

Изучение дальности разлета короеда-типографа *Ips typographus* L., 1758 для оценки эффективности разных способов маркировки жуков

* ЧАЛКИН А.А.¹, ЛЯБЗИНА С.Н.²

¹ ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия, 140150

² Североморский филиал ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185003

² ФГБУ ВО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185035

¹ ORCID 0000-0002-7937-4667, e-mail: chalkin10@ya.ru

² ORCID 0000-0003-3386-5724, e-mail: slyabzina@petsu.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены исследования по изучению дальности разлета короеда-типографа *Ips typographus* L., 1758 как возможного переносчика фитопатогенных организмов (бактерии, грибы, нематоды). Направления миграции короедов рода *Ips* имеет важное значение для оценки рисков, связанных с их распространением и влиянием на экосистему. Для мечения имаго короеда-типографа были использованы два способа – окраска порошком люминофора и маркировка насечкой на скате надкрылий. Сбор имаго в лесном ценозе и повторный отлов меченых короедов проводили с применением феромонных ловушек барьерно-вороночного типа, внутри которых размещали видоспецифичный аттрактант для приманивания короеда-типографа. Эксперимент проводили в Республике Карелии в открытых биоценозах в период активного лёта насекомых. Как меченные порошком люминофора, так и насечкой имаго были зарегистрированы в ловушках при повторном отлове. При изучении дальности разлета короедов феромонные ловушки были размещены в юго-западном направлении до 6 шт с интервалом 2 км на протяжении 12 км. Всего в результате двухлетнего эксперимента из 2132 меченых особей короеда-типографа (насечкой 1350, порошком люминофора 782) повторно отловлено 137 жуков (7%). Наибольшее количество жуков, как окрашенных порошком, так и меченных насечкой, отлавливалось на расстоянии 1–2 км в юго-западном направлении, а максимальная дальность разлета

Study of dispersal of eight-toothed spruce bark beetle *Ips typographus* L., 1758 to evaluate the effectiveness of different beetles marking methods

* ANDREY A. CHALKIN¹, SVETLANA N. LYABZINA²

¹ All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU “VNIIKR”), Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia, 140150

² Severomorsk branch of All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU “VNIIKR”), Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, 185003

² Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Petrozavodsk State University”, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, 185035

¹ ORCID 0000-0002-7937-4667, e-mail: chalkin10@ya.ru

² ORCID 0000-0003-3386-5724, e-mail: slyabzina@petsu.ru

ABSTRACT

The article presents studies on the dispersal of the eight-toothed spruce bark beetle *Ips typographus* L., 1758, as a possible vector of phytopathogenic organisms (bacteria, fungi, nematodes). The migration directions of the *Ips* genus bark beetles are important for assessing the risks associated with their spread and impact on the ecosystem. Two methods were used to mark the bark beetle imagoes: marking with fluorescent powder and marking with a notch on the elytra slope. Collection of imagoes in the forest cenosis and a secondary collection of the marked bark beetles were carried out using pheromone traps of the barrier-funnel type, inside which a species-specific attractant was placed to attract the bark beetle. The experiment was performed in the Republic of Karelia in open biocenoses during the active flight period. Both fluorescent powder-marked and notched adults were recorded in traps during the secondary collection. When studying the dispersal of bark beetles, pheromone traps were placed in the southwest direction up to 5 pieces at intervals of 2 km over a length of 12 km. In total, as a result of the two-year experiment, out of 2132 marked individuals of the eight-toothed spruce bark beetle (notch 1350, fluorescent powder 782), 137 beetles (7%) were recaptured. The greatest number of beetles, both powder-marked and notched,

зафиксирована в ловушке, установленной в этом направлении на 6 км. Жуки-короеды в значительной степени ориентированы на разлет в юго-западном направлении, что обусловлено преобладанием розы ветров в местности, где проводились исследования. Порошок люминофора и насечка на скате надкрылий жуков являются допустимым способом маркировки короедов для их идентификации.

Ключевые слова. Фитопатоген, распространение, короед-типограф, *Ips typographus*, феромонные ловушки, мечение с повторным отловом.

ВВЕДЕНИЕ



Короеды рода *Ips* De Geer, 1775 являются важной группой насекомых, относящихся к семейству Curculionidae и подсемейству Scolytinae жуков-короедов. Эти насекомые играют ключевую роль в экосистемах лесов, как в положительном, так и в отрицательном смысле.

В естественных условиях короеды могут способствовать разложению мертвой древесины и поддержанию биологического разнообразия, однако в условиях стресса, при ухудшении санитарного состояния леса их популяция может резко увеличиться, приведя к значительным повреждениям деревьев (Goodsman et al., 2016). Короеды, проникая в кору и древесину, ослабляют деревья, в результате чего они становятся более уязвимыми для других патогенов и вредителей (Лямцев, 2023). Поврежденные деревья создают условия для развития различных микроорганизмов, таких как грибы и бактерии, а также для других вредителей, включая ксилофильных нематод. Особенное значение имеют нематоды рода *Bursaphelenchus*, к которым относится карантинный организм – сосновая стволовая нематода *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner, 1934) Nickle, 1970) вызывающая полную гибель деревьев хвойных пород. Лабораторные исследования показывают, что нематода *B. xylophilus* может локализоваться в имаго *Ips acuminatus* Gyllenhal, 1827 под элитрами (Чалкин и др., 2024а). Близкородственный к сосновой стволовой нематоды вид *Bursaphelenchus mucronatus* Mamiya and Enda, 1979 также отмечен под элитрами в короеде-типографе (Чалкин и др., 2024b).

Нематоды, обитающие в древесине, могут являться причиной усыхания деревьев, в результате чего лесные массивы могут стать менее продуктивными и более уязвимыми к экологическим изменениям (Ryss et al., 2018; Кулинич и др., 2025).

Изучение миграционных маршрутов короедов рода *Ips* имеет важное значение для оценки рисков, связанных с их распространением и влиянием на экосистему, позволяет выявлять наиболее уязвимые участки леса, которые могут подвергаться заражению нематодами.

were captured at a distance of 1–2 km in the southwest direction, and the maximum flight range was recorded in a trap installed in this direction at 6 km. Bark beetles are largely oriented towards flying in the southwest direction, which is due to the prevailing wind rose in the area where the studies were conducted. Fluorescent powder and notches on the the beetles' elytra slope are an acceptable method of marking bark beetles for their identification.

