

ЧАЛКИН АНДРЕЙ АНДРЕЕВИЧ

**ВЗАИМОСВЯЗЬ КСИЛОБИОНТНЫХ НЕМАТОД
РОДА *BURSAPHELENCHUS* С ХВОЙНЫМИ РАСТЕНИЯМИ И
НАСЕКОМЫМИ-ПЕРЕНОСЧИКАМИ РОДА *IPS***

1.5.17 – Паразитология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Работа выполнена в научном отделе лесного карантина Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»)

Научный руководитель: **Кулинич Олег Андреевич**

доктор биологических наук, главный научный сотрудник научного отдела лесного карантина Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр карантина растений»

**Официальные
оппоненты:**

Селиховкин Андрей Витимович

доктор биологических наук, профессор кафедры защиты леса, древесиноведения и охотоведения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Матвеева Елизавета Михайловна

кандидат биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Институт биологии – обособленное подразделение КарНЦ РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории паразитологии животных и растений

Ведущая организация:

Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2026 г. в ____ час. ____ мин. на заседании диссертационного совета 24.1.109.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук по адресу 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33, тел./факс: +7(495)952-35-84, e-mail: admin@sevin.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Отделения биологических наук Российской академии наук по адресу: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, 33; на сайте ФГБУН ИПЭЭ РАН по адресу: www.sev-in.ru и на сайте Высшей аттестационной комиссии по адресу: vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Т.А. Малютина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований

Российская Федерация по запасу лесных ресурсов является одной из наиболее обеспеченных стран. Согласно данным Рослесхоза за 2023 год, площадь земель, покрытых лесной растительностью, составляет 766 миллионов гектаров, из которых на хвойные древостои приходится 67,7% (Гос. Доклад, 2024). Большой ущерб хвойным лесам наносят стволовые вредители, в частности, короеды, которые помимо непосредственного вреда, наносимого деревьям, являются переносчиками возбудителей опасных болезней леса (фитопатогенных нематод и грибов).

Вилт хвойных пород, вызываемый сосновой стволовой нематодой *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhrer, 1934) Nickle, 1970, относится к числу наиболее значимых заболеваний хвойных насаждений в мире (Futai, 2013; Shinya et al., 2013; Ye, Wu, 2022; Back et al., 2024; Song et al., 2024). При благоприятных климатических условиях гибель деревьев, зараженных этим патогеном, происходит в течение одного летнего сезона. Первичным ареалом *B. xylophilus* являются страны Северной Америки (Wingfield et al., 1984; Bolla et al., 1986; Forge, Sutherland, 1996), где местные породы хвойных устойчивы к этому паразиту. Вторичный ареал *B. xylophilus* связывают с выявлением нематоды в 1970-х гг. в Японии при установлении причин массовой гибели сосновых лесов (Kiyohara, Tokushige, 1971). В дальнейшем гибель лесов от вилта хвойных пород выявлена в Китае, включая Тайвань (Baojun, Qouli, 1989; Ye, 2019; Li et al., 2020), и Южной Кореи (Yi et al., 1989; Choi et al., 2019). В Европе первый очаг *B. xylophilus* отмечен в 1999 г. в Португалии, куда патоген был занесен с древесными упаковочными материалами (Mota et al., 1999). В настоящее время вид *B. xylophilus* распространился фактически по всей территории Португалии, включая остров Мадейра (Fonseca et al., 2012; Fonseca et al., 2024), а также выявлен в Испании (Abelleira et al., 2008; 2011; 2015), Армении (Arbuzova et al., 2025) и в 2025 году во Франции (EPPO, 2025).

Патоген наносит значительный ущерб лесным ресурсам и экосистемам в странах вторичного ареала *B. xylophilus* (Hussain et al., 2021). Так, в 2000 году площадь пораженных вилтом лесов в Японии оценивалась в 580000 га, что составляло 28% от общей площади сосновых древостоев в стране (Mamiya, 2004), а в настоящее время вилт хвойных пород выявлен фактически на всей территории страны (Futai, 2008, 2023). Аналогичная ситуация наблюдается в Китае, где нематода *B. xylophilus* распространилась в сосновых насаждениях на площади 1 600 000 га (Zhao, 2008).

Учитывая потенциальную опасность для хвойных лесов, большинство стран мира внесли *B. xylophilus* в перечни карантинных организмов и ввели запрет на импорт живых растений и лесоматериалов хвойных пород из стран, где распространен данный патоген (EPPO, 2018). По данным ЕОКЗР, при дальнейшем распространении нематоды ущерб хвойным лесам континента оценивается в сумму от 300 млн до 3 млрд евро ежегодно (Soliman et al., 2012). Большое значение уделяется разработке мер и мероприятий по предотвращению инвазии и распространения *B. xylophilus* (EPPO, 2009; ISPM 27, 2016; МР ВНИИКР № 50, 2021).

Вид *B. xylophilus* пока не выявлялся на территории Российской Федерации, однако в случае заноса и распространения этого патогена ущерб, согласно проведенному анализу, может составить от 47 до 112 млрд рублей в год (Кулинич и др., 2017). Исследования в сфере предотвращения заноса и распространения опасного карантинного организма - сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* являются важной и актуальной задачей в области сохранности лесных ресурсов страны.

Степень разработанности темы

Исследования по изучению патогенности сосновой стволовой нематоды в мире были начаты в 1970-х гг. в Японии (Tokushige, Kiyohara, 1969; Kiyohara, Tokushige, 1971; Mamiya, 1984; Kobayashi et al., 1984). Позже к этой работе присоединились специалисты следующих стран: США (Dwinell, 1997), Канады (Melakeberhan, Webster, 1990; Bowers et al., 1992), Китая (Zhao et al., 2003), Португалии и Испании (Mota et al., 1999; Pereira et al., 2013). В Российской Федерации такие исследования были начаты в 80-х годах с обследования территории страны на присутствие *B. xylophilus* (Kulinich et al., 1994, 1995; Ryss et al., 2005; Arbuzova et al., 2016). Одна из ключевых тем исследования – пути инвазии *B. xylophilus* и меры по предотвращению заноса и распространения патогена (Mota et al., 2009; Sousa et al., 2011; Mallez et al., 2021).

Распространение *B. xylophilus* в природе осуществляется с помощью насекомых-переносчиков – усачей рода *Monochamus* Dejean, 1821. Жизненный цикл нематод *B. xylophilus* тесно связан с биологией развития жуков. Считается, что именно усачи рода *Monochamus* переносят личинки нематод с зараженного дерева на здоровое в период дополнительного питания. Все исследования в этой сфере концентрируются на изучении именно этой группы насекомых (Wingfield, 1987; Linit, 1988; Sousa et al., 2001; Togashi, Jikumaru, 2007; Akbulut, Stamps, 2012; Bonifácio et al., 2013). В то же время, здоровые и особенно ослабленные деревья заселяются другими стволовыми вредителями, роль которых в возможном распространении данного патогена фактически не изучена. Короеды рода *Ips* De Geer, 1775 (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) относятся к числу широко распространенных вредителей хвойных лесов, и исследования этой группы короедов в качестве потенциальных переносчиков нематод *B. xylophilus* являются актуальной проблемой, имеющей научно-практическую значимость. Имеются крайне ограниченные сведения по изучению короедов рода *Ips* как переносчиков нематод рода *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937 (Penas et al., 2006; Roberson et al., 2011). При этом в жуках *Ips* spp. обнаруживались различные виды нематод, включая представителей рода *Bursaphelenchus* (Rühm, 1960; Kakulia, Devdariani, 1967; Kurashvili et al., 1980; Tenkacova, Mituch, 1986, 1991; Ryss et al., 2005; Robertson et al., 2008).

Цель и задачи исследований

Цель исследования – изучение нематод рода *Bursaphelenchus* в хвойных насаждениях и ассоциированных с ними короедов рода *Ips* и оценка восприимчивости основных лесобразующих пород России к патогенному виду *Bursaphelenchus xylophilus*.

Задачи исследований:

1. Выявить видовой состав нематод-ксилобионтов рода *Bursaphelenchus*, распространенных в хвойных насаждениях РФ.
2. Изучить возможность трансмиссии короедами рода *Ips* (на примере *Ips acuminatus* Gyllenhal, 1827) патогенных нематод *Bursaphelenchus xylophilus*.
3. Оценить потенциальное распространение фитопаразитических нематод, ассоциированных с короедами рода *Ips* (на примере *Ips typographus* (Linnaeus, 1758)).
4. Выявить эффективные дозы фумиганта – динитрила щавелевой кислоты для обеззараживания древесины от сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus*.
5. Изучить устойчивость основных лесобразующих хвойных пород, произрастающих на территории Российской Федерации, к патогенному виду *Bursaphelenchus xylophilus*.

6. Определить оптимальные параметры для эффективного выделения фитопаразитических нематод-ксилобионтов *Bursaphelenchus xylophilus* из древесного субстрата при лабораторных исследованиях.

Научная новизна

В результате обследований лесонасаждений на территории РФ обнаружены три вида нематод-ксилобионтов рода *Bursaphelenchus* (*B. mucronatus*, *B. sexdentati*, *B. leoni*), идентификация которых подтверждена молекулярно-генетическим анализом. Описан новый для науки вид нематоды – *Sychnotylenchus kulinichi* Ryss, Chalkin, Subbotin, 2024 (Nematoda: Anguinoidea).

Впервые установлена возможность заселения вершинного короеда *Ips acuminatus* сосновой стволовой нематодой *B. xylophilus* – возбудителем вилта хвойных пород.

