайно отобранных из неопределенно большого сообщества, к разным видам. Индекс Симпсона – это формула, которая используется для измерения разнообразия сообщества и часто – для количественной оценки биоразнообразия среды обитания. При этом учитывается количество видов, присутствующих в среде обитания, а также численность каждого вида. Для расчета индекса используется формула, соответствующая конечному сообществу:

$$D = \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right),$$

где n_i – число особей i -го вида, N – общее число особей.

Индекс Бергера–Паркера определяет доминирование, т.е. относительную значимость наиболее обильного вида. Его достоинство – простота вычисления:

$$d = \frac{N_{\max}}{N},$$

где N – общая численность сообщества, N_{\max} – численность самого обильного вида.

Индекс трофического разнообразия (Т). По результатам наших исследований в эколого-трофическом группировании преобладали нематоды с бактериальным типом трофики. Особенностью лесных почв являются более низкая плотность заселения их нематодами, обедненность видового состава фауны, низкий процент в фауне паразитических и хищных видов нематод. Преобладание бактериофагов свидетельствует об активном участии нематод в процессах разложения лесного опада.

Индекс зрелости (МІ), отражающий стабильность нематодного сообщества по шкале Бонгера с – р от 1 до 5 [8], предложен как дополнительный инструмент к индексу разнообразия при описании сообществ нематод. Индекс вычисляется как значение взвешенных средних таксонов и предлагается для оценки состояния экосистемы на основе нематодных сообществ. Таксоны нематод располагаются по шкале с – р (первые буквы от colonizers–persisters – колонизаторы–персисторы) со значениями от 1 до 5. Индекс основан на жизненных стратегиях нематод. Типичные колонизаторы имеют короткие жизненные циклы, высокую устойчивость к токсикантам и могут выживать при неблагоприятных условиях среды. По шкале с – р им присваивают значения 1, 2. Персисторы обладают низкой репродуктивной способностью, повышенной чувствительностью к условиям среды, сокращают численность при стрессовых ситуациях и по шкале с – р имеют значения 4, 5. Таксоны с промежуточными свойствами оцениваются показателем 3.

Обычно негативное антропогенное воздействие приводит к уменьшению количества видов в сообществах (за счет исчезновения стенобионтов) и нарушает выравнивание значений их популяционной плотности. Поэтому значения индекса Шеннона и прочих индексов разнообразия сообществ макрозообентоса в условиях загрязнения, как правило, закономерно уменьшаются.

Индексы разнообразия для нематодного сообщества о-ва Попова представлены в табл. 2.

К настоящему времени определены представители 43 родов из 23 семейств почвенных нематод, населяющих ризосферу растений широколиственного леса. Эколого-таксономический анализ видового состава выявленных нематод свидетельствует о том, что фауна фитопаразитических и других групп нематод имеет комплекс, характерный для естественного лесного ценоза. В нем преобладают фитофаги, представленные 11 семействами.

Телотиленхиды из группы фитофагов присутствуют в ризосфере растений редко, в единичных экземплярах, за исключением *Merlinius falcatus*, который часто встречается в ризосфере лиственных пород, но численность этого паразита обычно не превышает 10–20 особей на 100 см³ почвы. Гоплолаймиды представлены 9 видами, из которых только *Rotylenchus ferox* встречается повсеместно. Микофаги представлены родами *Aphelenchus* и *Aphelenchoides*. Из бактериофагов в пробах постоянно присутствуют рабдитиды, цефалобиды и плектиды. Значительный процент фауны составляют хищные нематоды из семейства Mononchidae, с преобладанием видов рода *Coomansus*, и всеядные нематоды из отряда Dorylaimida.

