

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 630*443.3+630*453

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-1-56-71>

Поступила в редакцию 12.05.2025

Received 12.05.2025

А. А. Сазонов¹, А. М. Нестюк², Е. М. Зайцева³, Д. А. Бабуль¹, П. В. Пацукевич¹

¹Лесоустроительное республиканское унитарное предприятие «Белгослес», Минск, Республика Беларусь

²Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича, Минск, Республика Беларусь

³Республиканский институт высшей школы, Минск, Республика Беларусь

СВЯЗЬ ВСТРЕЧАЕМОСТИ ОЧАГОВ КОРЕДОВ И КОРНЕВЫХ ГНИЛЕЙ С ЛЕСОВОДСТВЕННО-ТАКСАЦИОННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Аннотация. На основании результатов обследования ельников Беларуси в течение 2010–2023 гг. приводятся данные о площади очагов и встречаемости основных патологических факторов в еловых лесах – короедов и корневых гнилей. Отмечается, что встречаемость короедного усыхания увеличивается при продвижении с севера на юг республики, а корневых гнилей – в обратном направлении. За период с 1980-х гг. эпицентр эпифитотии корневых гнилей в ельниках переместился из подзоны грабово-дубово-темнохвойных в подзону дубово-темнохвойных лесов.

По результатам обследования 7 лесхозов на северо-западе республики, которое было проведено в 2023 г., с применением математико-статистических методов анализа установлено, что такие лесоводственно-таксационные параметры насаждений, как средний возраст древостоя, доля ели в составе древостоя и показатель потенциальной продуктивности древостоя (бонитет), оказывают влияние на встречаемость очагов короедов и корневых гнилей в ельниках. Встречаемость указанных патологий увеличивается с повышением возраста древостоев, доли ели в составе древостоя и его продуктивности. Описаны возможные причины влияния лесоводственных факторов на развитие в ельниках очагов короедов и корневых гнилей. С практической точки зрения для повышения устойчивости еловых лесов предложено пользоваться такими лесоводственными приемами, как регулирование (снижение) возраста рубок главного пользования, введение в состав древостоев примеси других пород, выбор для выращивания ельников участков с повышенной оводненностью почв и регулирование их водного режима, а также сочетать несколько перечисленных приемов на одном и том же участке.

Ключевые слова: ель, корневые гнили, лесоводственные факторы, *Ips typographus*, *Heterobasidion annosum*

Для цитирования: Связь встречаемости очагов короедов и корневых гнилей с лесоводственно-таксационными параметрами еловых насаждений / А. А. Сазонов, А. М. Нестюк, Е. М. Зайцева [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя біялагічных навук. – 2026. – Т. 71, № 1. – С. 56–71. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-1-56-71>

Alexander A. Sazonov¹, Antonina M. Nestyuk², Elena M. Zaitseva³,
Dmitry A. Babul¹, Pavel V. Patsukevich¹

¹Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles”, Minsk, Republic of Belarus

²V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

³Republican Institute of Higher Education, Minsk, Republic of Belarus

RELATIONSHIP BETWEEN THE OCCURRENCE OF BARK BEETLE AND ROOT ROT OUTBREAKS WITH FORESTRY AND TAXATION PARAMETERS OF SPRUCE STANDS

Abstract. Based on the results of a survey of spruce forests in Belarus during 2010–2023, provides data on the area of foci and the incidence of the main pathological factors in spruce forests – bark beetles and root rot. It is noted that the incidence of bark beetle drying increases when moving from the north to the south of the Republic, and root rot – in the opposite direction. Since the 1980s, the epicenter of root rot epiphytosis in spruce forests has moved from the spruce-hornbeam oak grove subzone to the oak-dark coniferous forest subzone.

Based on the results of a survey of 7 forestry enterprises in the northwest of the Republic, which was conducted in 2023, using mathematical-statistical methods of analysis, it was found that such forestry and taxation parameters of stands as the average age of the stand, the proportion of spruce in the stand and the indicator of the potential productivity of the stand (bonitet) affect the occurrence of bark beetle and root rot outbreaks in spruce forests. The occurrence of these pathologies increases with the age of the stand, the proportion of spruce in the stand and its productivity. Possible reasons for the influence of forestry factors on the development of bark beetle and root rot outbreaks in stands are described. From a practical point of view, to increase the sustainability of forests, it is advisable to use such forestry techniques as: regulating the age of felling of stands; introducing admixtures of other species into the composition of stands; choosing areas with increased soil moisture

for growing spruce forests and regulating their water regime; as well as a combination of several of the above techniques on the same site.

Keywords: spruce, root rot, silvicultural factors, *Ips typographus*, *Heterobasidion annosum*

For citation: Sazonov A. A., Nestyuk A. M., Zaitseva E. M., Babul D. A., Patsukevich P. V. Relationship between the occurrence of bark beetle and root rot outbreaks with forestry and taxation parameters of spruce stands. *Vestsi Natsyonal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2026, vol. 71, no. 1, pp. 56–71 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-1-56-71>

Введение. Вспышки массового размножения стволовых вредителей и эпифитотии корневых гнилей, приводящие деревья к гибели, широко распространены в хвойных лесах Северного полушария и, как ожидается, будут учащаться и увеличивать свою площадь из-за изменений климата. В некоторых частях Европы эти патологические процессы и попытки их контролировать спровоцировали серьезные последствия для экономики и экологии отдельных регионов [1–3]. Подобные события бросают вызов традиционным мерам реагирования и подчеркивают необходимость более широкого подхода и развития комплексной системы управления лесными ресурсами [1–7].

В Беларуси упомянутые факторы также широко распространены и оказывают негативное влияние на состояние еловых насаждений. При этом в комплексе стволовых вредителей на ели доминируют короеды (Curculionidae, Scolitynae: *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), *I. duplicatus* (Sahlberg, 1836), *Polygraphus poligraphus* (Linnaeus, 1758), *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1760)), а среди корневых гнилей – различные виды корневой губки (Bondarzewiaceae: *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. (1888), *H. parviporum* Niemelä & Korhonen (1998)) и опенка (Physalacriaceae: *Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen (1982), *A. ostoyae* (Romagn.) Herink (1973)) [8–11].

Массовое усыхание еловых лесов Беларуси под влиянием перечисленных выше факторов в XX в. носило периодический характер и происходило в среднем 5 раз за 100 лет [8]. Но после начала потепления климата (1988 г.) [12] ситуация в республике изменилась: последняя волна усыхания ельников началась в 1993 г. и не прекращается по настоящее время, в результате чего усыхание утратило периодический характер и перешло в перманентное состояние еловой формации [9, 13]. По современным оценкам еловые леса наиболее уязвимы к происходящему изменению климата в нашей республике¹.

Как следует из материалов официальной лесной статистики, общий объем усыхания еловых древостоев Беларуси (частичное и сплошное) за последние 4 года имеет тенденцию к увеличению: 2021 г. – 7,2 тыс. га (885,4 тыс. м³), 2022 г. – 7,0 тыс. га (972,6 тыс. м³), 2023 г. – 22,0 тыс. га (2 551,2 тыс. м³), 2024 г. – 17,2 тыс. га (2 908,2 тыс. м³). При этом мы не располагаем данными о площади очагов стволовых вредителей, поскольку основной причиной снижения устойчивости еловых лесов в официальных источниках считаются абиотические факторы – засухи и засушливые условия. Динамика изменения площади очагов корневой губки в ельниках за последние годы также имеет тенденцию к увеличению (данные на начало соответствующего года): 2021 г. – 452,0 га, 2022 г. – 1 121,9 га, 2023 г. – 1 026,3 га, 2024 г. – 2 771,0 га².

Практика последних 30 лет показывает, что традиционные санитарно-оздоровительные мероприятия в ельниках (сплошные и выборочные санитарные рубки, уборка захламленности, выкладка ловчей древесины и защита заготовленных лесоматериалов) не в состоянии остановить процесс усыхания. Причиной является то, что санитарно-оздоровительные мероприятия проводятся уже после начала процесса усыхания елового древостоя, т. е. после нарушения его устойчивости. Для повышения эффективности системы защиты еловых лесов нужны превентивные меры, направленные на повышение устойчивости еловых древостоев, которые необходимо осуществлять заранее, до начала процесса их гибели.

¹ Стратегия адаптации лесного хозяйства Республики Беларусь к изменению климата на период до 2050 года. – Мн., 2019. – 119 с. <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2-Minlesxoz-Strategija-adaptatsii-l-x.pdf>.

² Обзор лесопатологического и санитарного состояния лесного фонда Республики Беларусь за 2021 год и прогноз развития патологических процессов в 2022 году. – Ждановичи: Беллесозащита, 2022. – 84 с.; Обзор лесопатологического и санитарного состояния лесного фонда Республики Беларусь за 2022 год и прогноз развития патологических процессов в 2023 году. – Ждановичи: Беллесозащита, 2023. – 108 с.; Обзор лесопатологического и санитарного состояния лесного фонда Республики Беларусь за 2023 год и прогноз развития патологических процессов в 2024 году. – Ждановичи: Беллесозащита, 2024. – 110 с.