Key words. Phytopathogen, distribution, eight-toothed spruce bark beetle, *Ips typographus*, pheromone traps, mark-recapture.

INTRODUCTION



Bark beetles of the genus *Ips* De Geer, 1775 are an important group of insects belonging to the family Curculionidae and the subfamily Scolytinae of bark beetles. These insects play a key role in forest ecosystems, both positively and negatively. In natural conditions, bark beetles can contribute to the decomposition of dead wood and the maintenance of biological diversity, but under stress, when the health of the forest deteriorates, their population can increase sharply, leading to significant damage to trees (Goodsman et al., 2016). Bark beetles, penetrating the bark and wood, weaken trees, as a result of which they become more vulnerable to other pathogens and pests (Lyamcev, 2023). Damaged trees create conditions for the development of various microorganisms, such as fungi and bacteria, as well as for other pests, including xylophilic nematodes. Of particular importance are nematodes of the genus *Bursaphelenchus*, which includes the quarantine pest – pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner, 1934) Nickle, 1970), which causes complete death of coniferous trees. Laboratory studies show that the nematode *B. xylophilus* can be localized in the imago of *Ips acuminatus* Gyllenhal, 1827 under elytra (Chalkin et al., 2024a). A closely related species to the pine wood nematode, *Bursaphelenchus mucronatus* Mamiya and Enda, 1979, was also noted under elytra in the bark beetle (Chalkin et al., 2024b).

Wood-dwelling nematodes can cause tree decline, which can make forests less productive and more vulnerable to environmental change (Ryss et al., 2018; Kulinich et al., 2025).

Studying the migration routes of the *Ips* genus bark beetles is important for assessing the risks associated with their spread and impact on the ecosystem, and will help identify the most vulnerable areas of the forest that may be subject to nematode infestation.

In most cases, insects are marked for research purposes to determine the direction and distance of their migration. Most marking methods require

Насекомых метят в большинстве случаев для проведения исследований для определения направления и дальности их миграции. Большинство способов мечения требуют подготовки насекомых в лабораторных условиях перед выпуском в естественную среду ввиду необходимости применения специального оборудования (Forsse, Solbreck, 2009; Shegelski, Evenden, 2019). Немногие варианты маркировки доступны для выполнения в полевых условиях (Linton, 1987; Zumr, 1992; Franklin, Grégoire 1999). Некоторые из доступных полевых методов маркировки включают использование цветных меток или наклеек, которые прикрепляются к насекомым (Jactel, 1991; Duelli, 1997), что позволяет отслеживать перемещения насекомых в их естественной среде обитания, однако со временем метки стираются. В последнее десятилетие с развитием технологий для маркировки стала доступна телеметрия для отслеживания перемещения крупных особей насекомых. Датчики для дистанционного отслеживания устанавливаются на тело насекомых, которые продолжают свободное движение, что позволяет отметить их суточную активность, скорость перемещения и место их локализации (Růžicková, Elek, 2023). Развитие технологий позволяет применить миниатюрные GPS датчики, которые повышают точность данных об их миграции (Ju, Son, 2022).

Цель нашей работы заключается в установлении дальности полета короедов рода *Ips* как потенциальных переносчиков патогенных нематод и проведении сравнительной оценки различных методов маркировки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Республике Карелия (Прионежский район, пос. Шуя) в 2022–2023 гг. Для проведения исследований подбирался открытый биотоп площадью более 100 га (61.89° с.ш., 34.21° в.д.). В эксперименте использовались барьерно-вороночные феромонные ловушки с аттрактантом *Ips typographus* (ФГБУ «ВНИИКР», Россия) как для отлова короедов в естественной среде до маркировки, так и при повторном отлове для изучения миграции и установления дальности разлета имаго короеда-типографа.

Наиболее эффективными для маркировки насекомых являются материалы, которые можно легко наносить методом орошения либо добавлять в приманку (Schellhorn et al., 2004). Нами использовался порошок люминофора, который ранее успешно тестировали для мечения короеда-типографа (Чалкин и др., 2024с). Окрашивание проводили люминофором синего и зеленого цвета, добавляя 0,5 г вещества в контейнер объемом 0,4 л для одновременного окрашивания 100–150 особей. Применение кисти для распределения порошка обеспечило глубокое проникновение мелких гранул в складки между сегментами тела жуков, под элитры и т. д. (см. рис. 2).

Для изучения дальности и направления полета маркировка имаго короеда-типографа проводилась двумя способами – порошок люминофора и индивидуальная насечка (см. рис. 1).

Второй способ мечения – насечкой – выполнялся скальпелем на skate надкрылий каждого жука. Эксперимент был разделен на несколько

laboratory preparation of insects before release into the wild, due to the need for specialized equipment (Forsse and Solbreck 2009; Shegelski and Evenden 2019). Few marking options are available for field use (Linton 1987; Zumr 1992; Franklin and Grégoire 1999). Some of the available field marking methods include the use of colored marks or stickers that are attached to insects (Jactel 1991; Duelli 1997), which allows tracking of insect movements in their natural habitat, but the marks wear off over time. In the last decade, with the development of marking technologies, telemetry has become available to track the movements of large insects. Remote tracking sensors are installed on the body of insects that continue to move freely, which allows to record their daily activity, speed of movement, and location (Růžicková, Elek, 2023). Advances in technology make it possible to use miniature GPS sensors that increase the accuracy of their migration (Ju, Son, 2022).

The aim of our work is to establish the dispersal of the *Ips* genus bark beetles as potential vectors of pathogenic nematodes, and to conduct a comparative assessment of various marking methods.

MATERIALS AND METHODS

The research was conducted in the Republic of Karelia (Prionezhsky District, Shuya village) in 2022–2023. An open biocenosis with an area of more than 100 hectares (61.89° N, 34.21° E) was selected for the research. The experiment used barrier-funnel pheromone traps with the attractant *Ips typographus* (FGBU “VNIICR”, Russia) both for collecting bark beetles in the natural environment before marking and during repeated collecting to study migration and establish the flight range of the bark beetle imago.

The most effective materials for marking insects are those that can be easily applied by spraying or added to the bait (Schellhorn et al., 2004). We used fluorescent powder that had previously been successfully tested for marking the bark beetle (Chalkin et al., 2024c). Marking was carried out with a blue and green fluorescent, adding 0.5 g of the substance to a 0.4 l container for one-time marking of 100–150 individuals. Using a brush to distribute the powder ensured deep penetration of small granules into the folds between the segments of the beetles' bodies, under the elytra, etc. (Fig. 2).