Характеристика разнообразия нематодного сообщества о-ва Попова

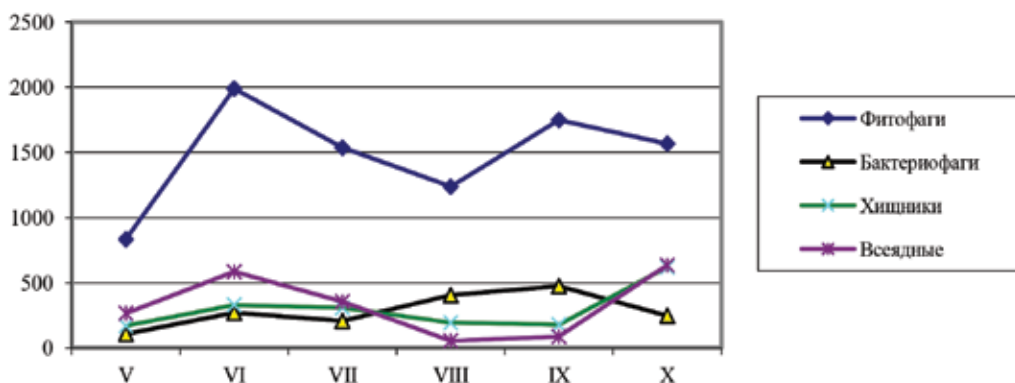
| Показатель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Всего |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|
| Кол-во нематод N | 1376 | 3190 | 2413 | 1905 | 2497 | 3074 | 14 455 |
| Кол-во родов | 35 | 29 | 30 | 29 | 26 | 28 | 43 |
| Индекс Шеннона H' | 2,848 | 2,449 | 2,504 | 2,465 | 2,370 | 2,503 | – |
| Индекс Симпсона D | 0,085 | 0,116 | 0,121 | 0,126 | 0,141 | 0,104 | – |
| Индекс Бергера– Паркера d | 5,096 | 4,493 | 3,879 | 4,011 | 3,379 | 5,123 | – |
| Индекс трофического разнообразия T | 2,353 | 2,271 | 2,220 | 2,082 | 1,795 | 2,860 | – |
| Индекс зрелости MI | 2,983 | 2,980 | 2,723 | 2,296 | 2,424 | 3,063 | – |

На о-ве Попова плотность заселения нематодами ризосферы и видовое разнообразие наиболее высокие в дубняках. Наибольшей численностью нематод представлена фауна семейства Tylenchidae (3811 экз. – 26,4 %), кольчатых эктопаразитов корней семейства Criconematidae (2641 экз. – 18,3 %) и всеядных нематод отряда Dorylaimida (1982 экз. – 13,7 %). Большинство из них имеет дискретное распространение, за исключением *Criconemoides pleriannulatus*, частота встречаемости которого в пробах составляет сравнительно высокий процент.

Как видно из табл. 3, чаще всего встречались представители вышеперечисленных семейств, а также Tripylidae (1060 экз. – 7,3 %), Plectidae (853 экз. – 5,9 %) и отряда Mononchida (738 экз. – 5,1 %). Эуконстантом и константом в фауне являются *Rotylenchus feroxus* и *Criconemoides pleriannulatus* (встречаемость в 79 и 62 % проб соответственно). Эти же виды корневых нематод являются эудоминантами, численность которых составила 43 и 32 % от общей численности выявленных паразитов. Остальные виды относятся к акцидентам, встречаемость которых в пробах менее 25 %. Группа доминирующих видов (10 133 экз.) составляет 69,6 % от общего количества паразитов корневой системы обследованных растений в широколиственном лесу.

Изучение сезонной динамики численности нематод ризосферы древесных пород позволило установить, что на протяжении вегетационного сезона развитие нематодофауны происходило волнообразно (см. рисунок).

Относительно стабильный тип динамики, характеризующийся более или менее постоянной численностью, наблюдался в группе бактериофагов и хищников.



Динамика численности трофических групп нематод в лесной почве на о-ве Попова. По вертикали – численность нематод/100 г почвы, по горизонтали – месяцы отбора проб

Таблица 3

Встречаемость и доминирование нематод в широколиственных лесах о-ва Попова (2014 г.)