Одним из возможных путей воздействия на развитие очагов вредителей и болезней леса является регулирование таксационных характеристик насаждений в процессе лесохозяйственной деятельности. Исследователи, занимающиеся изучением стволовых вредителей и корневых гнилей ели в условиях Беларуси, предпринимали попытки установить взаимосвязь между лесоводственно-таксационной характеристикой еловых насаждений и встречаемостью в них различных патологий. В качестве примеров подобных исследований, связанных с воздействием корневых гнилей, можно назвать работы Н. И. Федорова [14], Ю. М. Полещука [15], а применительно к проблеме массового размножения короедов в ельниках этот вопрос рассматривался А. А. Сазоновым и В. Н. Кухтой [16], Ю. А. Лариной [17] и др. К сожалению, во всех случаях выводы о взаимосвязи встречаемости корневых гнилей и стволовых вредителей с лесоводственно-таксационными параметрами насаждений делались на основании эмпирических данных. Кроме того, за время, истекшее с момента проведения исследований, претерпели изменения многие факторы, влияющие на устойчивость лесов: климат нашей республики, возрастная и породная структура лесного фонда, объем проводимых в лесах санитарно-оздоровительных мероприятий. Все они могли оказать влияние на встречаемость различных патологий в ельниках.

Таким образом, при ведении лесного хозяйства в современных условиях необходимо учитывать возможное влияние на встречаемость вредителей и болезней следующих параметров насаждений: среднего возраста древостоя, доли главной породы в его составе, полноты, бонитета и типа леса. Если такая взаимосвязь существует, это может дать возможность управления патологическими процессами в древостоях путем воздействия на их таксационные характеристики.

Целью представленной работы является определение лесоводственных факторов, которые оказывают влияние на развитие в еловых насаждениях очагов короедов и корневых гнилей.

Объекты и методы исследования. Поскольку данных об очагах стволовых вредителей и корневых гнилей в ельниках, содержащихся в официальной лесной статистике, недостаточно для проведения анализа, в качестве источника дополнительной информации о патологических процессах в лесном фонде использовались результаты экспедиционных лесопатологических обследований, ежегодно проводимых специалистами РУП «Белгослес» в лесхозах, наиболее пострадавших от воздействия вредителей и болезней леса, а также от неблагоприятных абиотических факторов¹.

На первом этапе исследования была обобщена информация о повреждении ельников стволовыми вредителями и поражении корневыми гнилями на территории 59 лесохозяйственных учреждений Беларуси, обследованных специалистами РУП «Белгослес» за период с 2010 по 2023 г. За это время обследованием было охвачено 132 546,5 га еловых насаждений, что составляет 17,6 % общей площади еловых лесов Беларуси по состоянию на 01.01.2024 (753 379,4 га)².

На втором этапе для сбора данных о влиянии лесоводственно-таксационной характеристики насаждений на встречаемость в них очагов короедов и корневых гнилей в 2023 г. было проведено обследование еловых лесов, расположенных на северо-западе Беларуси на площади 41 269,7 га: в Верхнедвинском, Глубокском опытном, Дисненском, Полоцком, Поставском, Сморгонском опытном и Новогрудском лесхозах (рис. 1). В данной работе использовалась классификация типов леса и районирование лесной растительности Беларуси по И. Д. Юркевичу и В. С. Гельтману [18].

Встречаемость упомянутых выше патологических факторов в еловых насаждениях различных возрастных групп, бонитетов, типов леса, полноты и состава древостоя рассчитывали для каждого лесхоза как отношение площади поврежденных (пораженных) еловых выделов к общей площади обследованных ельников с соответствующей лесоводственно-таксационной характеристикой. При этом поврежденным (пораженным) считался весь лесоустроительный выдел, имеющий признаки повреждения стволовыми вредителями или поражения корневыми гнилями, а в случае существенных различий в лесопатологической характеристике выдела – его часть,

¹ Инструкция по проведению экспедиционного лесопатологического обследования с использованием материалов дистанционного зондирования лесов. – Мн.: Белгослес, 2020. – 67 с.; Отчет о результатах экспедиционного лесопатологического обследования Верхнедвинского, Глубокского опытного, Дисненского, Полоцкого, Поставского, Новогрудского, Сморгонского опытного лесхозов. Обследование 2023 года. – Мн.: Белгослес, 2024. – 145 с.

² Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2024. – Мн.: Белгослес, 2024. – 87 с.



Рис. 1. Геоботаническое районирование и месторасположение объектов обследования на территории Беларуси: подзона дубово-темнохвойных лесов (А), геоботанический округ: I – Западно-Двинский, II – Ошмянско-Минский, III – Оршанско-Могилёвский; подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов (В): IV – Неманско-Предполесский, V – Березинско-Предполесский; подзона широколиственно-сосновых лесов (С): VI – Бугско-Полесский; VII – Полесско-Приднепровский

Fig. 1. Geobotanical zoning and location of survey objects on the territory of Belarus: subzone of oak-dark coniferous forests (A), geobotanical district: I – West-Dvina, II – Oshmyany-Minsk, III – Orsha-Mogilev; subzone of hornbeam-oak-dark coniferous forests (B): IV – Neman-Predpolesie, V – Berezina-Predpolesie; subzone of broad-leaved-pine forests (C): VI – Bug-Polesie; VII – Polesie-Pridneprovsky

имеющая признаки наличия вредителей и болезней, которая выделялась в самостоятельный лесопатологический подвыдел. При оценке встречаемости корневых гнилей площадь насаждений слабой, средней и сильной степени поражения суммировалась. При оценке встречаемости древостоев, поврежденных короедами, площадь участков с действующими, затухающими и затухшими очагами короедов также суммировалась. Для хранения и обработки данных рекогносцировочного обследования применялись базы данных, специально разработанные для этих целей в РУП «Белгослес» [19].

Статистическая обработка сгруппированных данных рекогносцировочного обследования проводилась при помощи прикладного статистического пакета IBM SPSS Statistics v.27.0.1. Все выборочные значения встречаемости корневой гнили или короедов по каждому из лесоводственных критериев проверялись с помощью одновыборочного критерия Колмогорова – Смирнова. Далее в случае нормального распределения проводился однофакторный дисперсионный анализ без повторений. Если распределение не было нормальным, применялся непараметрический критерий Крускала – Уоллиса [20]. Все выводы сформированы для критического уровня значимости 0,05.

Результаты и их обсуждение. За период с 2010 по 2023 г. признаки повреждения стволовыми вредителями (ксилофагами) в виде групп и куртин усыхающих и сухостойных деревьев имеет 21,1 % обследованных ельников (табл. 1). Действующие очаги стволовых вредителей с повышенным размером текущего отпада составляют 6,5 % площади еловых лесов. Активность ксилофагов повышается в направлении с севера на юг: если в подзоне дубово-темнохвойных лесов действующие очаги составляют 6,2 % площади ельников, то в подзоне широколиственно-сосновых лесов их доля достигает 14,4 %.

Корневые патогены в ельниках встречаются чаще, чем очаги ксилофагов (табл. 2). По данным проведенных обследований, 33,8 % еловых древостоев поражено корневыми гнилями. Доминирующим заболеванием в ельниках является пестрая ямчато-волокнуистая комлевая гниль ели (далее – корневая губка), которая встречается в 33,2 % обследованных древостоев, а поражение армиллариозной гнилью выявлено только на 0,6 % обследованной площади. Встречаемость корневых патогенов также зависит от географического расположения древостоев, но при продвижении с севера на юг доля пораженных корневыми гнилями древостоев, в отличие от очагов ксилофагов, снижается: 34,6 % – в подзоне дубово-темнохвойных лесов и 22,2 % – в подзоне широколиственно-сосновых лесов.

Таблица 1. Поврежденность ельников стволовыми вредителями (2010–2023 гг.)

Table 1. Damage to spruce forests by stem pests (2010–2023)

Площадь обследованных насаждений, га	Всего повреждено стволовыми вредителями, га (%)	Очаги стволовых вредителей		
		действующие, га (%)	затухающие, га (%)	затухшие, га (%)
А. Подзона дубово-темнохвойных лесов				
110 973,7	22 485,5 (20,3)	6 920,6 (6,2)	1 659,3 (1,5)	13 905,6 (12,6)
В. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов				
20 140,5	4 942,2 (24,5)	1 469,1 (7,3)	469,8 (2,3)	3 003,3 (14,9)
С. Подзона широколиственно-сосновых лесов				
1 432,3	497,7 (34,7)	206,0 (14,4)	14,8 (1,0)	276,9 (19,3)
Итого по подзонам А–С				
132 546,5	27 925,4 (21,1)	8 595,7 (6,5)	2 143,9 (1,6)	17 185,8 (13,0)

Таблица 2. Пораженность ельников корневыми гнилями (2010–2023 гг.)