To study the flight range and direction, marking of the adult bark beetle was carried out in two ways: fluorescent powder and individual notches (see Fig. 1).

The second marking method notches was performed with a scalpel on the elytra slope of each beetle. The experiment was divided into several stages. Initially, bark beetles were collected from a natural biocenosis using pheromone traps. The second stage consisted of marking the beetles and their subsequent release to study the range and dispersal direction. For this purpose, pheromone traps were hung at a distance of 0.2 to 2 km from each other in four directions. Repeated capture of marked bark beetles was carried out at a distance of up to 12 km from the place of release (Fig. 3).

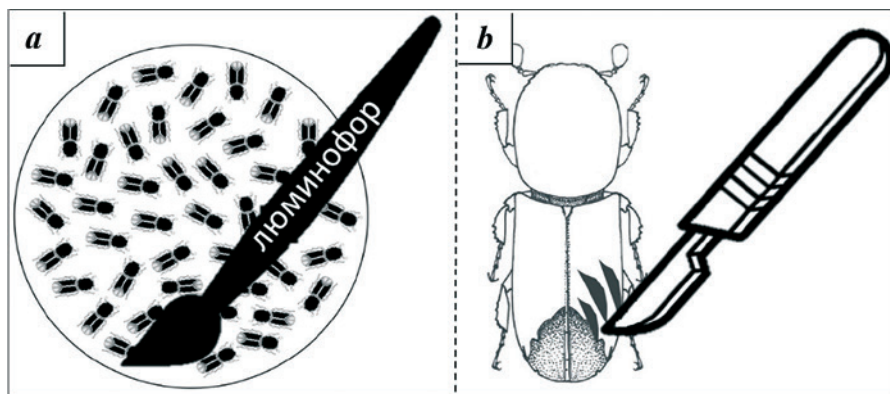


Рис. 1. Варианты мечения жуков *Ips typographus* для эксперимента: *a* – окраска порошком люминофора, *b* – насечки на надкрыльях

Fig. 1. *Ips typographus* marking options for the experiment: *a* – fluorescent powder, *b* – elytra notch

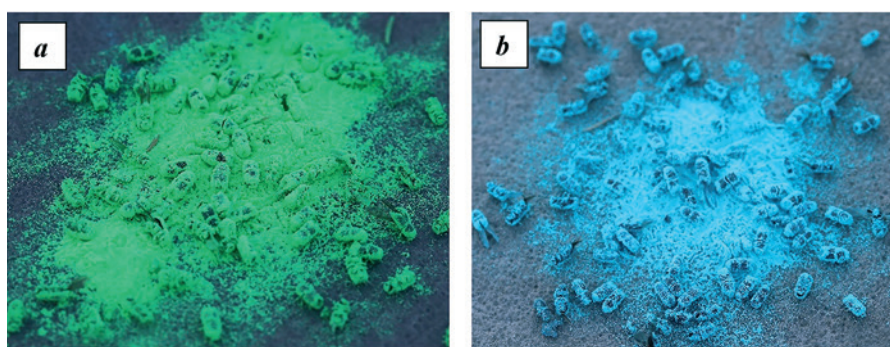


Рис. 2. Процесс окрашивания имаго *Ips typographus* люминофором различных цветов: *a* – зеленого, *b* – синего (фото авторов)

Fig. 2. Marking *Ips typographus* imagoes with fluorescent powder of different colors: *a* – green; *b* – blue (photos by authors)

этапов. Изначально короедов собирали из естественного биоценоза с помощью феромонных ловушек. Вторым этапом заключался в маркировке жуков и их последующем выпуске для изучения дальности и направления разлета. Для этой цели феромонные ловушки вывешивали на расстоянии от 0,2 до 2 км друг от друга в четырех направлениях. Повторный отлов меченых особей короедов осуществляли на расстоянии до 12 км от места выпуска (см. рис. 3).

Для изучения направления разлета в исследованиях 2022 г. ловушки размещали в четырех направлениях: северо-западном, северо-восточном, юго-западном, юго-восточном – по 6 шт с интервалом 0,2 км на протяжении 1,2 км от места выпуска. Всего было установлено 24 ловушки, учитывая розу ветров, где преобладающим является ветер юго-западного направления (Чалкин и др., 2024с). В исследованиях 2023 г. для изучения дальности разлета интервал между ловушек увеличили до 2 км, где максимальное расстояние составило 12 км; основываясь на результатах 2022 г., оставили только изучение разлета в юго-западном направлении как приоритетном для разлета короедов в данной местности. Всего в этом направлении установлено шесть феромонных ловушек.

Отловленных в феромонные ловушки жуков короеда-типографа просматривали под бинокляром Carl Zeiss Stemi 305 с УФ-осветителем для корректного обнаружения на поверхности имаго следов красящего вещества люминофора. Учет

In the 2022 studies, to study the dispersal direction, traps were placed in four directions: northwest, northeast, southwest and southeast, 6 pieces at intervals of 0.2 km over a distance of 1.2 km from the release site. A total of 24 traps were installed, taking into account the wind rose, where the prevailing wind is from the southwest (Chalkin et al., 2024c). In the 2023 studies, to study the dispersal range, the interval between traps was increased to 2 km, where the maximum distance was 12 km, based on the results of 2022, only the study of dispersal in the southwest direction was left, as a priority for the dispersal of bark beetles in this area. A total of 6 pheromone traps were installed in this direction.

The bark beetles collected in pheromone traps were examined under a Carl Zeiss Stemi 305 binocular with a UV illuminator to correctly detect traces of the fluorescent powder on the imago surface. The material from the traps was counted at intervals of 2–5 days.

The experiment included 5 releases of marked bark beetle imagoes. A total of 2,057 individuals

were marked over the course of two seasons, 1,275 of which were marked using the notch method and the rest using fluorescent powder (see Table 1).

During the study, weather conditions were taken into account – the release was carried out during the day in warm weather, without precipitation. The lure in the traps was replaced once every two weeks.

For the experiment, a three-level wooden stand with vertical and horizontal surfaces measuring 20x20x15 cm was mounted, which ensures the successful flight of insects (Fig. 4). Similar devices are used in other experiments (Meurisse, Pawson, 2017).