На основании полевых исследований отмечена возможность переноса патогенных нематод рода *Bursaphelenchus* короедами *Ips* spp. на расстояние до 6 км.

Впервые получены данные по устойчивости основных лесобразующих хвойных пород, произрастающих на территории РФ, к патогенному виду *B. xylophilus*.

Впервые установлены дозы динитрила щавелевой кислоты для обеззараживания лесоматериалов от карантинного организма – сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* путем фумигации.

Получены оригинальные данные по оптимальным временным и температурным параметрам для выделения нематод-ксилобионтов из древесины хвойных пород.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Полученные опытным путем данные по изучению возможности трансмиссии карантинного организма – сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* широко распространенным на территории РФ короедом *Ips acuminatus* дополняют пути возможной инвазии и распространения этого вида нематоды. Результаты исследований могут служить основанием для пересмотра анализа фитосанитарного риска в отношении патогена *B. xylophilus* для территории РФ.

2. Дана оценка факторов, влияющих на разлет короедов рода *Ips* (на примере *Ips typographus*), которые могут быть применены при разработке фитосанитарных мер борьбы с данным вредителем леса, как потенциальным переносчиком нематод *B. xylophilus*.

3. Установлены концентрации и время экспозиции при применении динитрила щавелевой кислоты для обеззараживания древесины хвойных пород от нематод *B. xylophilus*. Результаты исследований были учтены при подготовке издания «Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации».

4. Полученные опытным путем данные об устойчивости основных хвойных пород России к возбудителю вилта хвойных пород *B. xylophilus* целесообразно учитывать при лесовосстановительных работах.

5. Установлены оптимальные температурные и временные условия экстракции нематод-ксилобионтов из древесного субстрата, что позволяет ускорить процесс проведения фитогельминтологического исследования.

Положения, выносимые на защиту диссертационной работы:

1. Короеды *Ips acuminatus* могут являться переносчиками сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus*, что необходимо учитывать при оценке инвазии и распространении этого патогена.

2. Фауна нематод, ассоциированных с древесиной и короедами, включала 20 видов, относящихся к 16 родам, 7 семействам отряда Rhabditida, среди которых

присутствовали свободноживущие, хищные нематоды, мико- и фитогельминты, а также паразиты кишечника короедов. Из 3 видов нематод рода *Bursaphelenchus* два вида зарегистрированы на территории РФ впервые. Один вид из рода *Sychnotylenchus* описан как новый для науки.

3. Имаго короедов рода *Ips*, как потенциальные переносчики фитопаразитических нематод, могут разлетаться на расстояние до 6 км.

4. Сосны *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* и лиственница *Larix sibirica* восприимчивы к возбудителю вилта хвойных пород *B. xylophilus*, пихта сибирская *Abies sibirica* – слабовосприимчива, а ель обыкновенная *Picea abies* – устойчива.

5. Для обеззараживания лесоматериалов хвойных пород от карантинного вида – фитопатогенной нематоды *B. xylophilus*, в качестве альтернативы бромистому метилу рекомендуется использовать озонобезопасный фумигант – динитрил щавелевой кислоты.

6. При гельминтологическом исследовании древесины для выделения нематод методом Бермана целесообразно применять экспозицию 24 ч.

Степень достоверности

Использованные методы по изучению короедов и фитопаразитических нематод основаны на международном опыте ученых, работающих в отраслях сельского и лесного хозяйств. Используются современные методы камеральной обработки и полевого исследования (энтомологические, гельминтологические, молекулярно-генетические) с применением различного лабораторного оборудования (стереоскопического микроскопа, термостата, климатической камеры, секвенатора и т.д.) и современного программного обеспечения.

Апробация результатов работы

Основные результаты научно-исследовательской работы по теме диссертации доложены и обсуждены на Всероссийской конференции с международным участием «Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах» (г. Санкт-Петербург, 2020); II International research-to-practice conference «Modern Problems of Forest Protection and Ways of their Solution» (Минск, 2020); Симпозиумах Российского общества нематологов (2021, 2023); Международных конференциях молодых учёных «Леса Евразии» (2021, 2022); IUFRO Conference Division 7 – Forest Health Pathology and Entomology (Lisbon, 2022); VII съезде Паразитологического общества (Петрозаводск, 2023); Международной научно-практической конференции «Фитосанитарная безопасность: угрозы, вызовы и пути решения» (Республика Казахстан, 2023); Международной научно-практической конференции «Защита и карантин леса» (пгт Быково, 2024); Международной научно-практической конференции «Защита и карантин растений. Здоровые растения – здоровая нация» (пгт Быково, 2024); Конгрессе исследователей симбиотических систем (Нематологический симпозиум) (Москва, 2025).

Публикации.

Результаты исследований по теме диссертации изложены в 27 публикациях, из них 8 – в рецензируемых журналах, включённых в Перечень ВАК, 3 – в WoS, Scopus.

Личный вклад автора

Работа является результатом оригинальных исследований. Автором лично проведен весь комплекс экспериментальной научной работы, представленной в диссертации, а также обзор литературных источников, подготовка научных публикаций, обобщение результатов исследования. Разработка программы

исследований и выбор необходимых методов исследований выполнены при участии научного руководителя.

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 206 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 49 рисунков, 19 таблиц, заключения, принятых сокращений, списка литературы (включает 330 наименований, в том числе 265 — на иностранном языке) и 7 приложений.

Благодарности. Выражаю благодарность научному руководителю – главному научному сотруднику отдела лесного карантина ФГБУ «ВНИИКР» д.б.н. **О.А. Кулиничу** за оказанные содействие и координацию исследований. За ценные научные советы и поддержку признателен старшему научному сотруднику - начальнику отдела лесного карантина ФГБУ «ВНИИКР», к.б.н. **Е.Н. Арбузовой**. Благодарен за помощь в сборе материала и постановку опыта профессору Института биологии, экологии и агротехнологий Петрозаводского государственного университета, д.б.н. **С.Н. Лябиной**. Выражаю признательность за помощь в определении нематод главному научному сотруднику ЗИН РАН д.б.н. **А.Ю. Рыссу** и идентификацию короедов старшему научному сотруднику ИЛАН РАН, к.б.н. **А.В. Петрову**. Благодарю научного сотрудника отдела лесного карантина ФГБУ «ВНИИКР» к.б.н. **Н.И. Козыреву** за помощь в проведении молекулярно-генетической диагностики организмов.

Место выполнения работы. Комплекс исследований, связанных с постановкой опытов, проводили в период с 2019 по 2025 год в лабораторных условиях Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр карантина растений». Полевые опыты по изучению степени разлета короедов были проведены в Республике Карелия в июне – июле 2022 года. Обследование хвойных древостоев и лесоматериалов с целью изучения ряда видов жуков - короедов триб: *Ipini* Bedel, 1888; *Hylurgini* Gistel, 1848 и видового состава фитопаразитических нематод выполняли в Московской, Брянской, Иркутской областях, Южном Приморье (Дальневосточный федеральный округ), Республиках Коми и Карелия.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 Обзор литературы

В обзоре литературы представлены общие сведения о короедах *I. acuminatus* и *I. typographus* – доминирующих видах в ядре ксилофильного комплекса хвойных насаждений рода *Ips* на территории РФ, которые потенциально могут быть переносчиками нематод рода *Bursaphelenchus*. Приведена информация о карантинном объекте *B. xylophilus*. На основании проанализированных литературных данных представлен видовой состав нематод, ассоциированных с короедами рода *Ips*. Дан обзор существующих методов по обеззараживанию лесопродукции против короедов и нематод-ксилофагов рода *Bursaphelenchus*.

Глава 2 Материалы и методы исследований

Методы выделения и культивирования нематод

Поставленные задачи исследований предполагали создание и поддержку культур нематод. Культуры нематод рода *Bursaphelenchus* поддерживались в лабораторных условиях на грибе и в древесных образцах.

Культивирование нематод на культуре гриба. Популяцию *B. xylophilus* (OR978580.1) поддерживали на культуре бесспоровой линии гриба *Botrytis cinerea*

Pers., 1794. Средой для культивирования гриба *B. cinerea* служил картофельно-глюкозный агар. «Пересев» культуры нематод осуществлялся один раз в месяц. Нематод, выделенных из исследуемой древесины, или личинки нематод из жуков при необходимости помещали на культуру гриба *B. cinerea*.

Культивирование нематод в древесине. Для поддержания численности нематод в древесине выпиливали фрагменты стволовой части дерева (или крупных веток) сосны обыкновенной длиной 30 см, торцы которых парафинировали. Далее в эти образцы вносили нематодный инокулюм (*B. xylophilus*) и помещали их в термостат с температурой 27 °С на 30-45 дней для размножения нематод. Ввиду особенности цикла развития *B. xylophilus* процедуру размножения нематод в древесине осуществляли раз в полгода.

Выделение нематод из древесины. Для извлечения нематод из древесины использован метод Бермана с экспозицией 24 часа. Из каждого образца древесины сверлом диаметром 16 мм отбирали около 100 г стружки. Стружка предварительно взвешивалась, затем помещалась на сито.

*Выделение нематод *Bursaphelenchus* spp. из жуков.* Для выделения нематод с поверхности жуков многократно встряхивали особей, помещённых в пробирку «эппендорф» с дистиллированной водой, и содержимое смыва просматривали под бинокуляром. Далее жуков препарировали энтомологическими иглами, отделяя голову, среднегрудь и брюшко и оставляли в чашках Петри с водой на 4 часа для выхода нематод.