Table 2. Incidence of spruce forests with root rot (2010–2023)

Площадь обследованных насаждений, га	Всего поражено корневыми гнилями, га (%)	Возбудитель корневой гнили	
		корневая губка, га (%)	опенок, га (%)
А. Подзона дубово-темнохвойных лесов			
110 973,7	38 346,4 (34,6)	37 691,2 (34,0)	655,2 (0,6)
В. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов			
20 140,5	6 210,9 (30,8)	6 049,1 (30,0)	161,8 (0,8)
С. Подзона широколиственно-сосновых лесов			
1 432,3	318,0 (22,2)	318,0 (22,2)	0,0 (0,0)
Итого по подзонам А–С			
132 546,5	44 875,3 (33,8)	44 058,3 (33,2)	817,0 (0,6)

При проведении лесопатологического обследования в 2023 г. повреждение ельников стволовыми вредителями выявлено на площади 6 329,7 га, что составляет 15,3 % обследованных насаждений, в том числе действующие очаги короедов отмечены на площади 657,5 га (1,6 %). Корневые гнили распространены более широко: признаки поражения древостоев выявлены на площади 8 608,9 га (20,9 %), а очаговое поражение – на площади 2 597,8 га (6,3 %) (табл. 3).

Учитывая широкую представленность указанных патологий на объектах обследования, рассмотрим, как влияют на частоту их встречаемости определенные лесоводственно-таксационные параметры еловых насаждений.

Средний возраст древостоя. Данные для анализа встречаемости очагов короедов и корневых гнилей в насаждениях различного возраста в графической форме представлены на рис. 2.

Нужно обратить внимание на то, что еловые древостои, которые повреждают короеды, имеют очень широкий возрастной диапазон. Очаги формируются в естественных насаждениях

и лесных культурах, начиная с III класса возраста (т. е. с повышением возраста восприимчивость еловых древостоев к короедному усыханию увеличивается), что ставит вопрос о целесообразности создания на месте вырубленных сплошными санитарными рубками древостоев искусственных еловых насаждений по традиционной технологии.

Таблица 3. Поврежденность ельников короедами и пораженность корневыми гнилями на объектах обследования в 2023 г.

Table 3. Damage to spruce forests by bark beetles and infestation by root rot at survey sites in 2023

Объект обследования (лесхоз)	Обследовано ельников, га (%)	Повреждено короедами, га (%)		Поражено корневыми гнилями, га (%)	
		всего	действующие очаги	всего	действующие очаги
Верхнедвинский	7 955,9 (100)	921,1 (11,6)	38,2 (0,5)	621,1 (7,8)	90,1 (1,4)
Глубокский опытный	2 051,6 (100)	251,3 (12,2)	0,0 (0,0)	2,1 (0,1)	0,0 (0,0)
Дисненский	7 239,1 (100)	750,2 (10,4)	85,6 (1,2)	1 087,6 (15,0)	225,2 (3,1)
Новогрудский	5 369,9 (100)	928,4 (17,3)	212,8 (4,0)	2 191,4 (40,8)	1 649,7 (30,7)
Полоцкий	4 574,3 (100)	599,4 (13,1)	14,2 (0,3)	957,1 (20,9)	180,7 (4,0)
Поставский	5 134,7 (100)	1 280,3 (24,9)	42,5 (0,8)	695,6 (13,5)	187,9 (3,7)
Сморгонский опытный	8 944,2 (100)	1 599,0 (17,9)	264,2 (3,0)	3 054,0 (34,1)	264,2 (3,0)
Итого	41 269,7 (100)	6 329,7 (15,3)	657,5 (1,6)	8 608,9 (20,9)	2 597,8 (6,3)

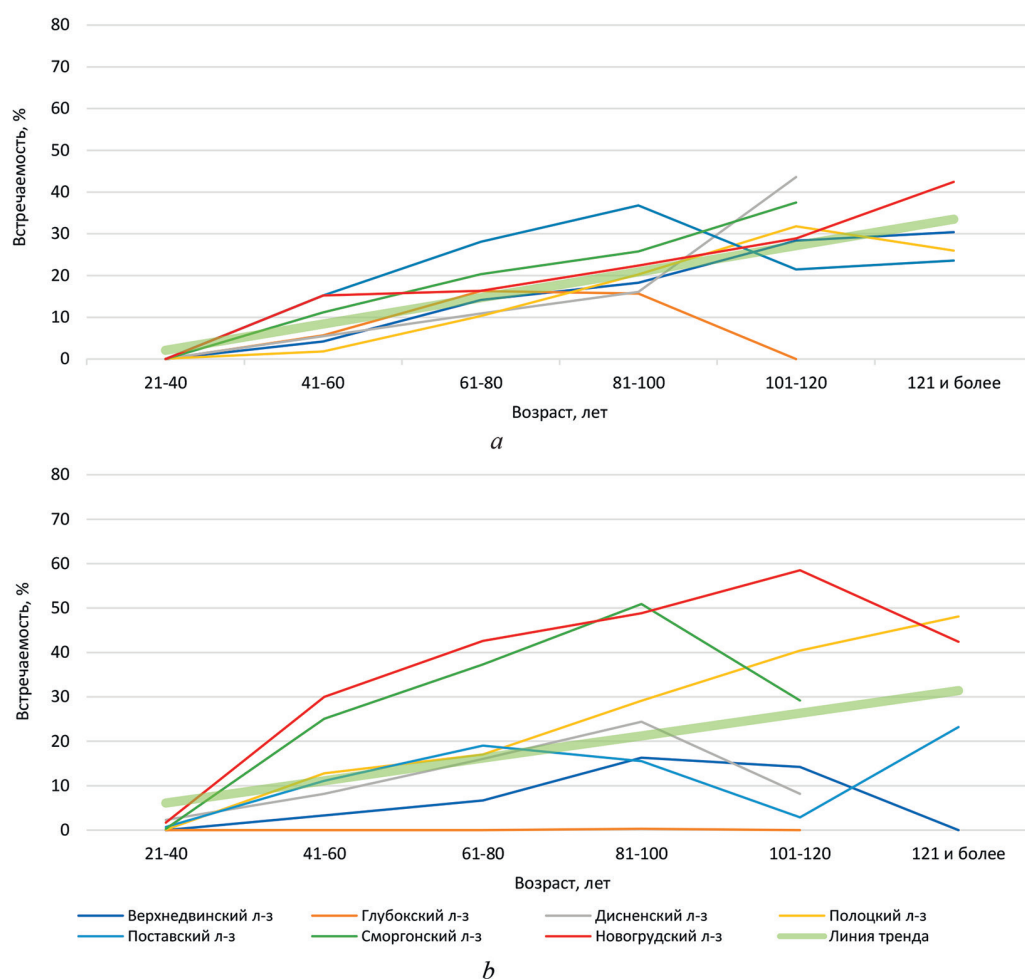


Рис. 2. Встречаемость еловых древостоев, поврежденных короедами (а) и пораженных корневыми гнилями (б), в насаждениях различного возраста

Fig. 2. Occurrence of spruce stands damaged by bark beetles (a) and affected by root rot (b) in stands of different ages

Аналогичная ситуация складывается и с поражением ельников корневыми гнилями. Первые признаки заболевания наблюдаются уже в насаждениях II класса возраста, затем встречаемость заболевания повышается, достигая максимума в спелых древостоях. Анализируя встречаемость короедов и корневых гнилей в ельниках различного возраста (рис. 2, табл. 4), можно отметить, что в целом на объектах исследования наблюдается тенденция возрастания относительного количества поврежденных (пораженных) насаждений с увеличением среднего возраста древостоев.

Таблица 4. Величины статистик и соответствующих значимостей Н-критерия Крускала – Уоллиса (F-критерия Фишера) для различных лесоводственно-таксационных показателей насаждений

Table 4. Values of statistics and corresponding significances of the Kruskal-Wallis H-test (Fisher's F-test) for various forestry and taxation indicators of stands

Наименование показателя	Группирующая переменная				
	1	2	3	4	5
Короеды					
Н-критерий (F-критерий)	25,161	(2,326)	13,571	16,085	10,384
Количество степеней свободы	5	7	6	3	9
Значимость	0,000	0,041	0,035	0,001	0,320
Оценка влияния	есть	есть	есть	есть	нет
Корневые гнили					
Н-критерий (F-критерий)	11,356	1,549	(18,675)	11,454	19,445
Количество степеней свободы	5	7	6	3	9
Значимость	0,045	0,981	0,000	0,010	0,022
Оценка влияния	есть	нет	есть	есть	есть

Примечание. 1 – возрастная группа; 2 – полнота древостоя; 3 – доля ели в составе древостоя; 4 – бонитет; 5 – тип леса.