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 137 bark beetles were recaptured during the study period, which is 7% of all marked individuals. According to Meurisse and Pawson (2017) and Hinze and John (2020), the optimal recapture rate for beetles is 6–15%. Limiting factors for recapture could be weather conditions, diseases, and predators, which can lead to a decrease in the number of beetles after their release.

118 individuals marked with fluorescent powder were recaptured (Fig. 5)

In recaptured bark beetles, the powder (at least 10%, according to visual assessment) remained on the

материала из ловушек производили с интервалом в 2–5 суток.

Эксперимент включал пять выпусков меченых имаго короеда-типографа. В течение двух сезонов всего было помечено 2132 особи, из них 1350 – методом насечки, остальные порошком люминофора (см. табл. 1).

При проведении исследования учитывались погодные условия – выпуск проводили днем в теплую погоду, без осадков. Замену аттрактанта в ловушках проводили раз в две недели.

Для эксперимента была смонтирована трехуровневая деревянная подставка с вертикальными и горизонтальными поверхностями размером 20 x 20 x 15 см, которая обеспечивает успешный взлет насекомых (см. рис. 4). В других экспериментах применяют аналогичные приспособления (Meurisse, Pawson, 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего за период исследований повторно было отловлено 137 жуков короеда-типографа, что составляет 7% от всех меченых особей. По мнению Н. Мерисс и С. Поусона (Meurisse, Pawson, 2017), а также Дж. Хинце и Р. Джона (Hinze, John, 2020), оптимальным показателем повторного отлова жуков является 6–15%. Ограничивающими факторами повторного отлова могли быть погодные условия, болезни и хищники, что может приводить к снижению численности жуков после их выпуска.

Меченных люминофором повторно отловлено 118 особей (см. рис.5). У повторно отловленных короедов порошок (по визуальной оценке не менее 10%) оставался на теле, концентрируясь преимущественно в складках тергита брюшного отдела, а также на переднеспинке и надкрыльях (см. рис. 6, b). Интенсивность окраски зависела от продолжительности периода отлова, однако красящий пигмент отчетливо выявлялся на всех повторно отловленных жуках. Особи, пойманные в начале эксперимента, имели хорошо окрашенную порошок поверхность тела, тогда как у пойманных через две недели красящий пигмент просматривался только под элитрами. Кроме того, на наличие порошка на теле жука могут влиять дожди или длительные полеты насекомого, в результате

Табл. 1. Количество маркированных имаго *Ips typographus* в период исследования

Table 1. Number of marked *Ips typographus* imagoes during the studies

Год Year	Дата выпуска	Release date	Кол-во выпу- щенных жуков Number of released beetles	Способ маркировки Marking
2022	15 июня	15 June	387	Порошок Powder
	25 июня	25 June	395	
	28 июня	28 June	478	
2023	1 июля	01 July	563	Насечка Notch
	13 июля	13 July	309	
Всего Total			2132	

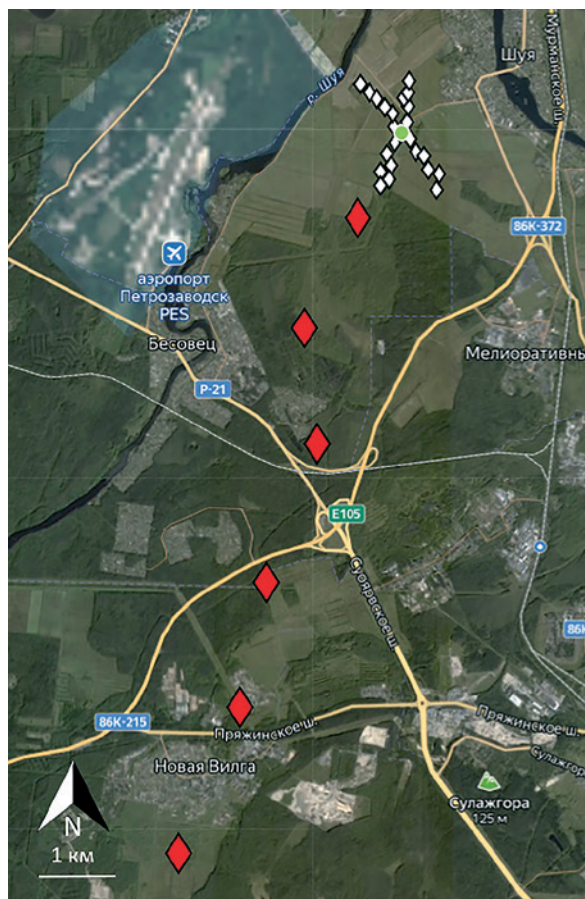


Рис. 3. Схема размещения ловушек в период проведения исследования: а – схема размещения ловушек на карте (круг – место выпуска *Ips typographus*, ромб – размещение барьерно-вороночных ловушек: белый ромб – 2022, красный – 2023) («Яндекс карты» <https://yandex.ru/maps>)

Fig. 3. Trap placement during the study period: a – trap placement on the map (circle – release location of *Ips typographus*, diamond – placement of barrier-funnel traps: white diamond – 2022, red – 2023) (Yandex Maps <https://yandex.ru/maps>)

body, concentrating mainly in the folds of the abdominal tergite, as well as the pronotum and elytra (Fig. 6, b). The coloration intensity depended on the capture period duration, but the coloring pigment was clearly visible on all recaptured beetles. Individuals caught at the beginning of the experiment had a body surface well coated with powder, while in those caught two weeks later, the coloring pigment was visible only under the elytra. In addition, the presence of powder on the beetle’s body can be affected by rain or long flights of the insect, as a result of which they can lose a significant part or even all of the powder. Thus, the results of the 2022 experiment indicate that the fluorescent powder marking method is effective for marking the *Ips typographus*, although its contrast may decrease over time. This highlights the importance of considering factors affecting marking retention when planning further research and monitoring of bark beetle populations.



Рис. 4. Трехуровневая деревянная подставка для взлета короедов (фото авторов)

Fig. 4. Three-level wooden stand for bark beetles flight (photo by the authors)

которых они могут потерять значительную часть или даже весь порошок. Таким образом, результаты эксперимента 2022 г. свидетельствуют о том, что метод окраски люминофором является эффективным для маркировки короеда-типографа, хотя его контрастность может снижаться со временем. Это подчеркивает важность учета факторов, влияющих на сохранность маркировки, при планировании дальнейших исследований и мониторинга популяций короедов.