| Таксон, показатель | Индекс MI, с – р | Май | | Июнь | | Июль | | Август | | Сентябрь | | Октябрь | |
|-----------------------|------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | экз. | % | экз. | % | экз. | % | экз. | % | экз. | % | экз. | % |
| Фитофаги | | | | | | | | | | | | | |
| Hoplolaimidae | 3 | 89 | 6,0 | 402 | 12,4 | 466 | 17,3 | 241 | 12,8 | 145 | 6,3 | 600 | 17,7 |
| Criconematidae | 3 | 296 | 20,1 | 1049 | 32,3 | 278 | 10,3 | 138 | 7,3 | 479 | 20,9 | 417 | 12,3 |
| Tylenchidae | 2 | 476 | 32,3 | 543 | 16,7 | 801 | 29,7 | 796 | 42,4 | 859 | 37,6 | 647 | 19,0 |
| Anguinidae | 2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 2 | 0,1 | 4 | 0,2 | 3 | 0,1 | 0 | 0 |
| Longidoridae | 5 | 42 | 2,9 | 24 | 0,7 | 6 | 0,2 | 4 | 0,2 | 8 | 0,4 | 10 | 0,3 |
| Trichodoridae | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diphtherophoridae | 3 | 25 | 1,7 | 17 | 0,5 | 45 | 1,7 | 15 | 0,8 | 45 | 2,0 | 16 | 0,5 |
| Итого | | 929 | 63,1 | 2035 | 62,7 | 1598 | 59,3 | 1202 | 64,0 | 1539 | 67,3 | 1690 | 52,9 |
| Микофаги | | | | | | | | | | | | | |
| Aphelenchidae | 2 | 1 | 0,1 | 17 | 0,5 | 8 | 0,3 | 4 | 0,2 | 9 | 0,4 | 5 | 0,1 |
| Бактериофаги | | | | | | | | | | | | | |
| Rhabditidae | 1 | 7 | 0,5 | 23 | 0,7 | 23 | 0,8 | 215 | 11,5 | 126 | 5,5 | 48 | 1,4 |
| Diplogasteridae | 1 | 3 | 0,2 | 0 | 0 | 107 | 3,9 | 16 | 0,9 | 0 | 0 | 6 | 0,2 |
| Cephalobidae | 2 | 22 | 1,5 | 60 | 1,9 | 21 | 0,8 | 72 | 3,8 | 87 | 3,8 | 36 | 1,0 |
| Teratocephalidae | 3 | 5 | 0,3 | 2 | 0,1 | 2 | 0,1 | 6 | 0,3 | 5 | 0,2 | 1 | 0,1 |
| Plectidae | 2 | 62 | 4,2 | 180 | 5,5 | 115 | 4,2 | 112 | 6,0 | 254 | 11,1 | 152 | 4,5 |
| Halaphonolaimidae | 3 | 4 | 0,3 | 6 | 0,2 | 12 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Prismatolaimidae | 3 | 2 | 0,1 | 5 | 0,2 | 1 | 0,1 | 2 | 0,1 | 3 | 0,1 | 4 | 0,1 |
| Monhysteridae | 1 | 2 | 0,1 | 2 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Итого | | 107 | 7,2 | 278 | 8,6 | 282 | 10,4 | 423 | 22,5 | 475 | 20,8 | 247 | 7,7 |
| Хищники | | | | | | | | | | | | | |
| Mononchida | 4 | 102 | 6,9 | 96 | 3,0 | 208 | 7,7 | 35 | 1,9 | 95 | 4,2 | 350 | 10,3 |
| Tripylidae | 3 | 67 | 4,5 | 234 | 7,2 | 248 | 9,2 | 159 | 8,5 | 82 | 3,6 | 270 | 13,8 |
| Итого | | 169 | 11,4 | 330 | 10,2 | 456 | 16,9 | 194 | 10,4 | 177 | 7,7 | 620 | 19,4 |
| Всеядные | | | | | | | | | | | | | |
| Dorylaimida | 4 | 266 | 18,1 | 584 | 18,0 | 355 | 13,1 | 55 | 3,0 | 87 | 3,8 | 635 | 19,9 |
| Всего нематод | – | 1472 | 100 | 3244 | 100 | 2699 | 100 | 1878 | 100 | 2287 | 100 | 3197 | 100 |
| Индекс MI* | – | 2,907 | | 3,469 | | 2,778 | | 2,282 | | 2,443 | | 3,017 | |
| Индекс Шеннона | – | 1,866 | | 1,919 | | 2,059 | | 1,904 | | 1,914 | | 2,011 | |

* Индекс зрелости, рассчитанный для всего сообщества нематод.

Более резкие сезонные колебания численности отмечены в группе фитофагов. Основной пик численности криконемаiid приходится на июнь и сентябрь, спиральных гопполоид – на июль и октябрь. В августе наблюдается резкое снижение их численности, что, по-видимому, связано с засушливым периодом. Всеядные нематоды отряда Dorylaimida имеют практически постоянную, сравнительно высокую численность с мая по июль, резкое снижение в августе–сентябре и нарастание в октябре. В середине лета численность нематод с большим количеством видов, имеющих с – р от 3 до 5, падает, возрастает роль бактериофагов с с – р 1. В начале осени, в октябре, структура нематодного сообщества восстанавливается до уровня весенне-летнего периода. Микофаги составляли незначительный процент численности нематод.