Фиксация и идентификация нематод. Фиксация нематод осуществлялась формалином с предварительным нагреванием пробирки с гельминтами на водяной бане. Для морфологической идентификации нематод изготавливали временные и постоянные препараты. Препараты нематод делались по экспресс-методу Рысса (Ryss, 2003; 2015). Для диагностики нематод рода *Bursaphelenchus* использовали определители и диагностические протоколы (Кириянова, Кралль, 1969; Таболин 2000; Кулинич, Рысс, 2006; МР ВНИИКР № 50, 2021; Braasch, 2001; EPPO 2009; Gu et al., 2011; Braasch, Schönfeld, 2015; ISPM 27, 2016). Численность выделенных нематод в пробе подсчитывали в чашке Петри, разграфленной на сектора. При подготовке инокулюма для заражения древесных образцов, суспензию с нематодами взбалтывали, отбирали пипеткой 100 мкл и рассчитывали численность нематод на весь объем суспензии.

Диагностика нематод основывалась на морфологических параметрах, а также на молекулярно-генетическом анализе.

Молекулярно-генетические исследования. Для молекулярной диагностики нематод отбиралась, как правило, одна особь. Для идентификации нематод использовали метод прямого секвенирования по Сэнгеру с использованием набора серии «ДНК-Экстрэн 2» (ЗАО «Синтол» Россия).

Для амплификации ДНК использовали следующие праймеры: D2A-D3B, амплифицирующие участок гена 28S rRNA – LSU (Nunn, 1992); COI-F1/COI-R2, амплифицирующие участок митохондриального гена цитохромоксидазы COI (Kanzaki, Futai, 2002). Анализ продуктов амплификации проводили посредством электрофореза фрагментов ДНК в 1,5%-м агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, в гель-документирующей системе. Нуклеотидные последовательности участков генов изучаемых видов анализировали с помощью программного обеспечения «BioEdit», Mega 11 с депонированием в базу данных NCBI.

Методика постановки опыта по изучению возможности трансмиссии нематод *Bursaphelenchus xylophilus* короедами

Опыты по изучению возможности переноса сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* короедами рода *Ips* проводили в контролируемых лабораторных условиях. Схема опыта приведена на рисунке 1.

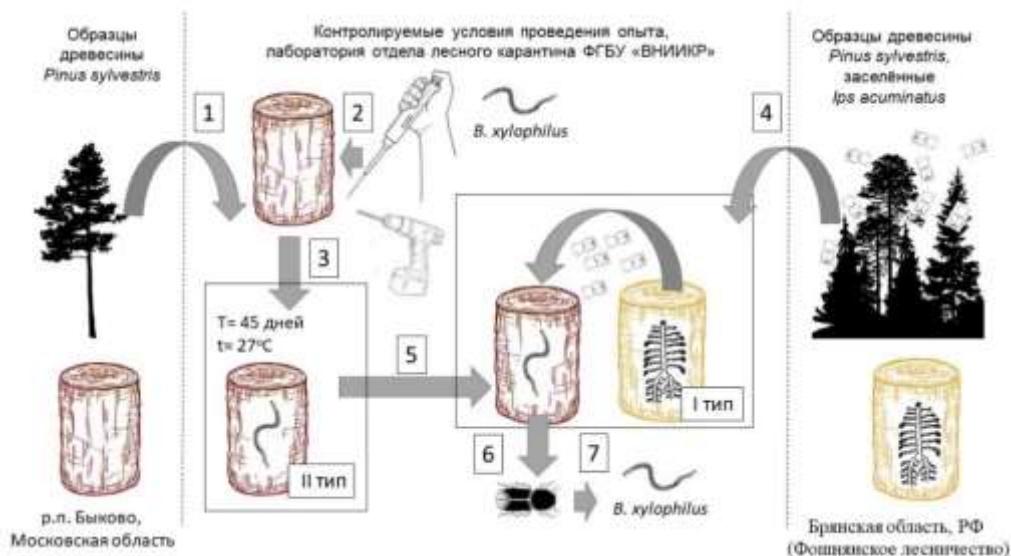


Рисунок 1 – Схема эксперимента по изучению трансмиссии вершинным короедом *Ips acuminatus* сосновой стволовой нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* на образцах сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*

1,2– заражение образцов сосны нематодами *B. xylophilus*; 3– инкубация зараженной *B. xylophilus* древесины сосны в термостате; 4 – внесение в садок древесных образцов сосны, заселенных короедами *I. acuminatus*; 5 – внесение в садок древесных образцов сосны, содержащих нематод *B. xylophilus*; 6 – извлечение жуков *I. acuminatus* из древесных образцов, заражённых нематодой *B. xylophilus*; 7 – выделение нематод из жуков *I. acuminatus*

Образцы древесины *P. sylvestris* (тип I), заселенные вершинным короедом *I. acuminatus*, были спилены с верхушечной части поваленных 80-100 – летних деревьев в очаге этого вредителя в сосновом бору Брянской области. Всего было заготовлено 8 древесных образцов длиной 30 см и диаметром 6-10 см.

Для другого варианта заготовили аналогично 8 древесных образцов сосны обыкновенной (тип II), которые в лабораторных условиях были заражены нематодами *B. xylophilus* и помещены в термостат при 27 °C на 45 дней для размножения в них нематод.

Далее все образцы древесины (тип I и тип II) были помещены в один энтомологический садок размером 90х90х90 см в помещении с температурой 23–25°C.

Методика изучения разлета короеда-типографа

Имаго короедов *I. typographus* отлавливали феромонными ловушками барьерно-вороночного типа в естественных лесных ценозах на территории Южной Карелии. Опыт состоял из следующих этапов: I – отлов жуков в естественных биоценозах; II – мечение жуков люминофором; III – размещение ловушек и выпуск меченных имаго; IV – отлов меченных насекомых.

Для изучения направления разлета короедов в исследованиях 2022 года ловушки размещали в четырех направлениях, учитывая розу ветров: северо-западном, северо-восточном, юго-западном и юго-восточном, по 6 штук с интервалом 0,2 км на

протяжении 1,2 км от места выпуска (рис. 2). Всего было установлено 24 ловушки (Чалкин, Лябзина, Кулинич, 2024).

В исследованиях 2023 года для изучения дальности разлёта интервал между ловушками увеличили до 2 км, а максимальное расстояние составило 12 км. Основываясь на результатах 2022 года, в 2023 году разлет изучали только в юго-западном направлении, как приоритетном для миграции короедов в данной местности (рис. 2). Всего в этом направлении установлено 6 феромонных ловушек.



Рисунок 2 – Схема размещения ловушек в период проведения исследования (круг-место выпуска *Ips typographus*, ромб-размещение барьерно-вороночных ловушек: белый ромб – 2022г., красный – 2023 г.) («Яндекс карты» <https://yandex.ru/maps>)

Преобладающим для данной местности является ветер юго-западного направления. Место выпуска короедов расположено на расстоянии 1,2 км от берега реки с северо-западной стороны и 1,4 км с северо-восточной. На лугах ловушки размещали на высоте 1,5–2 метра от уровня почвы на одиночных лиственных деревьях или сооружали специальные треноги.

Для эксперимента была смонтирована трехуровневая деревянная подставка размером 20 x 20 x 15 см. Такая конструкция позволяет равномерно распределить жуков на поверхности и делает беспрепятственным их дальнейший взлёт, что важно для оценки количества взлетевших насекомых.

Маркировка и подсчет меченых короедов рода Ips. Для изучения дальности и направления полета маркировка имаго короеда-типографа проводилась двумя способами: порошком люминофора и индивидуальной насечкой. Окрашивание жуков осуществляли не менее чем за 1 час перед выпуском, помещая по 100 особей в емкости объёмом 0,4 л, куда добавляли 0,5 г красящего порошка с длительным

послесвечением «Люминофор ЛДП» и перемешивали с помощью кисточки для глубокого проникновения мелких гранул порошка в складки между сегментами тела и под элитры. Второй способ мечения – насечкой выполнялся скальпелем на скате надкрылий каждого жука под бинокуляром.

Отловленных в феромонные ловушки окрашенных жуков просматривали под бинокуляром с УФ – излучением. Учет жуков из ловушек проводили с интервалом в двое суток.

Методика проведения исследований по обеззараживанию древесины

В качестве фумиганта был использован динитрил щавелевой кислоты, «STERIGAS™» (Linde, Германия), (C_2N_2), бесцветный едкий газ. Эксперименты по фумигации проводились в двух фумигационных камерах объемом $0,85 \text{ м}^3$ каждая. Необходимое количество газа закачивалось в камеры для достижения требуемой дозировки. В каждую камеру помещали по десять древесных образцов (фрагменты стволовой части сосны *P. sylvestris* длиной 30 см и диаметром 8-10 см). Фумигация проводилась при температуре 20°C в помещении. Применялись следующие дозы: 25 г/м^3 , 50 г/м^3 , 75 г/м^3 с экспозицией 24 ч и 50 г/м^3 с экспозицией 12 ч. Десять бревен, зараженных нематодами, не были профумигированы и являлись контрольными образцами. Коэффициент загрузки древесных образцов в одной камере в каждом эксперименте составлял около 2%. Концентрация вещества (St) рассчитывалась с учетом концентрации газа и времени обработки (г ч м^{-3}) и использовалась в качестве количественной меры эффективности фумигации.

Анализ древесных образцов на наличие живых нематод проводили за три дня до фумигации и через 24 часа, 48 часов, 10 дней и 28 дней после фумигации. Для извлечения нематод из древесины использован метода Бермана.