Подобная ситуация типична для ельников, что подтверждается многими исследованиями. Например, снижение устойчивости еловых лесов с увеличением возраста древостоев наблюдали в Минской обл. во время вспышки массового размножения короеда-типографа в 2003 и 2004 гг. [9, 16]. Аналогичное явление фиксировалось в Беларуси и позднее – с 2011 по 2020 гг. [17]. Влияние возраста деревьев на развитие очагов короедов отмечено и в других европейских странах: Польше [21], Финляндии [22], Словакии [23], а в исследованиях по оценке угрозы повреждения типографом еловых насаждений Швеции отмечено, что на формирование очагов короедов также влияет и высота древесного полога, тесно связанная с возрастом древостоя [24]. Типограф предпочитает для заселения старые деревья, поскольку кора более молодых не имеет достаточной толщины, чтобы быть пригодной для развития нового поколения насекомых. Кроме того, с возрастом у деревьев увеличивается нагрузка на систему водного транспорта, поскольку расстояние между корнями и живой частью кроны возрастает, что делает их более чувствительными к засухе и снижает эффективность защитных механизмов против стволовых вредителей.

На увеличение пораженности ельников Беларуси корневой губкой с повышением их возраста указывал еще Ю. М. Полещук в 1980-х гг. [15]. Позднее это подтверждали Н. И. Федоров и В. В. Сарнацкий [8]. Подобный процесс наблюдается не только в нашей республике, но и в других частях ареала этой древесной породы, например, в еловых лесах Европейской части России и Швеции [25, 26]. В разновозрастных ельниках заболевание часто прогрессирует, поражая деревья второго яруса и подроста, при этом источниками инфекции являются больные деревья первого яруса [27]. Повышение встречаемости корневых гнилей с увеличением среднего возраста еловых древостоев хорошо иллюстрирует известное явление накопления гнилевых патогенов в насаждениях по мере их старения из-за увеличения массы корней и стволовой древесины [25]. В молодом возрасте пораженные гнилевыми болезнями и, следовательно, ослабленные деревья быстро усыхают в процессе естественного изреживания. С повышением возраста древостоя этот процесс замедляется, что приводит к накоплению больных растений и прогрессирующему развитию очагов корневых гнилей.

Полнота древостоя. Это один из динамических лесоводственных показателей, который зависит не только от закономерностей роста насаждения, но и от патологических процессов и хозяйственной деятельности, сопровождающих развитие древостоя на всех этапах его формирования. В свою очередь, полнота, через которую можно количественно выразить степень сохранности лесной среды, оказывает влияние на распространение патологических процессов в насаждении [28].

Поскольку в результате деятельности короедов усыхание еловых древостоев происходит быстро, для оценки воздействия полноты на встречаемость поврежденных короедами насаждений использовалось значение этого параметра по состоянию до усыхания, т. е. исходная полнота древостоя, которая определялась по таксационному описанию неповрежденной части выдела или его полноте до повреждения (рис. 3, а).

В пораженных корневыми гнилями насаждениях с хроническим течением болезни, медленно изменяющей санитарное состояние древостоев, для анализа использовалось фактическое значение полноты, которое определялось на момент обследования. Анализируя встречаемость поврежденных короедами и пораженных корневыми гнилями древостоев на объектах исследования в ельниках различной полноты (рис. 3, табл. 4), можно сделать вывод о том, что на объектах исследования исходная полнота древостоя оказывает влияние на встречаемость короедного усыхания в ельниках – с повышением полноты древостоев вероятность формирования в них очагов короедов снижается. На пораженность корневыми гнилями текущая полнота насаждений не оказывает существенного влияния.

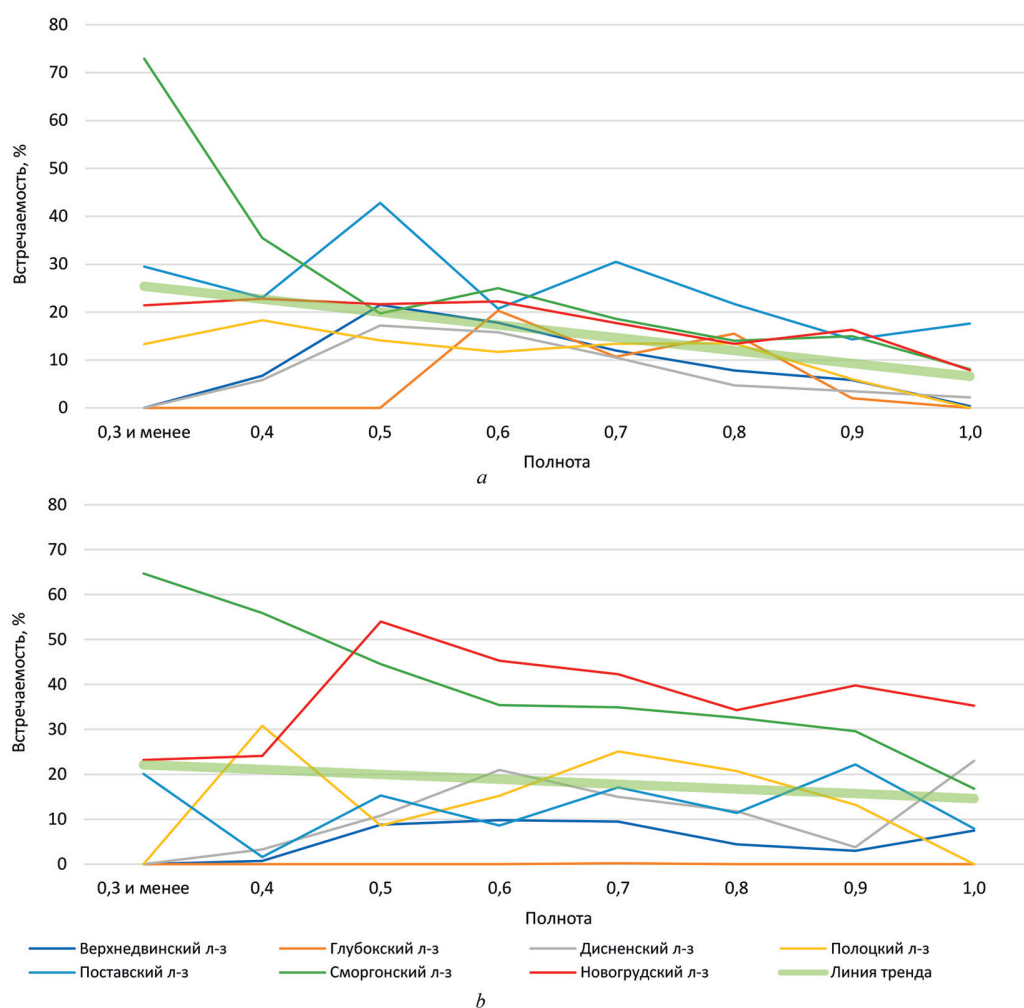


Рис. 3. Встречаемость еловых древостоев, поврежденных короедами (а) и пораженных корневыми гнилями (b), в насаждениях различной полноты

Fig. 3. Occurrence of spruce stands damaged by bark beetles (a) and affected by root rot (b) in stands of varying density

До настоящего времени в Беларуси полноту еловых древостоев не рассматривали в качестве фактора, воздействующего на их устойчивость к короедам [8, 9, 17], но наше исследование показывает наличие такого влияния как минимум в северо-западной части республики. В то же время отмеченная ранее тенденция повышения встречаемости корневой губки в низкополнотных ельниках в данном регионе не подтвердилась [15].

Более частое повреждение низкополнотных еловых древостоев короедами может объясняться как известным явлением снижения полноты при увеличении возраста древостоев под воздействием хозяйственной деятельности, так и непосредственным влиянием патологических процессов, которое приводит к гибели части деревьев в очагах вредителей и болезней леса и, следовательно, к снижению полноты древостоев. Поскольку массовое усыхание ельников в республике продолжается с 1993 г. [8], можно предположить, что за истекшие 30 лет накопилось много поврежденных короедами лесных массивов со сниженной полнотой, где и происходит формирование современных короедных очагов.

Состав древостоя. Доля ели в составе насаждения также является динамичным параметром, на который могут оказывать существенное влияние как лесохозяйственные мероприятия, так и патологические процессы, приводящие к усыханию части деревьев и изменению коэффициента участия главной породы в древостое. Оценка воздействия этого фактора на повреждение ельников короедами и поражение корневыми гнилями на объектах исследования свидетельствует о наличии достоверного влияния доли ели в составе древостоя на встречаемость указанных патологий (рис. 4, табл. 4).