По индексу зрелости нематодного сообщества (ΣMI) большинство таксонов нематод имеют индексы с – р 2 и с – р 3, относятся к постоянным обитателям обследованных биотопов, что отражает естественную, ненарушенную среду обитания. Для фауны о-ва Попова отмечен один из наиболее высоких индексов зрелости

нематодных сообществ MI (более 3), что указывает на сукцессионную зрелость биотопов.

Обратные значения индексов Симпсона и Бергера–Паркера отражают меру доминирования самых массовых семейств. Наименьшее значение этих индексов отмечено для фауны о-ва Попова, где доминирующее семейство Tylenchidae составляет в среднем 28 % (табл. 4). В остальных биотопах доля доминирующих семейств не превышала 25 % [10–13].

Таблица 4
Индексы разнообразия нематод юга Приморского края
в сходных условиях

| | Хасанский р-н | О-в Попова |
|------------------------------------|---------------|------------|
| Индекс Симпсона 1/D | 6,88 | 6,30 |
| Индекс Бергера–Паркера 1/d | 4,13 | 3,59 |
| Индекс Шеннона H' | 2,42 | 2,09 |
| Индекс Пилоу e | 0,771 | 0,698 |
| Индекс трофического разнообразия T | 2,723 | 4,269 |
| Индекс зрелости ΣMI | 3,133 | 2,77 |
| Индекс зрелости MI | 3,028 | 3,09 |
| Индекс зрелости PPI | 3,195 | 2,554 |
| Количество семейств S | 23 | 20 |
| Плотность нематод N, экз./л почвы | 749 | 1233 |

Наибольшая плотность нематод, отмеченная для фауны о-ва Попова, – 1233 экз./л, при этом в данном биотопе распределение трофических групп отличается относительной равномерностью от наименьшего количества в 12 % для бактериофагов до 31 % для фитофагов, что отражено в наиболее высоком значении индекса трофического разнообразия (T = 4,269) (см. табл. 4).

Таблица 5

Содержание подвижных форм металлов
в местах отбора почвенных нематологических проб на о-ве Попова, мг/кг

| Время отбора проб | pH | Fe | Mn | Zn | Ni | Co | Pb | Cd | Cu |
|-------------------|------|------|-------|------|-----|-----|------|------|-----|
| Июнь | 3,81 | 640 | 87,0 | 11,0 | 2,0 | 2,3 | 7,6 | 0,08 | 2,3 |
| Июль | 3,73 | 613 | 79,5 | 12,1 | 2,6 | 2,2 | 7,1 | 0,06 | 2,2 |
| Август | 3,75 | 729 | 86,1 | 13,3 | 2,3 | 2,1 | 6,0 | 0,05 | 1,8 |
| Сентябрь | 3,98 | 588 | 71,4 | 12,4 | 1,4 | 2,4 | 11,7 | 0,08 | 2,1 |
| Октябрь | 3,91 | 602 | 106,3 | 15,6 | 1,2 | 3,6 | 7,3 | 0,10 | 2,0 |
| ПДК | – | 6000 | 400,0 | 23,0 | 4,0 | 5,0 | 32,0 | 0,6 | 3,0 |

Для определения антропогенной нагрузки на экотопы и влияния поллютантов на численность нематод нами были проведены исследования содержания тяжелых металлов в пробах почв (табл. 5). Уровни концентрации исследованных элементов находились в норме, т.е. не превышали установленные ПДК (предельно допустимые концентрации)². Побережье о-ва Попова испытывает сильный антропогенный

² Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).

стресс (является зоной отдыха), но загрязнение тяжелыми металлами прибрежного участка не выявлено. Основываясь на данных химического анализа, мы пришли к выводу, что содержание тяжелых металлов в почве не повлияло на показатели зрелости и трофического разнообразия сообществ почвенных нематод. Исходя из значений индекса Шеннона можно считать экологическую среду о-ва Попова относительно чистой, по крайней мере утверждать, что устойчивость естественных экосистем относительно быстро нивелирует последствия небольших загрязнений. В связи с этим нельзя говорить о каком-либо влиянии тяжелых металлов на группы нематод.

Заключение

К настоящему времени для фауны нематод прибрежных участков о-ва Попова определены представители 43 родов из различных трофических групп.

Изучены видовой состав, структура и степень зрелости сообществ нематод. Доминировали виды нематод, устойчивые к неблагоприятным условиям среды, что отражается на индексе зрелости сообществ: MI был низкий (2,2–2,6). В фауне нематод преобладала трофическая группа бактериотрофов.