Методика проведения исследований по изучению устойчивости растений к нематодам *Bursaphelenchus xylophilus*

Для изучения устойчивости растений к wiltу хвойных пород использовали 8-летние саженцы сосны обыкновенной *P. sylvestris* ($h \approx 1 \text{ м}$), кедра сибирского (сосны кедровой сибирской) *P. sibirica* ($h \approx 1,2 \text{ м}$) и 4-5-летние саженцы лиственницы сибирской *L. sibirica* ($h \approx 1,5 \text{ м}$), пихты сибирской *A. sibirica* ($h \approx 1,2 \text{ м}$) и ели обыкновенной *P. abies* ($h \approx 1,2 \text{ м}$) в количестве 16 штук каждого вида (8 – зараженных *B. xylophilus* растений и 8 – контрольных саженцев).

Анализ саженцев перед опытом на наличие насекомых и скрытой грибной инфекции показал отсутствие насекомых и признаков грибной инфекции.

Заражение саженцев нематодами *B. xylophilus*

Для внесения нематодного инокулюма веточки саженцев повреждали путем удаления коры с участка размером 1-1,5 см, в месте среза делалась микроворонка из Parafilm, куда вставляли кусочек ваты, на который вносили пипеткой-дозатором Sartorius 200 мкл нематодного инокулюма, содержащего ≈ 5000 особей *B. xylophilus* (различных возрастных стадий) на каждый саженец. В контрольные саженцы аналогичным способом вносили 200 мкл дистиллированной воды. После инокуляции место повреждения закрывали пленкой Parafilm.

Идентификация и подсчет выявленных нематод

Зараженные саженцы содержались в лабораторной комнате при температуре $20,2 \pm 0,8^\circ\text{C}$ ($19,4 - 22,3^\circ\text{C}$), влажности $67,3 \pm 0,9 \%$ ($56 - 82,9 \%$) и режиме светового дня с 7.00 до 22.00 в течение 50 дней.

По окончании опыта растения проверяли на наличие в них живых нематод. Для этого каждый саженец измельчали с помощью секатора и проводили выделение нематод вороночным методом Бермана с экспозицией 24 часа при температуре

+20,2±0,08 °С. Нематод выделяли отдельно из наземной части (ствол, ветки), из корней и из прикорневой почвы. Проводили взвешивание наземной части зараженных саженцев. После экстракции нематод из древесных проб определяли их видовой состав и численность. Учитывая, что древесина различных деревьев имеет разную плотность, делали перерасчет, исходя из числа нематод на 100 г сырого веса древесины.

Методика постановки опыта по определению оптимальных параметров выделения нематод методом Бермана

Для выделения из растительного субстрата червеобразных нематод, включая нематод-ксилобионтов, обычно рекомендуется метод Бермана (вороночный или модифицированный) при экспозиции 24 или 48 часов (Schroder et al., 2009; ISPM 27, 2016). Целью наших исследований было определение оптимальных параметров (времени и температуры) для извлечения *B. xylophilus* из древесного субстрата *P. sylvestris* вороночным методом Бермана. Для этого инокулюм *B. xylophilus* (BxAm GenBank: OR978580.1), содержащий 3200 нематод на 400 мкл воды, был внесен в 16 образцов древесины *P. sylvestris*, которые инкубировались в течение 20 дней при 27 °С с целью размножения в них нематод. Далее из зараженной древесины отбирали стружку (200 г). Время экспозиции при экстракции нематод из стружки составляло 6 ч, 24 ч и 48 ч с при 18 °С и 25 °С.

Глава 3 Результаты исследований и обсуждение

Фауна нематод короедов и хвойных растений

С целью выявления видового состава паразитических нематод в древесине хвойных пород и в ассоциированных с ними короедах проведены обследования древостоев и лесоматериалов в Московской, Иркутской, Брянской областях, Республике Коми и Приморском крае. Основная цель исследований – выявление фитопаразитических нематод рода *Bursaphelenchus*, включающего высокопатогенные виды. Параллельно также идентифицировали выявленных нематод других таксонов.

Фауна нематод исследованных образцов представлена отрядом Rhabditida Chitwood, 1933, 7 семействами и 16 родами. Всего выявлено 20 видов нематод, из них 17 видов обнаружено в древесине хвойных пород и 12 видов – в имаго короедов родов *Ips*, *Orthotomicus* Ferrari, 1867; *Tomicus* Latreille, 1802 (таблицы 1, 2). Фауна нематод рода *Bursaphelenchus* была представлена 3 видами: *B. mucronatus*, *B. sexdentati*, *B. leoni*.

Сосновая стволовая нематода *B. xylophilus* в наших обследованиях не выявлена, однако заслуживает внимания обнаружение в короедах *I. typographus* и *T. pilifer* нематод *B. mucronatus* в Приморском крае и в Республике Коми. Данный вид относится к фитопаразитическим гельминтам хвойных насаждений и является видом-двойником *B. xylophilus*. Оба вида нематод имеют идентичный цикл развития, и можно предположить, что указанные виды короедов смогут быть потенциальными переносчиками сосновой стволовой нематоды.

Новый вид нематоды рода *Sychnotylenchus* Rühm, 1956, *S. kulinchi* (Ryss, Chalkin, Subbotin, 2024), обитающий в ходах короеда *Pityogenes chalcographus* L., 1761, был обнаружен в древесине сосны *Pinus koraiensis* в Приморском крае (Ryss et al., 2024). Сосна корейская, заселенная этим видом, была в состоянии усыхания и имела признаки увядания, образующиеся при вилте хвойных пород. Представители данного рода нематод ассоциируются с короедами (выявляются в их ходах), и считается, что связь их с переносчиком форетическая.

Таблица 1 – Видовой состав нематод, выделенных из различных короедов-ксилофагов, заселяющих хвойные породы

Семейство	Вид	Имаго	Место сбора
ОТРЯД RHABDITIDA: ПОДОТРЯД RHABDITINA			
Diplogastridae	<i>Micoletzky buetschlii</i> (Fuchs, 1915)	<i>Ips typographus</i>	МО
		<i>Ips typographus</i>	РК
		<i>Ips acuminatus</i>	БО
	<i>Micoletzky palliati</i> (Rühm, 1956)	<i>Tomicus pilifer</i>	ПК
	<i>Micoletzky sp.</i>	<i>Ips typographus</i>	РК
		<i>Ips acuminatus</i>	БО
		<i>Tomicus pilifer</i>	ПК
Rhabditidae	<i>Rhabditis sp.</i>	<i>Ips typographus</i>	МО
	<i>Teratorhabditis synpapillata</i> Sudhaus, 1985	<i>Ips typographus</i>	МО
		<i>Ips typographus</i>	РК
		<i>Ips acuminatus</i>	БО
		<i>Orthotomicus proxi mus</i>	ИО
ОТРЯД RHABDITIDA: ПОДОТРЯД TYLENCHINA			
Aphelenchoididae	<i>Allodiplogaster sp.</i>	<i>Ips typographus</i>	МО
	<i>Bursaphelenchus sexdentati</i> Rühm 1960	<i>Ips typographus</i>	РК
	<i>Bursaphelenchus mucronatus</i> Mamiya & Enda, 1979	<i>Ips typographus</i>	РК
		<i>Tomicus pilifer</i>	ПК
	<i>Bursaphelenchus leoni</i> Baujard 1980	<i>Ips typographus</i>	РК
	<i>Bursaphelenchus sp.</i>	<i>Ips typographus</i>	МО
		<i>Ips acuminatus</i>	БО
Neotylenchidae	<i>Deladenus sp.</i>	<i>Ips typographus</i>	МО
	<i>Fergusobia sp.</i>	<i>Ips typographus</i>	МО

Примечание: МО – Московская область; БО – Брянская область; ПК – Приморский край (Южное Приморье); ИО – Иркутская область; РК – Республика Коми

Наибольшее число видов нематод (11 видов) выделено из жуков *I. typographus*

Особого внимания заслуживает регистрация нематод *B. mucronatus* – древесной хвойной нематоды из группы *xylophilus* в короеде-типографе, извлеченном из ели в Республике Коми (Чалкин и др., 2024).

Таблица 2 – Видовой состав нематод, выделенных из древесины хвойных пород

Семейство	Вид	Порода дерева	Место сбора
ОТРЯД RHABDITIDA: ПОДОТРЯД RHABDITINA			
Diplogastridae	<i>Micoletzkyia palliati</i> (Rühm, 1956)	<i>Pinus sylvestris</i>	МО
	<i>Micoletzkyia hylurginophila</i> (Rühm, 1956)	<i>Pinus sylvestris</i>	БО
	<i>Micoletzkyia</i> sp.	<i>Pinus sylvestris</i>	БО
		<i>Picea jezoensis</i>	ХК
Rhabditidae	<i>Mesorhabditis</i> Osche, 1952	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
	<i>Parasitorhabditis</i> sp.	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
		<i>Abies nephrolepis</i>	ПК
		<i>Larix gmelinii</i>	ПК
	<i>Teratorhabditis synpapillata</i> Sudhaus, 1985	<i>Pinus sylvestris</i>	БО
ОТРЯД RHABDITIDA: ПОДОТРЯД TYLENCHINA			
Aphelenchoididae	<i>Aphelenchoides paradalianensis</i> Cui, Zhuo, Wang & Liao, 2011	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
	<i>Aphelenchoides</i> sp.	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
		<i>Abies nephrolepis</i>	ПК
		<i>Larix gmelinii</i>	ПК
	<i>Bursaphelenchus mucronatus</i> Mamiya & Enda, 1979	<i>Abies</i> sp.	ПК
	<i>Bursaphelenchus mucronatus</i> Mamiya & Enda, 1979	<i>Picea jezoensis</i>	ХК
	<i>Bursaphelenchus</i> sp. 1	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
	<i>Bursaphelenchus</i> sp. 2	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
		<i>Abies nephrolepis</i>	ПК
	<i>Cryptaphelenchus</i> sp.	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
		<i>Pinus koraiensis</i>	ХК
		<i>Abies nephrolepis</i>	ПК
		<i>Picea jezoensis</i>	ХК
	<i>Ektaphelenchus</i> sp. (Fuchs, 1937)	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
	<i>Laimaphelenchus</i> sp.	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
Anguinidae	<i>Sychnotylenchus kulinichi</i> (Ryss, Chalkin, Subbotin, 2024)	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК