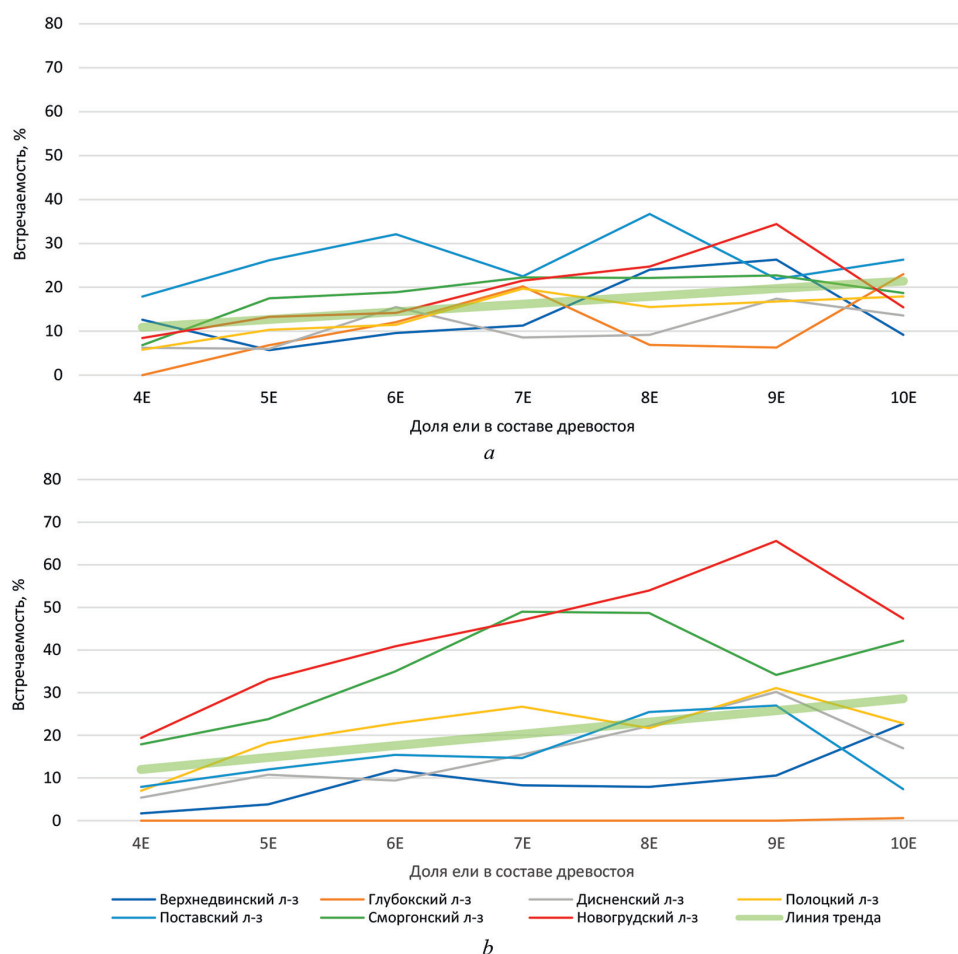


Рис. 4. Встречаемость еловых древостоев, поврежденных короедами (a) и пораженных корневыми гнилями (b), в насаждениях с различной долей ели в составе древостоя

Fig. 4. Occurrence of spruce stands damaged by bark beetles (a) and affected by root rot (b) in stands with different proportions of spruce in the stand

Полученные нами результаты подтверждают известную закономерность: повышение плотности особей хозяина благоприятствует развитию популяций патогенов и вредителей растений [29, 30]. Применительно к повреждению еловых лесов короедами и поражению их корневыми гнилями это подтверждено многими исследователями [1–6, 8, 14, 15, 17, 21–27].

Бонитет. Это показатель потенциальной продуктивности, зависящий от возраста, высоты и происхождения древостоя. В результате проведенных нами исследований доказано (рис. 5, табл. 4), что бонитет оказывает влияние на встречаемость короедов и корневых гнилей в ельниках.

Подобная ситуация отмечалась в республике и ранее при анализе устойчивости еловых насаждений с различными лесоводственно-таксационными показателями [17]. На положительную взаимосвязь высоты еловых древостоев, которая зависит не только от возраста, но и от продуктивности последних, с формированием очагов короедов в них обращали внимание исследователи в Польше и Швеции [21, 24].

Повышение распространенности корневой губки в ельниках Беларуси с увеличением плодородия почв отмечал в 1980-х гг. Ю. М. Полещук [15]. Таким образом, наши данные подтверждают результаты проведенных ранее исследований, что наиболее подвержены воздействию короедов и корневых гнилей самые высокопродуктивные еловые насаждения, произрастающие в лучших почвенно-гидрологических условиях.

Это может быть вызвано определенными причинами. Так, снижение потенциальной продуктивности еловых насаждений чаще всего происходит вследствие их произрастания на избыточно

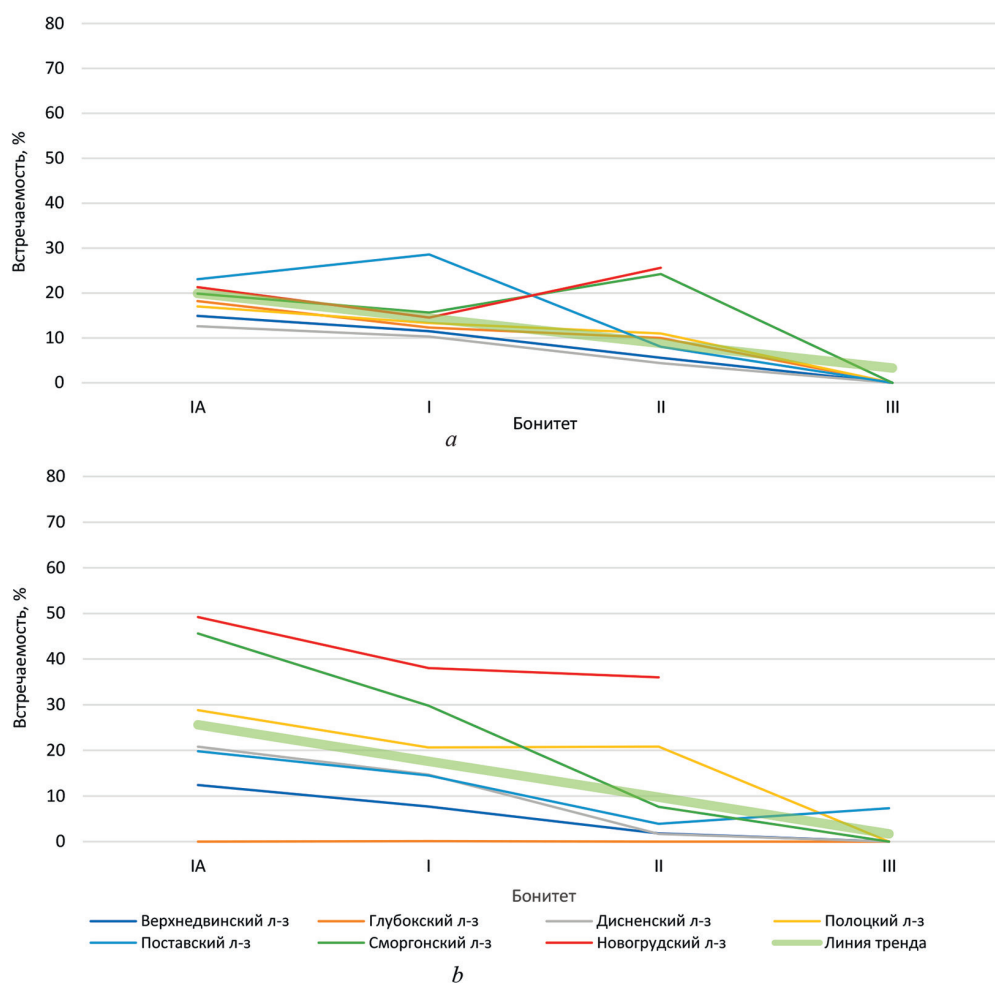


Рис. 5. Встречаемость еловых древостоев, поврежденных короедами (a) и пораженных корневыми гнилями (b), в насаждениях различного бонитета

Fig. 5. Occurrence of spruce stands damaged by bark beetles (a) and affected by root rot (b) in stands of different productivity classes

увлажненных почвах. Но высокая оводненность содействует повышению устойчивости ели к стволовым вредителям (особенно в периоды засух), а также формирует неблагоприятные экологические факторы для развития корневых патогенов (высокая влажность почвы, низкая обеспеченность кислородом и др.) [14, 15]. Нельзя исключать здесь и особенности водного режима растений, который может нарушаться в засушливых условиях. В этом случае чем больше протяженность гидравлической цепи (т. е. чем выше дерево), тем тяжелее последствия таких нарушений, снижающие устойчивость растений к стволовым вредителям. А высота древостоя зависит от его возраста и бонитета.

Тип леса. Относительно стабильная характеристика насаждения, которая определяется эдафическими условиями и породным составом древостоя, и патологические процессы могут повлиять на изменение данного показателя только в случае их значительного развития. Современная типологическая структура еловой формации включает 12 типов леса [18], а с учетом мелиорированных их количество возрастает до 18. Но при повреждении ельников короедами и поражении их корневыми гнилями мы рассматриваем лишь 10 наиболее распространенных типов леса (рис. 6, табл. 4) [31].