Установлено, что максимальное количество жуков – 88 особей (74% от всех повторно пойманных в 2022 г.) – было зафиксировано в юго-западном направлении (см. рис. 7, а). Это свидетельствует о том, что короеды имеют тенденцию мигрировать в определенном направлении, что может быть связано с поиском подходящих растений-хозяев и условий для размножения.

Второй метод маркировки – насечка на надкрыльях всегда была заметна при повторном отлове меченых жуков. Однако для повышения надежности рекомендуется использовать лупу с увеличением не менее 10 раз, что позволяет более точно идентифицировать маркированных особей. Метод насечки является надежным и эффективным для маркировки насекомых, позволяя не только отслеживать их перемещения, но и оценивать численность популяций в экосистеме (Hagler, Jackson 2001). В 2023 г. было повторно отловлено 19 маркированных короедов, что составляет 1,4% от общего числа маркированных особей (см. рис. 5).

При изучении дальности разлета маркированные короеды были зафиксированы в трех из шести выставленных ловушек, расположенных в юго-западном направлении (см. рис. 7, b). Наибольшее количество особей (11 жуков) было поймано в ловушке, установленной на расстоянии 2 км. Это связано с беспрепятственным перемещением жуков

It was found that the maximum number of beetles, 88 individuals (74% of all recaptured in 2022), was recorded in the south-west direction (Fig. 7a). This indicates that bark beetles tend to migrate in a certain direction, which may be associated with the search for suitable host plants and conditions for reproduction.

The second marking method with notches on the elytra were always noticeable when recapturing the marked beetles. However, to increase reliability, it is recommended to use a magnifying glass with a magnification of at least 10 times, which allows for more accurate identification of the marked imagoes. The notch method is reliable and effective for marking insects, allowing not only to track their movements, but also to estimate the population size in the ecosystem (Hagler, Jackson 2001). In 2023, 19 marked bark beetles were recaptured, which is 1.4% of the total number of marked individuals (Fig. 5).

When studying the dispersal, marked bark beetles were recorded in three of the six traps set up in the south-west direction (Fig. 7, b). The largest number of individuals (11 beetles) was caught in a trap set at a distance of 2 km. This is due to the unimpeded

movement of beetles across open spaces such as meadows, agrocenoses, forest belts, where the traps were placed.

The greatest distance at which the beetles were noted was 6 km (Fig. 7, b). Three individuals were

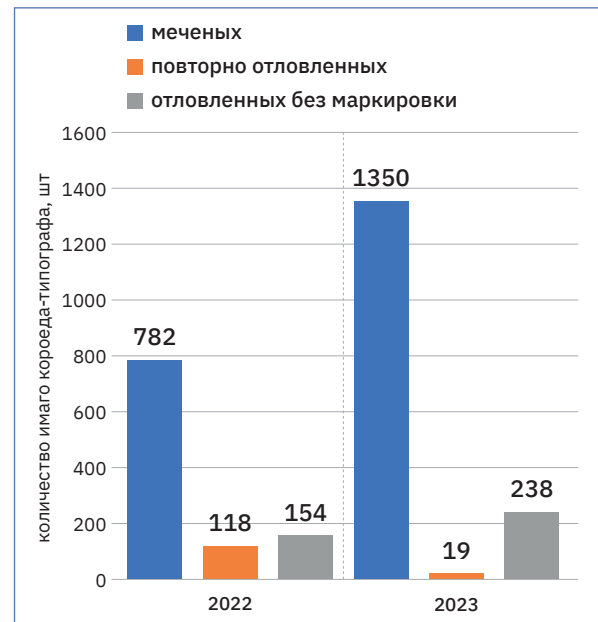


Рис. 5. Количество меченых (порошком люминофора 2022 г., насечкой 2023 г.) и повторно отловленных имаго *Ips typographus* в период исследования

Fig. 5. Number of marked (with fluorescent powder 2022, with a notch 2023) and recaptured *Ips typographus* imagoes during the study period

по открытому пространству, таким как луга, агроценозы, лесополосы, где были установлены ловушки.

Наибольшее расстояние, на котором были отмечены жуки, – 6 км (см. рис. 7, b). В ловушку, установленную на этом расстоянии, было отловлено в течение двух месяцев 3 особи. Длительный период отлова, вероятно, предполагает, что часть короедов останавливается на потенциальных деревьях-хозяевах, а затем продолжает расселение. Исследователи Е. Форсе и С. Солберг в своих экспериментах установили, что короед-типограф может летать над полом леса и перемещаться на значительные расстояния, превышающие десятки километров (Forsse, Solbreck, 2009).

В ловушки аттрактант привлекал как меченых, так и немеченых особей короеда-типографа. В течение двух лет отловлено 392 особи (см. рис. 5). Во время повторного отлова жуков нельзя исключать вероятность того, что крупинки порошка люминофора могут перенестись на тело немеченых особей при совместном длительном нахождении в ловчем стакане ловушки. Поэтому важно учитывать возможность перекрестного загрязнения и применять

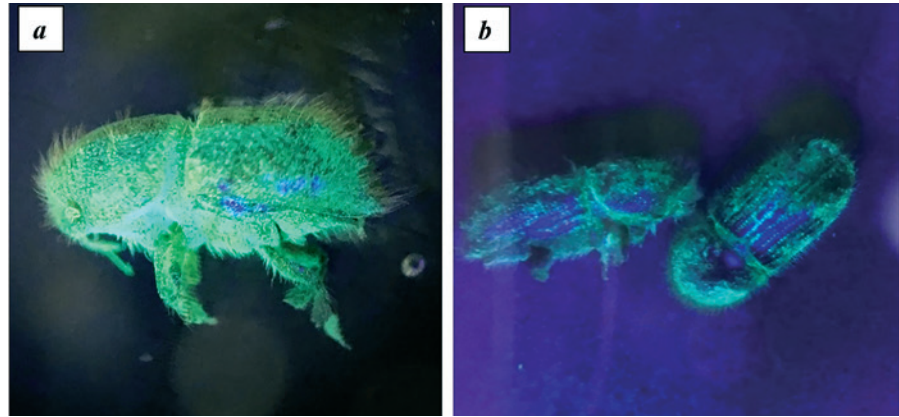


Рис. 6. Интенсивность распределения порошка люминофора на теле короеда-типографа *Ips typographus* порошком люминофора (под УФ-излучением): а – перед выпуском, б – после отлова (фото авторов)

Fig. 6. Intensity of fluorescent powder distribution on the body of *Ips typographus* (under UV radiation): а – before release, б – after capture (photo by the authors)

caught in a trap set at this distance over the course of two months. The long period of catching probably suggests that some of the bark beetles stop on potential host trees and then continue to disperse. Researchers E. Forsse and S. Solberg established in their experiments that the bark beetle can fly above the forest canopy and move significant distances, exceeding tens of kilometers (Forsse, Solbreck, 2009).