Семейство	Вид	Порода дерева	Место сбора
	<i>Sychnotylenchus</i> sp.	<i>Abies nephrolepis</i>	ПК
Neotylenchidae	<i>Deladenus</i> sp.	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
Panagrolaimidae	<i>Panagrolaimus</i> sp.	<i>Pinus koraiensis</i>	ХК
		<i>Pinus koraiensis</i>	ПК
		<i>Picea jezoensis</i>	ХК
Sphaerulariidae	<i>Prothallonema</i>	<i>Pinus koraiensis</i>	ПК

Примечание: МО – Московская область; БО – Брянская область; ПК – Приморский край (Южное Приморье); ХК – Хабаровский край

Изучение возможности трансмиссии короедом *Ips acuminatus* нематод *Bursaphelenchus xylophilus*

Известно, что перенос высокопатогенного вида *B. xylophilus* в хвойных древостоях осуществляется усачами рода *Monochamus*. В тоже время короеды рода *Ips* неоднократно регистрировались как переносчики различных видов нематод (Rühm, 1960; Tenkacova, Mituch, 1986; Ryss et al., 2005; Robertson et al., 2008). Для изучения возможности ассоциации короедов *Ips* spp. (на примере вершинного короеда *I. acuminatus*) и сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* проведен опыт в контролируемых условиях.

Видовой состав нематод, выявленных в короедах *Ips acuminatus* и древесине сосны обыкновенной из Брянской обл. (I тип). Анализ древесины сосны обыкновенной (I тип), собранной в очаге вершинного короеда (*I. acuminatus*) в Брянской области (до постановки опыта), показал наличие в древесине двух видов нематод (табл. 3).

Таблица 3 – Видовой состав и частота встречаемости нематод, выделенных из древесины сосны *Pinus sylvestris* и из населявших её короедов *Ips acuminatus* до опыта и после его завершения

Виды выделенных нематод	Частота встречаемости нематод (%)			
	до постановки опыта		по окончанию опыта	
	Древесина тип I	<i>I. acuminatus</i>	Древесина тип II	<i>I. acuminatus</i>
<i>Bursaphelenchus xylophilus</i> (Steiner & Buhrer, 1934) Nickle, 1981	0	0	100	47
<i>Micoletzkyia hylurginophila</i> (Rühm, 1956)	25	0	0	0
<i>Micoletzkyia</i> sp.	75	0	50	27
<i>Teratorhabditis synpapillata</i> Sudhaus, 1985	13	5	25	20

Анализ особей вершинного короеда в наших исследованиях показал присутствие различных видов нематод в разных сегментах тела жуков: голова – 3%, среднегрудь – 91% (включая элитры), брюшко – 6%, т.е. значительная часть нематод концентрировалась под элитрами.

Видовой состав нематод, выявленных в короедах *I. acuminatus* и древесине сосны обыкновенной, искусственно зараженной *B. xylophilus* (II тип), по окончании опыта. При анализе древесины (II тип), перенесенной в садок вместе с древесиной, содержащей жуков из Брянской области (I тип), выявлено два вида нематод: *Micoletzkyia* sp., *T. synpapillata*. Нематоды *B. xylophilus* диагностированы во всех древесных образцах (II тип). Диагностика нематод основывалась на молекулярно-генетическом анализе.

На 25-е сутки после размещения древесины типов I и II в одном садке было установлено, что на древесных образцах, зараженных *B. xylophilus* (II тип), появились признаки заселения короедами, сопровождаемые откладкой яиц. Далее, через две недели из-под коры образцов типа II были извлечены 15 молодых особей имаго вершинного короеда, из которых 12 особей содержали личиночные стадии различных видов нематод. В 7-и жуках были обнаружены личинки *B. xylophilus* (Чалкин и др., 2024).

В проанализированных жуках *I. acuminatus* родительского поколения, извлеченных из древесины типа II, нематод *B. xylophilus* не обнаружено.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали возможность заселения имаго вершинного короеда *I. acuminatus* сосновой стволовой нематодой *B. xylophilus*. Полученные результаты необходимо учитывать при анализе путей распространения *B. xylophilus* в лесонасаждениях и международной торговле неокоренной древесиной.

Оценка дальности потенциального распространения фитопаразитических нематод короедами рода *Ips*

При проведении фитосанитарных мероприятий в лесонасаждениях необходимо учитывать дальность и направление разлета вредителей и переносимых ими возбудителей болезней. Особенно это важно для организации карантинных мероприятий по локализации и ликвидации очагов карантинных вредителей. С целью выяснения степени разлета короедов, как потенциальных переносчиков патогенных организмов, проведены исследования на примере короеда-типографа *I. typographus*.

В результате исследований 2022 года установили, что дальность разлёта *I. typographus* в юго-западном направлении составила 1,2 км (рисунок 3).

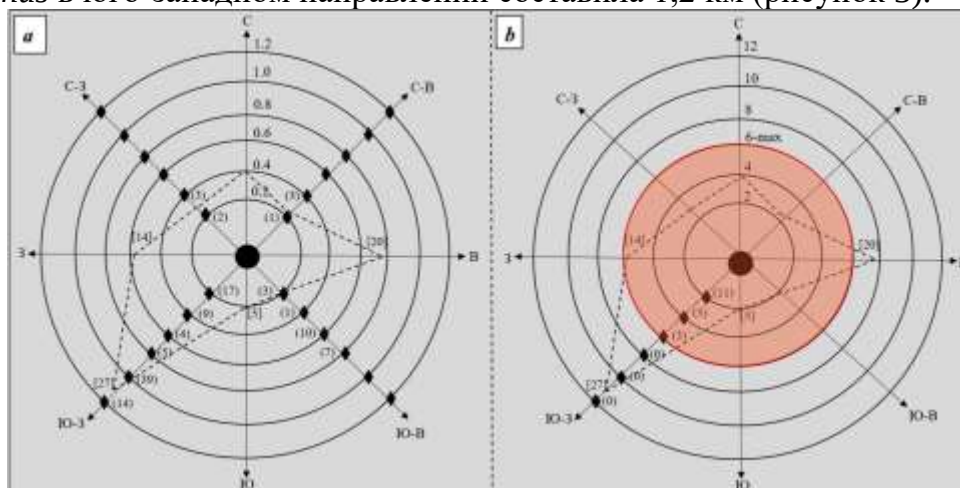


Рисунок 3 – Количество повторно отловленных в феромонные ловушки имаго *Ips typographus* на различном расстоянии от места выпуска: а – изучение направления разлета (2022 г.); б – изучение дальности разлета (2023 г.) (ромб – феромонная ловушка; круг – место выпуска имаго; пунктирная линия – роза ветра; (...) – отловлено имаго, шт; 1..12, 0,2..1,2 – расстояние от места выпуска имаго, км; [...] – повторяемость направлений ветра (%)

Все полученные значения по отлову короеда-типографа в 2022 г. имеют значимые отличия (табл. 4). Значения показателей критерия Пирсона (χ^2) и уровня значимости (p) при числе степеней свободы $df = 1$ доказывают, что в юго-западном направлении короед-типограф в феромонные ловушки отлавливается чаще, чем в северо-западном.

Таблица 4 – Сравнение минимального и максимального количества вторично отловленных особей *Ips typographus* в исследуемых направлениях (2022 г.)

Расстояние, км	Направление разлёта <i>Ips typographus</i>		Значение показателей ¹	
	северо-запад	юго-запад	χ^2	p
0,2	2	14	16,0	0,00148
0,4	3	9	12,0	0,05139
0,6	0	11	11,0	0,00049
0,8	0	5	5,0	0,01464
1,0	0	39	39,0	< 0,05
1,2	0	14	14,0	< 0,05

Примечание: ¹ – Значения показателей критерия Пирсона (χ^2) и уровня значимости (p) при числе степеней свободы $df = 1$

Основываясь на результатах 2022 г., при изучении дальности разлета жуков *I. typographus* в 2023 г. ловушки выставили только в юго-западном направлении с интервалом 2 км. Маркированные насечкой короеды были зафиксированы в трех из шести выставленных ловушек, расположенных на удалении 2, 4 и 6 км от места выпуска меченных имаго. Наибольшее количество особей (11 жуков) было поймано в ловушке, установленной на расстоянии 2 км (рисунок 3). Это связано с беспрепятственным перемещением жуков по открытому пространству, где были установлены ловушки. Максимальное расстояние, на котором были отмечены жуки, составило 6 км. В ловушку, установленную на этом расстоянии, было отловлено 3 особи (Чалкин, Лябзина, 2025).

В результате исследований установлено, что разлёт *I. typographus* осуществлялся самостоятельно против ветра по направлению к приманке на расстояние до 6 км.

Порошок люминофор и насечка на скате надкрылий жуков являются допустимыми способами маркировки короедов и позволяют решить вопрос отслеживания миграционной активности короедов, а также распространения ассоциированных с ними опасных нематодных и грибных патогенов.