Расчеты показывают, что влияние типа леса на встречаемость очагов короедов в ельниках в нашем исследовании незначительно. Это противоречит ранее проведенным исследованиям

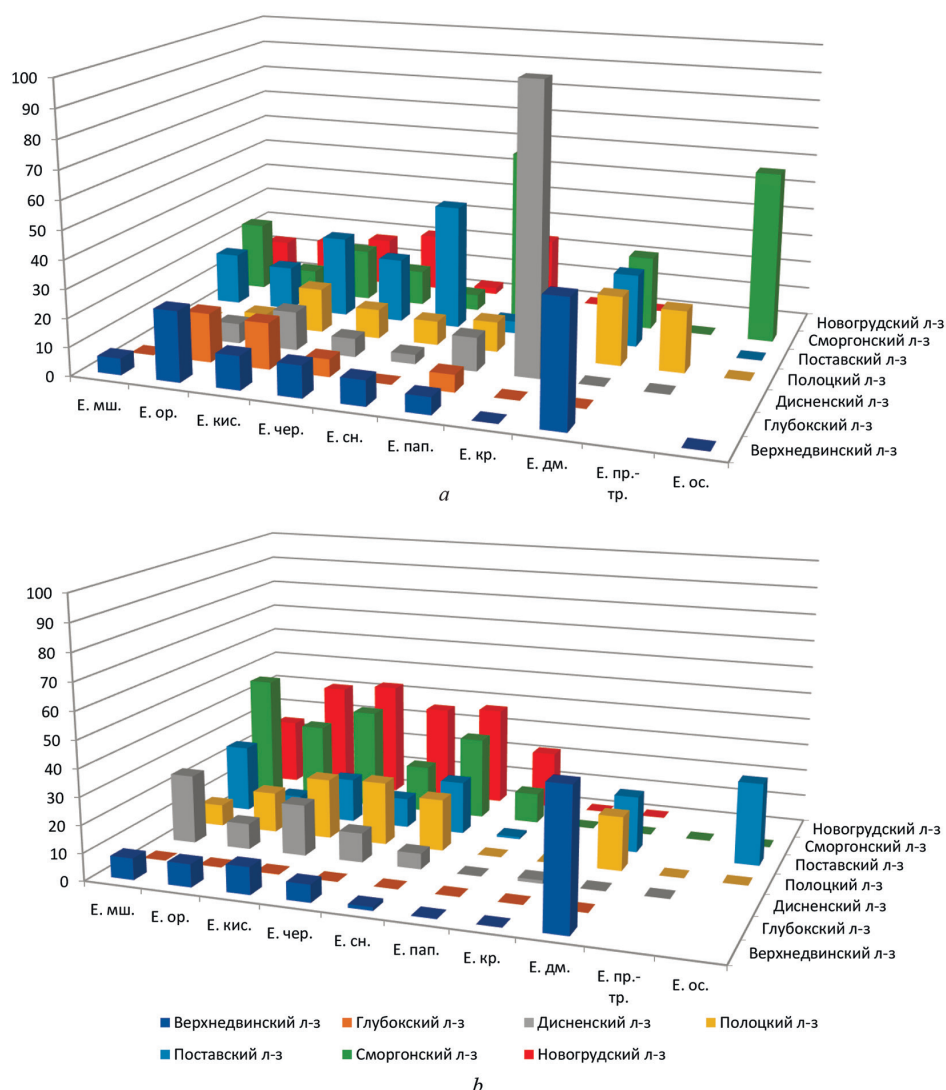


Рис. 6. Встречаемость еловых древостоев, поврежденных короедами (а) и пораженных корневыми гнилями (b), в насаждениях различных типов леса

Fig. 6. Occurrence of spruce stands damaged by bark beetles (a) and affected by root rot (b) in stands of different forest types

по оценке устойчивости еловых насаждений в период вспышки массового размножения короедов, которые проводились как в Беларуси [9, 17], так и Европейской части России [32, 33], где отмечается неодинаковое повреждение короедами ельников различных типов леса. В недавно опубликованном исследовании факторов, связанных с пространственной динамикой вспышек типографа в Беловежском национальном парке (Республика Польша), также указывается на различную встречаемость очагов короедов в разных типах леса [21]. Однако в этом случае само содержание понятия «тип леса» отличается от принятого в нашей республике [18], поскольку под разными типами леса подразумеваются насаждения с различным составом древостоя. Можно сделать предположение, что факт отсутствия влияния типа леса на встречаемость очагов короедов в современных условиях свидетельствует о расширении эдафического ареала короедного усыхания ельников. Это означает, что по мере развития климатических изменений увеличивается перечень типов еловых лесов, в которых наблюдаются очаги короедов.

В отличие от короедного усыхания поражение ельников корневыми гнилями на обследованной территории зависит от типа леса (рис. 6, *b*; табл. 4). Чаще поражаются древостои, растущие в условиях недостаточного и нормального увлажнения. Это ельники мшистые, орляковые, кисличные, черничные и снытевые. В случаях повышенного увлажнения или заболачивания в ельниках папоротниковых, крапивных, приручейно-травяных, долгомошных и осоковых поражение древостоев корневыми гнилями ниже. Это согласуется с данными исследований Ю. М. Полещука [15], согласно которым в условиях Беларуси благоприятными для развития корневых патогенов являются типы леса, характеризующиеся плодородными и относительно плодородными свежими и умеренно влажными почвами. В типах леса, для которых характерны бедные сухие или более богатые, но влажные и мокрые почвы, корневая губка не находит условий для своего развития. Вместе с тем существуют и определенные отличия. Так, по данным Ю. М. Полещука [15], в ельнике долгомошном корневая губка не отмечается. Но в обследованных нами лесхозах на северо-западе Беларуси ельники долгомошные поражаются этим заболеванием (рис. 6, *b*), что может говорить также и о расширении эдафического ареала корневой губки в еловых лесах республики за истекшие 40 лет.

Для объяснения отмеченных тенденций необходимо учитывать то, что за последние годы типологическая структура ельников подверглась существенной трансформации. Локализация в наиболее благоприятных условиях роста на границе ареала типична для еловых лесов, на что указывал в своей работе В. С. Гельтман [31]. Поэтому если в республике происходит сокращение географического ареала этой древесной породы, оно должно приводить и к сужению ее эдафического ареала, т. е. снижению долевого участия типов леса, занимающих крайнее положение в эдафо-фитоценоотическом ряду еловой формации, что и наблюдается в последнее время (табл. 5).

Таблица 5. Динамика типов еловых лесов Беларуси по данным лесного кадастра за 2008–2024 гг. (покрытые лесом земли)

Table 5. Dynamics of spruce forest types in Belarus according to forest cadastre data for 2008–2024 (forested lands)

Тип леса	Площадь на 01.01.2008, га	Площадь на 01.01.2024, га	Изменение, га (%)
Ельник брусничный	3 391	944	–2 447 (–72)
Е. мшистый	63 280	20 464	–42 816 (–68)
Е. орляковый	77 630	98 981	+21 351 (+28)
Е. кисличный	379 386	419 201	+39 815 (+10)
Е. черничный	152 079	154 224	+2 145 (+1)
Е. снытевый	20 333	23 192	+2 859 (+14)
Е. крапивный	2 766	2 546	–220 (–8)
Е. папоротниковый	22 881	19 723	–3 158 (–14)
Е. долгомошный	14 113	10 547	–3 566 (–25)
Е. приручейно-травяной	4 916	2 092	–2 824 (–57)
Е. осоковый	2 239	1 292	–947 (–42)
Е. осоково-сфагновый	525	174	–351 (–67)
Итого	743 539	753 380	+9 841 (+1,3)

Ельники кисличные и орляковые в молодом возрасте нередко неправильно относят к древостоям, произрастающим в условиях недостаточного увлажнения. Но по мере роста их бонитет постепенно повышается и под пологом формируется живой напочвенный покров, типичный для более плодородных условий. Поэтому с повышением среднего возраста еловых лесов республики возможен частичный переход ельников брусничных и мшистых в орляковые и кисличные. Кроме того, индуцированное засухами короедное усыхание должно быть очевидной причиной гибели древостоев в условиях недостаточного увлажнения. В то же время сокращение площади еловых лесов, произрастающих в условиях избыточного увлажнения, происходит по другим причинам. Вероятно, это может быть связано с климатогенной подсушкой влажных эдафотопов, а также с формированием мелиорированных типов леса в результате осушительной мелиорации, что приводит к снижению фитоценотической устойчивости ели в этих условиях и замещению ее другими породами. Это не исключает и короедного усыхания еловых древостоев на части таких площадей. Возможен и искусственный характер такой трансформации: в ельниках орляковых, кисличных, черничных и снытевых часто создают культуры этой породы. В то же время на избыточно увлажненных почвах работники лесного хозяйства предпочитают оставлять вырубку под естественное зарастание, которое происходит чаще всего со сменой основного лесообразователя.