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что показатели зрелости и трофического разнообразия сообществ почвенных нематод не выявили значимых различий в разное время отбора проб, исходя из значений индекса Шеннона можно считать экологическую среду о-ва Попова относительно чистой. Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что устойчивость естественных экосистем относительно быстро нивелирует последствия небольших загрязнений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 278 с.
2. Соловьева Г.И. Экология почвенных нематод. Л.: Наука, 1986. 247 с.
3. Bongers T. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition // *Oecologia*. 1990. Vol. 83. P. 14–19.
4. Bongers T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling // *Plant and Soil*. 1999. Vol. 212. P. 13–22.
5. Neher D.A. Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems // *Agroforestry Syst*. 1999. Vol. 45. P. 159–185.
6. Jenkins W.R. A rapid centrifugation-flotation technique for separating of nematodes from soil // *Plant Disease Reporter*. 1964. Vol. 48, N 9. P. 692.
7. Seinhorst J.W. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin // *Nematologica*. 1959. Vol. 4. P. 67–69.
8. Siddiqi M.R. Tylenchida: Parasites of plants and insects. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1986. 645 p.
9. Siddiqi M.R. Tylenchida: Parasites of plants and insects. 2nd ed. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux, 2000. 864 p.
10. Волкова Т.В., Нгуен Ву Тхань, Клышевская С.В. Биоиндикационные свойства почвообитающих нематод в прибрежных ценозах бассейна Японского моря // *Вестн. СВНЦ ДВО РАН*. 2011. № 4. С. 95–100.
11. Волкова Т.В., Казаченко И.П. Биоиндикационные свойства почвообитающих нематод в прибрежных ценозах южной части бассейна Амура Дальнего Востока России // *Вестн. КрасГАУ*. 2017. № 4. С. 164–172.

12. Волкова Т.В., Клышевская С.В., Казаченко И.П. Фауна почвообитающих нематод в прибрежных ценозах бассейна Нижнего Амура // Вестн. КрасГАУ. 2010. Вып. 7. С. 81–86.
13. Волкова Т.В., Казаченко И.П. Фауна почвообитающих нематод в сосновых лесах бассейна Среднего Амура // Биол. науки Казахстана. 2008. № 3. С. 10–19.

REFERENCES

1. Gilyarov M.S. Zoologicheskii metod diagnostiki pochv. M.: Nauka; 1965. 278 p. (In Russ.).
2. Solov'eva G.I. Ekologiya pochvennykh nematod. L.: Nauka; 1986. 247 p. (In Russ.).
3. Bongers T. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*. 1990;83:14-19.
4. Bongers T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cр-scaling. *Plant and Soil*. 1999;212:13-22.
5. Neher D.A. Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Syst*. 1999;45:159-185.
6. Jenkins W.R. A rapid centrifugation-flotation technique for separating of nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*. 1964;48(9):692.
7. Seinhorst J.W. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin. *Nematologica*. 1959;4:67-69.
8. Siddiqi M.R. Tylenchida: Parasites of plants and insects. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux; 1986. 645 p.
9. Siddiqi M.R. Tylenchida: Parasites of plants and insects. 2nd ed. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux; 2000. 864 p.
10. Volkova T.V., Nguen Vu Than', Klyshevskaya S.V. Bioindikatsionnye svoystva pochvoobitayushchikh nematod v pribrezhnykh cenzakh bassejna Yaponskogo morya. *Bull. North-East Scientific Center of FEB RAS*. 2011;(4):95-100. (In Russ.).
11. Volkova T.V., Kazachenko I.P. Bioindikatsionnye svoystva pochvoobitayushchikh nematod v pribrezhnykh tsenozakh yuzhnoj chasti basseina Amura Dal'nego Vostoka Rossii. *Bull. KrasGAU*. 2017;(4):164-172. (In Russ.).
12. Volkova T.V., Klyshevskaya S.V., Kazachenko I.P. Fauna pochvoobitayushchih nematod v pribrezhnykh cenzakh bassejna Nizhnego Amura. *Bull. KrasGAU*. 2010;(7):81-86. (In Russ.).
13. Volkova T.V., Kazachenko I.P. Fauna pochvoobitayushchikh nematod v osnovnykh lesah bassejna Srednego Amura. *Biologicheskije nauki Kazahstana*. 2008;(3):10-19. (In Russ.).