Эффективность применения динитрила щавелевой кислоты при фумигации для обеззараживания древесины от нематод *Bursaphelenchus xylophilus*

Фумигация является одной из наиболее часто используемых фитосанитарных мер по обеззараживанию круглого леса и пиломатериалов от вредителей и возбудителей болезней. В связи с ограничением/запретом в мире применения бромистого метила, как основного фумиганта при обеззараживании продукции, проведены исследования по применению альтернативного озонобезопасного препарата – динитрил щавелевой кислоты. Данный фумигант использовался для обеззараживания круглых лесоматериалов против карантинного организма – сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus*.

За 72 часа до обработки динитрилом щавелевой кислоты древесные образцы, зараженные *B. xylophilus*, проверяли на наличие нематод. Количество нематод по

сравнению с исходным инокулюмом в бревнах увеличилось в несколько раз и составило в среднем 1723 нематоды/100 г сырого веса древесины.

Эффективность применения данного фумиганта оценивали по степени смертности нематод в древесных образцах через 24 ч, 48 ч, 10 дней и 28 дней после обработки. Во всех тестах, проведенных при 20 °С, динитрил щавелевой кислоты вызывал 100% гибель *B. xylophilus* при всех применяемых дозах ($P < 0,001$) (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние обработки динитрилом щавелевой кислоты на смертность нематод *Bursaphelenchus xylophilus* при фумигации древесных образцов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) при 20°С.

Доза (г / м ⁻³)	Ст (г ч м ⁻³)	Среднее количество нематод за 72 ч до обработки фумигантом	Смертность нематод после обработки (%)			
			24 ч	48 ч	10 сут	28 сут
Фумигация, 12 ч						
50	300	3950±1389	100	100	100	100
Фумигация, 24 ч						
75	900	1991±461	100	100	100	100
50	600	245±52	100	100	100	100
25	300	354±1	100	100	100	100
Контроль ¹		849±328	795±265	806±310	789±340	831±352

Примечание: ¹ – Все нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* в необработанных бревнах (контрольные образцы) были живыми.

Наиболее эффективными вариантами обработки были дозировки 25 г / м³ при 24 ч фумигации и 50 г / м³ при 12 ч. Концентрация Ст составила 300 г ч м⁻³ для обоих случаев. Среднее количество нематод в контрольных бревнах оставалось практически неизменным в течение всего периода исследования. Следует отметить, что дозировка 25 – 60 г / м³ данного препарата ранее рекомендовалась для уничтожения в древесине насекомых-ксилофагов (Hooper et al., 2003; Ren et al., 2005).

Устойчивость основных хвойных лесообразующих пород Российской Федерации к *Bursaphelenchus xylophilus*

Все хвойные породы относятся к числу потенциальных растений-хозяев сосновой нематоды, однако некоторые из них устойчивы к патогену, как, например, североамериканские породы хвойных. В связи с этим нами проведены исследования по изучению устойчивости основных лесообразующих пород Российской Федерации к *B. xylophilus*.

Кедр сибирский Pinus sibirica. В ходе эксперимента по оценке патогенности *B. xylophilus* для *P. sibirica* установлена динамика развития увядания. Первые симптомы - пожелтение хвои (1 СУ) отмечены на 5-е и 7-е сутки. К 10-му дню все инокулированные нематодами саженцы имели 30% поражения кроны (3 СУ). К 35-му дню у большинства растений наблюдалось увядание 3–4 степени, а к 50-му дню опыта оно возросло до 4–5 СУ (таблица 6).

Таблица 6 – Численность нематод *Bursaphelenchus xylophilus* в саженцах хвойных пород в конце опыта (нематод/100 г сырого веса древесины)

Вид хвойного растения	Инокулюм <i>B. xylophilus</i>	Период проведения опыта (дней) ¹	СУ ² в конце опыта	Средняя численность нематод на 100 г сырого веса древесины
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe (1914)	5000	34	3-4	65916 (32420-171040)
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour, 1803	5000	50	4	44195 (6560-182400)
<i>Pinus sylvestris</i> L., 1753	5000	50	4	21696 (5280-48075)
<i>Larix sibirica</i> Ledeb., 1833	300	69	4	7835 (1180-8200)
	1000	41	4	9190 (477-14834)
	5000	18	5	626 (0-2166)
<i>Abies sibirica</i> Ledeb., 1833	5000	128	1-2	45 (0-5085)
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	5000	более 62	0	0

Примечание: ¹ – период наблюдения за растениями с даты заражения нематодами до максимальной степени их увядания; ² – (СУ) степень увядания

Контрольные растения (инокуляция водой) на протяжении всего опыта оставались здоровы, за исключением локального некроза в месте инокуляции у некоторых экземпляров на 20-й день. Общая численность нематод в наземной части разных растений на 50-й день опыта увеличилась в 6 - 117 раз по сравнению с инокулюмом. Нематоды также заселяли корневую часть растений.

Сосна обыкновенная Pinus sylvestris. Нематоды менее интенсивно размножались в саженцах сосны, по сравнению с кедром. Начальное пожелтение хвои в местах инокуляции отмечено на 10-е сутки. Первые симптомы увядания (1 СУ) зафиксированы на 12-е сутки у 5 из 8 зараженных растений. К 30-м суткам степень увядания варьировала от 1 до 3. Максимальная численность *B. xylophilus* в наземной части саженцев достигала 52635 особей/растение, а минимальная - 6864 особей/растение, что, соответственно, в 11 раз и в 1,4 раза больше, чем первичный инокулюм. Полная гибель всех зараженных саженцев (4–5 СУ) наступила к 50-м суткам, хвоя приобрела темно-бурый или желтый оттенок. Контрольные растения (инокуляция водой) на протяжении всего опыта признаков увядания не проявили.

Сосна крымская Pinus nigra subsp. pallasiana. Первые симптомы поражения вилтом (2 СУ) появились у саженцев сосны крымской на 18-й день после заражения растений нематодами *B. xylophilus*. У двух растений отмечено усыхание ветки, в которую был внесен нематодный инокулюм, и усыхание хвои на стволе саженцев. К концу опыта на 32-й день наблюдений у всех растений сосны, зараженных *B. xylophilus*, установлена 3-4 СУ, при этом у большинства саженцев наблюдали увядание кончиков веток и макушки растения.

Лиственница сибирская Larix sibirica. Все зараженные нематодами саженцы лиственницы одновременно полностью пожелтели (2 СУ) на 10-е сутки. С 18-х суток желтая хвоя начала обильно опадать и все зараженные нематодами растения погибли (5 СУ). Исключение составило одно зараженное нематодами растение, которое достигнув третьей степени увядания (3 СУ), к концу опыта дало побеги. Численность нематод во всех саженцах лиственницы на 50-й день опыта была значительно ниже, чем первичный инокулюм. Самая низкая средняя численность нематод зафиксирована в растениях лиственницы: 349 особей/100 г в наземной части саженца, что в 144 раза

меньше, чем в кедре и в 72 раза меньше по сравнению с сосной обыкновенной (табл. 6).

У саженцев пихты сибирской пожелтение веточек (1 СУ) наблюдали на 45-й день после инъекции: у всех зараженных саженцев отмечено побурение хвоинок на стволе в нижней части растений. На 70-й день опыта отмечено усыхание веток, в которые был внесен инокулюм с нематодами, однако ни одно растение не погибло. Средняя численность нематод через 128 дней после заражения пихты была ниже первичного инокулюма и варьировала от 47 до 258 нематод/растение, а в одном саженце нематод совсем не обнаружено.

Ель обыкновенная *Picea abies*. У саженцев ели обыкновенной при наблюдении в течение 62 дней признаков увядания не отмечено ни у одного растения. Зараженные нематодами растения и саженцы в контроле были с зеленой хвоей, признаки увядания или поражения отсутствовали.

Определение параметров для эффективной экстракции нематод-ксилофагов *Bursaphelenchus xylophilus* из древесного субстрата методом Бермана

Самым продолжительным этапом в гельминтологическом исследовании является процесс выделения нематод из субстрата. В мировой практике для выделения сосновой стволовой нематоды из древесины обычно используют вороночный метод Бермана или его модификации. При этом для выделения нематод рекомендуются 24 или 48 ч (Schroder et al., 2009; ISPM 27, 2016). В связи с отсутствием данных по численности выделенных нематод при указанных экспозициях проведено уточнение таких параметров, как время и температура, которые являются важными составляющими при проведении исследования в лабораториях.

Экстракцию нематод проводили при экспозиции в 6 ч, 24 ч и 48 ч от начала выделения в климатическом помещении при 18°C и 25°C. Среднее количество экстрагированных нематод за два дня составило 48,8 нематод/образец при 18°C и 68,5 нематод/образец при 25°C. За первые 6 часов при 18°C и 25°C было извлечено в среднем 32% и 17%, а к концу первых суток (следующие +18 ч) 46% и 63% соответственно от общего количества нематод (за 48 ч) (рисунок 4).