Закключение. В первой четверти XXI в. в еловых лесах Беларуси продолжается развитие эпифитотии корневых гнилей, а также наблюдаются вспышки массового размножения короедов. Встречаемость этих патологических факторов имеет выраженные географические и экологические особенности. Поврежденные стволовыми вредителями древостои увеличивают свое присутствие в лесах Беларуси в направлении с севера на юг. Формированию очагов короедов способствуют такие изменения лесоводственно-таксационных параметров еловых насаждений, как повышение возраста еловых древостоев, снижение их полноты, увеличение доли ели в составе древостоя и произрастание на плодородных почвах, обеспечивающих формирование высокобонитетных насаждений.

В то же время пораженные корневыми гнилями ельники увеличивают свое присутствие в лесах республики в направлении с юга на север. В современных условиях максимальное поражение корневыми патогенами наблюдается в подзоне дубово-темнохвойных лесов. Это отличается от данных обследований, проведенных в 1980-х гг., когда наиболее сильное поражение ельников корневыми гнилями отмечалось в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов [14, 15]. Формированию очагов корневых гнилей способствуют такие изменения лесоводственно-таксационных параметров еловых насаждений, как повышение возраста еловых древостоев, увеличение доли ели в их составе, произрастание ельников на почвах нормального увлажнения, обеспечивающих максимальную продуктивность древостоя.

Проведенное исследование показало, что встречаемость очагов короедов и корневых гнилей в ельниках взаимосвязана с такими лесоводственно-таксационными параметрами, как средний возраст древостоя, доля в нем ели, а также бонитет. Следовательно, эту взаимосвязь можно использовать при формировании еловых лесов, отличающихся повышенной устойчивостью к упомянутым патологическим факторам. С практической точки зрения для повышения устойчивости лесов необходимо пользоваться следующими лесоводственными приемами: регулирование (снижение) возраста рубок главного пользования, введение в состав древостоев примеси других пород, выбор для выращивания ельников участков с повышенной оводненностью почв и регулирование их водного режима. Возможно также и сочетание нескольких перечисленных приемов на одном и том же участке.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management / T. Hlásny, L. König, P. Krokene [et al.] // *Current Forestry Reports*. – 2021. – Vol. 7, N 3. – P. 138–165. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00142-x>
2. Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species / eds.: F. E. Vega, R. W. Hofstetter. – Cambridge: Academic Press, 2015. – 620 p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-04752-4>

3. Garbelotto, M. Biology, Epidemiology, and Control of *Heterobasidion* Species Worldwide / M. Garbelotto, P. Gonthier // Annual Review of Phytopathology. – 2013. – Vol. 51. – P. 39–59. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102225>
4. How differential management strategies affect *Ips typographus* L. dispersal / V. Montano, C. Bertheau, P. Doležal [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2016. – Vol. 360. – P. 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.037>
5. Reducing rotation age to address increasing disturbances in Central Europe: Potential and limitations / S. Zimová, L. Dobor, T. Hlásny [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2020. – Vol. 475. – Art. 118408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118408>
6. Möykkynen, T. Optimizing the management of Norway spruce and Scots pine mixtures on a site infected by *Heterobasidion* coll / T. Möykkynen, T. Pukkala // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2010. – Vol. 25, N 2. – P. 127–137. <https://doi.org/10.1080/02827581003667322>
7. Comparative Efficacy of State-of-the-Art and New Biological Stump Treatments in Forests Infested by the Native and the Alien Invasive *Heterobasidion* Species Present in Europe / M. Pellicciaro, G. Lione, S. Ongaro, P. Gonthier // Pathogens. – 2021. – Vol. 10, N 10. – Art. 1272. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101272>
8. Федоров, Н. И. Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием / Н. И. Федоров, В. Б. Сарнацкий. – Мн.: Тэхналогія, 2001. – 180 с.
9. Кухта, В. Н. Короеды ели европейской и мероприятия по регулированию их численности / В. Н. Кухта, А. И. Блинцов, А. А. Сазонов. – Мн.: БГТУ, 2014. – 238 с.
10. Морфологические особенности базидиом *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. и *H. parviporum* Niemela & Korhonen на ели европейской в условиях Беларуси / А. М. Нестюк, М. О. Романенко, В. А. Ярмолович, О. Ю. Баранов // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв.–17 февр. 2023 г. / Бел. гос. технол. ун-т; отв. за изд. И. В. Войтов. – Мн., 2023. – С. 242–245.
11. Звягинцев, В. Б. Распространенность, вредоносность грибов комплекса *Armillaria* в лесах Беларуси и обоснование лесозащитных мероприятий: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Звягинцев Вячеслав Борисович; Бел. гос. технол. ун-т. – Мн., 2003. – 154 л.
12. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов, Г. И. Сачок, В. С. Микуцкий [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Мн.: Тонпик, 2003. – 330 с.
13. Массовое усыхание еловых лесов Беларуси на рубеже XX–XXI вв. и пути минимизации его последствий / А. А. Сазонов, В. Н. Кухта, А. И. Блинцов [и др.] // Лесное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 9–12.
14. Федоров, Н. И. Корневые гнили хвойных пород / Н. И. Федоров. – М.: Лес. пром-сть, 1984. – 160 с.
15. Полещук, Ю. М. Распространение, вредоносность корневой губки и обоснование мероприятий по защите хвойных насаждений БССР от патогена: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.11 / Юрий Михайлович Полещук; Бел. технол. ин-т им. С. М. Кирова. – Мн., 1987. – 378 л.
16. Сазонов, А. А. Изменение состояния еловых насаждений и популяций стволовых вредителей Минской области в 2003–2004 годах / А. А. Сазонов, В. Н. Кухта // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1, Лесное хозяйство. – 2005. – Вып. 13. – С. 211–215.
17. Ларинина, Ю. А. Устойчивость еловых насаждений с различными лесоводственно-таксационными показателями в условиях последней волны массового усыхания (с 2010 г. по настоящее время) / Ю. А. Ларинина // Лесное хозяйство: материалы докл. 85-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междун. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. / Бел. гос. технол. ун-т; отв. за изд. И. В. Войтов. – Мн., 2021. – С. 95–97.
18. Юркевич, И. Д. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии / И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман. – Мн.: Наука и техника, 1965. – 288 с.
19. Сазонов, А. А. Применение баз данных при проведении рекогносцировочного лесопатологического обследования / А. А. Сазонов // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1, Лесное хозяйство. – 2008. – Вып. 16. – С. 357–361.
20. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
21. Mass outbreaks and factors related to the spatial dynamics of spruce bark beetle (*Ips typographus*) dieback considering diverse management regimes in the Białowieża forest / A. Kamińska, M. Lisiewicz, B. Kraszewski, K. Stereńczak // Forest Ecology and Management. – 2021. – Vol. 498. – Art. 119530. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119530>
22. Relationship between stand and landscape attributes and *Ips typographus* salvage loggings in Finland / J. A. Pulgarin Diaz, M. Melin, T. Ylioja [et al.] // Silva Fennica. – 2024. – Vol. 58, N 3. – Art. 23069. <https://doi.org/10.14214/sf.23069>
23. Factors influencing the wind-bark beetles' disturbance system in the course of an *Ips typographus* outbreak in the Tatra Mountains / P. Mezei, W. Grodzki, M. Blaženec, R. Jakuš // Forest Ecology and Management. – 2014. – Vol. 312. – P. 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.020>
24. Features predisposing forest to bark beetle outbreaks and their dynamics during drought / M. Müller, P.-O. Olsson, L. Eklundh [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2022. – Vol. 523. – Art. 120480. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120480>
25. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам / В. Г. Стороженко, М. А. Бондарцева, В. А. Соловьев, В. И. Крутов; отв. ред. С. Э. Вомперский. – М.: Наука, 1992. – 221 с.
26. Asiegbu, F. O. Conifer root and butt rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. l. / F. O. Asiegbu, A. Adomas, J. Stenlid // Molecular Plant Pathology. – 2005. – Vol. 6, N 4. – P. 395–409. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00295.x>
27. Piri, T. Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stands / T. Piri, S. Valkonen // Canadian Journal of Forest Research. – 2013. – Vol. 43, N 9. – P. 872–877. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0052>
28. Сазонов, А. А. Поражение дубрав Беларуси армилляриозной гнилью в период массового усыхания / А. А. Сазонов, В. Б. Звягинцев, Е. М. Зайцева // Лесоведение. – 2023. – № 5. – С. 451–461.

29. Попкова, К. В. Общая фитопатология / К. В. Попкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.
30. Берриман, А. Защита леса от насекомых-вредителей / А. Берриман; пер. с англ. В. Г. Долгополов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 286 с.
31. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 326 с.
32. Маслов, А. Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов / А. Д. Маслов. – М.: Всерос. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лес. хоз-ва, 2010. – 138 с.
33. Иванчина, Л. А. Влияние типа леса на устойчивость еловых древостоев Прикамья / Л. А. Иванчина, С. В. Залесов // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 1. – С. 38–47.