The lure attracted both marked and unmarked bark beetle specimens to the traps. Over the course of two years, 392 specimens were caught (Fig. 5). During repeated beetle catching, it is possible that fluorescent

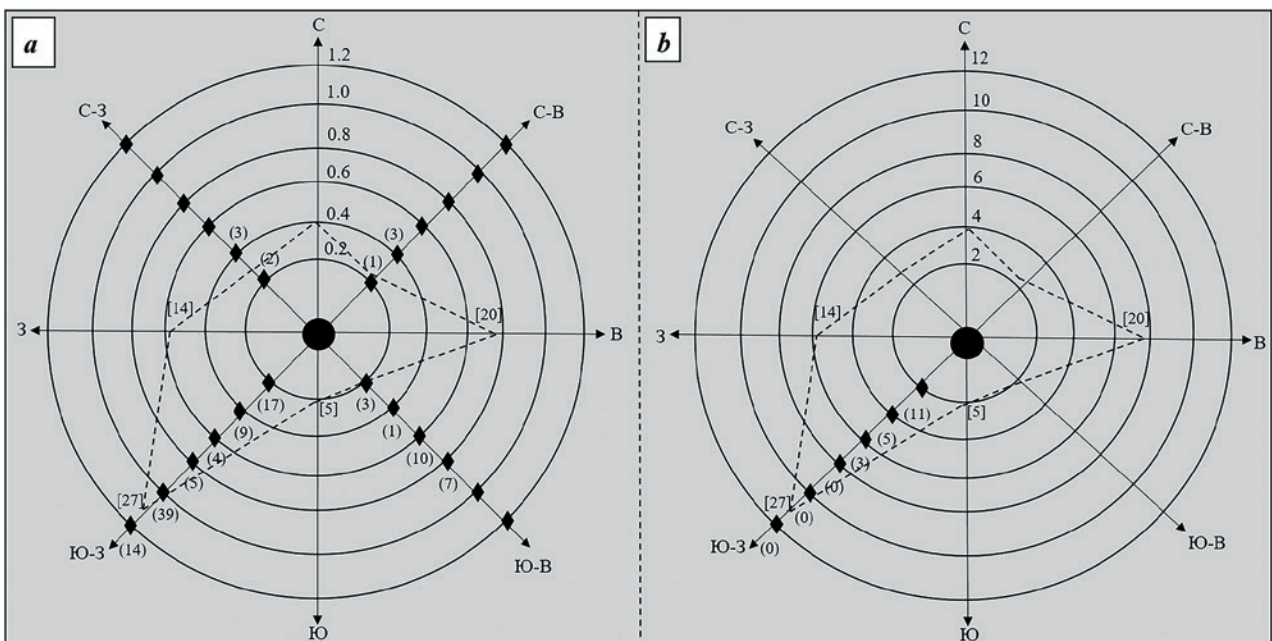


Рис. 7. Количество повторно отловленных в феромонные ловушки имаго *Ips typographus* на различном расстоянии от места выпуска: а – изучение направления разлета (2022 г.), б – изучение дальности разлета (2023 г.) (ромб – феромонная ловушка, круг – место выпуска имаго, пунктирная линия – роза ветра, (..) – отловлено имаго, шт; 1..12, 0.2..1.2 – расстояние от места выпуска имаго, км; [..] – повторяемость направлений ветра %)

Fig. 7. Number of *Ips typographus* imagoes recaptured in pheromone traps at different distances from the release site: а – dispersal direction study (2022); б – dispersal distance study (2023) (diamond – pheromone trap; circle – imagoes release place; dotted line – wind rose; (..) – adults captured, pcs; 1..12, 0.2..1.2 – distance from the place of imagoes release, km; [..] – wind directions frequency %)

дополнительные методы для минимизации погрешностей при использовании этого метода.

Несмотря на то что маркировка с помощью насечек является надежным методом, этот процесс достаточно трудоемкий. Кроме того, при изучении экологических характеристик невозможно пометить насечкой мелких жуков, таких как сосновый короед-крошка (*Crypturgus hispidulus* C.G. Thomson, 1870), гравер обыкновенный (*Pityogenes chalcographus* Linnaeus, 1761), размеры которых не превышают 1,5 мм. В таких случаях приемлемым вариантом остается только окраска порошком. Этот метод позволяет эффективно маркировать мелкие виды в большом количестве, минимизируя при этом риск повреждения насекомых и обеспечивая их сохранность.

Короеды могут переносить различные патогенные организмы, представляющие собой серьезную угрозу для растения-хозяина. Например, в древесине сосны обыкновенной были зарегистрированы различные виды нематод – *Bursaphelenchus paraburgeri*, *B. doui*, а также *Teratorhabditis synpapillata* и *Micoletzkyia synpapillata*, которые переносятся вершинным короедом *Ips acuminatus* (Чалкин и др., 2024а). Эти нематоды были отмечены в большом количестве под элитрами жуков. Проникая в древесину, короеды создают условия для расселения этих патогенов, наносящих вред проводящей системе деревьев. Патогенные нематоды могут вызывать как усыхание небольших участков древесины, так и гибель всего дерева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение дальности и направления разлета короедов является важным инструментом для защиты лесных экосистем и предотвращения потерь лесного комплекса. Понимание направления их разлета может помочь в прогнозировании новых мест локализации вредителя, что позволит принять своевременные меры для их предотвращения, тем самым уменьшая риск вспышки численности короеда, и снизить вероятность прямого и сопутствующего ущерба.

Исследование показало возможность применения маркировки короеда-типографа двумя способами – порошком люминофора и насечкой на скате надкрылий – для изучения миграции жуков. Применение люминофора позволяет оценить направление разлета короеда. Такой способ маркировки позволяет быстро окрасить большое число особей короедов различного размера. К его недостаткам можно отнести способность к передаче крупиц порошка на немаркированных жуков, а также вероятность потери порошка насекомыми с течением времени.