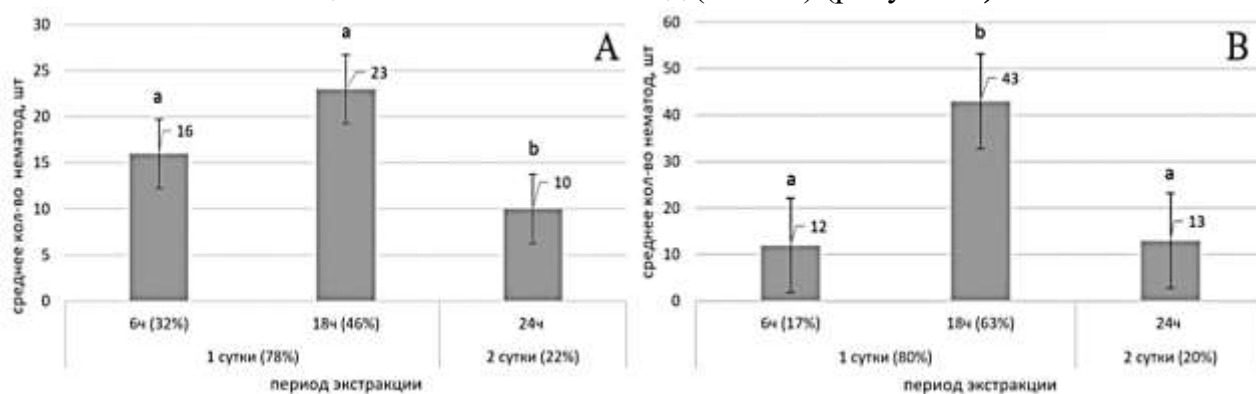


Рисунок 4 – Среднее значение выделенных нематод *Bursaphelenchus xylophilus* из образцов *Pinus sylvestris* за 6 ч, 18 ч и 24 ч экстракции при различных температурах: А-18°C; В-25°C

Все эти различия между температурными режимами были достоверны ($p < 0,028$). В течение вторых суток существенной дифференциации в количестве извлеченных нематод при температурных режимах исследований не наблюдалось. Оптимальными параметрами, которые можно рекомендовать для выделения

B. xylophilus, являются 24 ч при 18-25 °С, при которых выделяется более 80% всех нематод в пробе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При обследовании хвойных насаждений на территории Российской Федерации фауна выявленных нематод, ассоциированных с хвойными породами и короедами, включала 20 видов, относящихся к 16 родам, 7 семействам отряда Rhabditida. Фауна нематод рода *Bursaphelenchus* включала три вида: *B. mucronatus* (PZ014457.1), *B. sexdentati* (PX980793.1), *B. leoni* (PZ019405.1). Следует отметить регистрацию личинок *B. mucronatus*, обнаруженных в короедах *Ips typographus* и *Tomicus pilifer*. В результате обследования хвойных древостоев и лесоматериалов на территории РФ описан новый для науки вид *Sychnotylenchus kulinichi* (Ryss, Chalkin, Subbotin, 2024) (Nematoda: Anguinoidea), обнаруженный в увядающей сосне корейской *P. koraiensis* в Приморском крае.

В результате лабораторных исследований определен новый вектор возможного распространения высокопатогенного вида нематоды *B. xylophilus*. Установлено, что нематоды *B. xylophilus*, находящиеся в древесине сосны обыкновенной *P. sylvestris*, способны заселять имаго вершинного короеда *Ips acuminatus*. Нематоды в личиночной стадии концентрируются под элитрами жуков. Полученные данные являются основанием для пересмотра анализа фитосанитарного риска в отношении путей инвазии карантинного вида – сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* для территории России.

Для прогнозирования расселения вредителей и переносимых ими возбудителей болезней из очагов проведены оригинальные исследования по изучению разлёта короедов рода *Ips* (на примере *I. typographus*). Установлено, что самостоятельное движение жуков было направлено преимущественно против преобладающего потока воздуха по направлению к аттрактанту (=растению-хозяину) на расстояние до 6 км.

Исследования показали возможность применения порошка люминофора в качестве красящего пигмента для маркировки имаго короедов. Порошок люминофор не влиял на жизнедеятельность короедов, которые продолжали привлекаться видоспецифичным аттрактантом в феромонные ловушки. Остаточное количество порошка присутствовало на поверхности жуков (в складках и сочленениях тела) в период наблюдения (до 14 дней) в естественных условиях.

Ввиду неоднозначности рекомендаций по выделению нематод-ксилобионтов методом Бермана при фитогельминтологических исследованиях проведена оценка влияния температуры и времени экспозиции (6, 24 и 48 ч) на степень экстракции нематод (на примере нематод *B. xylophilus*) из древесного субстрата (*Pinus sylvestris*). Оптимальными параметрами для проведения фитогельминтологического исследования являются: 24 часа и температура 18-25 °С, при которых экстрагируется 80% всех нематод.

Проведенные исследования по изучению устойчивости/восприимчивости основных лесобразующих хвойных пород Российской Федерации показали, что ель обыкновенная *Picea abies* является устойчивой, а пихта сибирская *Abies sibirica* умеренно восприимчивой к *B. xylophilus* породой. Сосна обыкновенная *Pinus sylvestris*, кедр сибирский *Pinus sibirica* и сосна крымская *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* показали восприимчивость к сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus*. Вилт хвойных пород проявился на всех саженцах сосен (*Pinus* spp.) через 1-2 недели после заражения нематодами *B. xylophilus* и вызвал гибель деревьев в течение 32-50 дней при средней температуре воздуха 22 °С. Экспериментально выявлена восприимчивость саженцев

лиственницы сибирской *Larix sibirica* к сосновой стволовой нематоде. Инкубационный период развития вилта при 22 °С составил от двух недель до двух месяцев в зависимости от объёма введенного нематодного инокулюма. Симптоматика заболевания у лиственницы имеет отличительную черту: у отдельных растений лиственницы при сильном увядании (3-4 степень) продолжалось развитие побегов, что не характерно для течения болезни у наблюдаемых в опыте сосен (*Pinus* spp.).

Установлены нормы применения фумиганта динитрила щавелевой кислоты для обеззараживания лесоматериалов хвойных пород от нематод *B. xylophilus*. Динитрил щавелевой кислоты в дозе 50 г/м³ при экспозиции 12 ч и 25 г/м³ при 24 ч вызвала 100%-ю гибель нематод в древесине. Данный озонобезопасный фумигант рекомендуется применять в качестве альтернативы бромистому метилу.

ВЫВОДЫ

1. В результате изучения фауны нематод, ассоциированных с хвойными породами и короедами на территории Российской Федерации, было выявлено 20 видов, относящихся к 7 семействам отряда Rhabditida. Нематоды-ксилобионты рода *Bursaphelenchus* представлены тремя видами: *B. mucronatus*, *B. sexdentati* и *B. leoni*. Описан новый вид нематоды – *Sychnotylenchus kulinichi* Ryss, Chalkin, Subbotin, 2024.

2. Карантинный организм – сосновая стволовая нематода *B. xylophilus* при обследовании территории Российской Федерации не выявлена, однако заслуживает внимания обнаружение близкородственного вида *B. mucronatus* в короедах *Ips typographus* и *Tomicus pilifer*.

3. По результатам опыта показана возможность заселения вершинного короеда *I. acuminatus* сосновой стволовой нематодой *B. xylophilus*, что предполагает возможность переноса этого патогена данным видом короеда.

4. Установлено, что потенциальное распространение патогенных нематод при разлёте *I. typographus* возможно на расстояние до 6 км. Исследования показали возможность применения порошка люминофора для маркировки короедов, как наиболее эффективного метода при изучении расселения жуков.

5. При обработке древесины (*Pinus sylvestris* L.) против нематод-ксилобионтов *B. xylophilus* установлены эффективные дозировки динитрила щавелевой кислоты при которых отмечена полная гибель нематод в древесине: 25 г / м³ при 24 ч фумигации и 50 г / м³ при 12 ч.

6. Проведенные исследования по изучению устойчивости/восприимчивости сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*, кедра сибирского *P. sibirica* и сосны крымской *P. nigra* subsp. *pallasiana* показали восприимчивость всех этих пород к сосновой стволовой нематоде *B. xylophilus*. Экспериментально подтверждена восприимчивость саженцев лиственницы сибирской к сосновой стволовой нематоде. Симптоматика заболевания у лиственницы сибирской *Larix sibirica* имеет отличительную черту: в отличие от наблюдаемых в опыте сосен, у отдельных растений лиственницы при сильном увядании продолжается развитие побегов. Пихта сибирская *Abies sibirica* оказалась слабо восприимчивой к *B. xylophilus*, однако может рассматриваться как растение-хозяин, т.к. в исследуемых саженцах популяция нематод сохранялась, но симптомы вилта не проявлялись. Ель обыкновенную *Picea abies* можно отнести к числу пород, устойчивых к патогену *B. xylophilus*.

7. Проведённые опыты по использованию вороночного метода Бермана при фитогельминтологических исследованиях показали, что около 80% нематод рода *Bursaphelenchus* выделяются из древесного субстрата *Pinus sylvestris* в течение первых 24 часов при температуре 18 – 25 °С.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При анализе фитосанитарного риска высокопатогенного организма - сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus*, НОКЗР (NPPRO), следует учесть результаты исследований по возможной трансмиссии этого карантинного вида нематоды короедами рода *Ips*.

2. Организациям, работающим в сфере защиты леса, при разработке мероприятий по ликвидации очагов короеда рода *Ips* и оценки потенциального распространения ассоциированных с этими вредителями патогенов необходимо учитывать способность короедов к полёту на расстояние до 6 км от очага.

3. При изучении миграционной активности стволовых вредителей в естественных условиях рекомендуется в качестве эффективного способа учета насекомых проводить окрашивание имаго порошком люминофором.

4. При проведении фитосанитарных мероприятий по обеззараживанию древесины хвойных пород от сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus* рекомендуется вместо бромистого метила применять озонобезопасный фумигант динитрил щавелевой кислоты с дозировками 25 г м⁻³ при 24 ч экспозиции или 50 г м⁻³ при 12 ч, вызывающими 100%-ю гибель фитогельминтов.