References

1. Hlásny T., König L., Krokene P., Lindner M., Montagné-Huck C., Müller J., Qin H., Raffa K. F., Schelhaas M.-J., Svoboda M., Viiri H., Seidl R. Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management. *Current Forestry Reports*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 138–165. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00142-x>
2. Vega F. E., Hofstetter R. W. (eds.). *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. Cambridge, Academic Press, 2015. 620 p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-04752-4>
3. Garbelotto M., Gonthier P. Biology, epidemiology, and control of *Heterobasidion* species worldwide. *Annual Review of Phytopathology*, 2013, vol. 51, pp. 39–59. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102225>
4. Montano V., Bertheau C., Doležal P., Krumböck S., Okrouhlík J., Stauffer C., Moodley Y. How differential management strategies affect *Ips typographus* L. dispersal. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 360, pp. 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.037>
5. Zimová S., Dobor L., Hlásny T., Rammer W., Seidl R. Reducing rotation age to address increasing disturbances in Central Europe: Potential and limitations. *Forest Ecology and Management*, 2020, vol. 475, art. 118408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118408>
6. Möykkynen T., Pukkala T. Optimizing the management of Norway spruce and Scots pine mixtures on a site infected by *Heterobasidion* coll. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2010, vol. 25, no. 2, pp. 127–137. <https://doi.org/10.1080/02827581003667322>
7. Pellicciaro M., Lione G., Ongaro S., Gonthier P. Comparative Efficacy of State-of-the-Art and New Biological Stump Treatments in Forests Infested by the Native and the Alien Invasive *Heterobasidion* Species Present in Europe. *Pathogens*, 2021, vol. 10, no. 10, art. 1272. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101272>
8. Fedorov N. I., Sarnatskii V. V. *Features of the formation of spruce forests of Belarus in connection with their periodic mass drying out*. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2001. 180 p. (in Russian).
9. Kukhta V. N., Blintsov A. I., Sazonov A. A. *Bark beetles of European spruce and measures to regulate their numbers*. Minsk, Belarusian State Technological University, 2014. 238 p. (in Russian).
10. Nestyuk A. M., Romanenko M. O., Yarmolovich V. A., Baranov O. Yu. Morphological features of basidiomes of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. and *H. parviporum* Niemela & Korhonen on Norway spruce in Belarus. *Lesnoe khozyaistvo: materialy 87-i nauchno-tekhnicheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)*, Minsk, 31 yanvarya–17 fevralya 2023 goda [Forestry: Proceedings of the 87th Scientific and Technical Conference of Faculty, Researchers, and Postgraduate Students (with International Participation), Minsk, January 31–February 17, 2023]. Minsk, 2023, pp. 242–245 (in Russian).
11. Zvyagintsev V. B. *Prevalence and harmfulness of fungi of the Armillaria complex in the forests of Belarus and justification of forest protection measures*. Ph. D. Thesis. Minsk, 2016. 154 p. (in Russian).
12. Loginov V. F., Sachok, G. I., Mikutskii V. S., Mel'nik V. I., Kolyada V. V. *Climate changes in Belarus and their consequences*. Minsk, Tonpik Publ., 2003. 330 p. (in Russian).
13. Sazonov A. A., Kukhta V. N., Blintsov A. I., Zvyagintsev V. B., Ermokhin M. V. Mass drying of spruce forests of Belarus at the turn of the 20th–21st centuries and ways to minimize its consequences. *Lesnoe khozyaistvo* [Forestry], 2014, no. 3, pp. 9–12 (in Russian).
14. Fedorov N. I. *Root rot of coniferous trees*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 160 p. (in Russian).
15. Poleshchuk Yu. M. *Distribution, harmfulness of root fungus and justification of measures to protect coniferous plantations of the BSSR from the pathogen*. Ph. D. Thesis. Minsk, 1987. 378 p. (in Russian).
16. Sazonov A. A., Kukhta V. N. Changes in the state of spruce stands and populations of stem pests in the Minsk region in 2003–2004. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1, Lesnoe khozyaistvo* [Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 1. Forestry], 2005, iss. 13, pp. 211–215 (in Russian).
17. Larinina Yu. A. Stability of spruce stands with different silvicultural and taxation indicators under the conditions of the last wave of mass drying out (from 2010 to the present). *Lesnoe khozyaistvo: materialy dokladov 85-i nauchno-tekhnicheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)*, 1–13 fevralya 2021 goda [Forestry: Proceedings of the 85th Scientific and Technical Conference of Faculty, Researchers, and Postgraduate Students (with International Participation), February 1–13, 2021]. Minsk, 2021, pp. 95–97 (in Russian).
18. Yurkevich I. D., Gel'tman V. S. *Geography, typology and zoning of forest vegetation of Belarus*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1965. 288 p. (in Russian).
19. Sazonov A. A. Application of databases in conducting reconnaissance forest pathology survey. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1, Lesnoe khozyaistvo* [Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 1. Forestry], 2008, iss. 16, pp. 357–361 (in Russian).

20. Zaitsev G. N. *Mathematical statistics in experimental botany*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p. (in Russian).
21. Kamińska A., Lisiewicz M., Kraszewski B., Stereńczak K. Mass outbreaks and factors related to the spatial dynamics of spruce bark beetle (*Ips typographus*) dieback considering diverse management regimes in the Białowieża forest. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 498, art. 119530. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119530>
22. Pulgarin Diaz J. A., Melin M., Ylioja T., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Peltola H., Tikkanen O.-P. Relationship between stand and landscape attributes and *Ips typographus* salvage loggings in Finland. *Silva Fennica*, 2024, vol. 58, no. 3, art. 23069. <https://doi.org/10.14214/sf.23069>
23. Mezei P., Grodzki W., Blaženec M., Jakuš R. Factors influencing the wind–bark beetles’ disturbance system in the course of an *Ips typographus* outbreak in the Tatra Mountains. *Forest Ecology and Management*, 2014, vol. 312, pp. 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.020>
24. Müller M., Olsson P.-O., Eklundh L., Jamali S., Ardö J. Features predisposing forest to bark beetle outbreaks and their dynamics during drought. *Forest Ecology and Management*, 2022, vol. 523, art. 120480. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120480>
25. Storozhenko V. G., Bondartseva M. A., Solov'ev V. A., Krutov V. I. *Scientific foundations of forest resistance to wood-destroying fungi*. Moscow, Nauka Publ., 1992. 221 p. (in Russian).
26. Asiegbu F. O., Adomas A., Stenlid J. Conifer root and butt rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. l. *Molecular Plant Pathology*, 2025, vol. 6, no. 4, pp. 395–409. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00295.x>
27. Piri T., Valkonen S. Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2013, vol. 43, no. 9, pp. 872–877. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0052>
28. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B., Zaitseva E. M. Belarusian oak forests afflicted with armillaria root rot during their mass desiccation. *Lesovedeniye* [Forestry], 2023, no. 5, pp. 451–461 (in Russian).
29. Popkova K. V. *General phytopathology*. 2nd ed. Moscow, Drofa Publ., 2005. 445 p. (in Russian).
30. Berryman A. *Forest protection from insect pests*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 286 p. (in Russian).
31. Gel'tman V. S. *Geographical and typological analysis of forest vegetation of Belarus*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p. (in Russian).
32. Maslov A. D. *The bark beetle and the drying out of spruce forests*. Moscow, All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, 2010. 138 p. (in Russian).
33. Ivanchina L. A., Zalesov S. V. Influence of forest type on the stability of spruce stands in the Kama region. *Permskii agrarnyi vestnik* [Perm Agrarian Bulletin], 2017, no. 1, pp. 38–47 (in Russian).

Информация об авторах

Сазонов Александр Александрович – начальник лесо-устроительной партии 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (ул. Железнодорожная, 27/1, 220089, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

Нестюк Антонина Михайловна – науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: antonina.nestyuk95@gmail.com

Зайцева Елена Михайловна – канд. физ.-мат. наук, доцент. Республиканский институт высшей школы (ул. Московская, 15, 220007, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: helena-zay@yandex.by

Бабуль Дмитрий Александрович – ведущий инженер-таксатор 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (ул. Железнодорожная, 27/1, 220089, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: babuld@bk.ru

Пацукевич Павел Викторович – инженер-таксатор II категории 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (ул. Железнодорожная, 27/1, 220089, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pavel_photo@inbox.ru

Information about the authors

Alexander A. Sazonov – Head of the Forest Management Department, the First Minsk Forest Inventory Expedition. Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya Str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

Antonina M. Nestyuk – Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonina.nestyuk95@gmail.com

Elena M. Zaitseva – Ph. D. (Phys. and Math.), Associate Professor. Republican Institute of Higher Education (15, Moskovskaya Str., 220007, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: helena-zay@yandex.by

Dmitry A. Babul – Leading Appraiser Engineer of the First Minsk Forest Inventory Expedition. Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya Str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: babuld@bk.ru

Pavel V. Patsukevich – Appraiser Engineer of the 2nd category of the First Minsk Forest Inventory Expedition. Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya Str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavel_photo@inbox.ru