Насечка является более надежным маркером, сохраняющимся в течение всей жизни насекомого, однако подходит для нанесения только на крупных особях. Этот метод приемлем для продолжительного периода исследований.

Порошок люминофора 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.

powder grains may be transferred to the body of unmarked specimens during their long-term presence in the trap's catching cup. Therefore, it is important to consider the possibility of cross-contamination and to use additional methods to minimize errors when using this method.

Although notch marking is a reliable method, it is quite a labor-intensive process. In addition, when studying ecological characteristics, it is impossible to mark small beetles with notches, such as *Crypturgus hispidulus* C.G. Thomson, 1870, *Pityogenes chalcographus* Linnaeus, 1761, whose sizes do not exceed 1.5 mm. In such cases, only powder marking remains an acceptable option. This method allows for the effective marking of small species in large quantities, while minimizing the risk of damage to insects and ensuring their safety.

Bark beetles can transmit various pathogens that pose a serious threat to the host plant. For example, various nematode species – *Bursaphelenchus paraburgeri*, *B. doui*, as well as *Teratorhabditis synpapillata* and *Micoletzkyia synpapillata* have been recorded in Scots pine wood, which are transmitted by *Ips acuminatus* (Chalkin et al., 2024a). These nematodes were noted in large numbers under the beetle elytra. By penetrating the wood, bark beetles create conditions for the dispersal of these pathogens, which damage the vascular system of trees. Pathogenic nematodes can cause drying of both small areas of wood and the death of the entire tree.

CONCLUSION

Studying the range and direction of bark beetle flight is an important tool for protecting forest ecosystems and preventing losses of the forest complex. Understanding the direction of their flight can help in predicting new locations of pest localization, which will allow timely measures to be taken to prevent them, thereby reducing the risk of bark beetle outbreaks and reducing the likelihood of direct and collateral damage.

The study showed the possibility of using two marking methods of the bark beetle (fluorescent powder and notches on the elytra slope) to study the beetle migration. The use of fluorescent powder allows to estimate the direction of the bark beetle's flight. This marking method allows to quickly color a large number of bark beetles of various sizes. Its disadvantages include the ability to transfer powder grains to unmarked beetles, as well as the likelihood of the insects losing powder over time.

The notch is a more reliable marker, which remains throughout the insect's life, but is only suitable for application to large specimens. This method is suitable for long-term studies.

Fluorescent powder and notches on the beetles' elytra slope are acceptable methods of marking bark beetles and make it possible to resolve the issue of tracking the migratory activity of bark beetles, as well as the spread of dangerous nematode and fungal pathogens associated with them.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* // Российский паразитологический журнал. 2025. Т. 19. № 1. С. 125–138. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2025-19-1-125-138>
2. Лямцев Н.И. Мониторинг динамики популяции короёда-типографа // Леса России: политика, промышленность, наука, образование, 2023. С. 863–865.
3. Чалкин А.А., Кулинич О.А., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н. К изучению роли вершинного короёда *Ips acuminatus* в трансмиссии фитопатогенных нематод рода *Bursaphelenchus* // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024а. Вып. 251. С. 123–140. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.123-140
4. Чалкин А.А., Кулинич О.А., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н. О возможности переноса короёдами *Ips acuminatus* Gyll. Сосновой стволовой нематоды *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle // Фитосанитария. Карантин растений. 2024b. № S1(18). С. 86–87.
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. 2024с. Т. 28. № 5. С. 118–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-118-128
6. Duelli P., Zahradnik P., Knizek M., Kalinova B. Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps // Journal of Applied Entomology, 1997, № 121, pp. 297–303. doi.org/10.1111/j.1439-0418.1997.tb01409.x
7. Forsse E., Solbreck C.H. Migration in the bark beetle *Ips typographus* L.: Duration, timing and height of flight // Zeitschrift für Angewandte Entomologie. 2009. № 100. P. 47–57. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1985.tb02756.x
8. Franklin A.J. Grégoire J.C. Flight behaviour of *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae) in an environment without pheromones // Annals of Forest Science. 1999. № 56. P. 591–598. doi.org/10.1051/forest:19990706
9. Goodsman D.W., Koch D., Whitehouse C., Evenden M.L., Cooke B.J., Lewis M.A. Aggregation and a strong Allee effect in a cooperative outbreak insect // Ecological Applications. 2016. № 26(8). P. 2623–2636. doi.org/10.1002/eap.1404
10. Hagler J.R., Jackson C.G. Methods for marking insects: current techniques and future prospects // Annual review of entomology. 2001. Vol. 46. № 1. P. 511–543. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.511>
11. Hinze J., John R. Effects of heat on the dispersal performance of *Ips typographus* // Journal of Applied Entomology. 2020. № 144. P. 144–151. <https://doi.org/10.1111/jen.12718>
12. Jactel H. Dispersal and flight behaviour of *Ips sexdentatus* (Coleoptera: Scolytidae) in pine forest // Annales des Sciences Forestieres. 1991. № 48(4). P. 417–428. DOI: 10.1051/forest:19910405
13. Ju C., Son H. I. Investigation of an autonomous tracking system for localization of radio-tagged flying insects // Ieee Access. 2022. Vol. 10. P. 4048-4062.