5. При лесовосстановительных работах в зонах возможной инвазии сосновой стволовой нематоды не рекомендуется производить высадку растений: *Pinus sylvestris*, *P. sibirica* и *Larix sibirica*.

6. При проведении гельминтологических исследований на зараженность фитопаразитическими нематодами следует учесть, что при выделении нематод-ксилобионтов методом Бермана из древесного субстрата целесообразно применять 24-часовую экспозицию при температуре 18-25°C.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Чалкин А.А., Лябзина С.Н., Синицына Е.В., Лобур А.Ю., Донской О.А. Мониторинг жуков короедов (Scolytinae) в лесных ценозах заповедника «Кивач» с помощью феромонных ловушек отечественного производства // Лесной вестник Forestry Bulletin. 2021. Т. 25. № 6. С. 98–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-98-105.

2. Кулинич О.А., Чалкин А.А., Ряскин Д.И., Арбузова Е.Н., Козырева Н.И., Петров А.В. Распространение и карантинный статус короедов рода *Ips* для России и других стран мира // Защита и карантин растений. – 2022. – №. 4. – С. 27-31. DOI: 10.47528/1026-8634_2022_4_27.

3. Чалкин А.А., Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., Рысс А.Ю. Сосновая стволовая нематода *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle и возможности ее акклиматизации в Республике Карелия // Труды КарНЦ РАН, Сер. Биogeография. 2022. – №1. С. 63-75 DOI 10.17076/bg1512.

4. Лябзина С.Н., Чалкин А.А. Феромониторинг короеда-типографа в Карелии // Защита и карантин растений. 2023. № 6. С. 27-29. DOI: 10.47528/1026-8634_2023_6_27.

5. Чалкин А.А., Лябзина С.Н., Кулинич О.А. Изучение направления разлета *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) с помощью люминесцентного порошка // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2024. Т. 28. № 5. С. 118–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-118-128.

6. Чалкин А.А., Кулинич О.А., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н. К изучению роли вершинного короеда *Ips acuminatus* в трансмиссии фитопатогенных нематод рода *Bursaphelenchus* // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 123–140. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.123-140.

7. Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., Козырева Н.И., **Чалкин А.А.**, Щуковская А.Г., Ряскин Д.И. Изучение восприимчивости саженцев кедра сибирского (*Pinus sibirica*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) к возбудителю вилта хвойных пород – сосновой стволовой нематоде *Bursaphelenchus xylophilus* // Российский паразитологический журнал. 2025. №19(1). С. 125-138. DOI: 10.31016/1998-8435-2025-19-1-125-138.

8. Петров А.В., **Чалкин А.А.**, Арбузова Е.Н., Кулинич О.А. Модификация конструкции барьерной ловушки для отлова дендрофильных насекомых // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. № 1(254). С. 235-245. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.254.235-245.

Публикации в изданиях WoS, Scopus:

1. Arbuzova E.N., Kulinich O.A., **Chalkin A.A.**, Weis V., Magomedov R.K., Mordkovich Y.B., Kozyreva N.I. Ryss A. Yu. Efficacy of Ethanedinitrile fumigant application against the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchidae), in pine logs // Russian Journal of Nematology. 2020. Т. 28. №. 1. DOI: 10.24411/0869-6918-2020-10006.

2. Arbuzova E.N., Kulinich O.A., **Chalkin A.A.**, Kozyreva N.I., Gorbach V.V., Ryss A.Y. Infestation of pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings with the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* Steiner and Buhrer (Nickle) through wood sawdust // Annals of Forest Science. 2023. Т. 80. №. 1. Pp. 1-11. DOI:10.1186/s13595-023-01174-y.

3. Ryss A.Yu.; **Chalkin A.A.**, Subbotin S.A. *Sychnotylenchus kulinichi* sp. n. (Nematoda: Anguinoidea) from the Primorsky Krai of Russia with a tabular key to the genus *Sychnotylenchus* Rühm, 1956 // Nematology. 2024. 26. Pp. 1055-1076. DOI: 10.1163/15685411-bja10358.

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. **Чалкин А.А.**, Синкевич О.В., Зинников Д.Ф., Лябзина С.Н. Выявление карантинных видов насекомых на ООПТ Республики Карелия // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. 2019. С. 276–278.

2. **Чалкин А.А.**, Ряскин Д.И., Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., Зинников Д.Ф. Короеды рода *Ips* (Coleoptera: Curculionidae) и их фитосанитарное значение при экспорте и импорте лесной продукции // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти ОА Катаева). 2020. С. 345–346.

3. **Чалкин А.А.**, Шамаев А.В., Кулинич О.А., Некляев С.Э. Рекомендации по экспресс-диагностике повреждений хвойных насаждений на территории Московской области наиболее распространёнными видами короедов (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae). Материалы II Международной научно-практической конференции «Современные проблемы лесозащиты и пути их решения» посвященная 95-летию со дня рождения профессора Н.И. Фёдорова и 90-летию кафедры лесозащиты и древесиноведения. Минск, 2020. С. 276–278.

4. Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., **Чалкин А.А.**, Козырева Н.И., Рысс А.Ю. Распространение сосновой стволовой нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* в мире и результаты обследования хвойных насаждений в Российской Федерации. Материалы II Международной научно-практической конференции «Современные проблемы лесозащиты и пути их решения» посвященная 95-летию со дня рождения профессора Н.И. Фёдорова и 90-летию кафедры лесозащиты и древесиноведения. Минск, 2020. С.263–267.

5. Кулинич О.А., Ряскин Д.И., **Чалкин А.А.**, Шамаев А.В., Штапова Н.Н., Арбузова, Е.Н. Короеды (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) и их карантинное

фитосанитарное значение при экспорте и импорте лесной продукции // Фитосанитария. Карантин растений. 2021. № 1. С. 11–23.

6. **Чалкин А.А.**, Лябзина С.Н. Результаты мониторинга ксилофильных жесткокрылых феромонными ловушками в Ботаническом саду ПетрГУ // Hortus bot. 2022. № 17. DOI: 10.15393/j4.art.2022.8445.

7. Kulinich O.A., **Chalkin A.A.**, Arbuzova E.N., Gorbach V.V. About the optimal time and temperature parameters for the extraction of *Bursaphelenchus xylophilus* nematodes by the Baermann method. Book of abstracts IUFRO, Forest Health, 6-9 September 2022, p. 119.

8. **Чалкин А.А.**, Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., Горбач В.В. Опыт выделения нематод-ксилофагов методом Бермана при различных температурных режимах / VII съезд Паразитологического общества: итоги и актуальные задачи, 16–20 октября 2023 г., Петрозаводск, Россия: тезисы докладов научное электронное издание / редакционная коллегия: С.В. Бугмырин, Е.П. Иешко, А.А. Сущук, Г.А. Яковлева; Паразитологическое общество, Зоологический институт РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН». – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023 С.388–389.

9. **Чалкин А.А.**, Лябзина С.Н. Оценка дальности и направления разлета короеда типографа *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) материалы Международной научно-практической конференции: «Фитосанитарная безопасность: угрозы, вызовы и пути решения», посвященной 65-летию основания института (14-15 декабря 2023, г. Алматы, Республика Казахстан). Алматы, 2023. С. 212–215.

10. **Чалкин А.А.**, Кулинич А.О., Арбузова Е.Н., Козырева Н.И. «Фумигация лесоматериалов для обеззараживания от нематод-ксилофагов» XV Международный нематологический симпозиум «Нематоды и другие Ecdysozoa: важнейшие открытия и перспективы исследований 23-25 августа 2023, Институт проблем экологии и эволюции А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия.

11. Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., **Чалкин А.А.** Альтернативный путь заноса и распространения сосновой стволовой нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner) Nickle через древесные опилки // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. № S2-1(18). С. 50.

12. **Чалкин А.А.**, Кулинич О.А., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н. О возможности переноса короедами *Ips acuminatus* Gyll. сосновой стволовой нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. № S1(18). С. 86-87.

13. Кулинич О.А., Шуковская А.Г., Арбузова Е.Н., Козырева Н.И., **Чалкин А.А.** Карантинные лесные организмы: пути заноса и локализация очагов // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. № S1(18). С. 44-45.

14. **Чалкин А.А.**, Кулинич О.А., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н. Нематоды-ксилобионты, ассоциированные с короедами рода *Ips* De Geer, 1775 «Защита и карантин растений. Здоровые растения – здоровая нация» Материалы научно – практической конференции 10-13 декабря 2024. С 85-86.

15. **Чалкин А.А.**, Лябзина С.Н. Изучение дальности разлета короеда-типографа *Ips typographus* L., 1758 для оценки эффективности разных способов маркировки жуков // Фитосанитария. Карантин растений. 2025. № 2(23). С. 17-26. DOI 10.69536/FKR.2025.23.66.001.

16. **Чалкин А.А.**, Козырева Н.И., Арбузова Е.Н., Кулинич О.А. Изучение возможности переноса нематод рода *Bursaphelenchus* вершинным короедом *Ips acuminatus* Материалы Конгресса исследователей симбиотических систем 6-11 октября 2025 года, г. Москва. Москва: ИПЭЭ РАН, 2025, С. 304 DOI:10.61726/7635.2025.82.30.001.

Подписано в печать 01.10.2026
Тираж - 80 экз.
Отпечатано в типографии ФГБУ "ВНИИКР"
140150, Московская обл., м.о. Раменский,
пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32
www.vniikr.ru
тел. +7 (499) 707-22-27