REFERENCES

1. Kulinich O.A., Arbuzova E.N., Kozyreva N.I., Chalkin A.A., Shchukovskaya A.G., Ryaskin D.I. Study of susceptibility of siberian pine (*Pinus sibirica*), scots pine (*Pinus sylvestris*) and siberian larch (*Larix sibirica*) seedlings to the pine wilt disease. Russian Journal of Parasitology. 2025;19(1):125-138. (In Russ.). <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2025-19-1-125-138>
2. Lyamtsev N.I. Monitoring the dynamics of the bark beetle population // Forests of Russia: policy, industry, science, education, 2023: 863-865. (In Russ.)
3. Chalkin A.A., Kulinich O.A., Kozyreva N.I., Arbuzova E.N. The research of the role of the sharp-toothed bark beetle *Ips acuminatus* in the transmission of phytopathogenic nematodes of the genus *Bursaphelenchus* // Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2024a; 251: 123–140. (In Russ.) DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.123-140
4. Chalkin A.A., Kulinich O.A., Kozyreva N.I., Arbuzova E.N. About the possibility of transmission by bark beetles *Ips Acuminatus* Gyll. pine wood nematode *Bursaphelenchus Xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle // Plant Health and Quarantine. 2024b; S1(18): 86-87.
5. Chalkin A.A., Lyabzina S.N., Kulinich O.A. research of *Ips Typographus* (Linnaeus, 1758) flight behavior using luminescent powder // Forestry Bulletin. 2024c.; 28 (5): 118–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-118-128
6. Duelli P., Zahradnik P., Knizek M., Kalinova B. Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps // Journal of Applied Entomology, 1997, № 121, pp. 297–303. doi.org/10.1111/j.1439-0418.1997.tb01409.x
7. Forsse E., Solbreck C.H. Migration in the bark beetle *Ips typographus* L.: Duration, timing and height of flight // Zeitschrift für Angewandte Entomologie. 2009. № 100. P. 47–57. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1985.tb02756.x
8. Franklin A.J. Grégoire J.C. Flight behaviour of *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae) in an environment without pheromones // Annals of Forest Science. 1999. № 56. P. 591–598. doi.org/10.1051/forest:19990706
9. Goodsman D.W., Koch D., Whitehouse C., Evenden M.L., Cooke B.J., Lewis M.A. Aggregation and a strong Allee effect in a cooperative outbreak insect // Ecological Applications. 2016. № 26(8). P. 2623–2636. doi.org/10.1002/eap.1404
10. Hagler J.R., Jackson C.G. Methods for marking insects: current techniques and future prospects // Annual review of entomology. 2001. Vol. 46. № 1. P. 511–543. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.511>
11. Hinze J., John R. Effects of heat on the dispersal performance of *Ips typographus* // Journal of Applied Entomology. 2020. № 144. P. 144–151. <https://doi.org/10.1111/jen.12718>
12. Jactel H. Dispersal and flight behaviour of *Ips sexdentatus* (Coleoptera: Scolytidae) in pine forest // Annales des Sciences Forestieres. 1991. № 48(4). P. 417–428. DOI: 10.1051/forest:19910405
13. Ju C., Son H. I. Investigation of an autonomous tracking system for localization of radio-tagged flying insects // Ieee Access. 2022. Vol. 10. P. 4048-4062.

14. Linton D.A., Safranyik L., McMullen L.H., Bets R.A. Field techniques for rearing and marking mountain pine beetles for use in dispersal studies // Journal of the Entomological Society of British Columbia. 1987. № 84. P. 53–56.

15. Meurisse N., Pawson S. Quantifying dispersal of a non-aggressive saprophytic bark beetle // PloS one. 2017. № 12(4). e0174111 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174111>

16. Růžičková J., Elek Z. Beetles on the move: Not-just-a-technical review of beetles' radio-tracking // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2023. Vol. 171. № 2. P. 82–93.

17. Ryss A. Y., Polyana K. S., Popovichev B. G., Krivets S. A., Kerchev I. A. Plant host range specificity of *Bursaphelenchus mucronatus* Mamiya et Enda, 1979 tested in the laboratory experiments // Паразитология. 2018. № 52. P. 32–40.

18. Schellhorn N., Siekmann G., Paull C., Furness G., Baker G. The use of dyes to mark populations of beneficial insects in the field // International Journal of Pest Management. 2004. Vol. 50. № 3. P. 153–159. <https://doi.org/10.1080/09670870410001731862>

19. Shegelski V.A., Evenden M.L., Sperling F.A.H. Morphological variation associated with dispersal capacity in a tree-killing bark beetle *Dendroctonus ponderosae* Hopkins // Agricultural and Forest Entomology. 2019. № 21(1). P. 79–87. <https://doi.org/10.1111/afe.12305>

20. Zumr V. Dispersal of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae) in spruce woods // Journal of Applied Entomology. 1992. № 114. P. 348–352. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb01138.x>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чалкин Андрей Андреевич, научный сотрудник отдела лесного карантина ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; *ORCID 0000-0002-7937-4667*, *e-mail: chalkin10@ya.ru*

Лябзина Светлана Николаевна, доктор биологических наук, доцент Петрозаводского государственного университета, младший научный сотрудник Североморского филиала ФГБУ «ВНИИКР», г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия; *ORCID 0000-0003-3386-5724*, *e-mail: slyabzina@petrsu.ru*

14. Linton D.A., Safranyik L., McMullen L.H., Bets R.A. Field techniques for rearing and marking mountain pine beetles for use in dispersal studies // Journal of the Entomological Society of British Columbia. 1987. № 84. P. 53–56.

15. Meurisse N., Pawson S. Quantifying dispersal of a non-aggressive saprophytic bark beetle // PloS one. 2017. № 12(4). e0174111 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174111>

16. Růžičková J., Elek Z. Beetles on the move: Not-just-a-technical review of beetles' radio-tracking // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2023. Vol. 171. № 2. P. 82–93.

17. Ryss A. Y., Polyana K. S., Popovichev B. G., Krivets S. A., Kerchev I. A. Plant host range specificity of *Bursaphelenchus mucronatus* Mamiya et Enda, 1979 tested in the laboratory experiments // Паразитология. 2018. № 52. P. 32–40.

18. Schellhorn N., Siekmann G., Paull C., Furness G., Baker G. The use of dyes to mark populations of beneficial insects in the field // International Journal of Pest Management. 2004. Vol. 50. № 3. P. 153–159. <https://doi.org/10.1080/09670870410001731862>

19. Shegelski V.A., Evenden M.L., Sperling F.A.H. Morphological variation associated with dispersal capacity in a tree-killing bark beetle *Dendroctonus ponderosae* Hopkins // Agricultural and Forest Entomology. 2019. № 21(1). P. 79–87. <https://doi.org/10.1111/afe.12305>

20. Zumr V. Dispersal of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae) in spruce woods // Journal of Applied Entomology. 1992. № 114. P. 348–352. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb01138.x>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey Chalkin, Researcher, Forest Quarantine Department, FGBU “VNI IKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *ORCID 0000-0002-7937-4667*, *e-mail: chalkin10@ya.ru*

Svetlana Lyabzina, Advanced Doctor of Biology, Associate Professor, Petrozavodsk State University; Junior Researcher, Sevromorsk Branch, FGBU “VNI IKR”, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia; *ORCID 0000-0003-3386-5724*, *e-mail: slyabzina@petrsu.ru*